TUGAS AKHIR – TM 095502

ANALISIS PENURUNAN PERFORMA PADA BOILER FEED PUMP SEBAGAI LANGKAH REACTIVE MAINTENANCE DI PT PJB UP GRESIK

RADITYO ARYO P
NRP 102113 00000015

Dosen Pembimbing :
Giri Nugroho S.T., M.Sc.
NIP. 19791029 201212 1 002

DEPARTEMEN TEKNIK MESIN INDUSTRI
Fakultas Vokasi
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2018

TUGAS AKHIR – TM 095502

PERFORMANCE ANALYSIS ON BOILER FEED PUMP AS A STEP OF REACTIVE MAINTENANCE AT PT PJB UP GRESIK

RADITYO ARYO P
NRP 102113 00000015

Dosen Pembimbing :
Giri Nugroho S.T., M.Sc.
NIP. 19791029 201212 1 002

PROGRAM STUDI DIPLOMA 3 TEKNIK MESIN
Fakultas Vokasi
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2018

ANALISIS PENURUNAN PERFORMA PADA BOILER FEED PUMP PT PJB-UP GRESIK UNIT 4A DENGAN METODE ROOT CAUSE FAILURE ANALYSIS

TUGAS AKHIR

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat
Memperoleh Gelar Ahli Madya
Pada
Bidang Studi Konversi Energi
Program Studi Diploma 3 Teknik Mesin
Fakultas Vokasi
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh :
Radityo Aryo Pratomo
NRP. 2113030015

Disetujui Oleh,
Dosen Pembimbing Tugas Akhir

KEMENTERIAN RISET, TEKNOLOGI DAN PENDIDIKAN TINGGI
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
FAKULTAS VOKASI
DEPARTEMEN TEKNIK MESIN INDUSTRI

Giri Nugroho S.T., M.Sc.
NIP. 197910292012121002

SURABAYA, JULI 2018

ANALISIS PENURUNAN PERFORMA PADA BOILER FEED PUMP SEBAGAI LANGKAH REACTIVE MAINTENANCE DI PT PJB UP GRESIK

Nama Mahasiswa : RADITYO ARYO P
NRP : 2113 030 015
Jurusan : D3 Teknik Mesin FTI – ITS
Dosen Pembimbing : Giri Nugroho S.T. M.Sc.

Abstrak

Boiler Feed Pump adalah salah satu *auxiliary machine* yang fungsinya sangat penting dalam suatu pembangkit listrik yang memanfaatkan tenaga uap. Fungsi utama dari *Boiler Feed Pump* ini adalah menaikkan tekanan air yang sudah di"murnikan" di deaerator yang nantinya akan diteruskan ke *Boiler*. Jika *Boiler Feed Pump* mengalami penurunan performa, maka efisieni sistem secara keseluruhan akan menurun. Oleh karena itu, untuk menjaga agar performa *Boiler Feed Pump* tetap optimal dibutuhkan suatu proses pemeliharaan atau maintenance

Pada tugas akhir ini akan membahas bagaimana proses maintenance dari *Boiler Feed Pump* yang mengalami penurunan performa pada PT. PJB UP Gresik PLTU Unit 4A. Penurunan performa pada *Boiler Feed Pump* tidak hanya disebabkan olehh faktor internal tapi juga eksternal,oleh karena itu dibutuhkan suatu metode yang mapu memberikan analisa kerusakan dengan tepat dan jelas. Pada penilitian kali ini digunakan metode *Visual Inspection.* Melalui analisa data yang didapatkan serta studi literatur, dapat ditarik kesimpulan melalui analisa yang dilakukan secara ilmiah.

Penurunan performa pada *Boiler Feed Pump* disebabkan oleh kerusakan pada *wearing ring* dan turunnya kemampuan dari motor pompa. Selain itu pemasangan packing pompa yang kurang presisi juga secara tidak langsung mempengaruhi turunnya performa dari *Boiler Feed Pump.*

***Kata Kunci** : Boiler Feed Pump , Root Cause Failure Analysis, maintenance*

Halaman ini sengaja dikosongkan

PERFORMANCE ANALYSIS ON BOILER FEED PUMP AS A STEP OF REACTIVE MAINTENANCE AT PT PJB UP GRESIK

Student Name : **RADITYO ARYO P**
NRP : **2113 030 015**
Major : **D3 Teknik Mesin ITS**
Conselor Lecture : **Giri Nugroho S.T, M.Sc**

Abstract

Boiler Feed Pump is one of the auxiliary machine whose function is very important in a power plant that utilizes steam power. The main function of this Feed Pump Boiler is to increase the water pressure that has been "purified" in the deaerator which will be forwarded to the Boiler. If the Feed Pump Boiler has decreased performance, the overall system efficiency will decrease. Therefore, to keep the Boiler Feed Pump performance optimal, a maintenance or maintenance process is needed

In this final project will discuss how the maintenance process of the Feed Pump Boiler has decreased performance at PT. PJB UP Gresik PLTU Unit 4A. The decrease of performance in Feed Pump Boilers is not only caused by internal but also external factors, therefore it is needed a method that mapu give proper and clear damage analysis. In this study the Visual Inspection method was used. Through data analysis obtained and literature studies, conclusions can be drawn through scientific analysis.

Decreasing performance in the Boiler Feed Pump is caused by damage to the wearing ring and decreased ability of the pump motor. In addition, the installation of less precision pumping pumps also indirectly affects the decrease in performance of the Boiler Feed Pump.

Keywords *: Maintenance, Boiler Feed Pump,Root Cause Failure Analysis*

Halaman ini sengaja dikosongkan

KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan atas kehadirat Tuhan Yang Maha Esa yang telah memberikan rahmat, hidayah, dan petunjuk-Nya, sehingga tugas akhir ini dapat terselesaikan. Penulis sangat menyadari bahwa keberhasilan dalam penulisan tugas akhir ini tidak terlepas dari dukungan dan bantuan berbagai pihak. Melalui kesempatan ini, penulis ingin menyampaikan terimakasih kepada pihak-pihak yang telah banyak membantu dalam proses penyelesaian tugas akhir ini antara lain:

1. Orang tua penulis, Ibu Margaretha Alta A, Bapak Farid Joelianto Trilaksono, Adik Rahadian Satrio Buwono dan Adik Ravina Natasha Trimaharani, keluarga penulis yang selalu berdoa, dan memberikan dukungan moral dan materi serta nasehat agar selalu bersemangat dan pantang menyerah. Terimakasih atas motivasi dan kasih sayang yang selalu diberikan demi kesuksesan penulis.
2. Bapak Giri Nugroho S.T. M.Sc. selaku dosen wali sekaligus dosen pembimbing tugas akhir yang selalu memberikan ilmu – ilmu yang bermanfaat, saran, serta membimbing penulis. Terimakasih atas waktu dan kesabaranya dalam membimbing penulis dalam penyelesaian tugas akhir.
3. Bapak Ir. Suhariyanto, MSc, selaku koordinator tugas akhir sekalgus Ketua Program Studi D3 Teknik Mesin.
4. Bapak Ir. Denny M.E. Soedjono, MT, Bapak Dedy Zulhidayat Noor, S.T., M.T., Ph.D, Bapak Ir Winarto, DEA selaku dosen penguji. Terima kasih atas saran dan kritikan yang telah diberikan
5. Bapak Ali selaku kepala dari PJB Academy yang memberikan ijin untuk pengambilan data meskipun waktu sudah mepet
6. Bapak Ismail selaku mentor di PLTU PT. PJB UP Gresik. Terimakasih atas segala bimbingan dan ilmu yang telah diberikan kepada penulis.

7. Mas Nata dari Rendal OP, Pak Subaydi dan Mas Huda dari Rendal outage. Terima kasih atas bantuannya dalam proses pengambilan dan pencarian data
8. Teman – teman D3 Teknik Mesin angkatan 2013 yang telah menemani selama 3 tahun terimakasih atas semuanya.
9. Yang terbaik teman teman dari D3 Teknik Mesin ITS yang masih kuliah di LJ Teknik Mesin ITS yang senantiasa memberikan motivasi dan masukan.
10. Seluruh Civitas Akademik D3 Teknik Mesin FTI-ITS.
11. Serta seluruh pihak yang belum disebutkan di atas dimana telah memberikan do'a bantua dan dukungan bagi penulis hingga tugas akhir ini selesai dengan baik.

Penulis menyadari masih banyak kekurangan dalam penyusunan tugas akhir ini. Oleh karena itu, penulis mengharapkan saran dan masukan dari semua pihak. Semoga tugas akhir ini dapat memberikan manfaat bagi perkembangan pengetahuan.

Surabaya, Juli 2018

Penulis

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL i
LEMBAR PENGESAHAN iii
ABSTRAK v
KATA PENGANTAR ix
DAFTAR ISI xi
DAFTAR GAMBAR xiii
DAFTAR TABEL..... xv

BAB I PENDAHULUAN 1
1.1. Latar Belakang 1
1.2. Rumusan Masalah..... 2
1.3. Batasan Masalah 2
1.4. Tujuan Penulisan anfaat 3
1.5. Manfaat Penulisan 3
1.6. Sistematika Penulisan 3

BAB II DASAR TEORI 5
2.1. Gambaran Umum Pompa Sentrifugal 5
2.1.1. Fungsi Pompa Sentrifugal 6
2.2. Boiler Feed Pump 8
2.3. Motor Pompa..... 9
2.3.1. Konstruksi Motor 3 Fasa 10
2.4. Wearing Ring 14
2.5. Packing Pompa 15
2.6. O-Ring 16
2.7. Reactive Maintenance 17
2.8. Preventive Maintenance 19
2.9. Predictive maintenance 23
2.3.1. Manfaat dan Tujuan Predictive Maintenance 24
2.3.2. Metode Predictive Maintenance 26
2.10 Fault Tree Analysis 32

BAB III METODOLOGI 35
3.1. Diagram Alir Analisa 35
3.2. Tahap Identifikasi 36
3.3. Tahap Pengumpulan Data dan Analisa 38
3.3.1. Diagram Alir Pengolahan RCFA 39
3.4. Tahap Penarikan Kesimpulan dan Saran 40

BAB IV ANALISIS DAN PEMBAHASAN 41
4.1. Spesifikasi Boiler Feed Pump 41
4.2. Fault Tree analysis 42
4.3. Hasil Analisa Data 43
4.3.1 Over Clearance pada Wearing Ring 44
4.3.2 Kemampuan Motor Pernggerak Turun 48
4.3.3 Packing Cover Barrel Mengalami Kebocoran 51
4.3.4 Terjadinya Aliran Balik ke Deaerator yang Disebabkan Kebocoran Valve Minimu Flow 53
4.4. Troubleshooting 56
4.4.1 Solusi yang diberikan 56
4.4.2 Preventive Maintenance 62
4.4.3 Predictive Maintenance 64

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN..... 67
5.1. Kesimpulan 67
5.2. Saran 67

DAFTAR PUSTAKA
LAMPIRAN
BIODATA

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Pompa Sentrifugal 12
Gambar 2.2 Bagian – Bagian Pompa Sentrifugal 14
Gambar 2.3 Penggunaan Pompa Sentrifugal 18
Gambar 2.4 Penggunaan Pompa Sentrifugal 19
Gambar 2.5 Penggunaan Pompa Sentrifugal 20
Gambar 2.6 Boiler Feed Pump 20
Gambar 2.7 Bagian – Bagian Motor 21
Gambar 2.8 Frame Stator 21
Gambar 2.9 Inti Stator 11
Gambar 2.10 Winding Stator 12
Gambar 2.11 Winding Stator Squirel Cage 13
Gambar 2.12 Lip Ring Design 14
Gambar 2.13 Wearing Ring 14
Gambar 2.14 Wearing Ring Tampak Depan dan Samping .. 15
Gambar 2.15 Packing Pompa Dengan Seal 16
Gambar 2.16 Rubber Gasket 16
Gambar 2.17 Proses Analisa Vibrasi 26
Gambar 2.18 Proses Termography 28
Gambar 3.1 Diagram Alir Analisa 35
Gambar 3.2 Diagram Alir Pengolahan RCFA 25
Gambar 4.1 Fault Tree Analysis *Boiler Feed Pump* OT PJB UP GRESIK Unit 4A 28
Gambar 4.2 Perbandingan Performa *Boiler Feed Pump* 29
Gambar 4.3 Volute Chamber BFP 4A 29
Gambar 4.4 Impeller BFP 4A 30
Gambar 4.5 Posisi Wearing Ring 32
Gambar 4.6 Hasil Pengukuran Wearing Ring 33
Gambar 4.7 Hasil Pengukuran Wearing Ring 34
Gambar 4.8 Wearing Ring yang Mengalami Internal Worn Out 36
Gambar 4.9 Grafik Performa Motor BFP 4A 41
Gambar 4.10 Stator 43
Gambar 4.11 Belitan Pada Stator 45
Gambar 4.12 Cover Barrel 53
Gambar 4.13 Minimu Flow Valve 54

Gambar 4.14 Posisi Minimum Flow Valve 55
Gambar 4.15 Seat Valve 55
Gambar 4.16 Disk Valve 56
Gambar 4.17 Proses Ppembersihhan Impeller 57
Gambar 4.18 Wearing Ring Baru 57
Gambar 4.19 Pembersihan Winding Stator 58
Gambar 4.20 Rewinding Pada Stator 59
Gambar 4.21 Gasket Baru 60
Gambar 4.22 Posisi Throttle Orifice .....

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Istilah Dalam Fault Tree Analysis 33
Tabel 2.2 Simbol – Simbol Dalam Fault Tree Analysis 33
Tabel 4.1 Spesisfikasi Boiler Feed Pump Unit 4A 41
Tabel 4.2 Log Sheet Test Performa BFP PLTU Unit 4A .. 63

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB I
PEDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Listrik merupakan salah satu kebutuhan manusia yang sangat penting oleh karena itu terdapat banyak pembangkit listrik, termasuk di Indonesia. Pembangkit listrik di Indonesia memanfaatkan berbagai macam tenaga seperti tenaga air, tenaga uap, tenaga gas, dll. Salah satu pembangkit listrik yang memanfaatkan tenaga uap adalah PT Pembangkitan Jawa Bali Unit Pembangkit Gresik (PT PJB UP Gresik).

PT PJB UP Gresik adalah salah satu penghasil listrik bagi wilayah Jawa Timur. Dalam melaksanakan pekerjannya, PT PJB UP Gresik melakukan serangkaian proses panjang yang ditunjang dengan peralatan dan mesin-mesin yang beragam. Namun, proses produksi PT PJB UP Gresik tidak selalu berjalan lancar. Hal tersebut dikarenakan sering terjadi permasalahan/kegagalan pada kompone-koponen pada mesi yang digunakan. Sehhingga mesin-mesin tersebut mengalami penurunan performa dan mengganggu proses produksi pembangkit listrik tersebut. Salah satu mesin yang sering mengalami penurunan performa adalah boiler feed pump.

Boiler feed pump adalah mesin yang berfungsi untuk memompa feed water dari deaerator menuju ke tangki boiler untuk selanjutnya diubah menjadi uap. Akan tetapi, apabila boiler feed pump pada PT PJB UP Gresik mengalami penurunan performa akan mengakibatkan penurunan efisiensi *overall* sistem yang nantinya akan merugikan perusahaan apabila tidak segera diatasi. Maka dari itu, ketika terjadi penurunan performa, PT PJB UP Gresik harus segera melaksanakan reactive maintenance.

Untuk mengatasi permasalahan pada boiler feed pump di PT PJB UP Gresik, kita harus menganalisis kerusakan-kerusakan dan penyebabnya sehingga dapat ditentukan langkah reactive maintenance yang tepat. Berdasarkan hal tersebut, maka penulis melakukan penelitian ini dengan tujuan untuk menganalisispermasalahan yang terjadi pada boiler feed pump dan penyebabnya beserta langka-langkh reactive maintenance yang haru dilakukan.

1.2. Rumusan Masalah

Dengan mengetahui hasil pengamatan yang ada maka didapat beberapa rumusan masalah sebagai berikut:

a. Apa saja jenis kerusakan yang terjadi pada Boiler Feed Pump di PT PJB-UP GRESIK Unit 4A?
b. Apa saja penyebab terjadinya kerusakan pada Boiler Feed Pump di PT PJB-UP GRESIK Unit 4A?
c. Bagaimana cara menanggulangi kerusakan yang terjadi pada Boiler Feed Pumpdi PT PJB-UP GRESIK Unit 4A?

1.3. Batasan Masalah

Batasan masalah yang di berikan untuk Tugas Akhir ini adalah sebagai berikut:

a. Semua data yang ada di ambil, berasal dari perpustakaan, CCR, engineer, dan operator pada PT PJB UP Gresik.
b. Analisis kegagalan yang diamati hanya pada Boiler Feed Pump (BFP) PLTU Unit 4A PT. PJB UP Gresik.
c. Metode yang digunakan dalam analisiskegagalan adalah metode rood cause failure analysisjenis visual inspection.

d. Analisa kegagalan dan langkah maintenance yang dilakukan hanya sebatas untuk keperluan reactive maintenance.

1.4. Tujuan Penulisan

Dengan mengacu latar belakang serta rumusan masalah yang ada maka tujuan penulisan Tugas Akhir ini adalah:

a. Mengetahuijenis kerusakan yang terjadi pada Boiler Feed Pump di PT PJB-UP GRESIK Unit 4A.
b. Mengetahui penyebab terjadinya kerusakan pada Boiler Feed Pump di PT PJB-UP GRESIK Unit 4A.
c. Mengetaui cara menanggulangi kerusakan yang terjadi pada Boiler Feed Pumpdi PT PJB-UP GRESIK Unit 4A.

1.5. Manfaat Penulisan

Manfaat penulisan laporan tugas akhir ini adalah :

1. Memberikan pengetahuan tentang Boiler Feed Pump
2. Menjadi pembelajaran tentang cara menanggulangi kerusakan pada Boiler Feed Pump
3. Menjadi referensi pihak PT. PJB UP Gresik untuk melakukan perawatan terhadap *Boiler Feed Pump*.
4. Sebagai referensi untuk meningkatkan effisiensi pembangkit dalam hal teknik

1.6. Sistematika Penulisan

Laporan Tugas Akhir ini terdiri atas 5 bab, berdasarkan penulisan – penulisan tertentu, yang nantinya diharapkan agar pembaca lebih mudah dalam memahaminya. Sistematika penulisannya sebagai berikut:

BAB I PENDAHULUAN

Pada bab ini berisikan tentang Latar Belakang, Perumusan Masaalah, Batasan Masalah, Tujuan Penulisan, Manfaat Penulisan dan Sistematika Penulisan

BAB II LANDASAN TEORI

Pada bab ini berisikan teori teori yang mendasarkan penyusunan laporan Tugas Akhir secara umum yang berhubungan dengan Boiler Feed Pump dan proses maintenance nya

BAB III METODOLOGI

Pada bab ini berisikan metode pengerjaan dan pengambilan data Tugas Akhir

BAB IV ANALISA DATA

Pada bab ini terdapat tentang apa saja yang menjadi penyebab – penyebab kerusakan yang sering terjadi pada Boiler Feed Pump dan bagaimana cara mengatasinya dengan metode RCFA

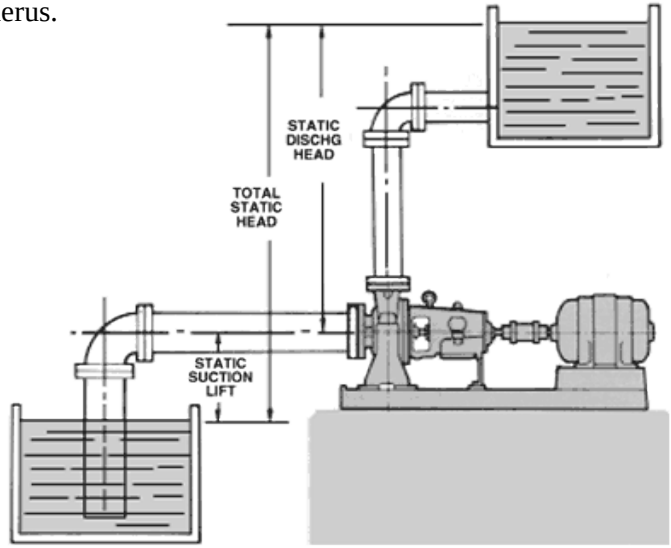
BAB V PENUTUP

Pada bab ini berisi kesimpulan atas penyusunan Tugas Akhir dan saran bagi PT PJB UP Gresik serta bagi penelitian selanjutnya

BAB II
LANDASAN TEORI

2.1 Gambaran Umum Pompa Sentrifugal

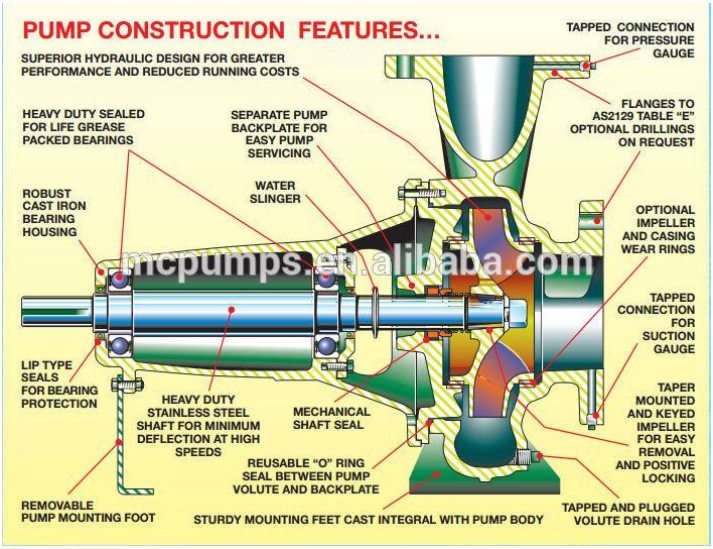
Pompa adalah suatu alat atau mesin yang digunakan untuk memindahkan cairan dari suatu tempat ke tempat yang lain melalui suatu media perpipaan dengan cara menambahkan energi pada cairan yang dipindahkan dan berlangsung secara terus menerus.



Gambar 2. 1 Pompa Sentrifugal
(*Pump Handbook*, 1993)

Pompa beroperasi dengan prinsip membuat perbedaan tekanan antara bagian masuk (suction) dengan bagian keluar (discharge). Dengan kata lain, pompa berfungsi mengubah tenaga mekanis dari suatu sumber tenaga (penggerak) menjadi tenaga kinetis (kecepatan), dimana tenaga ini berguna untuk mengalirkan cairan dan mengatasi hambatan yang ada sepanjang pengaliran.

Salah satu jenis pompa pemindah non-positif adalah pompa sentrifugal yang prinsip kerjanya mengubah energi kinetis (kecepatan) cairan menjadi energi potensial (dinamis) melalui suatu impeller yang berputar dalam casing. Sesuai dengan data – data yang didapat, pompa reboiler debutanizer di Hidrokracking Unibon menggunakan pompa sentrifugal single - stage double suction.

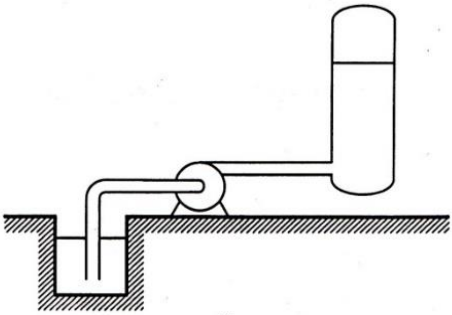


Gambar 2. 2 Bagian- bagian Pompa Sentrifugal (alibaba.com, 2008)

2.1.1. Fungsi Pompa Sentrufugal

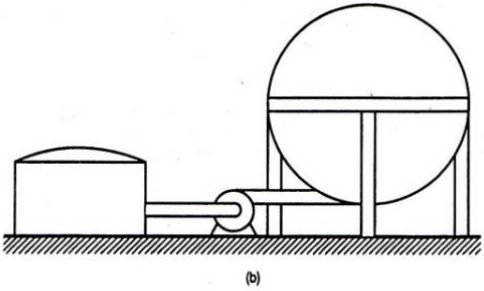
Pompa sentrifugal diaplikasikan dibanyak tipe berbeda dari penyaluran liquid. Tetapi, aplikasi ini dan dijabarkan menjadi 3 kategori fungsi dasar atau gabungan,yaitu :

1. Untuk menaikkan liquid dari satu level ke level lainnya. Dari tangki penyimpanan bawah ke tanki yang lebih tinggi.



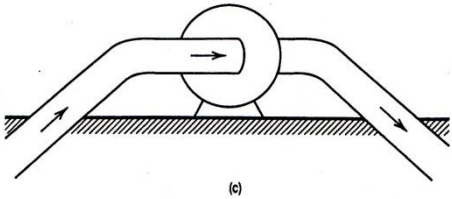
Gambar 2. 3 Penggunaan Centrfugal Pump
(*Centrifugal Pump Sourcebook*, 1992)

2. Untuk mengangkat liquid sampai bejana pada tekanan tinggi oleh penanggulangan tekanan internal. Sebuah boiler feed pump mengambil suction dari tangki penyimpanan operasi dibawah tekanan atmosfir dan discharge menuju boiler tekanan tinggi.



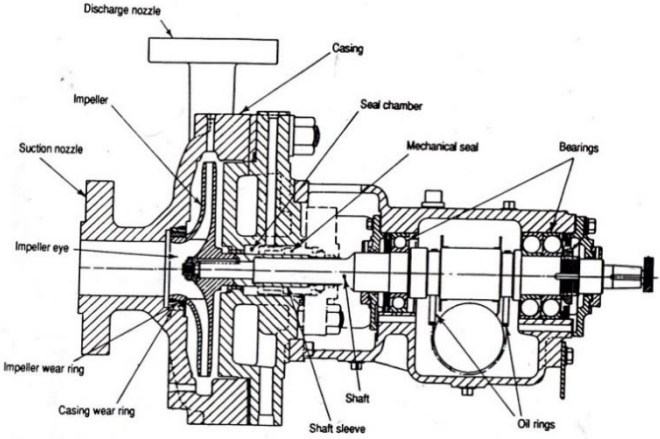
Gambar 2. 4 Penggunaan Centrfugal Pump
(*Centrifugal Pump Sourcebook*, 1992)

3. Untuk mengankat liquid melewati pipa oleh overcoming piping dan rugi – rugi fitting friction.



Gambar 2. 5 Penggunaan Centrfugal Pump
(*Centrifugal Pump Sourcebook*, 1992)

2.2 Boiler Feed Pump



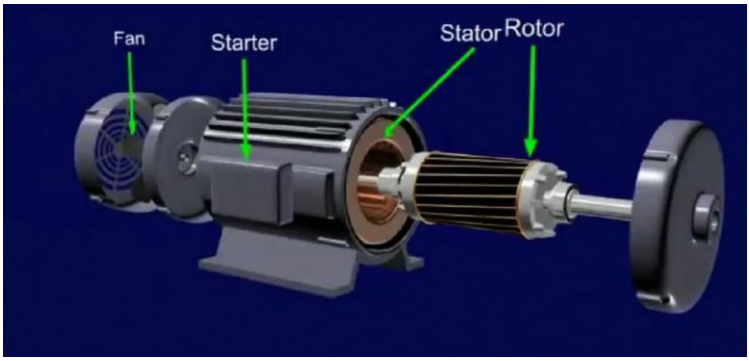
Gambar 2. 6 Boiler Circulating Pump
(*Centrifugal Pump Sourcebook*, 1992)

Boiler Feed Pump adalah pompa sentrifugal yang bekerja sebagai feed water pada sebuah Pembangkit Listrik tenaga Uap. Pompa ini berfungsi untuk mengontrol dan mensupply air pada jumlah tertentu yang berasal dari tanki air (Deaerator) menuju

boiler dengan spesifikasi tekanan tertentu. Air tersebut sebelum masuk ke boiler biasanya mengalami pemanasan awal (pre-heating). Sehingga air yang dipompa oleh BFWP juga memiliki temperatur tertentu yang cukup panas dimana biasanya mencapai 131 bar dan 332ºC.

2.3 Motor Pompa

Motor dalam dunia kelistrikan ialah mesin yang digunakan untuk mengubah energi listrik menjadi energi mekanik. Salah satu motor listrik yang umum digunakan dalam banyak aplikasi ialah motor induksi. Motor induksi merupakan salah satu mesin asinkronous (asynchronous motor) karena mesin ini beroperasi pada kecepatan di bawah kecepatan sinkron. Kecepatan sinkron sendiri ialah kecepatan rotasi medan magnetik pada mesin. Kecepatan sinkron ini dipengaruhi oleh frekuensi mesin dan banyaknya kutub pada mesin. Motor induksi selalu berputar dibawah kecepatan sinkron karena medan magnet yang terbangkitkan pada stator akan menghasilkan fluks pada rotor sehingga rotor tersebut dapat berputar. Namun fluks yang terbangkitkan pada rotor mengalami lagging dibandingkan fluks yang terbangkitkan pada stator sehingga kecepatan rotor tidak akan secepat kecepatan putaran medan magnet.



Gambar 2. 7 Bagian- bagian Motor
(alibaba.com, 2008)

Berdasarkan suplai input yang digunakan terdapat 2 jenis motor induksi, yaitu motor induksi 1 fasa dan motor induksi 3 fasa. Dalam artikel ini hanya akan dijelaskan mengenai motor induksi 3 fasa, namun untuk prinsip kerjanya sendiri kedua jenis motor induksi tersebut memiliki prinsip kerja yang sama. Yang membedakan dari kedua motor induksi ini ialah motor induksi 1 fasa tidak dapat berputar tanpa bantuan putaran dari luar pada awal motor digunakan, sedangkan motor induksi 3 fasa dapat berputar sendiri tanpa bantuan gaya dari luar.

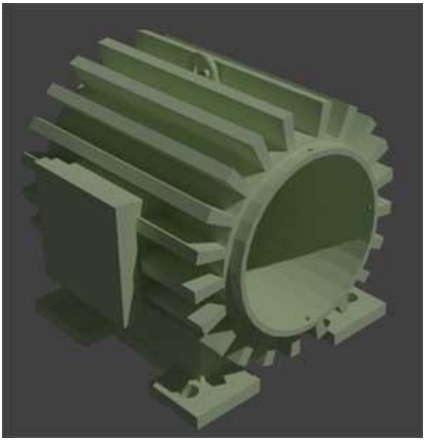
2.3.1 Knstruksi Motor 3 Fasa

Sama seperti mesin – mesin listrik pada umumnya, motor 3 fasa memiliki 2 komponen penting yaitu stator dan rotor

- **Stator**

  merupakan komponen yang tidak berputar pada mesin. Pada komponen ini dipasang stator winding berupa kumparan. Stator ini dihubungkan dengan suplai 3 fasa untuk memutar rotor. Stator sendiri memiliki 3 bagian penting:

  1. Frame



Gambar 2. 8 Frame Stator
(electrical4u.com)

Frame merupakan bagian terluar dari stator. Berfungsi sebagai tempat untuk memasang inti stator (stator core) dan juga melindungi keseluruhan komponen dari gangguan benda benda dari luar (seperti batu yang dilemparkan ke motor atau semacamnya). Umumnya frame dibuat dari besi agar frame menjadi kuat. Dalam konstruksinya, air gap (celah udara) pada motor haruslah sangat kecil agar rotor dan stator konsentris dan mencegah induksi yang tidak merata. Air gap yang dimaksud disini ialah celah yang mungkin terbentuk pada permukaan frame bukan lingkaran besar seperti pada gambar, karena lingkaran tersebut akan diisi oleh inti stator dan rotor.

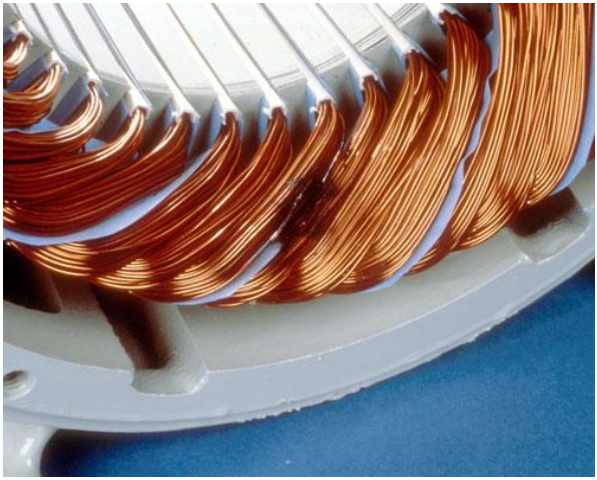
2. Inti

Gambar 2. 9 Inti Stator
(electrical4u.com)

Inti stator merupakan tempat dimana stator winding dipasang. Inti stator bertugas untuk menghasilkan fluks. Fluks ini dihasilkan oleh kumparan pada stator winding dan dialiri oleh arus 3 fasa dari suplai

3 fasa. Untuk mencegah arus eddy yang besar pada stator winding umumnya inti stator dilapisi oleh lamina. Lamina sendiri terbuat oleh campuran besi silikon untuk mencegah rugi-rugi histerisis. Pada inti stator juga dipasang kutub-kutub magnet untuk menghasilkan fluks

3. Winding



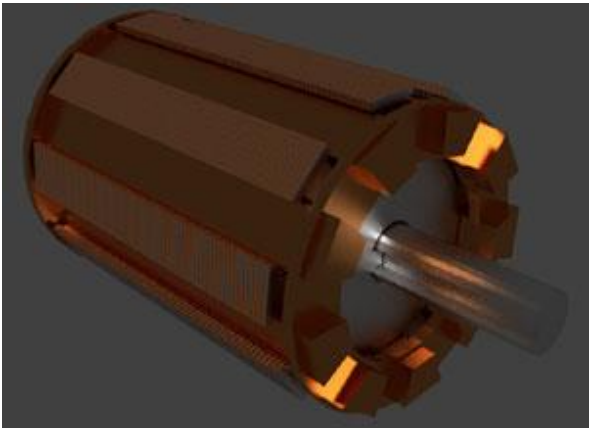
Gambar 2.10 Winding Stator
(electrical4u.com)

Stator winding merupakan kumparan yang masing-masing kumparannya dihubungkan menjadi rangkaian star atau delta, tergantung dari bagaimana metode untuk memutar mesin yang digunakan dan jenis rotor yang digunakan. Untuk rotor jenis sarang tupai umumnya menggunakan rangkaian delta sedangkan rotor jenis slip ring bisa menggunakan salah satu dari keduanya. Stator winding dipasang pada sela-sela inti stator dan berfungsi untuk menghasilkan fluks. Stator winding juga dikenal sebagai kumparan medan.

- **Rotor**

Merupakan bagian yang dapat berputar dari motor. Rotor dihubungkan dengan beban yang akan diputar dengan sebuah shaft yang terpasang pada pusat rotor. Berdasarkan konstruksinya, rotor dibagi menjadi 2 macam:

1. Sarang Tupai (Squirel Cage)



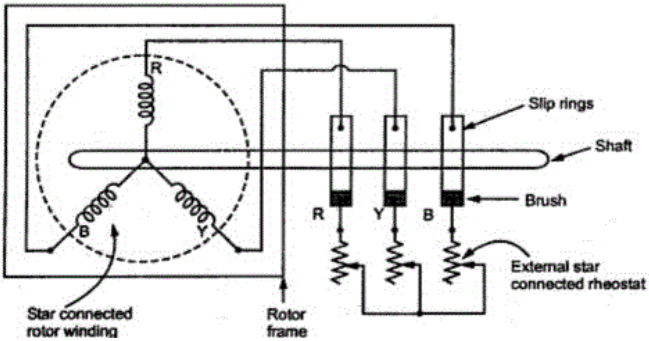
Gambar 2. 11 Winding Stator Squirel Cage (Electrical4u.com)

Rotor tipe ini memiliki bentuk seperti roda gear, berbentuk tabung dan diberi beberapa slot dipermukaannya. Slot ini tidak dibuat lurus namun sedikit miring untuk memperhalus kerja motor dan membuat "konduktor" pada rotor. Dikedua ujung rotor dipasang cincin alumunium. Umumnya rotor jenis ini terbuat dari alumunium atau tembaga. Rotor jenis ini sangat sering digunakan karena mudah dibuat dan dapat digunakan berapapun kutub pada stator. Rotor jenis ini dapat ditemui pada kipas angin dan blower pada printer.

2. Slip Ring

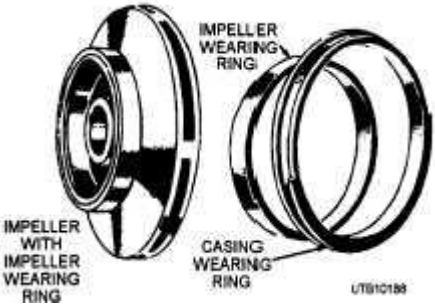
Rotor tipe ini memiliki rangkaian kumparan pada ujungnya dan memiliki sejumlah slip ring di belakangnya. Tiap kumparan terhubung dengan salah satu slip ring

dimana masing-masing slip ring juga terhubung dengan rangkaian yang sama dengan rangkaian kumparannya. Semisal rangkaian kumparannya berbentuk star maka rangkaian slip ring juga berbentuk star. Umumnya ditiap slip ring dipasang rheostat sehingga kecepatan putaran motor dapat diatur dengan mudah. Umumnya rotor jenis ini digunakan untuk beban-beban besar seperti untuk menggerakkan elevator atau lift.



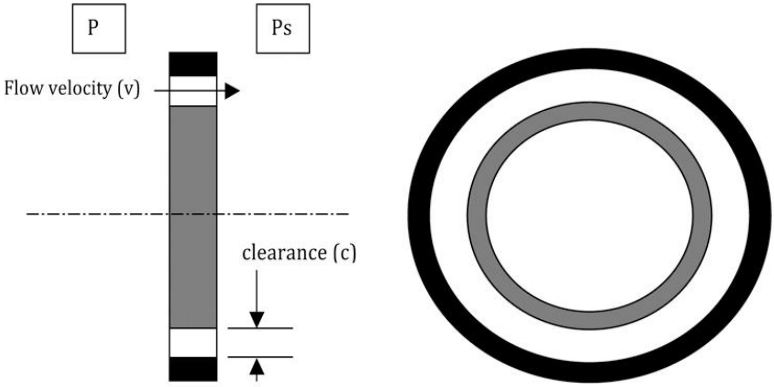
Gambar 2. 12 Slip Ring Design
(Electrical4u.com)

2.4 Wearing Ring



Gambar 2. 13 Wearing Ring
(Alibaba.com)

Wearing ring adalah salah satu komponen utama pada pompa sentrifugal yang berfungsi untuk mencegah keausan pada impeller. Meskipun demikian, wearing ring baru pertama kali diciptakan pada tahun 1970 dikarenakan pada saat itu biaya perawatan dan penggantian impeller yang terlalu mahal menuntut adanya improvisasi dengan tujuan meminimalisir kerugian. Selain meminimalisir kerugian, wearing ring juga mampu meningkatkan efisiensi pompa secara keseluruhan dikarenakan dengan menggunakan wearing ring, internal loss pada packing pompa dapat diminimalisir atau dihilangkan sehingga dapat dikatakan pemasangan wearing ring dapat meningkatkan *overall profit.*

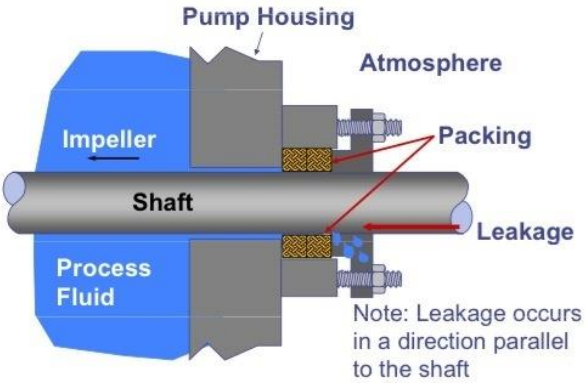


Gambar 2. 14 Wearing Ring Tampak Depan dan Samping (alibaba.com,2008)

2.5 Packing Pompa

Pompa, apapun jenisnya, pasti terdiri dari dua bagian utama yang menyusunnya yakni bagian yang stasioner (diam) dalam hal ini adalah *casing* pompa, serta bagian yang berputar yakni poros dan impeller. Di antara kedua bagian tersebut terdapat area yang mempertemukan secara langsung fluida kerja yang dipompa dengan atmosfer. Pada titik inilah keberadaan sistem *seal* pada pompa diperlukan. Sistem *seal* pada pompa berfungsi untuk mengurangi seminimal mungkin terjadinya kebocoran fluida kerja

di area pertemuan antara sisi *casing* pompa dengan rotornya atau dengan pipa penyalur fluida kerja



Gambar 2. 15 Packing Pompa dengan Seal
(Electrical4u.com)

2.6 O – Ring

Sebuah O-ring adalah bentuk cincin yang sangat lunak yang terbuat dari bahan alami atau karet synthetic atau plastik. Dalam pemakaianya O-ring biasanya dikompres antara dua permukaan sebagai seal, O-ring sering digunakan sebagai static seal yang fungsinya sama dengan gasket.

Gambar 2. 16 Rubber Gasket
(alibaba.com,2008)

Untuk penyekat pada aplikasi yang bertekanan tinggi di atas 5500 kPa (800 psi) sering O-ring ditambahkan dengan back-up ring untuk mencegah kebocoran yang ditimbulkan oleh adanya celah antara dua permukaan. Pressure back-up ring biasanya terbuat dari bahan plastik yang berfungsi untuk memperpanjang usia O-ring.

Pada saat pemasangan O-ring seal, yakinkan semua permukaan bersih dari kotoran dan debu. Periksa O-ring seal dari kotoran, debu, goresan (screth) dan cacat lainya yang akan menyebabkan kebocoran.

2.7 Reactive Maintenance

Reactive maintenance adalah - Suatu kegiatan perbaikan setelah kondisi pada peralatan/mesin mengalami kerusakan. *Reactive maintenance* tidak bisa dihindarkan karena peralatan/mesin dioperasikan terus menerus, sehingga segala kemungkinan bisa terjadi. Yang terpenting adalah meminimalisir problem yang bisa timbul, sehingga perbaikan yang bersifat reaktif bisa di hindari. *Reactive maintenance* terdiri dari 2 tipe , yaitu :

1. *Corrective maintenance*, merupakan tindakan perbaikan ketika sudah terjadi kegagalan/problem.
2. *Detective maintenance*, merupakan tindakan mendeteksi atau melakukan pengecekan ketika kegagalan sudah terjadi.

Pada umumnya, reactive maintenance dapat dikatakan sebagai metode maintenance yang paling time efficient dan cost efficient dikarenakan pada prosesnya tidak diperlukan initial cost (biaya) dan tidak memerlukan banyak waktu dalam perencanaannya dibandingkan preventive maintenance. Oleh karena itu, meskipun memberikan solusi yang baik untuk memperbaiki suatu masalah, reactive maintenance tidaklah dianjurkan untuk dijadikan solusi

utama. Terutama pada sistem yang diharuskan beroperasi dalam waktu lama, contohnya pada proses pembangkitan listrik.

Reactive maintenance memang mampu memberikan solusi yang tepat dan efisien,akan tetapi resiko yang dihadapi juga cukup besar. Jika terjadi kerusakan yang parah sewaktu-waktu,maka proses produksi akan terhambat dikarenakan kita harus menghentikan kerja komponen sehingga akan berdampak profit yang dihasilkan. Selain itu reactive maintenance yang bersifat sewaktu – waktu dan sulit diprediksi terkadang menyebabkan para operator harus bekerja lembur dan harus dibayar lebih. Dan juga ketersediaan spare part di gudang harus selalu dijaga dan terkadang akan ada spare part yang terbuang percuma. Kadang terjadi juga kasus dimana spare part yang dibutuhkan tidak ada di gudang seingga instansi atau perusahaan harus memesan spare part yang ada secara cepat dan eksklusif yang ana membuthkan biaya yang lebih mahal dan waktu yang cukup lama.

Setalah dilakukan reactive maintenance, sistem biasanya akan mengalami penurunan performa dikarenakan mesin atau komponen yang sudah diperbaiki kondisinya tidak akan mencapai 100% kembali dikarenakan tujuan utama dari reactive maintenance adalah untuk membuat siistem kembali beroperasi meskipun tidak optimal. Oleh karena itu reactive maintenance tidak dianjurkan untuk dilakukan secara terus menerus dikarenakan akan menurunkan profit secara keseluruhan, dan bahkan menyebabkan terjadinya kerugian.

Sifat reactive maintenance yang mendadak juga salah satu faktor yang menyebabkan reactive maintenance harus dikurangi. Hal ini dikarenakan proses dilakukannya maintenance harus dilakukan secara cepat agar sistem bisa kembali beroperasi sehingga data – data penting yang bisa didapat selama proses maintenance tidak dapat diarsip secara sempurna. Selain itu jika terjadi kerusakan secara bersama – sama di berbagai tempat akan berpotensi mengakiatkan kekacauan yang bisa menimbulkan safety issue.

2.8 Predictive Maintenance

Preventive maintenance adalah suatu pengamatan secara sistematik disertai analisis teknis-ekonomis untuk menjamin berfungsinya suatu peralatan produksi dan memperpanjang umur peralatan yang bersangkutan. Tujuan preventive maintenance adalah untuk dapat mencapai suatu tingkat pemeliharaan terhadap semua peralatan produksi agar diperoleh suatu kualitas produk yang optimum. Adapun kegiatan Preventive Maintenance meliputi:

1. Inspeksi (inspection), adalah kegiatan pemeliharaan periodik untuk memeriksa kondisi komponen peralatan peralatan produksi dan area sekitar peralatan produksi. Lihat, rasa, dengar, adalah kegiatan pemeliharaan untuk memeriksa kondisi peralatan melalui penglihatan, perasaan dan pendengaran.
2. Pemeliharaan berjalan (running maintenance), adalah kegiatan pemeliharaan yang dilaksanakan tanpa mengehentikan kerja peralatan.
3. Penggantian komponen kecil (small repair), adalah kegiatan pemeliharaan yang berupa penggantian komponen kecil.
4. Pemeliharaan berhenti (shutdown maintenance), adalah pemeliharaan yang dapat dilakukan hanya pada saat peralatan produksi berhenti.

Dengan memanfaatkan prosedur maintenance yang baik, dimana terjadi koordinasi yang baik antara bagian produksi dan maintenance maka akan diperoleh:

1. Kuantitas Stop peralatan produksi dapat dikurangi (down time peralatan produksi diperkecil)
2. Biaya perbaikan yang mahal dapat dikurangi
3. Interupsi terhadap jadwal yang telah direncanakan waktu produksi maupun pemeliharaan dapat dihilangkan atau dikurangi.

Salah satu dari tujuan Preventive Maintenance adalah untuk menemukan suatu tingkat keadaan yang menunjukan gejala kerusakan sebelum alat-alat tersebut mengalami kerusakan fatal.

Hal ini dapat dilakukan dengan jalan membuat perencanaan dan penjadwalan kegiatan maintenance dengan interupsi sekecil mungkin terhadap proses produksi.

Pada dasarnya tidak cukup hanya dengan membuat perencanaan penjadwalan (scheduled maintenance) yang matang akan tetapi perlu diperhatikan usaha-usaha untuk memusatkan perhatian pada unit-unit peralatan produksi yang dianggap rawan dan kritis. Suatu kualifikasi terhadap unit yang rawan didasarkan pada:

1. Kerusakan pada unit tersebut dapat membahayakan kesehatan atau keselamatan kerja.
2. Kerusakan dapat mempengaruhi jalannya proses produksi dan kualitas produk.
3. Kerusakan dapat menyebabkan proses produksi terhenti.
4. Modal yang tertanam pada unit tersebut dinilai cukup tinggi.

Untuk memelihara atau memeriksa seluruh unit secara ketat dan teratur hanya sekedar menghilangkan kemungkinan kerusakan pada peralatan produksi adalah suatu usaha yang tidak praktis karena memerlukan manusia-manusia dengan persyaratan tinggi dan biaya yang tidak sedikit. Akibat bentuk dan saat terjadinya gangguan sangat sulit untuk diperkirakan secara dini, maka pemeliharaan perlu dilakukan secara teratur dan periodik dari waktu ke waktu terhadap semua unit instalasi. Untuk melakukan hal tersebut maka dibutuhkan usaha-usaha pemeliharaan yang antara lain meliputi :

1. Pemeliharaan rutin
2. Pemeliharaan (sifatnya perbaikan) kecil/medium
3. Bongkar seluruhnya (overhaul)

Pemeliharaan rutin adalah usaha pemeliharaan terhadap unit-unit instalasi yang dilakukan secara rutin dan periodik dengan interval waktu pelaksanaan yang tetap dan singkat.

Jenis pekerjaan yang termasuk dalam pemeliharaan rutin pada dasarnya adalah usaha pemeliharaan yang dilakukan tanpa melelui proses pembongkaran. Bentuk pekerjaan dalam pemeliharaan rutin antara lain adalah:

1. Inspeksi rutin adalah merupakan peninjauan secara visual terhadap kondisi fisik komponen dari unit instalasi peralatan produksi. Pekerjaan ini biasanya dilakukan secara rutin setiap satu hari sampai satu minggu sekali, tergantung kebutuhan.
2. Pengetesan rutin, merupakan usaha untuk mengatur atau memantau kondisi kerja suatu komponen sacara rutin agar komponen dapat diusahakan untuk beroperasi pada kondisi normal.

Kegiatan-kegiatan yang umum dilakukan dalam pemeliharaan rutin misalnya :

1. Memeriksa fungsi dari mekanisme komponen
2. Memeriksa dan menyetel (adjustment)
3. Membersihkan
4. Mengencangkan bagian-bagian yang kendur

Pemeliharaan kecil/medium adalah usaha perbaikan-perbaikan ringan terhadap gejala gangguan yang berhasil terdeteksi selama pemeriksaan rutin. Perbaikan ringan sangat penting peranannya dalam mencapai tingkat keberhasilan proses pemeliharaan yang dilakukan terhadap suatu komponen unit instalasi.

Kegiatan Overhaul pada mesin biasanya dilakukan secara periodik dan sangat teratur serta mempunyai konsentrasi dan perhatian yang lebih dibanding pemeriksaan rutin dan pemeliharaan kecil. Pada kegiatan ini dilakukan pembongkaran mesin untuk mengecek kondisi komponen mesin secara menyeluruh dimana dimaksudkan untuk mengetahui kemungkinan kerusakan yang terjadi pada mesin yang tidak dapat diketahui hanya dengan pemeriksaan rutin. Contoh kegiatan seperti ini misalnya pada penggantian batu tahan api di tanur/kiln pabrik semen.

Disamping dilakukan pemeliharaan dengan perencanaan dan penjadwalan yang matang, didalam preventive maintenance dikenal pula kegiatan yang sering disebut dengan pemeliharaan prediktif (predictive maintenance) yang dapat diartikan sebagai

strategi pemeliharaan dimana pelaksanaannya didasarkan pada kondisi peralatan produksi itu sendiri

Mengingat tingkat kepastian 100% tidak pernah ada maka orang lebih suka menggunakan istilah prediksi atau perkiraan untuk memastikan pendapatnya. Dalam menduga-duga inipun pada dasarnya dibutuhkan dukungan data dan pengetahuan yang cukup mendalam tentang perilaku dari peralatan produksi yang diamati.

Beberapa contoh dukungan pengetahuan yang diperlukan untuk mengantisipasi keadaan ini antara lain :

1. Penguasaan prinsip kerja alat yang bersangkutan.
2. Penguasaan karakteristik alat.
3. Pengalaman pengoperasian alat yang sama di masa lalu baik oleh diri sendiri maupun orang lain.
4. Penguasaan dan pengambilan data yang tepat.
5. Penguasaan pengolahan data.
6. Kemampuan mengkorelasikan antara satu kejadian dengan kejadian lain dalam kaitannya dengan bidang maintenance.
7. Berwawasan luas dalam bidang peralatan produksi kaitannya dengan kemajuan teknologi.

Seperti telah diketahui, preventive maintenance berfungsi menangani langsung hal-hal yang bersifat mencegah terjadinya kerusakan pada fasilitasfasilitas yang dilakukan dengan jalan memeriksa alat/fasilitas secara teratur dan berkala serta memperbaiki kerusakan kecil yang dijumpai selama pemeriksaan. Bagaimanapun baiknya kondisi suatu peralatan produksi yang telah direncanakan, keausan dan kerusakan selama pemakaian pada umumnya masih dapat terjadi, namun demikian laju keausan dan kerusakan ini masih dapat diperkirakan besarnya bila peralatan produksi/alat dipakai dalam kondisi normal.

Khususnya dalam bidang peralatan listrik dan elektronika sering diperingatkan bahwa kerusakan-kerusakan komponen listrik adalah bahaya yang selalu mangancam sehingga tidak ada alat/instrument yang dapat memeriksa dan mengukur terhadap kerusakan komponen secara detail. Yang umum dilakukan dalam

praktek, contohnya adalah mengganti semua bola lampu listrik dalam waktu tertentu, jadi tidak menggantinya satu persatu setelah bola lampu tersebut padam. Hal yang sama juga pada dilakukan pada menggantian bearing pada peralatan produksi.

2.9 Predictive Maintenance

Predictive maintenance bukanlah metode yang ampuh untuk semua faktor-faktor yang menyebabkan kerusakan dari suatu peralatan di pabrik. Bahkan tidak dapat secara langsung mempengaruhi kinerja dari suatu pabrik. Perawatan prediktif pada dasarnya merupakan filosofi atau perilaku yang menggunakan kondisi operasi sesuungguhnya dari peralatan untuk mengoptimalkan operasai pabrik.

Output dari perawatan dari program prediktif adalah data. Perawatan ni termasuk jenis “condition-based maintenance” dimana perubahan kondisi mesin atau peralatan dapat dideteksi sehingga tindakan yang bersifat proaktif dapat segera dilakukan sebelum terjadi kerusakan mesin (Higgins, 2002).

Dewasa ini, pola pemeliharaan prediktif dianggap lebih efektif dan efisien karena pemeliharaan dilakukan berdasarkan hasil pengamatan (monitoring) dan analisa untuk menentukan kondisi dan kapan pemeliharaan akan dilaksanakan, berbeda dengan pola pemeliharaan yang lain seperti pada pola pemeliharaan time base maintenance. Pada pola pemeliharaan time base maintenance, pemeliharaan dilakukan hanya berdasarkan pada jam operasi peralatan/komponen tanpa mempertimbangkan apakah peralatan tersebut masih baik atau tidak.

Pengembangan pola pemeliharaan prediktif, memanfaatkan berbagai peralatan test, peralatan monitoring yang telah dimiliki dan mengikuti berbagai metoda analisis yang dapat diterapkan dalam meningkatkan kualitas pemeliharaan maupun kendala operasi pembangkit serta efektifitas dalam penggunaan biaya pemeliharaan itu sendiri.

Penggunaan dari teknologi predictive maintenance memungkinkan kinerja dari departemen perawatan dapat meningkat karena kondisi permesinan dapat diketahui dengan baik tanpa mnghentikan jalannnya mesin. Perawatan prediktif menunjukkan penyimpangan dari kondisi normal kerja mesin dan dengan cara ini dapat memberikan cara yang lebih handal untuk mengetahui kerusakan yang sedang dan akan terjadi, dengan menunjukkan komponen yang rusak maka pihak manajemen dapat menyiapkan komponen sesuai kebutuhan yang diinginkan. Kunci utama perawatan prediktif adalah mendeteksi adanya kerusakan atau kesukaran yang akan terjadi atau impending trouble dan segera menyelesaikan masalah tersebut sebelum terjadinya kerusakan mesin atau machine breakdown.

Perawatan prediktif bekerja berdasarkan proses monitoring condition yang dilakukan terhadap peralatan yang diinginkan. Hasil dari proses ini adalah data – data hasil pengukuran atau pengujian yang selanjutnya data – data tersebut dibandingkan dengan data – data acuan yang telah diketahui sebelumnya (known engineering limit) untuk menentukan kondisi operasi dari peralatan tersebut. Teknik pemantauan yang umumnya digunakan dalam perawatan prediktif meliputi monitoring vibrasi, proses parameter, tribologi, metode thermography, inspeksi visual dan metode non – destructive testing seperti metode ultrasonic. (Higgins, 2002).

2.3.1 Manfaat dan Tujuan Predictive Maintenance

Manfaat dari Predictive Maintenance adalah :

1. Memperpanjang hidup mesin

   Karena predictive maintenance merupakan perawatan berdasarkan hasil pengamatan (condition monitoring) kita bisa mengetahui keadaan suatu mesin tersebut. Bila ada yang tiak normal di dalam mesin tersebut, secepatnya kita bisa memperbaiki mesin tersebut sebelum rusak. Sehingga kita bisa memperpanjang umur dari suatu mesin yang dilakukan predictive maintenance.

2. Memperbaiki efiseiensi dari mesin beserta kinerjanya

   Dengan memperbaiki keadaan suatu mesin tersebut, kita bisa memperbaiki mesin tersebut bila keadaan mesin tersebut tidak sesuai dengan kondisi normalnya. Setelah diperbaiki maka efisiensi dari mesin tersebut beserta kinerjanya akan naik.

3. Digunakan untuk manajemen perawatan

   Setelah mendapatkan data – data dari predictive maintenance kita bisa melakukan manajemen perawatan di plant tersebut. Manajemen perawatan akan mengurangi biaya perawatan dan juga dapat meminimalisasikan proses breakdown yang tidak terjadwal.

4. Predictive maintenance digunakan sebagai alat peningkat keandalan suatu peralatan

   Predictive maintenance digunakan supaya peralatan tersebut selalu dalam konsisi handal dan tangguh ketika digunakan.

5. Memberikan data – data hasil pengukuran yang dapat digunakan untuk evaluasi, modifikasi dan perbaikan perlatan di kemudian hari.

Dengan diketahuinya data – data dari predictive maintenance kita bisa menjadwalkan perawatan rutin (preventive maintenance) dan bisa mengevaluasi peralatan – peralatan baik yang baru maupun yang sudah lama berdasarkan data tersebut.

Keuntungan utama penerapan perawatan prediktif adalah meningkatkan kesiapan peralatan pabrik karena keandalan mesin yang lebih bagus. Kecenderungan rusaknya mesin dimasa mendatang dapat diantisipasi dengan baik sehingga dengan demkian aktivitas perawatan yang direncanakan akan cocok dengan jadwal shutdown peralatan. Keuntuntungan lain yang didapat adalah berkaitan dengan menurunnya biaya spare part peralatan dan upah buruh. Mesin yang mengalami kerusakan selama beroperasi akan menyebabkan biaya perbaikan kira - kira 10 kali lebih besar dibandingkan bila kegiatan repair dilakukan sesuai jadwal. Banyak kasus terjadi simana mesin mengalami

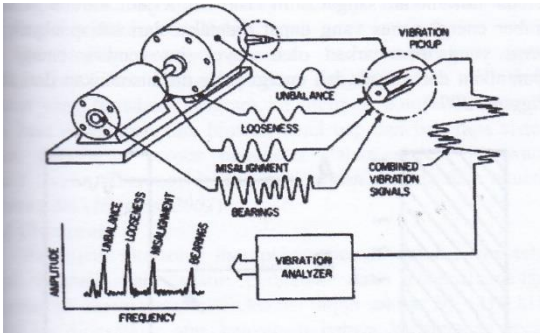
kerusakan setelah startup dimana hal ini biasanya terjadi karena built – in defect maupun pemasangan yang tidak sesuai prosedur. Teknik perawatan prediktif dapat digunakan untuk menjamin alignment (R. Krith Mobley, 2002).

1. Mengurangi atau meminimumkan kerusakan peralatan
2. Memperbaiki efisiensi mesin dan kinerjanya
3. Data menciptkan petunjuk perawatan prediktif
4. Memberikan data – data hasil pengukuran yang dapat digunakan untuk modifikasi dan perbaikan peralaran di kemudian hari
5. Memberikan metoda untuk penerimaan mesin baru

2.3.2 Metode Predictive Maintenance

- **Analisa Vibrasi**

  Analisa vibrasi digunakan untuk menentukan kondisi operasi dari mesin dimana dalam metoda ini dapat mendiagnosa terjadinya kelainan atau kerusakan pada mesin atau peralatan. Karena kebanyakan peralatan pabrik terdiri atas sistem elektro – mekanis maka analisa vibrasi telah menjadi metoda utama dalam sistem perawatan prediktif. Dengan menggunakan metoda ini, masalah atau kelainan yang terjadi pada peralatan dapat diidentifikasi lebih awal sebelum masalah tersebut menyebabkan kerusakan peralatan.



Gambar 2. 17 Proses Analisa Vibrasi
(*R. Krith Mobley, 2002*)

Problem yang muncul bisa meliputi bearing yang rusak, kelonggaran mekanis ataupun roda gigi yang pecah. Analisa vibrasi juga dapat mendeteksi adanya misalignment (ketidaklurusan poros) dan imbalance (ketidakseimbangan) yang terjadi pada berbagai peralatan. Pada hakekatnya semua rotating machinery menghasilkan getaran yang merupakan fungsi kelurusan (alignment) dan keseimbangan (balance) dari komponen yang berputar. Pengukuran intensitas getaran pada frekuensi tertentu dapat memberi informasi tentang ketepatan kelurusan poros dan keseimbangannya, kondisi bearing dan roda gigi serta pengaruh struktur permesinan terhadap resonansi mesin.

Analisa ini merupakan jenis metoda yang efektif dan bersifat non – instructive serta sangat cocok digunakan untuk memonitoring kondisi mesin selama start – up, shutdown, dan operasi normalnya. Analisa vibrasi ini biasanya digunakan untuk peralatan roda gigi. Peralatan yang digunakan untuk analisa vibrasi dapat dibagi menjadi 2 bagian yaitu sensor atau tranducer yang dipasang pada machine housing atau bearing cup dan analyzer atau vibration monitoring yang berfungsi mengolah data hasil pengukuran agar dapat digunakan untuk mendiagnosa masalah yang timbul. (Higgins, 2002).

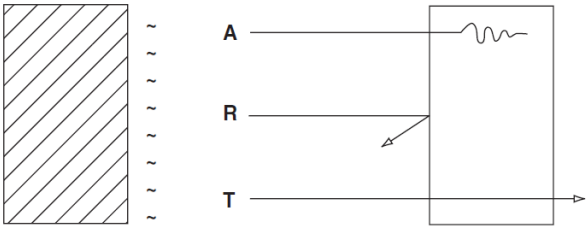
- **Thermography**

Thermography merupakan teknik perawatan prediktif yang dapat digunakan untuk memonitoring kondisi mesin pabrik, struktur bangunan serta mesin dan peralatan listrik. Metoda ini menggunakan instrumentasi yang dirancang untuk memonitoring emisi energi

inframerah yang dikeluarkan oleh peralatn untuk menentukan kondisinya.

Dengan mengetahui anomali panas yang terjadi misalnya lokasi pada mesin yang lebih panas daripada yang seharusnya, seorang personel perawatan yang berpengalaman dapat menentukan problem yang sedang terjadi pada peralatan tersebut. Teknologi inframerah ini didasarkan atas kenyataan bahwa semua benda yang memiliki temperature diatas nol absolut akan memancarkan energi atau radiasi. Radiasi inframerah merupakan salah satu bentk dari energi yang dipancarkan ini.

Emisi inframerah (below red) adalah panjang gelombang terpendek dari semua energy yang diradiasikan dan tidak dapat dilihat oleh manusia tanpa menggunakan alat khusus. Intensitas radiasi inframerah dari suatu benda merupakan fungsi dari temperature permukaannya namun pengukuran temperature dengan menggunakan inframerah sangat sulit. Hal ini terjadi karena adanya sumber energy panas yang dapat dideteksi dari setiap obyek yaitu energi yang dipancarkan oleh obyek itu sendiri, energi yang dipantulkan dari obyek dan energi yang ditransmisikan dari obyek (Higgins, 2002).



Gambar 2. 18 Proses Thermography
(*Higgins, 2002*)

- **Proses Parameter**

  Kebanyakan pabrik tidak mengganggap bahwa efisiensi mesin atau peralatan merupakan bagian dari perawatan prediktif namun demikian mesin yang tidak bekerja dengan efisiensi yang semestinya akan mengganggu kapasitas produksi pabrik.

  Oleh karena itu program perawatan prediktif yang menyeluruh harus melibatkan monitoring secara rutin proses parameter. Sebagai contoh pentingnya proses parameter, perhatikan pentingnya fungsi pompa dalam menunjang operasi pabrik. Pengujian vibrasi dan thermography dapat digunakan untuk mengetahui kondisi mekanis dari pompa tersebut tetapi keduanya tidak dapat menjelaskan besarnya efisiensi operasi dari pompa. Bisa jadi kedua pengujian tersebut tidak menunjukkan sama sekali masalah yang bersifat mekanis tetapi pada kenyataannya pompa tersebut beroperasi dengan efisiensi hanya kurang dari 50%. Jika proses parameter diterapkan pada suatu pompa maka diperlukan data – data seperti tekanan suction dan discharge serta besarnya arus listrik yang masuk ke motor listrik.

  Monitoring proses parameter harus mencakup semua peralatan dan sistem yang berkaitan dengan proses di pabrik. Peralatan yang termasuk program ini meliputi pompa, kompresor, turbin, heat exchanger, fan, blower, ketel uap, dan beberapa sistem lainnya. Penerapan proses parameter dalam sistem perawatan prediktif harus dibarengi dengan penyediaan metoda data akuisisi yang memadai (Higgins, 2002).

- **Ultrasonic**

  Pengujian ultrasonic merupakan metoda untuk mengetahui kondisi operasi dari suatu peralatan dan material dengan menggunakan energi suara berfrekuensi tinggi sekitar 20 – 100 kHz. Metoda ini didasarkan atas

kenyataan bahwa kebanyakan mesin memancarkan pola suara yang konsisten selama beroperasi normal. Pola suara ini dapat didefinisikan dan dikenali dan perubahan – perubahan pola suara ini dengan mudah dapat diketahui pada saat komponen mesin mulai aus atau rusak. metoda ultrasonic biasanya digunakan untuk 3 pemakaian utama yaitu :

1. Analisa airbone noise
2. Deteksi kebocoran fluida
3. Pengujian material

- **Visual Inspection**

Inspeksi visual terhadap mesin secara teratur merupakan bagian dari program perawatan prediktif. Dalam banyak hal, inspeksi visual akan dapat mendeteksi masalah yang mungkin terlewatkan dideteksi oleh metoda perawatan prediktif lainnya. Inspeksi visual yang dilakukan secara rutin akan dapat membantu metoda lainnya dan menjamin bahwa masalah yang serius dapat terdeteksi sebelum kerusakan terjadi.

Inspeksi visual sering dianggap sebagai tanggung jawab department produksi daripada sebagai teknik predictive maintenance. Banyak program perawatan mengabaikan program yang berguna ini. Sebagian besar dari program – program gagal karenanya. Inspeksi visual penting untuk keberhasilan sebuah program. Biasanya metoda inspeksi visual dapat diklasifikasikan menjadi 2 metoda yaitu :

1. Human senses
2. Sensor

- **Tribologi**

Tribology merupakan istilah umum yang berhubungan dengan rancangan dan dinamika operasi dari mesin yang mempunyai proses pelumasan.

Beberapa metoda tribology yang umumnya di gunakan dalam perawatan prediktif meliputi:

1. Analisa Pelumas Bekas

   Analisa pelumas bekas merupakan bagian penting dari proses perawatan preventif. Laboratorium meyarankan untuk pengambilan sampel pelumas mesin harus diambil sesuai yang dijadwalkan guna mengetahui kondisi pelumas yang sebenarnya.

2. Analisa Spectography

   Merupakan metode tercepat dan lebih akurat untuk mengidentifikasi elemen yang terkandung dalam minyak pelumas elemen tersebut diklasifikasi menjadi *Wear Metals*, *Contamination*, dan *Additives*. Beberapa elemen dapat di masukkan dari salah satu atau lebih dari klasifikasi ini. Analisa pelumas sederhana tidak dapat menentukan bentuk yang kerusakan spesifik yang telah berkembang dalam mesin, karena itu teknik tambahan diperlukan sebagai bagian dari program predictive maintenance.

3. Ferrography

   Ferrography hampir sama dengan spectography, perbedaannya adalah perbedaan pertama ferrography memisah partikel kontaminasi dengan menggunakan medan magnet sedangkan spectography membakar partikel yang dianalisa. Karena itu, teknik Perbedaan yang kedua yaitu ferrography dapat memisah dan menganalisis partikel kontaminasi yang lebih

besar 10µm. Secara normal analisa ferrography dapat menangkap partikel diatas 100µm dan memberikan representasi yang lebih baik dari kontaminasi oli dari pada ferrography

4. Analisa Partikel Keausan.

Merupakan bagian analisa minyak pelumas tetapi hanya berorientasi pada artikel minyak pelumas . Jika analisa minyak pelumas menentuka kondisi actual dari contoh oli sedangkan analisa partikel keausan memberikan langsung informasi tentang keausan dari mesin. Partikel yang terkandung dalam pelumas mesin dapat memberikan informasi yang signifikan tentang kondisi mesin. Informasi ini didapat dari bentuk partikel, komposisi, ukuran dan jumlah. Metode analisa partikel keausan dibedakan menjadi dua.

Metode pertama digunakan untuk analisa keausan partikel yang secara rutin dimonitoring dan bentangan kandungan solid dari minyak pelumas mesin. Sederhananya, jumlah, komposisi, dan ukuran dari partikel yang terjadi pada minyak pelumas mengindikasi kondisi mekanis dari mesin. Kedua yaitu mengumpulkan hasil analisa dari partikel yang terjadi pada tiap contoh pelumas.(*Higgins, 2002*).

2.10 Fault Tree Analysis

Fault Tree Analysis adalah suatu teknik yang digunakan untuk mengidentifikasi resiko yang berperan terhadap terjadinya kegagalan. Metode ini dilakukan dengan pendekatan yang bersifat top down, yang diawali dengan asumsi kegagalan atau kerugian dari kejadian puncak (Top Event) kemudian merinci

sebab – sebab suatu Top Event sampai pada suatu kegagalan dasar (root cause).

Fault Tree Analysis merupakan metoda yang efektif dalam menemukan inti permasalahan karena memastikan bahwa suatu kejadian yang tidak diinginkan atau kerugian yang ditimbulkan tidak berasal pada satu titik kegagalan. Fault Tree Analysis mengidentifikasi hubungan antara faktor penyebab dan ditampilkan dalam bentuk pohon kesalahan yang melibatkan gerbang logika sederhana.

Gerbang logika menggambarkan kondisi yang memicu terjadinya kegagalan, baik kondisi tunggal maupun sekumpulan dari berbagai macam kondisi. Konstruksi dari fault tree analysis meliputi gerbang logika yaitu gerbang AND dan gerbang OR. Setiap kegagalan yang terjadi dapat digambarkan ke dalam suatu bentuk pohon analisa kegagalan dengan mentransfer atau memindahkan komponen kegagalan ke dalam bentuk simbol (Logic Transfer Components) dan Fault Tree Analysis.

Tabel 2.1 Istilah Dalam Fault Tree Analysis (galihekapriminta.blogspot.com)

Istilah	Keterangan
Event	Penyimpangan yang tidak diharapkan dari suatu keadaan normal pada suatu komponen dari sistem
Top Event	Kejadian yang dikehendaki pada "puncak" yang akan diteliti lebih lanjut ke arah kejadian dasar lainnya dengan menggunakan gerbang logika untuk menentukan penyebab kegagalan
Logic Event	Hubungan secara logika antara input dinyatakan dalam AND dan OR
Transferred Event	Segitiga yang digunakan simbol transfer. Simbol ini menunjukkan bahwa uraian lanjutan kejadian berada di halaman lain.
Undeveloped Event	Kejadian dasar (*Basic Event*) yang tidak akan dikembangkan lebih lanjut karena tidak tersedianya informasi.
Basic Event	Kejadian yang tidak diharapkan yang dianggap sebagai penyebab dasar sehingga tidak perlu dilakukan analisa lebih lanjut.

Simbol - simbol dalam *Fault Tree Analysis* digunakan dalam menguraikan suatu kejadian disajikan pada tabel berikut ini:

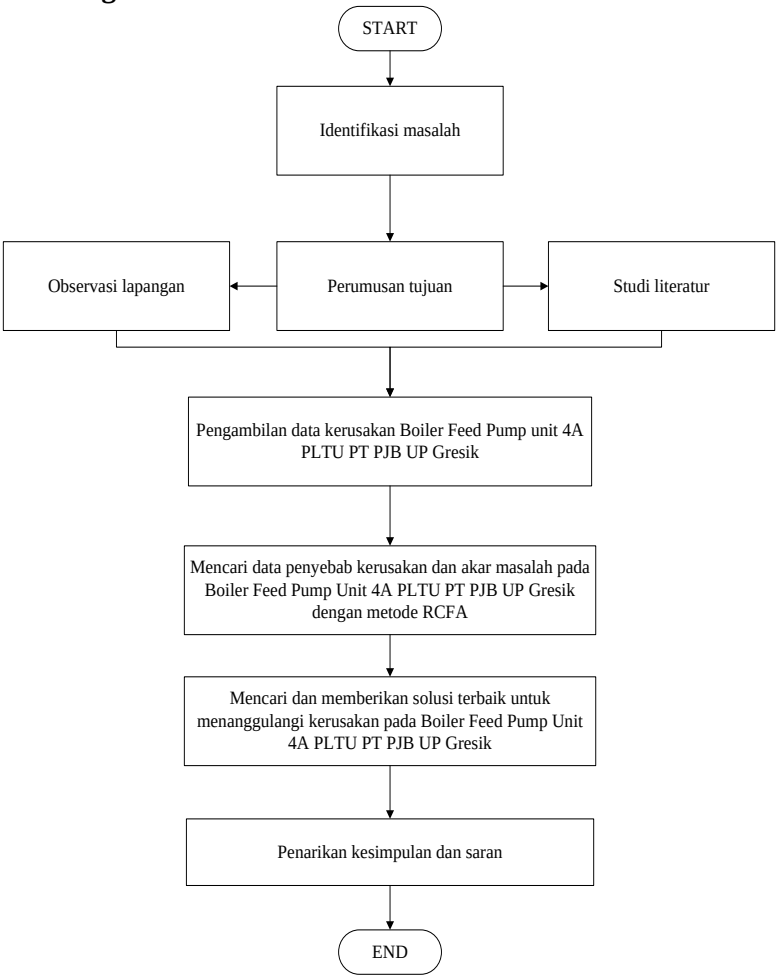
Tabel 2.1 Simbol - Simbol Dalam Fault Tree Analysis (galihekapriminta.blogspot.com)

Simbol	**Keterangan**
	Top Event
	Logic Event AND
	Logic Event OR
	Transffered Event
	Undeveloped Event
	Basic Event

2.11 As
2.12 As
2.13 A
2.14 Sas
2.15 As
2.16 As
2.17 As
2.18

BAB III
METODOLOGI

3.1. Diagram Alir Analisa



Gambar 3. 1 Diagram Alir Analisa

Analisis kerusakan *Boiler Feed Pump* pada tugas akhir ini menggunakanmetode *Root Cause Failure Analisis* **(RCFA)** dimana metode ini merupakan salah satu metode yang digunakan untuk mengidentifikasi akar suatu permasalahan sehingga maintenance pada *Boiler Feed Pump* pada Pembangkit Listrik Tenaga Uap unit 4A PT PJB Unit Pembangkitan Gresik dapat dilakukan secara akurat dan optimal. Akar permasalahan ini nantinya dapat digunakan untuk mencari solusi yang terbaik untuk digunakan dengan efisien.

3.2. Tahap Identifikasi

Pada tahapan awal dilakukan pengamatan terhadap masalah apa saja yang dirumuskan menjadi tujuan dari penelitian. Dimana studi literatur dimulai dari mencari dan mempelajari bahan pustaka yang berkaitan dengan *Boiler Feed Pump* dan penyebab – penyebabkerusakannya. Studi literatur ini diperoleh dari berbagai sumber,diantaranya *text book* maupun modul yaitu *R keith Mobbley, Maintenance Fundamental, Oxford, Elsevier Inc, 1999, Doc Palmer, Maintenance Planning and Scheduling Handbook, New York, McGraww-Hill, 1999, Lindley R Higgins,R Keith Mobbley, Maintenance Enginering Handbook, New York, McGraww-Hill, 2002,* Modul Pelatihan, beberapa sumber lainseperti jurnal ilmiah dan beberapa penelitian terdahulu. Kemudian dilakukan pengamatan lapangan secara langsung pada*Boiler Feed Pump* PLTU Unit 4A PT PJB UP Gresik. Observasi meliputi identifikasi komponen – komponen dari *Boiler Feed Pump* dan mengidentifikasi apa saja penyebab kerusakan pada BFP PLTU Unit 4A PT. PJB UP Gresik.

3.3. Tahap Pengumpulan Data dan Analisa

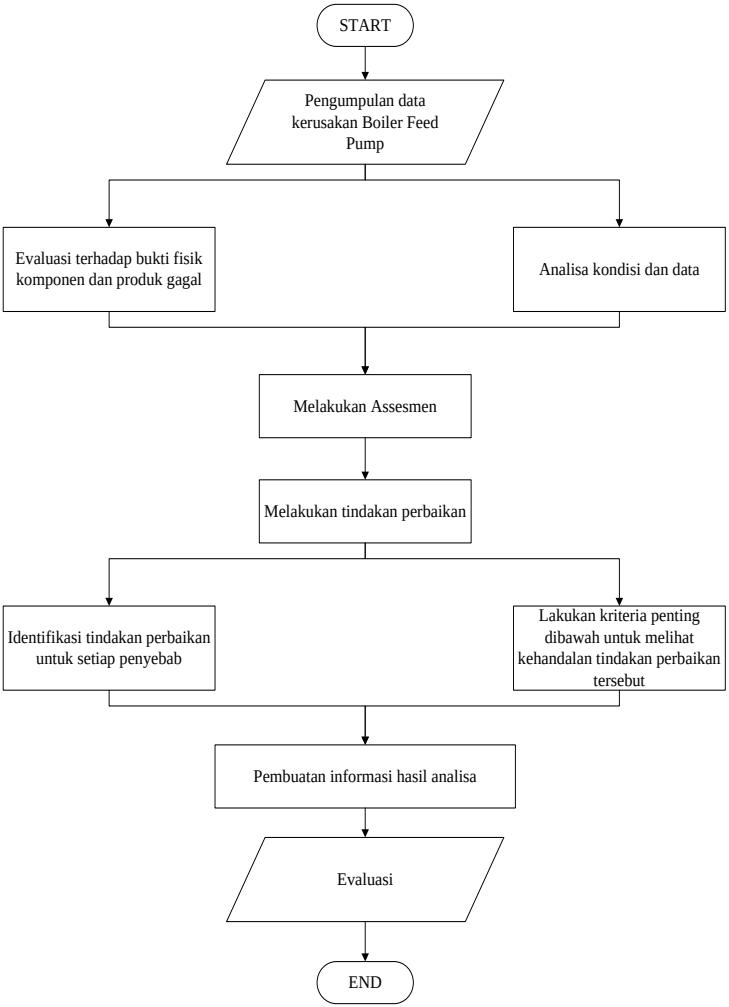
Dari studi literatur dan observasi mengenai Boiler Feed Pump, dilakukan pengambilan data pada PLTU Unit 4A khususnya data mengenai kerusakan apa saja yang terjadi pada Boiler Feed Pump yang menjadi kemungkinan penyebabnya penurunan Kapasitas. Data yang dibutuhkan dalam analisa didapat dari Rendal HAR PLTU Unit 4A Colective Mekanik,

Predictive Maintenance dan Mekanik Enginering. Data tersebut, meliputi

1. Nama-nama bagian Boiler Feed Pump
2. Data komponen
3. Manual book
4. Data Record .
5. Data foto-foto proses pengecekan kerusakan

Setelah melakukan pengambilan data yang diperlukanmaka dilakukan analisa apa penyebab terjadinya kerusakan pada Boiler Feed Pump yang menyebabkan turunnya kapasitas pada Boiler Feed Pump unit 4A kemudian akan dianalisa apa faktor utama yang menyebabkan kerusakan, apa solusinya dan bagaimana prosedur pencegahan nya.

3.3.1. Diagram Alir Pengolahan RCFA



Gambar 3. 2 Diagram Alir Pengolahan RCFA

3.4. Tahap penarikan kesimpulan dan Saran

Tahapan ini merupakan ujung dari analisa pada bab sebelumnya dengan menarik kesimpulan apa sajakah penyebab – penyebab terjadinya penurunan kapasitas pada Boiler Feed Pump PT. PJB-UP GRESIK PLTU unit 4A dan apa saja penyebabnya. Sekaligus memberikan saran untuk PT. PJB UP Gresik serta untuk penelitian selanjutnya.

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB IV
ANALISA DAN PEMBAHASAN

Pada bab ini akan dibahas mengenai apa saja yang menyebabkan terjadinya penurunan performa Boiler Feed Pump pada PLTU unit 4 di PJB Gresik. Data yang digunakan dalam pengolahan penyebab kerusakan dari Boiler Feed Pump 4A pada PLTU unit 4 adalah data hasil studi lapangan dan akan dianalisa menggunakan metode Root Cause Failure Analysis.

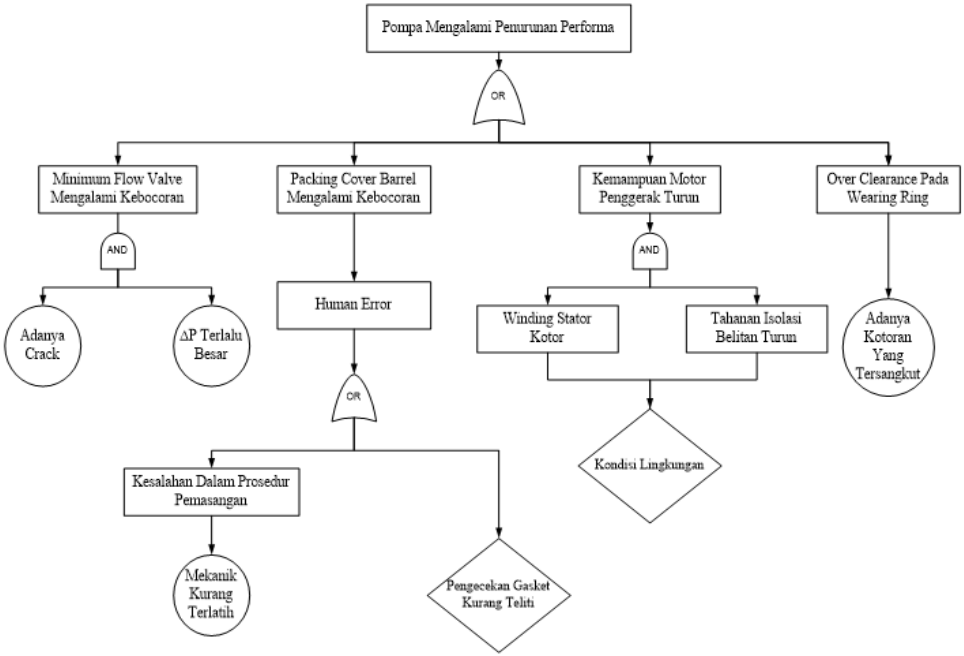
4.1 Spesifikasi Boiler Feed Pump

Unit 4 PT PJB-UP GRESIK memiliki 3 *Boiler Feed Pump* yang dalam proses pongoperasian nya 2 dalam posisi aktif (masing – masing 50%) dan 1 dalam posisi stand by. Pompa yang dalam posisi *stand by* selain diistirahatkan juga disubjek kan dalam *medium overhaul* yang dilakukan sebanyak 1 kali dalam 2 tahun. Atau jika pompa mengalami permasalahan atau *triping* maka pompa akan diberhentikan dan disubjekkan untuk dilakukan *overhaul*. Berikut adalah spesifikasi pompa yang digunakan di unit 4.

Tabel 4.1 Spesifikasi *Boiler Feed Pump* 4A

Data	Keterangan
Type	*Horizontal, Multistage centrifugal, Barrel, Double casing*
Manufacturer	Ebara Corporation
Capacity	365 t/h
Minimum Flow	110 t/h
Discharge Pressure	202.5/14 kg/cm2G
Suction Pressure	14/10 kg/cm2G
Driver	2960 kW x 1480 rpm
Pump Speed	7250 rpm
Pump Efficiency	80%

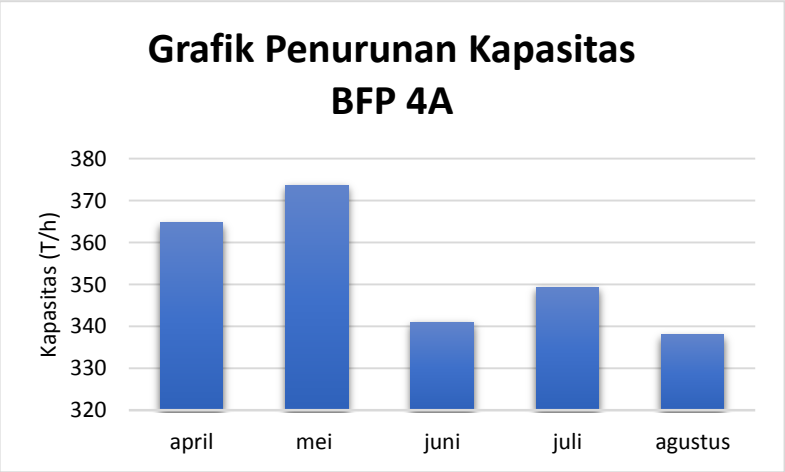
4.2 Fault Tree Analysis



Gambar 4.1 Fault Tree Analysis kerusakan *Boiler Feed Pump* PT PJB-UP GRESIK Unit 4A

4.3 Hasil Analisa Data

penurunan performa Boiler Feed Pump (BFP) 4A disebabkan oleh faktor eksternal dan internal.Penurunan performa dari *Boiler Feed Pump* unit 4A dikategorikan tidak membahayakan kondisi pompa dan dikarenakan penurunan kapasitas yang terjadi masih dapat dicover oleh *Boiler Feed Pump* 4B (total kapasita merupakan hasil dari jumlah kapasitas BFP 4A + BFP 4B), maka *Boiler Feed Pump* 4A tidak disubjekkan untuk breakdown maintenance. Maintenance *Boiler Feed Pump* unit 4A dilakukan ketika *overhaul* rutin.



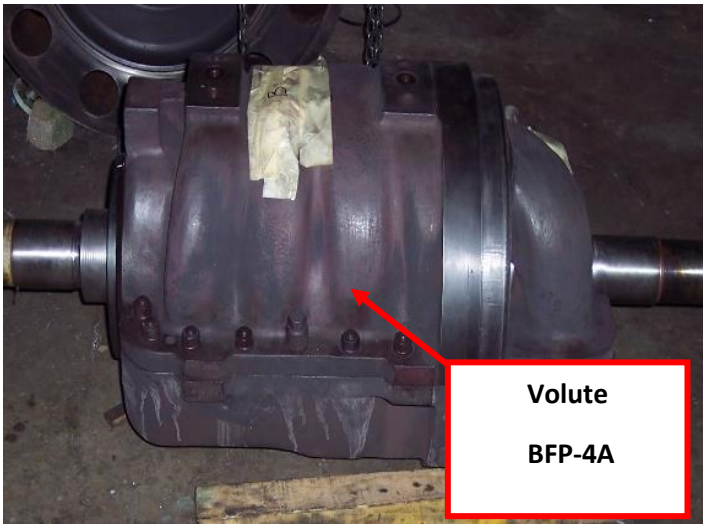
Gambar 4.2 Perbandingan performa *Boiler Feed Pump*

Dari grafik diatas dapat kita lihat bahwa terjadi penurunan kapasitas dari *Boiler Feeed Pump* Unit 4A yang terjadi pada bulan Juni. Penurunan yang terjadi secara drastis ini terjadi terus menerus hingga akhir bulan agustus yang kemudian diputuskan untuk dilakukan maintenance pada *Boiler Feed Pump* Unit 4A untuk kemudian dicari apa pnyebabnya dan beberapa hal

yangmenyebabkan terjadinya penurunan kemampuan BFP 4A adalah sebagaiberikut :

4.3.1 Over Clearance Pada Wearing Ring

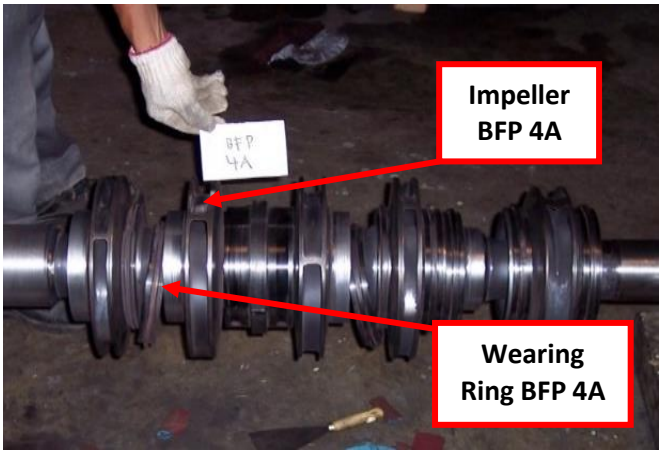
Pompa sentrifugal adalah pompa yang memiliki elemen utama berupa motor penggerak dengan sudu impeller yang berputar dengan kecepatan tinggi. Prinsip kerjanya yaitu merubah energi mekanis dari alat penggerak menjadi energi kinetis fluida (kecepatan), kemudian fluida akan diarahkan ke saluran buang dengan menggunakan tekanan (energi kinetik sebagian fluida diubah menjadi energi tekanan) dengan menggunakan impeller yang berputar di dalam housing.



Gambar 4.3 Volute Chamber BFP 4A

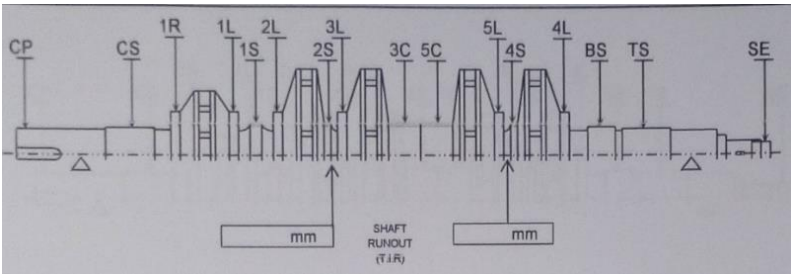
Housing tersebut dihubungkan dengan saluran hisap (suction) dan saluran tekan (discharge). Tekanan pada saluran discharge lebih tinggi daripada saluran hisap sehingga fluida yang alirannya kontinyu akan terus mengalir menuju suction karena tekanannya lebih rendah. Liquid pada discharge akan mengalir melalui celah antara housing pompa dengan eye impeller. Akibat

adanya celah di bagian dalam pompa tersebutmemungkinkan terjadinya kebocoran yang dapat menyebabkan kerugian (internal loss) yang dapat menyebabkan berkurangnya flow dan head centrifugal pump.



Gambar 4.4 Impeller *Boiler Feed Pump* 4A

Untuk mengatasi internal loss ini, celah antara housing pompa dengan eye impeller disisipi dengan wearing rings. Ada 2 wear rings yang terpasang yaitu housing wear ring yang diam, dipasang pada casing dan impeller wear ring yang terpasang pada eye impeller dan ikut berputar. Tentu saja kedua wear rings ini tidak boleh rapat sekali bersentuhan karena akan bergesekan sehingga panas dan dapat macet. Jadi masih ada celah yang akan teraliri cairan yang balik dari discharge sebagai pendingin dan lubrikasi kedua wear rings ini. Bila tidak terisi cairan (misalkan lupa tidak membuka suction valve) maka kedua wear rings ini akan bergesekan dan macet akibatnya unit pompa akan ikut macet juga dan tidak dapat beroperasi. Setelah beroperasi dalam jangka waktu tertentu, celah ini tentu saja akan aus (worn) dan internal lossnya semakin banyak. Bila ini terjadi wear rings harus diganti.



Gambar 4.5 Posisi Wearing Ring

SYMBOL		CP	CS	1R	1L	1S	2L	2S	3L
INTERNAL DIA.	DRAWING	–	–	156,418	162,769	118,381	158,769	120,751	158,769
		–	–	156,406	162,756	118,368	158,756	120,731	158,756
	MEASURED	–	–	156,410	162,750	118,380	158,750	120,750	158,760
		–	–	156,400	162,760	118,380	158,750	120,740	158,750
EXTERNAL DIA.	DRAWING	–	–	156,044	162,394	118,038	158,394	120,345	158,394
		–	–	156,019	162,370	117,983	158,370	120,320	158,370
	MEASURED	–	–	156,000	162,365	117,080	158,380	120,290	158,400
		–	–	156,010	162,365	117,410	158,365	120,230	158,400
CLEARANCE	DRAWING	–	–	0,399	0,399	0,398	0,399	0,431	0,399
		–	–	0,362	0,362	0,330	0,362	0,386	0,362
	MEASURED	–	–	0,400	0,385	0,970	0,365	0,460	0,360
		–	–						
ROTOR RUNOUT (T.I.R)	LIMIT	0,05	0,05	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07
	MEASURED	-	-	-	-	-	-	-	-

Gambar 4.6 Hasil Pengukuran Wearing Ring

SYMBOL		3C	5C	5L	4S	4L	BS	TS	SE
INTERNAL DIA.	DRAWING	120,667	120,667	158,769	120,751	158,769	–	–	–
		120,655	120,655	158,756	120,731	158,756	–	–	–
	MEASURED	120,660	120,660	158,750	120,740	158,750	–	–	–
		120,650	120,650	158,750	120,750	158,760	–	–	–
EXTERNAL DIA.	DRAWING	120,345	120,345	158,394	120,345	158,394	118,038	–	–
		120,320	120,320	158,370	120,320	158,370	118,013	–	–
	MEASURED	119,870	119,850	158,400	120,310	158,400		–	–
		119,070	119,050	158,400	120,270	158,400		–	–
CLEARANCE	DRAWING	0,347	0,347	0,399	0,431	0,399	–	–	–
		0,310	0,310	0,362	0,386	0,362	–	–	–
	MEASURED	0,790	0,810	0,350	0,430	0,350	–	–	–
							–	–	–
ROTOR RUNOUT (T.I.R)	LIMIT	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,05	0,05	0,05
	MEASURED	-	-	-	-	-	-	-	-

Gambar 4.7 Hasil Pengukuran Wearing Ring

Dari gambar diatas, kita dapat melihat bahwa ada beberapa hasil pengukuran clearance wearing ring yang sudah melibihi batas toleransi design yang ditandai dengan warna merah. Wearing ring yang mengalami over clearance inilah yang nantinya akan menyebabkan terjadinya internall loss pada pompa dan harus segera diganti. Dan beberapa hal yang menyebabkan terjadinya kerusakan pada wearing adalah sebagai berikut :

- **Adanya gesekan antara poros dengan wearing ring yang disebabkan adanya kotoran yang terbawa oleh feed water.**

  Fungsi utama dari wearing ring adalah menutup celah (clearance) antara eye impeller atau shaft dengan housing pompa agar tidak terjadi kebocoran (leakage). Wearing ring juga berfungsi sebagia bantalan (cushion) agar tidak terjadi kontak langsung antara eye impeller dan shaft.

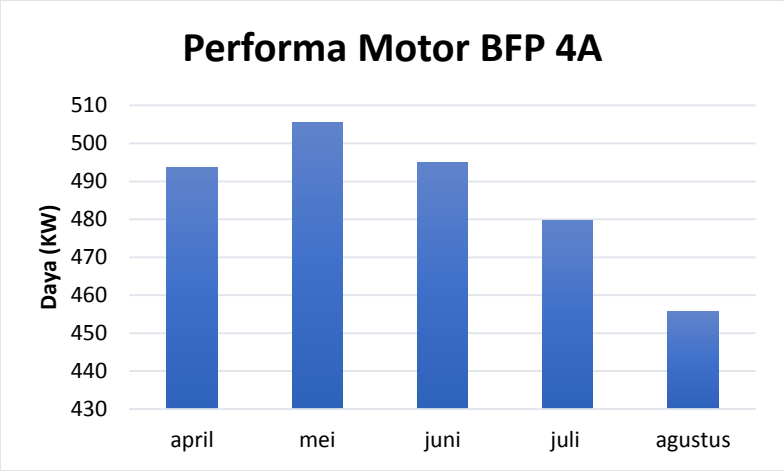
Gambar 4.8 Wearing ring yang mengalami internal worn out

Akan tetapi kendati demikian,tetap memungkinkan akan adanya crack/celah antara eye impeller dan shaft dengan wearing ring dan tetap

memungkinkan terjadi kebocoran (leakage). Fluida yang melewati crack/celah ini juga memungkinkan membawa kotoran yang tersangkut di crack/celah tersebut dan nantinya akan bergesekan dengan permukaan eye impeller dan shaft sehingga akan mengikis wearing ring yang posisinya ada diantara 2 komponen tersebut.

4.3.2 Kemampuan Motor Penggerak Turun

Motor yang digunakan pada pompa sentrifugal pada umunya adalah motor induksi 3 fasa yang memiliki 2 komponen penting yaitu rotor dan stator. Rotor dan stator dilindungi oleh frame sehingga aman dari gangguan benda dari luar (eksternal) dan terlindung dari kerusakan. Akan tetapi tidak menutup kemungkinan kerusakan dari motor disebabkan oleh faktor internal.



Gambar 4.9 Grafik Performa Motor BFP 4A

Energi yang dihasilkan oleh motor dilambangkan dengan nominal torsi (putaran per menit). Jadi semakin besar torsi yang dihasilkan oleh motor, maka semakin besar kapasitas yang dihasilkan oleh pompa. Demikian sebaliknya jika torsi yang

dihasilkan oleh motor kecil maka kapasitas yang dihasilkan oleh pompa akan semakin kecil. Fenomena tersebut sesuai dengan dasar teori pada persamaan (2.blabla). Berikut adalah beberapa hal yang menyebabkan terjadinya penurunan performa pada motor

- **Winding Stator Kotor**

  Winding stator merupakan kumparan yang masing-masing kumparannya dihubungkan menjadi rangkaian star atau delta, tergantung dari bagaimana metode untuk memutar mesin yang digunakan dan jenis rotor yang digunakan. Untuk rotor jenis sarang tupai umumnya menggunakan rangkaian delta sedangkan rotor jenis slip ring bisa menggunakan salah satu dari keduanya. Stator winding dipasang pada sela-sela inti stator dan berfungsi untuk menghasilkan fluks. Stator winding juga dikenal sebagai kumparan medan.

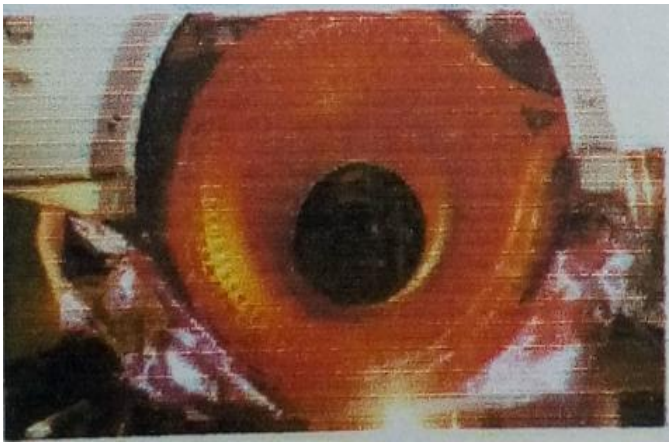
Gambar 4.10 Stator

Meskipun dilindungi oleh frame yang kuat,tidak menutup kemungkinan masuknya debu dan kotoran melalui celah – celah yang ada. Debu dan kotoran yang terakumulasi menyebabkan stator berpotensi mengalami overheat yang lebih cepat dari seharusnya. Adanya debu dan kotoran juga mengakibatkan sistem pendinginan menjadi terganggu sehingga motor akan lebih sering

mengalami over-heating. Jika motor sering mengalami over-heating,hal itu juga menyebabkan lifetime dari motor berkurang. Selain itu motor yang mengalami overheat haruslah diistirahatkan dan proses start – stop yang terlalu sering akan menyebabkan pemborosan. Selain itu proses start – stop yang terlalu sering juga berpotensi menyebabkan berbagai macam kerusakan.

- **Tahanan Isolasi Belitan Turun**

  Penurunan tahanan isolasi belitan pada rotor disebabkan adanya kontaminasi dari grease (minyak pelumas bearing). Kontaminasi ini terjadi akibat over-grease (penggunaan grease yang berlebih). Jika rongga bearing penuh dengan grease dan terus di regreasing (penambaan grease), maka kelebihan grease itu akan mencari jalan melalui shaft dan terus menuju kedalam motor. Ini mengakibatkan grease menutupi ujung2 winding sehingga memungkinkan timbulnya kerusakan pada winding. Penurunan isolasi pada belitan ini nantinya akan menyebabkan parasitic energy loss dan high operating temperature yang secara kesluruhan mempengaruhi performa motor



Gambar 4.11 Belitan pada stator

Selain itu environmental condition (kondisi lingkungan) tempat motor beroperasi mulai dari ambient temperature dan ventilasi udara sangatlah berpengaruh. Ambient temperatur lingkungan yang terlalu tinggi menyebabkan operating temperature dari motor juga tinggi sehingga hal ini selain mengakibatkan proses pendinginan semakin sulit,juga berpotensi memicu kerusakan. Selain itu ventilasi yang kurang baik mengakibatkan udara disekitar motor menjadi moist(lembab) dan kelembaban yang terjadi akan menyebabkan proses mengalirnya arus listrik (electrical process) terganggu dikarenakan akan menyebabkan degradasi pada laminasi. Selain itu kondisi udara yang lembab juga mengakibatkan terjadinya proses pengkaratan pada komponen motor menjadi lebih cepat.

4.3.3 Packing Cover Barrel mengalami Kebocoran

Packing pada pompa sentrifugal berguna untuk mencegah dan mengurangi kebocoran fluida yang berasal dari volute chamber. Pada packing pompa terdapat suatu seal yang fungsinya untuk menutup celah atau membuat sambungan kedap fluida sehingga pada saat pengoperasian pompa tidak terjadi kebocoran (leaking)

Secara umum *seal* terbagi dalam 2 kategori yaitu *seal statis* dan *seal dinamis*. Seal statis merupakan jenis seal dimana proses *sealing* terjadi diantara permukaan – permukaan yang tidak bergerak relatif satu dengan yang lainnya. Contoh dari seal statis ini adalah *gasket* yang dipakai pada *flange* untuk menyambung pipa. Seal dinamis yang merupakan jenis seal dimana proses sealing terjadi diantara permukaan yang saling bergerak relatif satu dengan yang lainnya seperti gerakan berputar dari poros pada bearing ataupun gerak bolak balik dari piston pada suatu silinder hidraulik.

Untuk memperhalus pengoperasian dan mengurangi keausan, hampir semua *gear* dan *bearing* memerlukan pelumasan yang terus menerus. Maka untuk menjaga keberadaan pelumas di sekeliling komponen – komponen yang bergerak dan menjaga agar cairan pelumas jangan sampai keluar dan menjaga agar kotoran dan debu jangan masuk ke sistem maka diperlukan *seal*. Seal juga diperlukan untuk menjaga agar jangan sampai terjadi kebocoran fluida dari volute chamber ke dalam sistem karena ditakutkan akan mengganggu proses pelumasan dan mempercepat terjadinya korosi/pengaratan pada bearing.

Penggunaan gasket (mechanical seal) pada packing pompa selain untuk meningkatkan performa overall pompa juga untuk mencegah kerusakanpada packing pompa. Akan tetapi kendati demikian masih memungkinkan terjadi kerusakan pada packing pompa yang disebabkan oleh :

- **Kualitas gasket (mechanical seal) kurang bagus.**

  Pemasangan pompa sentrifugal baik perakitan awal ataupun pemasangan setelah dilakukannya pembongkaran harus sesuai dengan prosedur yang didapatkan dari manufacturer. Kesalahan – kesalahan yang terjadi selama pemasangan baik minor ataupun major sangatlah berpengaruh nantinya terhadap performa dan lifetime pompa.

- **Pemasangan yang kurang sesuai/kurang pas.**

  Penggunaan mechanical seal pada pompa sentrifugal sangatlah disarankan. Oleh karena itu,pemilihan jenis mechanical seal yang pas dengan jenis pompa sangat diperlukan dan kualitas dari mechanical seal harus diperhatikan. penggunaan mechanical seal yang kurang berkualitas akan menyebabkan terjadinya kesalahan ketika melakukan prediktif maintenance sehingga dapat mengakibatkan kerusakan mulai dari yang berskala kecil hingga yang fatal.

Gambar 4.12 Cover Barrel

Kesalahan prediktif maintenance yang dimaksudkan adalah ketika terjadinya kesalahan pemilihan waktu ketika menjadwalkan preventif maintenance sehingga kerusakan yang terjadi pada mechanical seal terlambat untuk diantisipasi

4.3.4 Terjadinya aliran balik ke deaerator/suction BFP, yang disebabkan oleh terjadinya kebocoran valve minimum flow BFP.

Istilah minimum flow pada umumnya memiliki arti batas minimal aliran sebuah pompa diijinkan untuk beroperasi tanpa adanya pertimbangan lain seperti durasi/masa aktif pompa,level vibrasi atau kriteria lain. Dan ketika suatu pompa diijinkan untuk beroperasi dengan flow dibawah batas minimum,maka motor pompa perlahan – lahan temperaturnya akan naik sehingga casing dan bearing pompa akan menjadi semakin panas dan jika kondisi seperti ini berlangsung terus menerus akan memungkinkan terjadinya kerusakan pada sealing pompa.

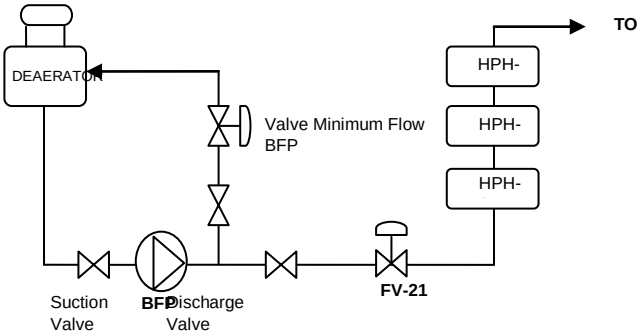
Gambar 4.12 Minimum flow valve

Kebocoran pada valve minimum flow nantinya akan menyebabkan kapasitas fluida yang keluar dari Boiler Feed Pump menurun dikarenakan fluida yang seharusnya mengalir menuju High Presure Heater mengalir kembali ke deaerator.

Terjadinya kebocoran pada valve minimum flow Boiler Feed Pump PLTU unit 4A kemungkinan disebabkan oleh terkikisnya disc valve dan seat valve. Hal ini menyebabkan terjadinya crack/celah yang memungkinkan terjadinya kebocoran. Penyebab terkikisnya valve minimum flow adalah:

- **Pressure drop (ΔP) terlalu besar**

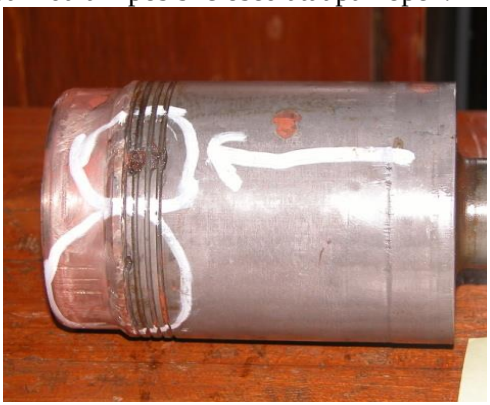
  Pressure drop antara inlet minimum flow (Discharge BFP) dengan outlet minimum flow (Deaerator pressure) yang terlalu jauh, sehingga kecepatan aliran fluida pada saat open valve sangat tinggi.Kecepatan fluida yang terlalu tinggi akan menyebabkan material terkikis lebih cepat dikarenakan aliran fluida yang kecepatannya diluar batas toleransi. Batas toleransi pressure drop pada spesifikasi valve minimum flow BFP PLTU Unit 1-2 adalah 20 kg/cm^2- 145 kg/cm^2 sedangkan pressure drop actual yang terjadi dilokal sebesar 217 kg/cm^2



Gambar 4.13 Posisi minimum flow valve

- **Adanya crack**

  Adanya crack/celah akan menyebabkan pengikisan terjadi lebih cepat dikarenakan fluida bisa mengalir melalui celah tersebut sehingga akan mengikis permukaan valve baik dalam posisi closed ataupun open.



Gambar 4.14 Seat valve

- **Habisnya Lifetime**

  Terjadinya kerusakan valve karena Life time.Berdasarkan analisa diatas, penyebab terjadinya kebocoran (leak through) pada valve minimum flow BFP kemungkinan disebabkan oleh life time material, dan

dipengaruhi oleh aliran fluida yang mengikis disc valve secara perlahan lahan yang disebabkan oleh ΔP antara inlet dan outlet valve, sehingga memicu terjadinya crack pada seat dan disc valve minimum flow.

Gambar 4.15 Disk valve

4.4 Troubleshooting

Untuk menanggulangi setiap kerusakan yang terjadi pada *Boiler Feed Pump*, kita harus memilih metode yang cost efficient agar proses produksi dapat segera dilanjutkan dan meminimalisir kerugian yang terjadi. Selain itu diperlukan juga predictive maintenance yang akurat serta perlu dilakukan preventive maintenance secara rutin.

4.4.1 Solusi Yang Diberikan

Untuk mengatasi kerusakan yang terjadi,diperlukan tindakan yang cost efficient dan time efficient. Oleh karena itu diperlukan perencanaan yang matang dan pemilihan tindakan yang tepat.

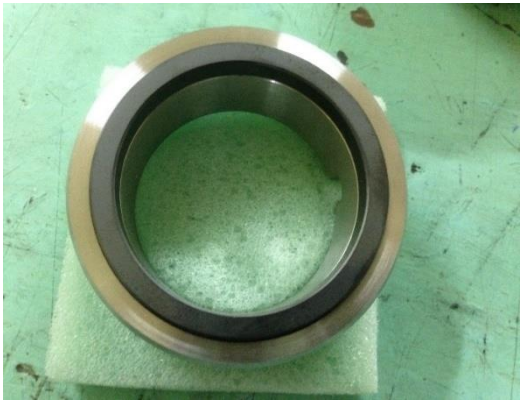
- **Untuk mengatasi kerusakan pada wearing ring**
    1. Melakukan pembersihan pada impeller dan wearing ring

       Kotoran yang tersangkut pada clearance berpotensi menimbulkan kerusakan pada poros

impeller. Oleh karena itu, diperlukan pengukuran kembali dengan tujuan memperlebar clearance (celah) antara wearing ring dan impeller agar kotoran atau benda asing tidak mudah tersangkut pada clearance. Akan tetapi sebelum dilakukan pelebaran pada clearance, harus dilakukan perhitungan agar lebar clearance tidak menyebabkan penurunan efisiensi pompa

Gambar 4.16 Proses pembersihan impeller

2. Penggantian wearing ring



Gambar 4.17 Wearing ring baru

Kelelahan material (lifetime) adalah suatu permasalahan yang tidak bisa dihindari pada setiap komponen permesinan. Dan jika hal ini terjadi,satu – satunya cara untuk mengatasi adalah melakukan penggantian dikarenakan jika dibiarkan terlalu lama akan memungkinkan kerusakan yang terjadi akan menjalar pada seluruh komponen mesin.

Untuk menjaga agar lifetime semakin panjang,maka kualitas material harus diperhatikan dan diperlukan spare (cadangan) wearing ring agar ketika melakukan maintenance rutin pompa bisa langsung beroperasi

- **Untuk mengatasi kerusakan pada motor penggerak**
  1. Melakukan pembersihan winding stator

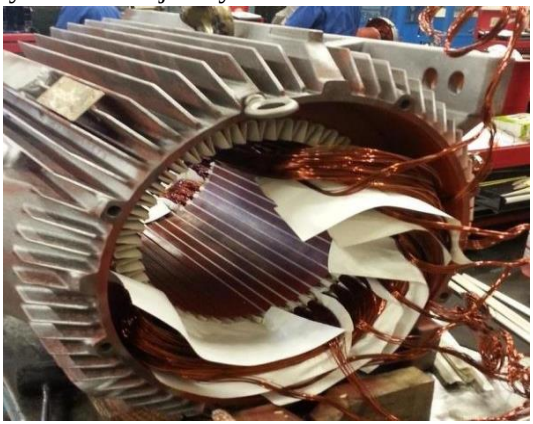
Gambar 4.18 Pembersihan winding stator

Kotoran dan debu yang menempel pada dinding winding stator menyebabkan operating process dari motor lebih tinggi dari seharusnya. Selain itu pada kasus yang parah menyebabkan motor overheating dan terjadi breakdown. Oleh

karena itu jika hal ini terjadi satu-satunya cara untuk mengatasi adalah dilakukannya pull out stator dan dilakukan pembersihan. Pemberisihan stator harus dilakukan secara rutin dan terjadwal dikarenakan penumpukan debu dan kotoran adalah suatu hal yang tidak bisa dihindari

2. Melakukan rewinding

   Jika tahanan isolasi belitan pada rotor atau stator sudah turun di bawah batas minimal, maka satu – satunya cara penyelesaian adalah dengan mengganti belitan baru yang dinamakan dengan proses rewinding dikaranekan turunnya tahanan isolasi pada belitan berpotensi menyebabkan terjadinya short circuit



Gambar 4.19 rewinding pada stator

- **Untuk mengatasi kebocoran pada cover barrel**

1. pengecekan kualitas mechanical seal ketika melakukan penerimaan barang

   Kualitas dari mechanical seal berpengaruh terhadap lifetime dari mechanical seal tersebut. Oleh karena itu pemeriksaan mechanical seal haruslah dilakukan sebelum

mechanical seal tersebut dipasang. Pemeriksaan dilakukan agar dapat ditentukan perkiraan lifetime dari mechanical seal sehingga preventive maintenance dapat dilakukan tanpa membuang waktu dan biaya.

Gambar 4.20 gasket baru

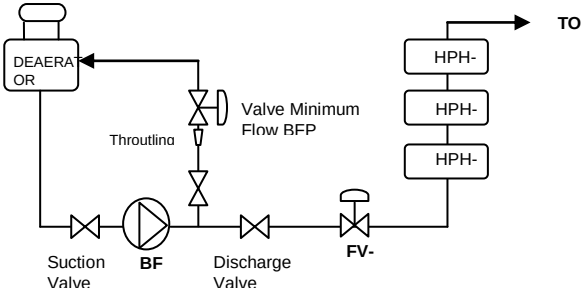
2. pembuatan manual book yang berisi prosedur pemasangan

   Pada umumnya,setiap pompa memiliki manual book yang berasal dari manufacturer pompa yang berisi mulai dari komponen pompa secara lengkap dan detail,serta langkah – langkah yang harus dilakukan dalam perakitan dan pembongkaran atau pemasangan kembali. Akan tetapi langkah – langkah yang ada didalam manual book kurang praktikal dan sulit untuk dipahami. Oleh karena itu diperlukan pembuatan prosedur pemasangan yang lebih praktikal dan jelas yang berisi step by step apa yang harus dilakukan dan yang tidak boleh dilakukan,yang disesuaikan dengan manual book.

- **Untuk mengatasi terjadinya aliran balik ke deaerator**
  1. Pemasangan throttle orifice

     Perbedaan tekanan yang tinggi antara inlet minimum flow (Discharge BFP) dengan outlet minimum flow (Deaerator) menyebabkan tekanan fluida yang melewati inlet minimum flow semakin tinggi. Tekanan yang tinggi menyebabkan kecepatan fluida yang mengalir melalui valve minimum flow ketika dalam kondisi open akan bertambah sehingga pengikisan yang terjadi akan menjadi lebih cepat dari yang diperkirakan.

     Pada dasarnya masalah tersebut dapat diatasi dengan memperkecil kapasitas fluida yang keluar dari BFP sehingga tekanan yang dihasilkan menurun,akan tetapi hal itu tidak dianjurkan dikarenakan berpotensi menurunkan efisiensi dari sistem pembangkit secara keseluruhan. oleh karenan itu diperlukan suatu alternative untuk menurunkan tekanan yang dihasilkan dari BFP tanpa menurunkan kapasitas,salah satunya dengan pemasangan throttling orifice.



Gambar 4.21 Posisi throttle orifice

Dengan menggunakan orifice kita bisa menurunkan pressure drop dari fluida yang akan

melewati inlet minimum valve tanpa memperkecil kapasitas pompa dikarenakan luas penampang orifice yang lebih kecil dari luas penampang pipa yang menyebabkan terjadinya pressure loss ketika fluida melewati celah tersebut. Dengan adanya penurunan tekanan ini nantinya akan membantu mengurangi pengikisan yang terjadi pada inlet minimum valve.

2. Penggantian valve dengan yang baru

   Kondisi seat valve dan disk valve sudah tidak layak dipakai sehingga perlu diganti dengan yang baru. Penggantian valve baru pun harus dikaji ulang dikarenakan kondisi actual pressure pada lokasi tidak sesuai prediks. Kualitas valve pun harus diperhatikan karena semakin bagus kualitas dari material yang digunakan akan sangat berpengaruh terhadap lifetime.

4.4.2 Preventive Maintenance

Tujuan dari dilakukannya preventive maintenance adalah untuk mencegah terjadinya kerusakan yang fatal pada Boiler Feed Pump. Selain itu dengan dilakukannya preventive maintenance,tim dapat menemukan dan segera mengatasi kerusakan – kerusakan yang bersifat minor,namun jika dibiarkan bisa berakibat fatal.

- **Pengetesan performa BFP yang dilaksanakan setiap bulan**

  Dengan membandingkan hasil dari pengetesan performa BFP pada periode dengan hasil pada periode sebelumnya,kita dapat mengetahui apakah performa dari BFP mengalami penurunan atau mengalami keanehan dan dapat segera dilakukan reactive maintenance dengan acuan data pada log sheet tersebut.

Tabel 4.2 Log sheet pengetesan performa BFP

No	Item	BFP			Satuan
		A	B	C	
1	Beban Maksimum 1 BFP				MW
2	Main Steam Flow				m^3/h
3	Main Steam Pressure				kg/cm^2
4	Vacuum Condenser				mmHg
5	Feed Water Flow				m^3/h
6	Feed Water Pressure				kg/cm^2
7	Flow BFP				m^3/h
8	BFP Suction pressure				kg/cm^2
9	Pressure Booster				kg/cm^2
10	BFP Discharge Pressure				kg/cm^2
11	Arus BFP				Ampere

- **Pembersihan strainer pada suction pompa**

  Strainer yang kotor akan mengganggu laju *Feed Water*. Oleh karena itu pembersihan secara rutin harus dilakukan. Selain itu pengecekan strainer juga diperlukan untuk mengetahui apakah strainer mengalami kerusakan, karena ditakutkan kotoran – kotoran yang terbawa oleh *Feed Water* tidak tersaring dengan sempurna

- **Pengecekan sistem pendinginan motor**

  Motor pompa yang bekerja non-stop pasti akan mengalami overheating dan jika dibiarkan ditakutkan akan merusak winding pada stator atau rotor dan menggagunggu laju fluks magnetic, oleh karena itu sistem pendinginan sangat diperlukan. Pengecekan sistem pendinginan secara rutin diperlukan agar jika terjadi kebocoran pada sistem pendinginan bisa segera diatasi

- **Pengecekan sistem pelumasan**

  Pengecekan pelumasan diperlukan agar bearing dapat bekerja dengan optimal. Kurangnya pelumasan akan menyebabkan rotasi bearing tidak lancar sehingga memungkinkan terjadinya *noise* atau vibrasi yang berlebihan.
- **Pengecekan apakah ada kebocoran pada sambungan pipa**

  Pengecekan sambungan pipa harus dilakukan secara rutin untuk mencari apakah ada sambungan yang mengalami kebocoran untuk mengurangi *losses* pada sistem.

4.4.3 Predictive Maintenance

Tujuan dilakukannya predictive maintenance adalah mengeleminasi gangguan pada mesin dengan menerapkan teknologi yang sesuai untuk mengukur kondisi dari sebuah mesin, mengidentifikasi dan melaporkan permasalahan secepatnya dan memprediksi waktu pelaksanaan tindakan korektif dilaksanakan.

- **Pengecekan suhu dan vibrasi motor**

  Dengan melakukan pengecekan suhu dan vibrasi motor,nantinya dapat dilakukan spekulasi apakah ada kerusakan atau gangguan pada komponen motor. Jika suhu terlalu tinggi kemungkinan terjadi gangguan pada winding stator atau rotor. Jika vibrasi terlalu tinggi kemungkikan terjadi gangguan pada bodi,atau kurangnya pelumasan.
- **Melakukan megger test pada winding motor**

  Tujuan dilakukannya megger test adalah untuk mengetahui apakah hambatan atau isolasi pada belitan masih memenuhi standar. Jika masih memenuhi maka tidak akan dilakukan tindakan. Tetapi jika hasil pengujian menunjukkan hasil negatif, maka rewinding harus segera

dilakukan karena akan memungkinkan terjadinya short circuit pada belitan

Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB V
KESIMPULAN DAN SARAN

5.1. Kesimpulan

Dari hasil analisa dan pembahasan yang telah dilakukan pada kerusakan yang terjadi pada *Boiler Feeed Pump* PT PJB UP Gresik. Maka dapat ditarik kesimpulan yang bisa digunakan PT PJB UP Gresik sebagai salah satu referensi dalam peningkatan effisiensi dan mutu pemeliharaan, serta dapat digunakan dalam penelitian berikutnya yang berkesinambungan. Penulis menyimpulkan berdasarkan analisa yang telah dilakukan:

1. Permasalahan yang menyebabkan terjadinya penurunan performa *Boiler Feed Pump* adalah karena adanya kerusakan pada *wearing ring* dan kerusakan pada motor.
2. Penyebab terjadinya kerusakan pada *wearing ring* adalah adanya kotoran diantara celah *wearing ring* dan *packing* pompa, sehingga terjadi gesekan yang menimbulkan. Sedangkan penyebab kerusakan pada motor dikarenakan kondisi stator yang kotor sehingga menyebabkan terjadi *overheat* pada motor dan turunnya resistansi pada belitan.
3. Solusi untuk mencegah terjadinya penurunan performa pada *Boiler Feed Pump* adalah melakukan pengecekan pada sistem pendinginan dan pelumasan motor, dan melakukan pembersihan strainer pada *suction* pompa.
4. Solusi untuk menanggulangi terjadinya penurunan performa pada *Boiler Feed Pump* adalah melakukan pembersihan pada *wearing ring* dan *winding stator*, dan melakukan penggantian pada *wearing ring* serta melakukan *rewinding* pada rotor dan stator.

5.2. Saran

Dari hasil analisis yang telah dilakukan maka penulis dapat memberikan saran sebagai berikut :

1. Pembuatan jadwal *preventive* dan *predictive maintenance* yang baru

2. Penggunaan SOP harus diterapkan sehingga tidak terjadi hal – hal yang tidak diinginkan, yang membahayakan bagi karyawan dan pihak – pihak yang terlibat.

DAFTAR PUSTAKA

Dufour, J.W, Nelson, W.E, 1992, *Centrifugal Pump Sourcebook*, McGraw-Hill, New York.

Higgins, Lindley R., dan Keith R, Mobbley. 2002, *Maintenance Engineering Handbook***,** Sixth Edition. McGraw-Hill. New York.

Karassik, Igor, Krutzsch, W.C, Fraser, W.H and Messina, J.P. 1985, *Pump Handbook*, Second Edition, McGraw-Hill, New York.

Keith R, Mobbley, 1999, *Maintenance Fundamental*, Second Edition, Elsevier Inc, Oxford.

Keith R. Mobbley, 2002, *An Introduction To Predictive Maintenance*, Second Edition, Elsevier Science. New York.

Palmer, Doc, 1999, Maintenance Planning and Scheduling Handbook, Second Edition, McGraww-Hill, New York.

PT PJB UP Gresik, *Profil Unit Pembangkitan Gresik*, PT. PJB, Gresik.

PT PLN, 1987, *Generator and Electrical Equipment*, Sumitomo Corporation, Japan

PT PLN, 1987, *Steam Turbine and Auxiliarry Equipment*, Sumitomo Corporation, Japan

Lampiran 1

FLOW (T/h)					
Tanggal	April	Mei	juni	Juli	Agustus
1	318.9091	318.6364	314.1818	332.5455	321.5455
2	315.7273	367.9091	328.8182	330.9091	319.9091
3	314.3636	318.8182	371.7273	333.2727	322.2727
4	313.9091	317.4545	318.0909	462.0909	451.0909
5	312.0909	316.3636	307.6364	327.8182	316.8182
6	309.6364	387.0909	326.0909	327.1818	316.1818
7	294.3636	483.4545	337.5455	327.6364	316.6364
8	309.7273	417	320.4545	329.2727	318.2727
9	307	313.8182	320.5091	326.2727	315.2727
10	301.5455	316.3636	318.9091	326.9091	315.9091
11	284.5455	398.8182	321.8182	342.6364	331.6364
12	306.3636	462.9091	318	385.8182	374.8182
13	303.2727	410.0909	337.1818	379.3636	368.3636
14	309	430.6364	328.4545	333.4545	322.4545

15	304.2727	441.0909	328.1818	334	323
16	344.0909	408.4545	317.3636	363.1818	352.1818
17	322	411.7273	375	334.1818	323.1818
18	474.2727	352.5455	382.0909	357.3636	346.3636
19	383	434.0909	392.0909	348.5455	337.5455
20	324.1818	315.8182	369	375.9091	364.9091
21	387.2727	389	329.0909	332.6364	321.6364
22	516.1818	353.8182	320.2727	370.9091	359.9091
23	536.1818	427.7273	392.0909	377.8182	366.8182
24	532.3636	316.3636	351.8182	333.3545	322.3545
25	380.3636	317.3636	392.4545	342.4545	331.4545
26	379.3636	322.4545	337.2727	349.2727	338.2727
27	465.1818	321	329.2727	368.9091	357.9091
28	466	370	346.6364	377.3636	366.3636
29	467.2727	388.9091	346.6364	351.2727	340.2727
30	364.363	319.545	353.272	331.545	320.545

	6	5	7	5	5
31		352.5455		323.8182	312.8182
Total	364.8939	371.6424	341.0655	349.6038	338.6038

Lampiran 2

Tanggal	V Average				
	april	mei	juni	juli	agustus
1	4096.21	4156.96	4145.53	4146.02	4072.74
2	4094.65	4162.78	4142.06	4162.5	4074.5
3	4129.91	4154.17	4134.71	4168.44	4145.35
4	4141.85	4130.62	4131.08	4149.69	4140.16
5	4156.11	4128.27	4125.85	4137	4114.96
6	4147.1	4130.7	4131.31	4107.43	4136.52
7	4147.42	4134.19	4134.9	4088.92	4138.98
8	4160.41	4136.66	4131.53	4096.44	4122.36
9	4176.91	4153.92	4102.49	4102.64	4142.23
10	4169.13	4167.89	4108.95	4137.63	4133.38
11	4164.4	4135.66	4147.33	4145.31	4129.84
12	4165.9	4109.21	4165.5	4150.68	4127.24
13	4167.9	4101.89	4158.69	4110.77	4123.19
14	4172.2	4087.3	4174.75	4125.37	4133.03
15	4171.59	4094.84	4151.41	4095.18	4139.08
16	4179.67	4139.2	4105.17	4099.36	4157.02
17	4170.1	4071.21	4086.41	4092.26	4157.24
18	4147	4067.34	4170.44	4078.82	4159.07
19	4116.67	4075.31	4170.99	4091.02	4164.11
20	4029.3	4107.46	4179.33	4105.38	4162.92
21	4029.98	4125.61	4168.61	4111.24	4146.08
22	4120.11	4127.05	4136.71	4104.77	4145.18
23	4138.47	4125.53	4132.92	4112.17	4133.95
24	4080.29	4123.7	4126.5	4121.78	4110.57
25	4071.59	4135.21	4149.03	4129.3	4089.3

26	4097.94	4138.53	4149.21	4135.67	4089.33
27	4123.11	4130.4	4147.95	4158.71	4121.68
28	4137.25	4133.89	4145.06	4162.08	4152.46
29	4133.77	4135.62	4135.21	4137.28	4138.35
30	4149.12	4143.78	4139.19	4092.88	4142.41
31		4149.94		4104.77	4146.21
Total	4132.869	4126.285	4140.961	4121.339	4131.917

Lampiran 3

Tanggal	I Average				
	april	mei	juni	juli	agustus
1	371.21	447.96	412.53	421.02	317.74
2	369.65	453.78	409.06	437.5	319.5
3	404.91	445.17	401.71	443.44	390.35
4	416.85	421.62	398.08	424.69	385.16
5	431.11	419.27	392.85	412	359.96
6	422.1	421.7	398.31	382.43	381.52
7	422.42	425.19	401.9	363.92	383.98
8	435.41	427.66	398.53	371.44	367.36
9	451.91	444.92	369.49	377.64	387.23
10	444.13	458.89	375.95	412.63	378.38
11	439.4	426.66	414.33	420.31	374.84
12	440.9	400.21	432.5	425.68	372.24
13	442.9	392.89	425.69	385.77	368.19
14	447.2	378.3	441.75	400.37	378.03
15	446.59	385.84	418.41	370.18	384.08
16	454.67	430.2	372.17	374.36	402.02
17	445.1	362.21	353.41	367.26	402.24
18	422	358.34	437.44	353.82	404.07
19	391.67	366.31	437.99	366.02	409.11
20	304.3	398.46	446.33	380.38	407.92
21	304.98	416.61	435.61	386.24	391.08
22	395.11	418.05	403.71	379.77	390.18
23	413.47	416.53	399.92	387.17	378.95
24	355.29	414.7	393.5	396.78	355.57
25	346.59	426.21	416.03	404.3	334.3

26	372.94	429.53	416.21	410.67	334.33
27	398.11	421.4	414.95	433.71	366.68
28	412.25	424.89	412.06	437.08	397.46
29	408.77	426.62	402.21	412.28	383.35
30	424.12	434.78	406.19	367.88	387.41
31		440.94		379.77	391.21
Total	407.8687	417.2852	407.9607	396.339	376.9174

Lampiran 4

Tanggal	P Average				
	april	mei	juni	juli	agustus
1	446.0292	546.2312	501.6456	512.0302	379.5946
2	443.9856	554.1027	497.0096	534.1875	381.8621
3	490.5243	542.4648	487.2133	542.2129	474.6536
4	506.4489	510.8553	482.3868	516.9507	467.7564
5	525.5772	507.7189	475.4465	499.9702	434.4915
6	513.4773	510.9621	482.6923	460.7693	462.9284
7	513.9063	515.6261	487.4661	436.4917	466.1904
8	531.3687	518.9313	482.9847	446.3306	444.2211
9	553.6923	542.1275	444.6432	454.4675	470.5054
10	543.1465	561.0302	453.1295	500.811	458.7699
11	536.7523	517.5927	504.0532	511.0791	454.0886
12	538.7786	482.4004	528.4631	518.2794	450.655
13	541.4825	472.7335	519.2917	465.1714	445.3144
14	547.3036	453.5595	540.9641	484.4912	458.3067

15	546.4772	463.4529	509.5175	444.6798	466.3231
16	557.442	522.3339	448.1609	450.16	490.2202
17	544.4594	432.559	423.6256	440.8575	490.5144
18	513.3433	427.5306	535.1331	423.3293	492.9629
19	472.9637	437.8959	535.8766	439.2359	499.7165
20	359.6607	480.0865	547.1724	458.0706	498.1206
21	360.5252	504.1726	532.6605	465.7914	475.625
22	477.5164	506.0919	489.8758	457.2681	474.4275
23	501.9324	504.0661	484.8323	467.0186	459.5244
24	425.2413	501.6289	476.3081	479.729	428.7346
25	413.9439	516.9906	506.3288	489.713	401.0022
26	448.2972	521.436	506.5699	498.196	401.0411
27	481.4924	510.5615	504.8829	529.0777	443.3257
28	500.3039	515.2249	501.0173	533.6208	484.1281
29	495.6633	517.5392	487.8787	500.3439	465.3547
30	516.185	528.478	493.180	441.668	470.744

	9	9	6	7	6
31		536.7632		457.2681	475.7981
Total	494.9307	505.2629	495.6804	479.3313	456.9968

BIODATA PENULIS

Penulis merupakan anak pertama dari pasangan Bapak Farid Joelianto Trilaksono dan Ibu Margaretha Alta Ardijanti yang memiliki dua adik kandung. Penulis lahir di kota Lumajang pada tanggal 28 April 1995. Jenjang pendidikan formal yang telah ditempuh penulis dimulau dari TK Pembina Lumajang,SDK Santo Yoseph Lumajang, SMPN 1 Lumajang, SMAN 2 lumajang. Pada tahun 2013 setelah lulus SMA, penulis diterima di program D3 Reguler ITS jurusan Teknik Mesin dan mengambil bidang Konversi Energi sebagai bidang keahlian.Sehari-harinya penulis cukup aktif di bidang organisasi. Organisasi yang pernah diikuti penulis yaitu Himpunan Mahasiswa D3 Teknik Mesin (HMDM)

Penulis dapat dihubungi melalui nomor telepon 082228731150 atau email : aryoradit13@gmail.com