



UNIVERSITAS INDONESIA

**STUDI PENGUKURAN UMUR SISA
(*REMAINING LIFE ASSESSMENT*)**

MESIN PADA INDUSTRI

SKRIPSI

ADITYA PRIMAPERKASA

0806323334

FAKULTAS TEKNIK

PROGRAM SARJANA

DEPOK

JUNI 2012



UNIVERSITAS INDONESIA

STUDI PENGUKURAN UMUR SISA

(*REMAINING LIFE ASSESSMENT*)

MESINPADA INDUSTRI

SKRIPSI

Diajukan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar sarjana teknik

ADITYA PRIMAPERKASA

0806323334

FAKULTAS TEKNIK

PROGRAM SARJANA

DEPOK

JUNI 2012

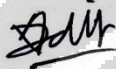
Universitas Indonesia

HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS

Proposal skripsi ini adalah hasil karya saya sendiri, dan semua sumber yang saya kutip maupun dirujuk telah saya nyatakan dengan benar.

Nama : ADITYA PRIMAPERKASA

NPM : 0806323334

Tanda Tangan : 

Tanggal : JUNI 2012

HALAMAN PENGESAHAN

Skripsi ini diajukan oleh :
 Nama : Aditya Primaperkasa
 NPM : 0806323334
 Program Studi : Teknik Mesin
 Judul Tesis : Studi Pengukuran Umur Sisa (*Remaining Life Assessment*) Mesin Pada Industri

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

DEWAN PENGUJI

Pembimbing	: Ir. Warjito M.Sc., Ph.D	(.....)
Penguji	: Yudan Whulanza S.T., M.Sc., Ph.D	(.....)
Penguji	: Dr. Ir. Gatot Prayogo M.Eng	(.....)
Penguji	: Ir. Imansyah Ibnu Hakim M.Eng	(.....)

Ditetapkan di : DEPOK

Tanggal : JUNI 2012

KATA PENGANTAR

Bismillahirrahmanirrahim

Alhamdulillah, Puji Syukur kehadiran Allah SWT yang telah memberikan rahmatnya sehingga penulis berkesempatan untuk menyelesaikan penelitian berjudul “Studi Pengukuran Umur Sisa (*Remaining Life Assessment*) Mesin Pada Industri”. Terima kasih juga saya ucapkan kepada :

1. Ir. Warjito M.Sc., Ph.D pembimbing skripsi yang memberikan banyak masukan, nasehat dan kesempatan untuk melihat dunia industri secara nyata.
2. Dr. Ir. Ahmad Indra Siswantara selaku pembimbing akademis yang telah sangat berjasa dalam memberi masukan, nasehat, dan arahan terbaik dalam proses perkuliahan.
3. Bapak Yudan, Bapak Gatot, dan Bapak Wahyu Nirbito di Departemen Teknik Mesin yang telah bekerja sama dalam memberi arahan pengolahan data skripsi.
4. Bapak, Mama, dan Tama yang tanpa lelah dan batas terus memberikan doa dan semangat kepada penulis untuk melanjutkan studi ini.
5. Teman-teman seperjuangan di kampus baik dalam hal formal dan non-formal, Audi yang menjadi “*partner*” skripsi, Rangga dan Okta yang selalu menemani dan setia saling membantu penulis di kampus dan kost Pak Khadam, anak-anak “The Labils” yang selalu membuat penulis semangat untuk kuliah mulai dari awal hingga akhir.

Akhir kata, penulis berharap Allah SWT berkenan membalas segala kebaikan semua pihak yang telah membantu. Semoga skripsi ini membawa manfaat bagi pengembangan ilmu.

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

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

Nama : Aditya Primaperkasa

NPM : 0806323334

Program Studi : Teknik Mesin

Departemen : Teknik Mesin

Fakultas : Teknik

Jenis karya : Skripsi

demikian pengembangan ilmu pengetahuan, menyetujui untuk memberikan kepada Universitas Indonesia **Hak Bebas Royalti Noneksklusif (*Non-exclusive Royalty Free Right*)** atas karya ilmiah saya yang berjudul : **STUDI PENGUKURAN UMUR SISA (*REMAINING LIFE ASSESSMENT*) ROTATING EQUIPMENT PADA INDUSTRI.**

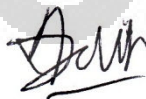
beserta perangkat yang ada (jika diperlukan). Dengan Hak Bebas Royalti Noneksklusif ini Universitas Indonesia berhak menyimpan, mengalihmedia / formatkan, mengelola dalam bentuk pangkalan data (*database*), merawat, dan memublikasikan tugas akhir saya selama mencantumkan nama saya sebagai penulis/pencipta dan sebagai pemilik Hak Cipta.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Dibuat di : DEPOK

Pada tanggal : JUNI 2012

Yang menyatakan



(Aditya Primaperkasa)

ABSTRAK

Nama : Aditya Primaperkasa

Program Studi : Teknik Mesin

Judul : Studi Pengukuran Umur Sisa (*Remaining Life Assessment*)
Mesin Pada Industri

Studi *Remaining Life Assessment (RLA)* dilakukan untuk dapat membantu manajemen industri dalam menentukan rencana kerja ke depan yang ekonomis, setelah *Rotating Equipments* beroperasi selama bertahun-tahun. Studi ini telah dilakukan dengan contoh kasus *Loading Arm* pada salah satu mesin produksi perusahaan minyak dan gas bumi (*oil & gas*). Melalui tinjauan berbagai literatur, lapangan, test dan inspeksi, dipilih metode *metallography* untuk dapat menemukan nilai *martensite*. Perbedaan nilai *martensite* selama kurun waktu 27 tahun (pemakaian 2,068 kali) adalah 10.7% . Dan perbedaan nilai *martensite* selama pemakaian 2,068 kali sampai ke pemakaian 2,098 kali adalah 0.76%. Trend peningkatan nilai *martensite* yang didapat dan ditunjukkan dalam grafik seharusnya dapat dipakai untuk menghitung umur sisa. Studi ini telah berhasil diimplementasikan, namun belum mendapatkan hasil umur sisa secara kuantitatif karena kelengkapan data sangat menentukan hasil prediksi.

Kata Kunci: *RLA, Rotating Equipments, Loading Arm, Metallography, Martensite*

ABSTRACT

Name : Aditya Primaperkasa
Study Program : Mechanical Engineering
Judul : *Study Of Machinery Remaining Life Assessment For Industries*

Studies Remaining Life Assessment (RLA) is done to be able to assist management in determining the industry forward work plane economically, after Rotating Equipments operating for many years. This study was conducted using the example of Loading Armon on a machine production of oil and gas companies (oil & gas). Through literature review, field test and inspection, metallographic method chosen to find the value of martensite. Differences in the martensite during the period of 27 years (use 2.068 times) were 10.7%. And differences in the martensite during the use of 2.068 times to 2.098 times the usage were 0.76%. Trend increase in the value of martensite is obtained and shown in the graph should be used to calculate the age of the rest. This study has successfully implemented, but not getting the rest of life because of the completeness of the data quantitatively determines the predicted results.

Key Words: *RLA, Rotating Equipments, Loading Arm, Metallography, Martensite*

DAFTAR ISI

HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS.....	Error! Bookmark not defined.
HALAMAN PENGESAHAN	Error! Bookmark not defined.
KATA PENGANTAR.....	3
HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI TUGAS AKHIR UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS	6
ABSTRAK	7
ABSTRACT	8
DAFTAR ISI	9
DAFTAR GAMBAR	11
DAFTAR TABEL.....	12
BAB 1 PENDAHULUAN.....	13
1.1 Latar Belakang.....	13
1.1.1 Kaitan Mesin-Mesin Dengan Rencana Kerja Industri <i>Oil & Gas</i>	13
1.1.2 <i>Rotating Equipments</i>	13
1.1.3 <i>Support Building Dan Power Plant</i>	15
1.1.4 Kebutuhan <i>Remaining Life Assessment</i> Bagi Industri Eksplorasi Dan Pengolahan Gas Alam	16
1.2 Perumusan Masalah	18
1.3 Tujuan Penelitian	19
1.4 Kegunaan Penelitian	19
1.5 Metodologi Penelitian	19
1.6 Sistematika Penulisan	20
BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA.....	22
2.1 Pengertian <i>Remaining Life Assessment</i>	22
2.2 Metode pemeriksaan permukaan material.....	24
2.3 Performa dan Kesesuaian Kerja Mesin	29
2.4 Langkah Penghitungan Umur Sisa	31
2.5 Metode Studi <i>Remaining Life Assessment</i>	34
2.5.1 <i>Mechanical Integrity Assessment</i>	34
2.5.2 <i>Logistic Regression Model</i>	37
2.5.3 Pendekatan Eksponensial.....	38

2.5.4	<i>Metallography</i>	38
2.6	<i>Martensite</i>	40
2.7	Vibrasi	42
BAB 3	METODE PENELITIAN	43
3.1	Flowchart <i>Remaining Life Assessment</i>	43
3.2	Koleksi Dan <i>Review Data</i>	44
3.3	<i>Test Dan Inspeksi</i>	45
3.4	Perhitungan Tingkat Efisiensi Mesin.....	45
3.5	Analisa Dan Pembahasan.....	45
3.6	Pengukuran Umur Sisa.....	46
BAB 4	DATA DAN PEMBAHASAN.....	47
4.1	Kegiatan <i>Pre-Assessment</i>	47
4.1.1	<i>Koleksi dan Review Data</i>	47
4.1.2	<i>Test Dan Inspeksi</i>	47
4.1.3	Perhitungan Tingkat Efisiensi Mesin	48
4.1.4	Perhitungan Performa Kompresor	51
4.1.4	Perhitungan Performa Power Generator	55
4.1.5	Perhitungan Performa Pompa.....	57
4.2	Contoh Studi Kasus <i>Remaining Life Assessment</i> Pada Loading Arm	61
4.2.1	Hasil Martensite Pada Permukaan Material Loading Arm	62
4.2.2	Pengolahan Data Tingkat Martensite Material Loading Arm.....	64
4.2.3	Hasil Studi <i>Remaining Life Assessment Pada Loading Arm</i>	67
BAB 5	KESIMPULAN.....	68
REFERENSI	70

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Metode <i>Liquid Penetrant Inspection</i>	19
Gambar 2.2 <i>Generic Procedure for Componen Life Assessment</i>	27
Gambar 2.3 <i>The Methodology Steps</i>	29
Gambar 2.4 <i>FE-C Diagram</i>	35
Gambar 3.1 <i>Flowchart Metode Studi RLA</i>	37
Gambar 4.1 Grafik Tingkat Efisiensi Kompresor	48
Gambar 4.2 Grafik Nilai Daya (MW) <i>Power Generator</i>	50
Gambar 4.3 Grafik Nilai Daya Input Motor <i>Sea Water Pump</i>	54
Gambar 4.4 Mikrostruktur Material Loading Arm Perbesaran 500 x.....	56
Gambar 4.5 Mikrostruktur Material Loading Arm Perbesaran 1000 x	56
Gambar 4.6 Grafik Nilai <i>Martensite</i> Pada Posisi 2E.....	59
Gambar 4.7 Grafik Nilai <i>Martensite</i> Pada Posisi 1A.....	59
Gambar 4.8 Grafik Nilai <i>Martensite</i> Pada Posisi 2B.....	60

DAFTAR TABEL

Table 2.1 Tahapan Pengukuran Umur Sisa.....	25
Tabel 4.1 Contoh <i>Test and Inspection Order</i>	41
Tabel 4.2 <i>Log Sheet Compressor</i>	43
Tabel 4.3 <i>Log Sheet Sea Water Pump</i>	43
Tabel 4.4 <i>Log Sheet Power Generator</i>	44
Tabel 4.5 <i>Log Sheet Nitrogen Plant</i>	44
Tabel 4.6 Nilai Efisiensi Dan Standar Deviasi Kompresor.....	47
Tabel 4.7 Nilai Daya Dan Standar Deviasi <i>Power Generator</i>	50
Tabel 4.8 Nilai Daya Dan Standar Deviasi <i>Sea Water Pump</i>	53
Tabel 4.9 Hasil Pengukuran <i>Martensite</i>	57
Tabel 4.10 Nilai Kritis <i>Martensite</i>	58
Tabel 4.11 Siklus Penggunaan <i>Loading Arm</i>	58

BAB 1 PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

1.1.1 Kaitan Mesin-Mesin Dengan Rencana Kerja Industri *Oil & Gas*

Industri pengolahan minyak dan gas bumi yang melakukan kegiatan eksplorasi, pengolahan bahan baku, hingga distribusi penjualan membutuhkan berbagai macam jenis mesin. Semua rencana kerja diatur sedemikian rupa selama kurun waktu puluhan tahun ke depan.

Pemilihan seluruh mesin utamam harus melalui hasil seleksi agar mampu mendukung rencana kerja industri. Spesifikasi masing-masing mesin dipilih melalui *design data* produsen mesin. Beberapa mesin tidak bekerja secara individu. *P&ID data* menggambarkan sistem kerja mesin-mesin yang digunakan. Mesin-mesin dan kelengkapannya tersebut antara lain adalah *rotating equipment*, *support building*, dan *power plant*.

Dalam mendukung rencana kerja industri, sebuah sistem pemeliharaan harus dijalankan secara tepat dan terus menerus agar rencana kerja jangka panjang dapat tercapai. Pencatatan kinerja dan kualitas mesin harus selalu dilakukan agar dapat dianalisa dan ditentukan sistem pemeliharaan mesinnya. Jenis pencatatan pun beragam, antara lain tentang kinerja mesin yang dicatat sesuai *item* yang ada dalam *design data*, dilakukan secara periodik dalam waktu tertentu seiring berjalannya waktu operasi. Catatan pemeliharaan mesin meliputi kerusakan dan atau penggantian *parts*, dan nilai kualitas material. Semua data yang dicatat harus selalu dibuat dengan sistem penyimpanan yang baik agar analisa yang bersangkutan dengan rencana kerja selanjutnya dapat dilakukan dengan akurat.

1.1.2 *Rotating Equipments*

Rotating equipment pada industri merupakan alat yang sangat penting. Jenis *rotating equipment* antara lain pompa, turbin, dan kompresor. Fungsi alat-alat tersebut pun berbeda-beda, sesuai kebutuhan dan jenis industri yang dijalankan:

1. Pompa

Pada dasarnya kegunaan pompa hampir semua sama, yaitu mengalirkan suatu jenis fluida dari suatu tempat ke tempat lain melalui sebuah media perpipaan dengan cara menambahkan energi pada fluida yang dipindahkan dan berlangsung secara terus-menerus. Pompa beroperasi dengan 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 digunakan untuk mengalirkan cairan dan melawan hambatan yang ada sepanjang aliran fluida. Jadi pompa dalam industri biasanya digunakan untuk transportasi fluida, dimana kerja dari pompa tersebut tergantung dari sifat dan jenis fluida.

2. Kompresor

Kompresor adalah peralatan atau mesin yang digunakan untuk mengalirkan gas / uap berdasarkan kenaikan tekanan, kenaikan *flow rate*, kenaikan kecepatan dan temperatur. Kompresor juga berfungsi sebagai alat untuk mentransportasikan atau mengalirkan bahan baku atau produk yang berbentuk gas dari satu peralatan ke peralatan lainnya. Terdapat dua metode utama dalam proses kompresi gas :

- a. Metode pertama yaitu dengan memberikan kerja pada suatu volume gas melalui kerja positif yang disebut dengan *Displacement Compressor*, yaitu memindahkan gas dari tekanan yang lebih tinggi yang dihasilkan oleh kompresor ke tempat tujuan yang sewajarnya memiliki tekanan lebih rendah.
- b. Metode kedua yaitu kerja kompresi *Dynamic*. Kompresor yang memberikan kerja kompresi (*Dynamic Compressor*) bekerja dengan cara memberikan akselerasi kepada fluida yang melaluinya, sehingga gas akan melaju dan mempunyai tekanan yang lebih tinggi.

3. Turbin

Turbin adalah sebuah mesin berputar yang mengambil energi dari aliran fluida. Fluida yang bergerak menjadikan baling-baling berputar dan menghasilkan energi untuk menggerakkan *rotor*. Turbin gas, uap, dan air

biasanya memiliki *casing* sekitar baling-baling yang memfokus dan mengontrol fluida. *Casing* dan baling-baling mungkin memiliki geometri variabel yang dapat membuat operasi efisien untuk beberapa kondisi aliran fluida. Energi diperoleh dalam bentuk tenaga *shaft* yang berputar.

Masalah yang sering timbul pada *rotating equipment* adalah pada bagian *fast moving objects* seperti *impeller*, *shaft*, *bearing* pada pompa dan salah satunya juga pada *turbine blade* pada kompressor [1]. Ketidaksesuaian kerja pada *rotating equipment* dapat dideteksi dari tingkat angka vibrasi. Vibrasi muncul akibat adanya suatu komponen yang bekerja (berputar) secara tidak sempurna. Mesin yang terdeteksi mempunyai angka vibrasi di atas batas kelayakan, selanjutnya harus dilakukan pemeriksaan lebih lanjut yang meliputi *oil analysis* hingga penggantian komponen agar tidak terjadi perambatan menuju komponen lain. Semua *rotating equipment* harus mampu bekerja tanpa henti selama puluhan tahun, hanya saja disediakan cadangan yang dioperasikan pada saat mesin sedang menjalani perawatan.

Kegagalan pada alat-alat produksi secara teknis dapat mengakibatkan ledakan, kebakaran, dan kerusakan lain. Disamping itu dapat menimbulkan resiko tinggi, baik terhadap tenaga kerja, masyarakat, alam di sekitarnya, maupun kerugian pada pihak industri. Oleh karena itu, kalangan industri menjadi harus sangat berhati-hati mengoperasikan peralatan dan mesin produksi. Kurangnya kontrol dan perawatan yang tepat baik dari segi waktu dan teknis merupakan penyebab utama terjadinya kegagalan yang berakibat fatal. Banyak industri yang sebenarnya tidak tahu metode apa yang tepat dalam hal kontrol dan perawatan alat-alat produksi. Dewasa ini telah banyak metode-metode untuk menganalisa kinerja hingga prediksi kegagalan suatu mesin atau alat-alat industri dapat dihindarkan [1].

1.1.3 Support Building Dan Power Plant

Support building seperti tanki minyak atau gas merupakan *environment* yang wajib dimiliki oleh industri *oil & gas*. Tanki berguna untuk menampung hasil eksplorasi baik saat berupa *raw material* (*crude oil or gas*) hingga menjadi

produk yang siap jual sebelum distribusi dilakukan dan menampung hasil distribusi. *Support building* tersebut dibangun sesuai kapasitas dan material masing-masing, direncanakan sesuai kebutuhan dan jenis produk yang akan disimpan. Perencanaan dan perhitungan harus sangat teliti dilakukan untuk dapat disesuaikan dengan kondisi alam dan lingkungannya.

Power plant seperti *generator* digunakan sebagai sumber penghasil daya (listrik) yang bertujuan mengoperasikan semua alat pada industri. *Power plant* sangat vital dalam dunia industri. Industri dapat berhenti dan mengakibatkan kerugian apabila *power plant* mengalami kegagalan dalam beroperasi. *Power plant* juga harus dapat bekerja terus menerus selama puluhan tahun, oleh karenanya harus pula direncanakan dan diperhitungkan secara baik dan teliti.

1.1.4 Kebutuhan *Remaining Life Assessment* Bagi Industri Eksplorasi Dan Pengolahan Gas Alam

Pada prinsipnya, semua benda yang bergerak selalu memiliki titik lelah (*fatigue*). Suatu alat yang telah mencapai titik lelahnya, jika tidak ditangani dengan tepat akan mencapai sebuah kegagalan (*failure*). Penyebab dari kegagalan juga bervariasi dalam setiap alat. Untuk dapat menentukan penyebab suatu kegagalan sangat perlu dilakukan analisis terhadap kerusakan (*failure analysis*) agar dapat mengetahui dan membedakan penyebab dan mekanisme terjadinya kegagalan. Bagi industri yang belum mengalami dampak dari kegagalan mesin atau alat industri, sudah sangat perlu untuk mengantisipasi terhadap kemungkinan terjadinya kegagalan yang dapat merugikan pihak industri karena terhambatnya produksi yang seharusnya berjalan dengan lancar.

Sebagian besar industri pembangkit, perminyakan, dan kimia di dunia membutuhkan durasi sangat panjang untuk dapat mengoperasikan alat-alat produksinya. Kebutuhan ini mungkin akan lebih signifikan peningkatannya selama dekade berikutnya karena dihindarkannya pembangunan pabrik baru selama beberapa tahun industri berjalan.

Keinginan kuat dari pemilik pabrik untuk terus mengoperasikan *plants* mereka selama 20 hingga 40 tahun pada umumnya disebabkan oleh beberapa faktor, antara lain :

1. Besarnya biaya konstruksi awal dan sumber daya modal
2. Waktu panjang dalam membangun *plant*
3. Ketidakpastian dalam tingkat permintaan hasil produksi
4. Semakin ketatnya aturan lingkungan, keamanan, dan lainnya
5. Terbatasnya ketersediaan lahan pembangunan baru

Beberapa studi membuktikan bahwa biaya dari perpanjangan umur alat (*maintenance*) hanya sekitar 20%-30% dari total biaya pembangunan industri baru. Pengertian “perpanjangan umur” sering disalah pahami. Tujuan kegiatan perpanjangan bukan untuk melanjutkan operasi pabrik di luar masa produksi, tetapi hanya untuk memastikan alat-alat dapat dimanfaatkan penuh sesuai dengan perhitungan masa produksi. Cara ini bertujuan untuk menghindari kegagalan dini dari alat-alat. Umur kerja dari alat industri sebenarnya dapat melebihi umur kerja yang telah ditetapkan produsen alat tersebut (*design data*) [2].

Seiring dengan berjalannya waktu, cadangan gas bumi pasti akan menipis hingga habis. Pada dasarnya setiap produsen memanfaatkan apa saja yang dapat diolah menjadi sebuah nilai ekonomi untuk mendapat keuntungan. Pada saat cadangan gas alam menipis, jumlah yang dihasilkan untuk dijual mungkin sudah tidak sebanding dengan biaya operasional pabrik. Selain itu investasi besar yang telah ditanam berupa mesin dan lingkungan akan disayangkan apabila tidak dioperasikan kembali. Tentu saja hal-hal tersebut harus dihindari oleh para produsen. Harus ada cara lain dalam pemanfaatan nilai investasi kembali. Merubah prinsip kerja merupakan salah satu cara yang dapat dilakukan industri agar semua aset dapat dimanfaatkan secara optimal sesuai dengan penghasilan yang didapat berbanding biaya operasionalnya.

Pada industri eksplorasi dan pengolahan gas alam misalnya, cara yang sangat mungkin dilakukan adalah merubah prinsip kerja. Pada awalnya industri ini berfungsi untuk mencari sumber kandungan gas alam yang kemudian

meningkatkan nilai ekonomi dengan cara mengolah gas tersebut menjadi barang siap pakai oleh produsen lain dan atau para konsumen. Mengingat seluruh fasilitas yang dimiliki sudah sangat memadai mulai dari eksplorasi hingga pendistribusian, bukan hal sulit mencari alternatif lain yang menguntungkan. Pada saat terdeteksi jumlah kandungan gas yang dapat dihasilkan sudah menipis, perusahaan dapat merubah sistem manajemen eksplorasi yang sudah ada menjadi sistem manajemen jasa stasiun pendistribusian. Manajemen dan cara kerja baru ini hanya sebatas menerima gas alam siap jual dan mendistribusikannya dari produsen lain yang tidak memiliki fasilitas penunjang selengkap industri ini. Cara seperti ini mengakibatkan semua fasilitas dapat digunakan kembali secara optimal. *Rotating equipment* bekerja kembali dengan menyalurkan gas yang dikirim produsen lain menuju tanki penyimpanan hingga *loading arm* yang mendistribusikan gas tersebut ke dalam kapal-kapal konsumen. Otomatis, *power plant* pun turut bekerja kembali.

Perubahan sistem kerja tersebut tidak semudah yang dibayangkan. Sangat erat kaitannya dengan rencana kerja jangka panjang yang perlu memperhitungkan biaya operasi. Selain biaya yang perlu diperhitungkan, kemampuan alat sejauh mana masih layak beroperasi juga penting untuk diperhitungkan. Rencana kerja jangka panjang yang baru dapat melenceng akibat fasilitas-fasilitas yang kurang mendukung. *Remaining Life Assessment* merupakan cara yang tepat dalam memperhitungkan sejauh mana mesin-mesin dapat beroperasi secara layak dan memenuhi standar.

Remaining Life Assessment sebaiknya diterapkan pada semua fasilitas yang ada dan akan digunakan kembali pada rencana kerja baru. Untuk itu semua data yang dicatat harus selalu dibuat dengan sistem penyimpanan yang baik agar *remaining life assessment* untuk rencana kerja selanjutnya dapat dilakukan dengan akurat, karena kelengkapan dan akurasi data sangat menentukan hasil prediksi.

1.2 Perumusan Masalah

Berdasarkan studi literatur yang telah dilakukan dapat diketahui bahwa umur sisa mesin dapat diprediksi dengan metode tertentu. Sementara itu

pengukuran umur sisa mesin dapat membantu industri dalam menentukan rencana kerja ke depan. Hasil yang dikeluarkan berupa lama waktu mesin yang dianggap layak operasi dan informasi bagian-bagian mesin yang rentan *failure* serta rekomendasi *maintenance*. Hal ini menjadi latar belakang untuk melakukan studi pengukuran umur sisa (*Remaining Life Assessment*) yang dianggap sangat bermanfaat untuk jangka panjang.

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan yang ingin dicapai pada penelitian ini adalah dapat mengimplementasikan hasil Studi *Remaining Life Assessment* untuk dunia perindustrian.

1.4 Kegunaan Penelitian

Kegunaan penelitian ini adalah dapat menetapkan rumus, menghitung dan menemukan nilai *martensite* berdasarkan literature dan data-data yang ada sehingga dapat memberikan hasil dari prediksi umur sisa dari alat-alat atau mesin industri.

1.5 Metodologi Penelitian

1. Studi Literatur.

Studi literatur merupakan proses pembelajaran bahan-bahan yang berkaitan dengan materi bahasan yang berasal dari buku-buku, jurnal dan situs-situs internet.

2. Site Visit.

Site visit dilakukan untuk membantu memberikan gambaran utuh perihal keadaan lapangan, pengenalan proses kerja, *overview* kondisi mesin dan pengenalan medan secara umum.

3. Koleksi dan *Review* Data.

Pengumpulan data yang dibutuhkan untuk mengukur umur sisa seperti *design data*, *performance data*, dan *maintenance record*. Kemudian

dilakukan pemilahan data yang sesuai dan proses analisa statistik sehingga diperoleh parameter-parameter *reliability*.

4. *Test* dan Inspeksi.

Pada bagian ini bertujuan untuk mendapatkan data primer yang menggambarkan *current condition* mesin dengan melakukan pengujian bagian-bagian penting dari mesin.

5. Perhitungan Tingkat Efisiensi Mesin

Performa mesin dapat terlihat pada tingkat efisiensi pada kondisi *design* dengan kondisi *actual* berdasarkan data performa. Perhitungan dilakukan dengan mengambil beberapa data performa sebagai sumber perhitungan efisiensi mesin. Perbedaan tingkat efisiensi disajikan dalam bentuk grafik.

6. Analisa dan Pembahasan

Berdasarkan studi literatur dan metodologi yang telah ditetapkan, analisa secara terpadu dilakukan dengan *maintenance data* guna mencari *failure modes*, disamping juga memperhatikan hasil-hasil *test* dan inspeksi.

1.6 Sistematika Penulisan

Sistematika penulisan skripsi ini dilakukan menurut urutan bab-bab sebagai berikut:

BAB I PENDAHULUAN

Bab ini berisi latar belakang yang melandasi penulisan skripsi, tujuan penelitian, kegunaan penelitian dan pembatasan masalah, metodologi penelitian, dan sistematika penulisan.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

Bab ini menjelaskan teori-teori yang mendasari penelitian Pengukuran Umur Sisa (*Remaining Life Assessment*).

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

Bab ini menerangkan tentang bagaimana pengukuran umur sisa dilakukan, komponen yang digunakan dalam pengujian, prosedur dan obyek pengujian.

BAB IV DATA DAN PEMBAHASAN

Bab ini memuat data-data hasil pengujian yang diolah dan penjelasan hasil olah data, yang telah menjadi grafik.

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

Pada bagian ini akan diambil beberapa kesimpulan dari seluruh analisa yang telah dilakukan dengan disertai saran terhadap pengembangan desain selanjutnya.

BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Pengertian *Remaining Life Assessment*

Remaining Life Assessment adalah usaha untuk mengukur dan memprediksi umur sisa suatu mesin. Dengan mengetahui umur sisa suatu peralatan atau bagiannya, maka teknisi dapat merencanakan penggantian atau perbaikan.

Biasanya *vendor* sudah menghitung usia mesin/peralatan yang mereka buat. Namun untuk mencapai umur *design* diperlukan pola operasi dan metode pemeliharaan yang baik karena pola operasi dan metode pemeliharaan menentukan umur *design* dapat tercapai atau tidak. Ada ketidakpastian bila menentukan usia pakai dan rusak tidaknya suatu komponen equipment bila hanya berdasarkan waktu operasi.

Diperlukan metode yang berdasarkan kondisi (*condition base*) komponen equipment dapat menentukan usia sisa dan rusak tidaknya komponen tersebut. Untuk *rotating equipment* ada yang namanya *predictive maintenance* yang memakai pendekatan analisa vibrasi, *oil analysis*, *metallography* dan *thermography* untuk mengetahui kondisi aktual *equipment* (bukan umur sisa). Selain itu sebagai dasar penting untuk mendapatkan hasil yang baik adalah analisis data-data operasional aktual (temperature, tekanan, tegangan, arus, output), pengalaman operasional dan *operational tenders*. Suatu pendekatan integral yang memungkinkan *assessment* kemampuan dan *safety* operasional saat ini hanya mungkin dilakukan dengan cara menarik suatu hubungan antara *operational load* dan status aktual pabrik dan komponennya yang diperoleh dari test dan inspeksi. Berdasarkan hasil tersebut, tindakan-tindakan tepat untuk prosedur-prosedur masa depan dapat diinisiasi secara rasional.

Memperhitungkan perkiraan umur sisa (*Remaining Life Assessment*) membutuhkan mekanisme model kerusakan material. Model kerusakan dan informasi kondisi operasi akan menghasilkan perhitungan akurat dari pengukuran umur sisa. Dalam perhitungan kondisi komponen, kondisi terbaru komponen tersebut harus diperhitungkan terlebih dahulu sebelum pengukuran umur sisa

dapat dilakukan. Kondisi saat ini juga dapat diperhitungkan menggunakan akumulasi jenis kerusakan selama mesin beroperasi dan kondisi operasi yang diterapkan. Tetapi prosedur tersebut kurang akurat dibanding metode *non-destructive examination (NDE)* yang dapat memberi informasi tingkat material saat ini, karena pada umumnya data kondisi masa lalu sulit diperoleh. Setelah kondisi material saat ini di analisa, pengukuran umur sisa dapat dihitung dengan menggunakan akumulasi perhitungan seluruh tipikal kerusakan dan perkiraan kondisi operasi yang telah disarankan. Ketika jenis kerusakan dan pengoperasian sudah diketahui, *remaining life assessment* dapat dihitung dengan tingkat keakuratan yang dianggap sesuai. Perkiraan hasil pengukuran umur sisa digunakan untuk membuat keputusan dalam perbaikan dan mengatur kembali inspeksi terhadap mesin. Dalam beberapa kasus, pengukuran umur sisa tidak dapat diperhitungkan karena tidak ada jumlah kuantitatif mekanisme kerusakan material atau kondisi masa depan yang tidak dapat diramalkan, akibat kurangnya pemantauan dan pencatatan data yang akan selalu dibutuhkan dalam memprediksi kelayakan mesin. Maka peningkatan *monitor* selama operasi dalam rencana kerja masa depan mesin harus sangat diperhatikan [3].

Umur sisa dapat diketahui dari beberapa aspek pendekatan terpadu, di mana *NDE* digunakan untuk menggambarkan kondisi *material* dan model kerusakan saat ini dengan kondisi operasi masa depan untuk menghitung akumulasi kerusakan yang bisa dijadikan hasil umur sisa. *NDE* dan prediksi umur sisa yang digabungkan dapat dioptimalkan dan diselesaikan dengan biaya yang efektif. Pendekatan macam ini menghindari terlalu sedikit atau banyak, atau salah dalam menentukan data inspeksi, dan mencoba menghindari penggunaan data yang tidak sesuai dengan *NDE*. Pendekatan terpadu juga memastikan bahwa mekanisme kerusakan yang ditunjukkan sudah tepat [3].

Pengimplementasian *Remaining Life Assessment (RLA)* pada industri akan menunjukkan kemampuan mesin sejauh mana dapat beroperasi di masa depan. Ketika indikasi *failure (degradation)* terdeteksi yang bisa didapat dari hasil *reliability*, pada momen ini *remaining life assessment* penting digunakan untuk membuat sistem *maintenance* yang tepat untuk meminimalisir *failure* [4].

Reliability pada unit tertentu selama penggunaan di lapangan penting diperhatikan pada beberapa *critical application* seperti *turbine engines*, *life-maintaining systems*, dan struktur sipil. *Reliability* dimaksudkan untuk menganalisa *design*, *maintenance*, dan data operasi agar dapat mengetahui sejarah kondisi mesin.

Pada beberapa tahun terakhir, kebutuhan akan metode *RLA* telah mengalami peningkatan. Teknologi yang telah meningkat seperti munculnya sensor-sensor canggih yang dapat digunakan mendeteksi penurunan kualitas *material* dapat menjadi basis pengukuran umur sisa.

2.2 Metode pemeriksaan permukaan material

1. Inspeksi Visual

Inspeksi visual dapat menentukan keseluruhan awal kondisi kondisi struktur atau komponen. Penambahan alat pengujian dimensi sangat dapat meningkatkan efektifitas teknik ini, dapat menggunakan kamera video, *borescopes*, atau alat operasional lainnya secara khusus.

2. Pemeriksaan menggunakan Penetran Cair/*Liquid Penetrant*.

Cacat yang mampu dideteksi dengan uji ini adalah keretakan yang bersifat mikro. Yaitu keretakan yang tidak dapat diamati dengan mata



telanjang. Deteksi keretakan dengan cara ini tidak tergantung pada ukuran, bentuk, arah keretakan, struktur bahan maupun komposisinya. *Liquid Penetrant* dapat meresap ke dalam celah retakan yang sangat kecil bahkan ke dalam keretakan yang hanya sedalam 4 mikron (4×10^{-6} m). Penyerapan *liquid penetrant* ke dalam celah retakan terjadi karena daya kapiler. Proses ini banyak digunakan untuk menyelidiki keretakan permukaan (*surface cracks*), kekeroposan (*porosity*), lapisan-lapisan bahan, dan lain lain. Sedangkan seberapa dalam keretakan tersebut tidak mampu dideteksi dengan uji ini. Penggunaan uji *liquid penetrant* tidak terbatas pada logam *ferrous* dan *non-ferrous* saja, tetapi juga pada *ceramics*, plastik, gelas, dan benda-benda hasil *powder* metalurgi [5].

Gambar 2.1 Metode *Liquid Penetrant Inspection*

Lingkup pemakaian uji *liquid penetrant*, sangat terbatas yakni :

- 1) Keretakan atau kekeroposan yang diselidiki dapat dideteksi apabila keretakan tersebut terjadi sampai ke permukaan benda. Keretakan di bawah permukaan (*subsurface cracks*) tidak dapat dideteksi dengan cara ini.

- 2) Permukaan yang terlalu kasar atau berpori juga dapat mengakibatkan indikasi yang palsu atau kurang tepat.
 - 3) Tidak dianjurkan menyelidiki benda-benda hasil powder metallurgi karena kurang padat (berpori).
- a. Klasifikasi *liquid penetrant* sesuai cara pembersihannya.
- Terdapat tiga macam sistem *liquid penetrant* yang dapat digunakan. Ketiganya memiliki perbedaan yang mencolok. Pemilihan salah satu sistem bergantung pada faktor-faktor :
- 1) Kondisi permukaan benda kerja yang diselidiki
 - 2) Karakteristik umum keretakan logam
 - 3) Waktu dan tempat penyelidikan
 - 4) Ukuran benda kerja

Ketiga sistem *liquid penetrant* yang dapat digunakan adalah :

1) *The Water Washable Penetrant System*

Direncanakan agar *liquid penetrant* dapat dibersihkan dari sistem serupa. Sistem ini dapat berupa *fluoreacont* atau *fisibledye*. Prosesnya cepat dan efisien. Pembasuhan harus dilakukan secara hati-hati, karena *liquid penetrant* dapat terhapus habis dari permukaan yang retak. Derajat dan kecepatan pembasuh untuk proses ini tergantung pada karakteristik dari *spray nozzle*, tekanan, temperatur air selama pembasuhan, kondisi permukaan benda kerja, dan karakteristik *liquid penetrant* sendiri.

2) *The Post Emulsifiable System*

Untuk menyelidiki keretakan yang sangat kecil, digunakan *penetrant* yang tidak dapat dibasuh dengan air (*not water washable*). Hal ini penting agar tidak ada kemungkinan *penetrant* terbasuh oleh air. *Penetrant* jenis ini dilarutkan dalam oli dan membutuhkan langkah tambahan pada saat penyelidikan, yaitu pembubuhan *emulsifier* dibiarkan pada permukaan benda kerja, harus dibatasi waktunya agar

penetrant yang berada di dalam keretakan tidak menjadi *water washable* agar tidak ikut terbasuh.

3) *The Solvent Removable System*

Kadang-kadang dibutuhkan penyelidikan pada daerah yang sempit pada permukaan benda kerja yang penyelidikannya dilakukan di lapangan. Biasanya benda kerjanya besar atau ongkos pemindahan benda kerja ini dari lapangan ke tempat penyelidikan adalah relatif mahal. Untuk situasi seperti ini *solvent removable system* digunakan pada saat pembersihan pendahuluan (*precleaning*) dan pembasuhan *penetrant*. *Penetrant* jenis ini larut dalam oli. Pembersihan pelarut secara optimum dapat dicapai dengan cara mengelap permukaan benda kerja dari *penetrant* dengan lap yang dibasahi *solvent*. Tahap akhir dari pengelapan dilakukan dengan kain kering. *Penetrant* dapat pula dibasuh dengan cara membanjiri permukaan benda kerja dengan *solvent*. Cara ini diterapkan pada benda kerja yang besar. Tetapi pelaksanaannya harus berada dalam keretakan tidak ikut terbasuh. Proses seperti ini biasanya dilakukan untuk aplikasi yang khusus, karena prosesnya memakan tenaga yang relatif banyak dan tidak praktis untuk diterapkan sebagai inspeksi pada hasil produksi. Proses ini merupakan proses *liquid penetrant inspection* yang paling sensitif bila dilakukan dengan cara yang baik.

Klasifikasi *liquid penetrant* berdasarkan pengamatannya, terdapat tiga jenis, yaitu :

1) *Visible Penetrant*

Pada umumnya *Visible penetrant* berwarna merah. Hal ini ditunjukkan pada penampilannya yang kontras terhadap latar belakang warna developernya. Proses ini tidak membutuhkan cahaya ultraviolet, tetapi membutuhkan cahaya putih yang cukup untuk pengamatan. Walaupun sensitifitas *penetrant* jenis ini tidak setinggi jenis *fluorecent*, tetapi cukup memadai untuk berbagai kegunaan.

2) *Fluorecent Penetrant*

Liquid penetrant jenis ini adalah *liquid penterant* yang dapat berkilau bila disensitifitas. *Fluorecent penetrant* bergantung pada kemampuannya untuk menampilkan diri terhadap cahaya ultraviolet yang lemah pada ruangan gelap.

Ada tiga tingkatan sensitifitas, yaitu :

- a. Sensitifitas normal (cahaya normal)
- b. Sensitifitas tinggi (cahaya gelap)
- c. Sensitifitas tingkat tinggi (infra merah)

Pemilihan penggunaan sensitifitas *penetrant* bergantung pada kekritisian inspeksi, kondisi permukaan yang diselidiki, jenis proses (*system*), dan tingkat sensitifitas yang diinginkan.

3) *Dual Sensitivity Penetrant*

Ini adalah gabungan dari *visible* dan *fluorecent penetrant*, maksudnya adalah benda kerja mengalami dua kali pengujian yaitu : *visible penetrant* dan *fluorecent penetrant*, sehingga dengan duel sensitifitas dapat diperoleh hasil yang lebih teliti dan akurat.

Tahap-tahap Inspeksi, dilaksanakan sebagai berikut :

- 1) Permukaan yang diperiksa dibersihkan dari kotoran yang mungkin menyumbat / menutupi celah.
- 2) Permukaan yang bersih dilapisi oleh cairan *penetrant* dalam waktu tertentu agar cairan *penetrant* dapat masuk ke dalam celah. Pelapisan dapat dilakukan melalui penyemprotan, pengolesan, atau penyelupan.
- 3) Sisa cairan *penetrant* di permukaan yang tidak masuk ke dalam celah dibersihkan.
- 4) Permukaan dilapisi developer untuk menyedot ke luar cairan *penetrant* yang berada dalam celah, agar menghasilkan indikasi.
- 5) Permukaan diinspeksi secara visual untuk dideteksi adanya indikasi

6) Benda uji dicuci / dibersihkan, bila perlu diberi perlakuan anti karat [4].

3. Pemeriksaan Partikel Magnetik

Pemeriksaan partikel magnetik digunakan untuk mendeteksi permukaan berbahan *ferromagnetic* seperti magnet yang akan terlihat diskontinuitas yang terletak dalam arah melintang medan magnet yang dapat disimpulkan mengalami kebocoran.

4. Eddy Current

Inspeksi ini didasarkan pada prinsip-prinsip induksi elektromagnetik dan digunakan untuk mengidentifikasi atau membedakan berbagai kondisi fisik, kondisi struktural, dan metalurgi dalam logam *ferromagnetic* dan *non-ferromagnetic*.

Selain beberapa metode pemeriksaan material tersebut, *metallography* merupakan cara paling umum dan sering dilakukan. Hasil yang diharapkan dari uji *metallography* adalah nilai prosentase *martensite*.

2.3 Performa dan Kesesuaian Kerja Mesin

Beberapa langkah dalam melakukan pendekatan terpadu yang dapat memberi informasi tentang performa dan kesesuaian kerja mesin, yaitu :

1. Analisa unjuk kerja dari performa setiap alat selama alat tersebut beroperasi. Pada analisa ini, bagian-bagian yang membentuk suatu sistem kerja pada mesin yang dihitung. Analisa terhadap performa mesin dilihat dari tingkat efisiensi mesin selama mesin beroperasi. Efisiensi mesin menggambarkan tingkat efektifitas mesin bekerja. Secara umum, semua benda yang bergerak pasti akan terjadi penurunan performa hingga mencapai *failure* dimana perlu dilakukan perawatan hingga penggantian pada bagian-bagian mesin. Penghitungan efisiensi membutuhkan informasi yang sewajarnya selalu dicatat oleh industri berupa *log sheet*. Isi catatan pada *log sheet* akan berbeda-beda pada setiap mesin, dapat dilihat pada gambar-gambar yang terdapat pada BAB 4. Setelah informasi yang dibutuhkan terkumpul dan dipilah, maka efisiensi bisa dihitung menggunakan rumus efisiensi yang bervariasi pada setiap alat.

Hasil nilai efisiensi akan disajikan dalam bentuk grafik untuk memudahkan dalam pembacaan.

2. Analisa angka vibrasi yang dihasilkan dari setiap alat selama kurun waktu tertentu.

Gejala timbulnya vibrasi merupakan sebuah parameter adanya *noise* dalam sebuah mesin. Untuk itu, nilai vibrasi harus selalu diamati agar tidak melampaui batas yg diijinkan. Semakin besar timbul angka vibrasi, apabila diabaikan akan merujuk pada sebuah *failure*. Gejala vibrasi umumnya timbul akibat gesekan pada *moving object* karena kurangnya pelumasan, ketidak seimbangan benda yng bergerak atau berputar, dan lain-lain. Dari analisa vibrasi, dapat diketahui bagaimana perlakuan dan perhatian industri terhadap mesin yang mereka operasikan. Selain itu dapat memberi arahan tentang perawatan yang harus dilakukan terhadap mesin-mesin.

3. Thickness(laju pengurangan ketebalan).

Pengurangan ketebalan pada material logam merupakan salah satu sebab akibat dari korosi. Hal ini perlu dipantau karena akan sangat mempengaruhi kekuatan logam. Perhitungan *design* material pasti sangat memperhitungkan kekuatan material yang berasal dari dimensi selain jenis bahannya.

5. Laju korosi

Korosi atau perkaratan sangat lazim terjadi pada besi. Besi merupakan logam yang mudah berkarat. Karat besi merupakan zat yang dihasilkan pada peristiwa korosi, yaitu berupa zat padat berwarna coklat kemerahan yang bersifat rapuh serta berpori. Korosi pada mesin industri harus sangat diperhatikan, karena korosi dapat merusak struktur material dari alat vital industri. Material akan menjadi rapuh apabila tingkat korosi pada material telah sangat tinggi. Pertimbangan dari segi cuaca umumnya merupakan faktor yang sangat mempengaruhi terjadinya korosi. Kelembaban udara merupakan salah satu faktor paling berpengaruh dalam terjadinya korosi.

Untuk mencegah terjadinya korosi, beberapa teknik dapat diusahakan. Biasanya zat campuran logam harus tersebar merata di dalam logam. Logam diusahakan agar tidak kontak langsung dengan oksigen atau air, dengan cara memberi lapisan cat atau logam lain yang mudah mengalami oksidasi pada permukaan logam.

Selain itu dapat menggunakan galvanisasi atau perlindungan katoda. Proses ini digunakan pada pelapisan besi dan seng. Seng adalah salah satu jenis material yang sangat mudah teroksidasi membentuk lapisan ZnO [5].

2.4 Langkah Penghitungan Umur Sisa

Pada bagian sebelumnya telah dijelaskan pengertian dari *Remaining Life Assessment*. Pada bagian ini akan dijelaskan bahwa secara garis besar, *RLA* dilakukan dalam tiga langkah sebagai berikut:

1. Koleksi dan review data desain dan *operation history*
2. Koleksi dan review data maintenance dan *inspection history*
3. Analisa *scientific* berdasarkan data tahap 1 & 2 dikombinasikan dengan sifat terukur material peralatan, sebagaimana digambarkan dalam tabel berikut :

Tabel 2.1 Tahapan Pengukuran Umur Sisa [1]

Tinjauan	Tingkat I	Tingkat II	Tingkat III
Ciri Mesin	Ada Perincian	Rincian Lebih Detail	Rincian Sangat Detail
Catatan Kegagalan	Catatan Lapangan	Catatan Lapangan	Catatan Lapangan
Ukuran / Dimensi	<i>Design</i> / Nominal	Hasil Pengukuran	Hasil Pengukuran
Kondisi Mesin	Catatan Lapangan	Inspeksi	Inspeksi Mendetail
Tegangan Material	<i>Design</i> / Operasional	Perhitungan Dasar	Analisa Lanjutan
Temperatur & Tekanan	<i>Design</i> / Operasional	Data Operasi / Pengukuran	Hasil Pengukuran
Properti Material	<i>Minimal</i>	Minimal	Material Asli
Kebutuhan Sampel	Tidak	Tidak	Butuh

Pada tingkat 1 data-data desain dan operasi dikumpulkan dan di *review*. Melalui *review* data-data ini, dapat dilakukan pemilahan alat-alat menjadi dua bagian yaitu *critical part* dan *noncritical part*. Selanjutnya dilakukan *review* tentang *failure mechanism* yang mungkin untuk setiap komponen. Beberapa kemungkinan *failure mechanism* yang dikenal misalnya: *creep, relaxation, thermal fatigue, fatigue, embrittlement, erosion dan corrosion*.

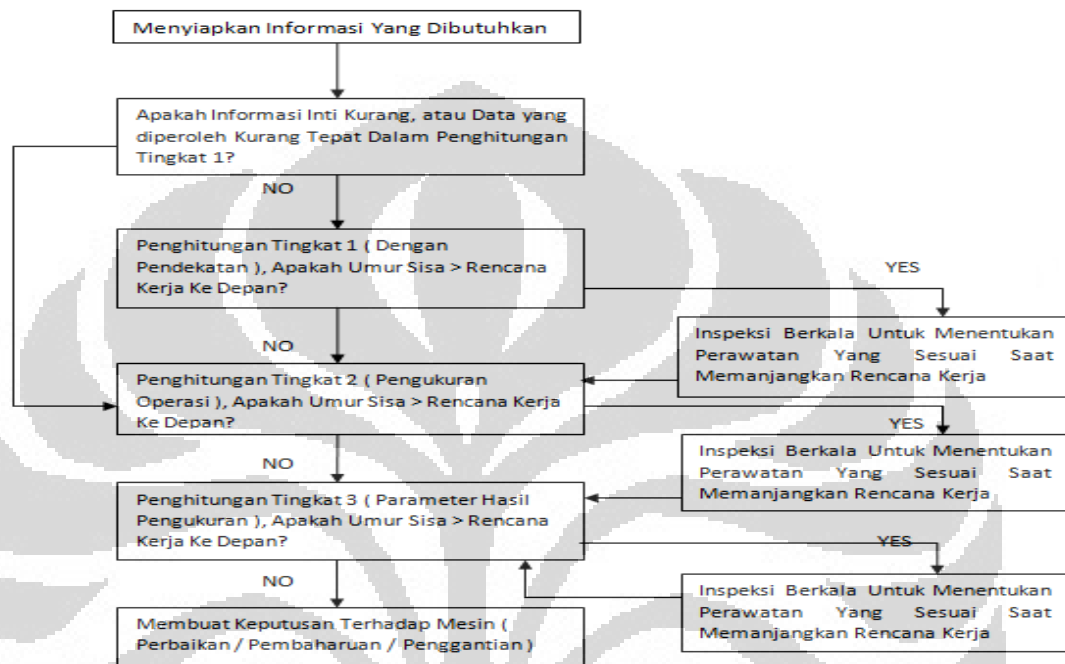
Untuk peralatan listrik, data-data yang direview terutama ketahanan isolasi peralatan (*insulation withstand*), kemampuan peralatan menyalurkan arus (*current*) ; Ampere, Tegangan (*Voltage*) ; Volt, Power ; Watt, dan konsumsi energi (Wh). Peralatan dapat dipilah-pilah menjadi *Critical* dan *Non Critical*. Beberapa kemungkinan kegagalan operasi peralatan secara elektrik antara lain ; kegagalan isolasi, kegagalan mekanisme peralatan, kesalahan prosedur (pembebanan) selama pengoperasian berlangsung, kegagalan sistem instalasi, faktor lingkungan, dan sebagainya.

Tingkat 2 dua memberikan “sejarah” spesifik dari instalasi, sehingga diperoleh data yang lengkap mulai dari data desain, operasi, maintenance dan inspeksi. Melalui data maintenance akan didapatkan berbagai informasi penting seperti riwayat penggantian dan perbaikan komponen. Sedangkan inspeksi atau testing sangat diperlukan untuk membandingkan kondisi material suatu komponen/alat saat ini dengan kondisi awalnya untuk menentukan besarnya kemunduran (*deterioration*) alat tersebut.

Pada akhirnya, berdasarkan informasi yang diperoleh pada tingkat 1 dan tingkat 2, dilakukan perhitungan umur sisa komponen secara teoritis berdasarkan pada standard, rekomendasi dan lain lainnya.

Dalam prosedur pengukuran umur sisa, definisi yang sesuai dari kegagalan diterapkan pada situasi tertentu dan harus ditentukan dari awal, begitu pula tujuan pengukuran umur. Selain itu tujuan yang lebih umum adalah pengaturan interval yang sesuai untuk inspeksi, *repair*, dan perawatan. Dalam konteks ini, pengukuran umur sisa hanya berguna untuk memastikan bahwa kegagalan tidak akan terjadi diantara interval tersebut, bukan berarti studi pengukuran umur dapat ditetapkan.

Misalkan untuk 20 tahun kemudian mesin dapat aman dan tanpa harus dilakukan kontrol. Pemeriksaan berkala penting untuk memastikan validitas mesin sesuai pendekatan di awal. Prosedur Pengukuran Umur Sisa Dapat dilihat pada Gambar berikut :



Gambar 2.2 *Generic Procedure for component life Assessment [2]*

Pada tingkat 1, pengukuran ditekankan pada hasil koleksi data *design* dan temperatur, dan nilai kekuatan material sesuai literatur. Apabila data yang diperoleh tidak tepat atau kurang sehingga tidak dapat dilakukan pengukuran umur pada tingkat 1, maka boleh langsung mengukur menggunakan cara tingkat 2. Tetapi jika pengukuran dapat dilakukan dan mendapat hasil bahwa hasil pengukuran umur lebih besar daripada rencana kerja tambahan, maka harus dilakukan inspeksi pada ketepatan pemeliharaan mesin. Kemudian dilanjutkan pada tingkat 2.

Pada tingkat 2 melibatkan data pengukuran aktual seperti performa, temperatur, dan kondisi materialnya yang juga dilihat dari literatur. Sama dengan tingkat 1, apabila didapat hasil pengukuran umur yang melebihi perpanjangan rencana kerja, maka harus memberikan saran program pemeliharaan setelah

dilakukan inspeksi pada kegiatan pemeliharaan yang telah berjalan selama mesin telah beroperasi. Kemudian dilanjutkan pada pengukuran umur sisa tingkat 3.

Jika umur sisa mesin hasil pengukuran tidak lebih besar daripada rencana kerja ke depan, maka dapat langsung melanjutkan pengukuran umur sisa pada tingkat 3. Diharapkan setelah dilakukan pengukuran pada tingkat 3, diperoleh hasil sisa umur yang sesuai atau lebih panjang dari rencana kerja ke depan.

Pada tingkat 3 sudah melibatkan data hasil inspeksi lebih jauh, analisa kondisi mesin, *plant monitoring*, dan kondisi material apabila diperlukan harus mengambil sampel dari lapangan. Tingkat keakuratan dan detail dari hasil pengukuran umur sisa akan terus bertambah dari tingkat 1 sampai tingkat 3. Pada saat itu juga hasil dari umur sisa akan bertambah [1].

Pada intinya semua tergantung pada sejauh mana informasi yang dapat tersedia dan hasil yang diperoleh. Analisis dapat berhenti di tingkat manapun atau berlanjut ke tingkat berikutnya yang diperlukan [2].

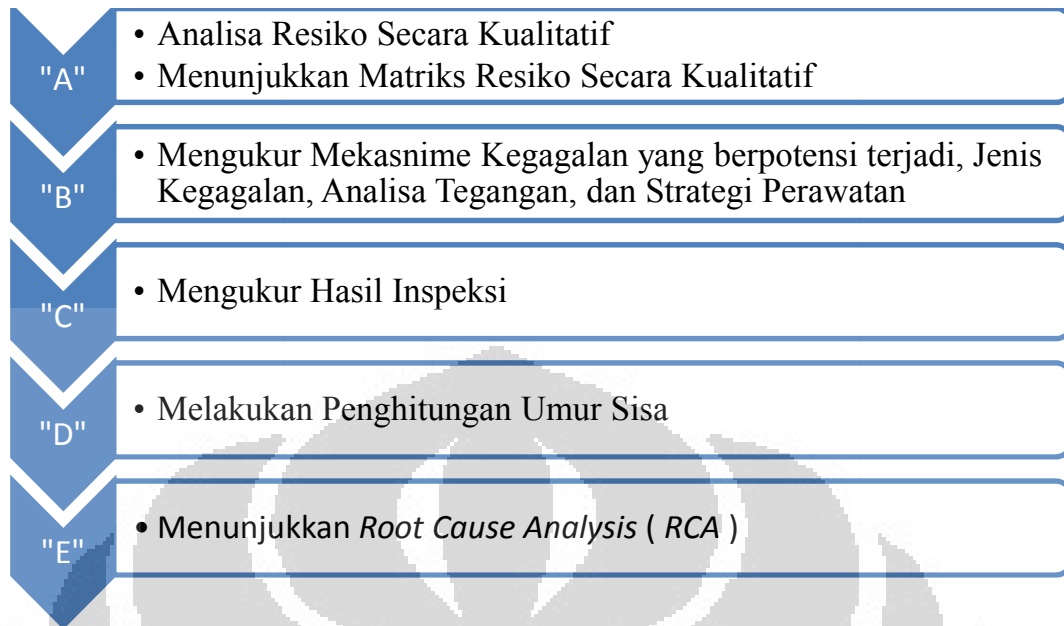
Apabila hasil umur sisa mesin yang diperoleh dari perhitungan melalui tingkat 1 hingga tingkat 3 tidak memenuhi syarat atau kurang dari rencana kerja ke depan, maka dapat dicarikan solusi untuk mendapat keputusan seperti penggantian komponen mesin, perbaikan mesin, *refurbish*, hingga perencanaan kembali rencana kerja ke depan seperti mengurangi lama waktu kerja ke depan apabila tidak terganggu dengan masalah *operational cost* yang memungkinkan.

2.5 Metode Studi *Remaining Life Assessment*

2.5.1 *Mechanical Integrity Assessment*

Metode ini bertujuan untuk mengidentifikasi perlakuan mekanis di bawah perbedaan kondisi pada saat proses, mengetahui mekanisme kerusakan yang paling berpotensi terjadi, dan memperoleh hasil yang akurat dari *non-destructive test*(NDT).

Terdapat 5 tahapan/langkah proses dalam analisa ini :



Gambar 2.3 *The Methodology Steps*

1. Langkah A : Analisa Resiko Secara Kualitatif

Pada bagian ini, terlebih dahulu menganalisa resiko kegagalan kualitatif dari peralatan bertekanan (*vessel*) yang diperlukan. Hasil analisa yang menunjukkan peringkat resiko kegagalan rendah akan dihapuskan. Pada saat terjadi penurunan kualitas sebesar 20% dari peralatan, maka dapat dikatakan peralatan tersebut mempunyai tingkat resiko kegagalan 80%. Dimana resiko adalah sebuah kemungkinan sebuah peralatan dapat mencapai kegagalan, maka akan ada sebuah konsekuensi yang dapat terjadi. Dapat ditulis seperti :

$$\text{Resiko} = \text{Kemungkinan} \times \text{Konsekuensi}$$

2. Langkah B : Pengukuran

Setelah risiko peralatan telah ditentukan secara kualitatif analisis lebih dalam dapat diminta atau tidak, tergantung pada tingkat risiko dinilai. Sebuah analisis rinci adalah dilakukan untuk kapal tekanan tertentu. Dalam hal ini bagian dari prosedur tiga teknis aspek yang dikaji, yakni:

- Perilaku mekanis pada tekanan besar yang diterima (analisa tegangan)

Bertujuan untuk mengidentifikasi semua bagian kritis pada peralatan (dimana tegangan maksimumnya berada)

- Potensi mekanisme kerusakan

Merupakan langkah dalam mengidentifikasi dan memahami kerusakan sesuai mekanisme yang relevan. Biasanya dapat menggunakan NDT pada material peralatan tersebut.

- Strategi Pemeliharaan

Setelah semua potensi kerusakan telah didefinisikan, strategi pemeliharaan berbasis pada hasil analisa mekanisme kerusakan.

3. Langkah C : Mengukur Hasil Inspeksi

Pengukuran hasil inspeksi bertujuan untuk mendapatkan kondisi aktual peralatan dan memperhitungkan setiap potensi mekanisme kegagalan (diidentifikasi pada langkah sebelumnya). Tingkat akurasi hasil inspeksi merupakan faktor kunci sehingga kualifikasi tenaga pengukur yang terlatih dibutuhkan pada langkah ini.

4. Langkah D : Penghitungan Umur Sisa

Dapat Diperoleh dengan pendekatan rumus :

$$CR_{\text{long term}} = \frac{T_{\text{initial}} - T_{\text{actual}}}{\text{Time between } T_{\text{initial}} \text{ and } T_{\text{actual}} \text{ (years)}} \quad (1)$$

$$RL = \frac{T_{\text{actual}} - T_{\text{min}}}{CR} \quad (2)$$

CR = Corroton Rate

RL = Remaining Life

T_{initial} = Initian Wall Thickness (mm) at First Meausrement

T_{actual} = Thickness (mm) Measured During Most Recent Inspection

T_{min} = Minimum Thickness Required by Pressure or structural load

5. Langkah E ; *Root Cause Analysis* (*RCA*)

Tujuan *RCA* adalah untuk mengidentifikasi dan memahami akar masalah yang mempengaruhi performa peralatan dan keadaannya secara lengkap [6].

2.5.2 Logistic Regression Model

Logistic regression model biasanya digunakan untuk menghubungkan *probability* sebuah kejadian untuk mengetahui penyebab yang kuat dari kejadian tersebut (*failure*). Regresi logistik hanya terdiri dari dua nilai, yang pada kasus ini mewakili adanya dan tidaknya *failure* yang terjadi (diasumsikan dengan nilai 0 atau 1). Regresi logistik tidak seperti regresi linier, dimana regresi logistik tidak mengasumsikan hubungan antara variabel independen dan dependen secara linier. Regresi logistik dapat menghasilkan rasio peluang (*odd ratios*) adanya kegagalan pada mesin yang terkait dengan nilai prediksinya. Dimana peluang(*odds*) dari suatu kejadian kegagalan diartikan sebagai probabilitas hasil yang muncul dibagi dengan probabilitas kejadian yang tidak terjadi. Rasio peluang bagi prediktor diartikan sebagai jumlah relatif dimana peluang hasil meningkat(rasio peluang > 1) atau turun (rasio peluang < 1) ketika nilai variabel prediktor meningkat sebesar 1 unit.

Asumsi *odd ratio* antara fungsi reliability $R(t | \underline{Z}(t))$ dengan fungsi $F(t | \underline{Z}(t))$ adalah

$$\frac{R(t | \underline{Z}(t))}{1 - R(t | \underline{Z}(t))} = \exp(\alpha + \underline{\beta}' \underline{Z}(t)) \quad (3)$$

Dimana $\alpha > 0$ dan $\underline{\beta}$ adalah parameter perkiraan *failure*. Kemudian fungsi reliabiliti dapat ditunjukkan dengan :

$$R(t | \underline{Z}(t)) = \frac{\exp(\alpha + \underline{\beta}' \underline{Z}(t))}{1 + \exp(\alpha + \underline{\beta}' \underline{Z}(t))} \quad (4)$$

Kemudian penggunaan data sejarah performa mesin. Untuk memperkirakan jenis parameter penurunan fungsi dan kegagalannya, dapat dihitung menggunakan rumus:

$$L(\alpha, \underline{\beta} | \text{DATA}) = \sum_j y_j (\alpha + \underline{\beta}' \underline{Z}(t_j)) + (1 - 2y_j) \ln(1 + \exp(\alpha + \underline{\beta}' \underline{Z}(t_j))) \quad (5)$$

Dimana $y_j = 0$ ketika $t_j =$ Waktu kapan terjadi *failure*, dan $y_j = 1$ jika tidak ada kejadian *failure*. Sedangkan α dan β dapat dicari dengan memaksimalkan fungsi *log-likelihood* menggunakan *Nelder-Mead's algorithm* [7].

2.5.3 Pendekatan Eksponensial

Dalam melakukan prediksi umur sisa, pendekatan eksponensial dapat dilakukan karena pendekatan tersebut menunjukkan pertambahan nilai secara konstan dengan menggunakan fungsi logaritma.

Umur sisa dapat diperkirakan dengan melihat kenaikan grafik eksponensial hingga sejauh mana permodelan garis eksponensial mencapai suatu titik yang merupakan sebuah batas dimana mesin tidak layak untuk beroperasi.

Batasan tersebut dapat dilihat dari literatur, seperti penurunan efisiensi sebuah mesin dan kelemahan material.

2.5.4 Metallography

Metalografi adalah kegiatan pemeriksaan logam untuk mengetahui sifat, struktur, temperatur, dan presentase campuran dari logam tersebut. Metalografi meliputi tahap-tahap sebagai berikut :

- 1) *Cutting*, yaitu mengetahui prosedur pemotongan sampel dan menentukan teknik pemotongan yang tepat dalam pengambilan sampel metalografi sehingga didapat benda uji yang representatif
- 2) *Mounting*, yaitu menempatkan sampel pada suatu media, untuk memudahkan penanganan sampel yang berukuran kecil tanpa merusak sampel
- 3) *Grinding*, yaitu meratakan dan menghaluskan permukaan sampel dengan cara menggosokkan sampel pada kain abrasif atau ampelas
- 4) Pemolesan (*polishing*), yaitu untuk mendapatkan permukaan sampel yang halus dan mengkilat seperti kaca tanpa menggores, sehingga diperoleh permukaan sampel yang halus bebas goresan dan mengkilap seperti cermin,

menghilangkan ketidakteraturan sampel hingga orde tertentu (umumnya $0,01 \mu\text{m}$)

- 5) Etsa (*etching*), yaitu mengamati dan mengidentifikasi detail struktur logam dengan bantuan mikroskop optik setelah terlebih dahulu dilakukan proses etsa pada sampel, mengetahui perbedaan antara etsa kimia dengan elektro etsa serta aplikasinya.

Pengamatan metalografi dibagi menjadi dua, yaitu metalografi makro dan metalografi mikro. Metalografi makro yaitu pengamatan struktur logam dengan pembesaran 10 – 100 kali. Metalografi mikro yaitu pengamatan struktur logam dengan pembesaran 1000 kali. Pada analisa mikro digunakan mikroskop optik untuk menganalisa strukturnya. Berhasil tidaknya analisa ini ditentukan oleh preparasi benda uji, semakin sempurna preparasi benda uji, semakin jelas gambar struktur yang diperoleh [8].

Pada dasarnya, pengujian metalografi mencakup dua spesimen pengujian, antara lain pengujian rusak atau *destructive test* (DT) yang mencakup pengujian tarik dan tekan, pengujian kekerasan, pengujian impak, uji *charpy* dan relaksasi tegangan, uji kelelahan dan keausan. Yang kedua adalah pengujian tanpa merusak atau *non-destructive test* (NDT) yang menggunakan metode ultrasonik, metode magnetik, metode akustik, metode radiografi, dan pemeriksaan visual [9].

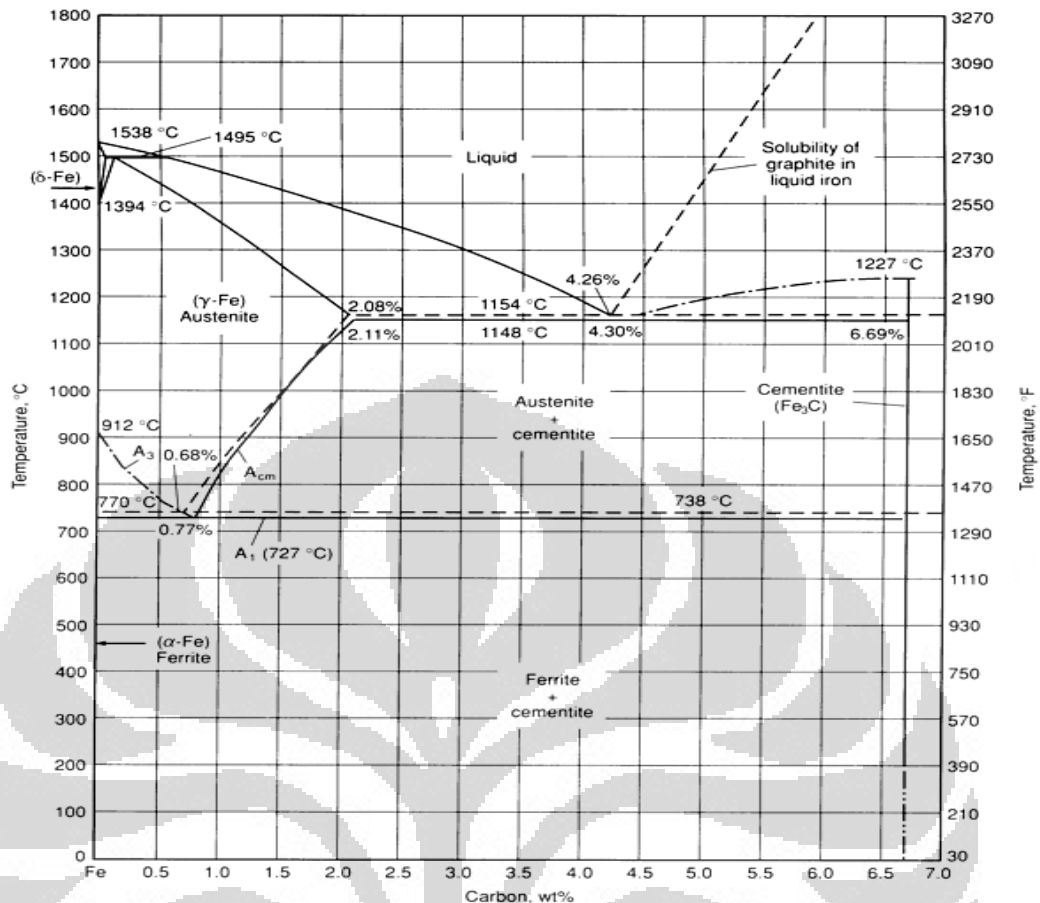
Aplikasi metalografi pada dunia industri yang berkaitan dengan pengukuran umur sisa adalah untuk mengetahui kondisi material mesin. Pada pompa atau kompresor, metalografi digunakan melihat kondisi material *casing*. Dari hasil uji metalografi diharapkan mendapat nilai prosentase *martensite* material tersebut. Salah satu metode yang digunakan dalam pengukuran umur sisa dapat dilakukan dengan mengetahui dan menganalisa struktur material dengan perbedaan nilai (*trending*) *martensite* selama mesin beroperasi. Selanjutnya dalam penelitian ini akan dilakukan uji *metallography*. (hubungan antara struktur mikro dengan perkiraan umur terpakai).

2.6 *Martensite*

Beberapa jenis material khususnya baja memiliki karakteristik tertentu saat diberi perlakuan, baik itu perlakuan secara pemanasan ataupun pendinginan. Dengan pendinginan yang lambat pada suatu material baja, atom-atom karbon yang terdapat di dalamnya masih dapat berdifusi keluar dari larutan, dan hal ini biasa terjadi pada struktur *austenite*. Dan kemudian atom-atom besi berubah secara perlahan menuju struktur *body centered cubic* (*BCC*). Transformasi dari fase gamma ke alfa ini berlangsung dengan proses nukleasi dan pertumbuhan (butir).

Akan tetapi dengan penambahan tingkat kecepatan pendinginan, meski waktu yang berlangsung cukup singkat, atom-atom karbon masih dapat atau sempat untuk berdifusi keluar dari larutan, meskipun masih terdapat pergerakan atom-atom besi, struktur atom secara keseluruhan tidak berubah menjadi *BCC* karena masih ada atom karbon yang terjebak di larutan. Dari proses ini, struktur yang diperoleh disebut *martensite*.

Martensite merupakan larutan padat jenuh (*supersaturated solid solution*), struktur atomnya berupa *body-centered tetragonal* dan di dalamnya terkandung atom karbon yang terjebak. *Martensite* yang terdapat terlalu banyak pada besi akan menyebabkan kegetasan atau rapuh. Sedangkan apabila *martensite* dalam suatu logam berjumlah sedikit, kekuatan besi tersebut rendah (*soft*).



Gambar 2.4 FE – C Diagram

Tahapan dan mekanisme dekomposisi fasa *martensite* :

1. Tahap pertama, pada *temperatute* 100-250°C terjadi pengendapan fasa kaya karbon yaiu fasa *epsilon-karbida*. Pembentukan fasa ini mengakibatkan kandungan karbon pada fasa *martensite*.
2. Tahap kedua, pada *temperature* 200 – 300°C terjadi perubahan atau dekomposisi fasa *austenite* menjadi *bainite*.
3. Tahap ketiga, pada *temperature* 200 – 300°C terjadi perubahan atau dekomposisi *epsilon-karbida* menjadi *cementite* dan *martensite* menjadi *cementite* dan *ferit*.
4. Tahap keempat, pada *temperature* di atas 350°C terjadi perubahan secara kontinyu dan terjadinya *spheroidisasi* fasa-fasa *cementite* [10].

2.7 Vibrasi

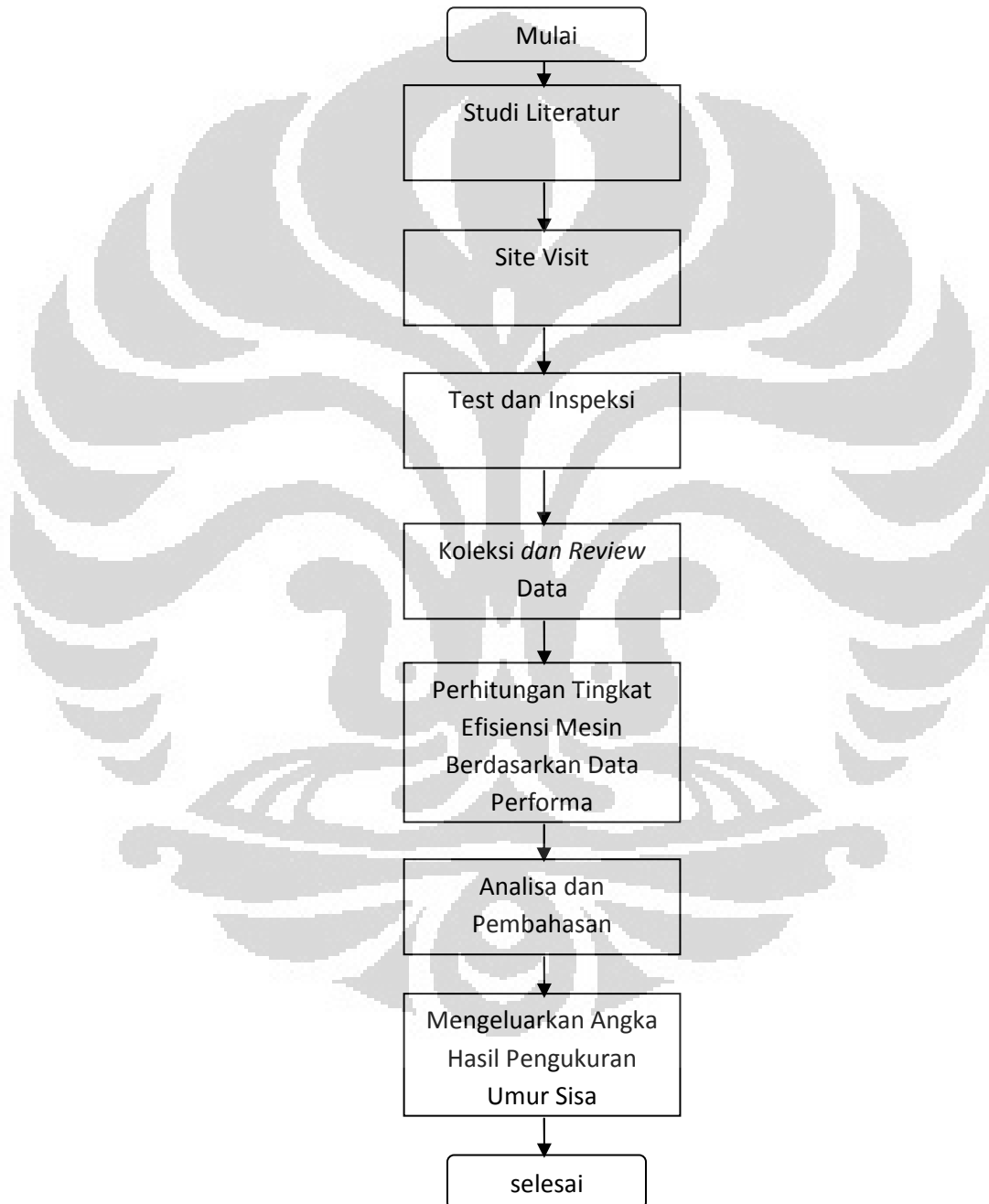
Getaran atau vibrasi sangat erat hubungannya dengan *rotating equipment*. Tidak dapat dipungkiri bahwa sebuah alat yang berputar tentu akan menghasilkan getaran walaupun kerap tidak dapat dideteksi secara visual. Oleh karena itu diperlukan alat untuk membaca besaran vibrasi. Suatu benda yang mengalami gerakan berulang-ulang akan mengalami kelelahan (*fatigue*) dan semakin besar gaya (vibrasi) yang terjadi maka semakin cepat kerusakan mesin terjadi.

Banyak hal yang menyebabkan suatu *equipment* mengalami vibrasi, antara lain adalah karena *unbalance*, *misalignment*, *rubbing*, *shaft* bengkok, atau kerusakan pada sistem bantalan. Semua indikasi penyebab getaran tersebut dapat terbaca dari alat pengukur vibrasi (spektrum) dengan bentuk yang berbeda-beda sesuai penyebab. Hasil dari spektrum dapat menjadi sumber analisa seorang *engineer* dalam memberi informasi penyebab kegagalan dan rekomendasi untuk ke depan [11].

BAB 3 METODE PENELITIAN

3.1 Flowchart *Remaining Life Assessment*

Tahap studi dan pelaksanaan perhitungan/pengukuran umur sisa dapat dilihat pada gambar berikut :



Gambar 3.1 *Flowchart* Metode Studi RLA

3.2 Koleksi Dan Review Data

Pada tahap koleksi data, diadakan kunjungan langsung ke *site*. Koleksi data dilakukan dengan melakukan observasi dan wawancara pada *Engineering Staff* dan *Operator* dari beberapa mesin. Data-data yang dibutuhkan dalam studi pengukuran umur sisa antara lain :

1. *Performance Record* selama 3 tahun ke belakang
2. *Data Design* dari setiap mesin
3. *Piping & Instrumentation Diagram* dari setiap mesin
4. *Maintenance Record* selama 3 tahun ke belakang
5. *Martensite Data* selama beberapa tahun

Dari hasil koleksi data selanjutnya dilakukan *review* pemilahan sebagai sumber perhitungan dan analisa unjuk kerja sesuai tujuan masing-masing.

1. *Performance Record* digunakan sebagai sumber perhitungan beda tingkat efisiensi mesin dari waktu ke waktu.
2. *Data Design* digunakan sebagai parameter perbandingan tingkat performa dan efisiensi mesin seumur pakai.
3. *Piping & Instrumentation Diagram* digunakan sebagai alat bantu untuk menerangkan konsep desain dari suatu proses dan kebutuhan pabrik atau unit produksi yang perlu atau akan dibangun.
4. *Maintenance Record* penting ditelaah karena dapat memberikan informasi tepat pada setiap bagian-bagian mesin yang rentan terhadap *failure*. Untuk itu *maintenance record* harus dilihat selama beberapa tahun ke belakang (kurang lebih 3 tahun).
5. *Martensite Data* dapat memberikan gambaran tingkat penurunan dari masing-masing material mesin. Uji *metallography* adalah sarana paling umum dan tepat dalam mengukur tingkat kekuatan material. Kekuatan material umumnya dipengaruhi oleh *heat treatment* baik dari faktor lingkungan dan atau faktor penggunaan dalam sebuah industri dalam proses produknnya.

3.3 **Test Dan Inspeksi**

Test dan inspeksi dapat dilakukan sebelum/bersamaan atau sesudah koleksi data, karena hasil test dan inspeksi secara bersama-sama akan diperlukan pada tahap perhitungan, analisa dan pembahasan. Sisa umur mesin dihitung mulai dari saat ini (*request* perhitungan umur sisa). Untuk itu *test* dan inspeksi terhadap mesin harus dilakukan, untuk dapat membuat perhitungan umur sisa.

Test dan inspeksi dilakukan untuk mendapat informasi terkini baik dalam performa, gejala, dan *failure*. Kegiatan yang dilakukan saat *test* dan inspeksi alat antara lain mengukur angka vibrasi, *martensite*, *thermography*, *oil analysis*, nilai kekerasan (*hardness*) dan nilai kuat tarik (*tensile strength*) material.

3.4 **Perhitungan Tingkat Efisiensi Mesin**

Performa mesin dapat terlihat pada *trending* tingkat efisiensi mulai dari kondisi *design* dengan kondisi *actual* hingga saat ini berdasarkan data performa. Wajarnya, semua industri mempunyai catatan performa terhadap seluruh aset yang dimilikinya. Perhitungan dilakukan dengan mengambil beberapa data performa sebagai sumber perhitungan efisiensi mesin.

3.5 **Analisa Dan Pembahasan**

Analisa dilakukan terhadap seluruh data serta hasil test dan inspeksi yang telah didapat. Data dapat dipilah sesuai dengan data yang dapat digunakan dalam proses perhitungan selanjutnya. Data tersebut dibuat dalam bentuk grafik agar terlihat perbedaan dari salah satu perhitungan yang dilakukan dari periode ke periode pemeriksaan dan pencatatan mesin. Grafik dan gambar-gambar yang didapatkan kemudian dilakukan analisa kembali. Pembahasan terhadap hasil pengolahan data dilakukan karena kejadian pada kondisi lapangan dan pengolahan data tidak terlepas dari beberapa faktor yang mempengaruhi, seperti :

1. Metode pengolahan data yang dipakai terhadap data yang didapat
2. Keseragaman metode pengambilan data pada lapangan
3. Alat yang dipakai dalam pengambilan data
4. Perbedaan beban operasi pada mesin dari tahun ke tahun

Tingkat keakuratan hasil pengukuran umur sisadapat tercapai apabila pembahasan terhadap data dan faktor yang mempengaruhi kebenaran data tersebut dapat dipertimbangkan secara tepat. Seperti yang telah dijelaskan sebelumnya, tingkat keakuratan dan detail dari hasil pengukuran umur sisa akan terus bertambah dari tingkat 1 sampai tingkat 3. Pada saat itu juga hasil dari umur sisa akan bertambah [2]. Tetapi semua tergantung pada sejauh mana informasi yang dapat tersedia dan hasil yang diperoleh. Analisis dapat berhenti di tingkat manapun atau berlanjut ke tingkat berikutnya yang diperlukan [2].

3.6 Pengukuran Umur Sisa

Pengukuran umur sisa membutuhkan *record* selama mesin beroperasi. Pengukuran umur sisa dilakukan untuk memprediksi lama waktu yang dianggap mesin layak digunakan. Sisa umur mesin dihitung mulai dari saat ini (*request* perhitungan umur sisa).

BAB 4 DATA DAN PEMBAHASAN

4.1 Kegiatan *Pre-Assessment*

4.1.1 *Koleksi dan Review Data*

Koleksi dan review data telah dilakukan dengan *carasite visit*, kemudian dilakukan kompilasi data yaitu kegiatan memilih dan memilah data yang akan digunakan untuk penghitungan dan pembahasan.

4.1.2 *Test Dan Inspeksi*

Test dan inspeksi telah dilakukan dan mendapat informasi terkini baik dalam performa, gejala, dan *failure*. Kegiatan yang dilakukan saat *test* dan inspeksi alat antara lain mengukur angka vibrasi, *martensite*, *thermography*, *oil analysis*, nilai kekerasan (*hardness*) dan nilai kuat tarik (*tensile strength*) material.

Berikut ditampilkan contoh tabel lingkup *test* dan inspeksi

Tabel 4.1 Contoh *Test and Inspection Order*

No	Equipment	Inspeksi/Test
1	Power Generator, PG-9001 A/C , design power 20 MW dengan driver Gas Turbine(A/ C)	<ul style="list-style-type: none">• Visual Inspection• Daya output• Resistansi isolasi peralatan; kabel, generator listrik (stator dan rotor).• Resistansi ground wire peralatan.• Arus yang mengalir pada saluran kabel/konduktor.• Vibration test dan review record yang ada
2	Gas Booster Compressor, K-2501 A, Electric Motor driver dengan power 2.7 MW	<ul style="list-style-type: none">• Visual Inspection• Konsumsi Energi Motor listrik.• Resistansi isolasi peralatan; kabel, motor-motor listrik (stator dan rotor).• Resistansi ground wire peralatan.• Arus yang mengalir pada saluran kabel/konduktor.• Vibration test dan review record yang ada
3	BOG Compressor, K-6801 ABCD, Electric Motor driver dengan power 3.35 MW	
4	Submersible LNG Loading Pump, G-6801 ABCD, Electric Motor driver	<ul style="list-style-type: none">• Visual Inspection• Konsumsi Energi Motor listrik.

5	0.75 MW Submersible LNG Circulation Pump, G-6802 ABCD, Electric Motor driver 0.1 MW Sea water pumps, G-7201 EFGH dengan motor driver 2.6 MW	<ul style="list-style-type: none"> • Resistansi isolasi peralatan; kabel, motor-motor listrik (stator dan rotor). • Resistansi ground wire peralatan. • Arus yang mengalir pada saluran kabel/konduktor.
6	Air Compressor, K-7401 dengan Electric Motor	<ul style="list-style-type: none"> • Visual Inspection • Konsumsi Energi Motor listrik. • Resistansi isolasi peralatan; kabel, motor-motor listrik (stator dan rotor). • Resistansi ground wire peralatan. • Arus yang mengalir pada saluran kabel/konduktor. • Vibration test dan review record yang ada
7	LNG Loading Arms, V-6801 ABCD	<ul style="list-style-type: none"> • Visual Inspection
8	Nitrogen plant	Visual inspection, dan review data operasi dan maintenance

4.1.3 Perhitungan Tingkat Efisiensi Mesin

Menggunakan hasil Kompilasi Data dan hasil Test dan Inspeksi, performa mesin dapat dihitung tingkat efisiensinya, yang dibandingkan antara kondisi *design* dengan kondisi *actual* berdasarkan data performa.

Untuk dapat memberikan informasi yang lebih jelas, berikut ditampilkan contoh Log Sheet *Compressor*, Log Sheet *Sea Water Pump*, Log Sheet *Power Generator* dan Log Sheet *Nitrogen Plant*.

Tabel 4.2 Log Sheet Compressor

EXISTING CONDITIONS BY LOG SHEETS																													
HOURS	COMPRESSOR K - 7401																							LUBE OIL SYSTEM				REMARKS	
	AIR											BEARING												FILTERS		LEVEL RESV. T.			
	TEMPERATURE						PRESSURE					TEMP. DRIVE SET						VIBRATION						PRESSURE			TEMP.		
	1ST IN	2ND IN	2ND OUT	3RD IN	AFTER COOLER		1ST	2ND	DISCH. AI	PURGE A	AIR FLOW	ANTI # 1	ANTI # 2	ANTI # 3	DPP # 3	BULL GEAR	ANT BRC	# 1	# 2	# 3	ALL	AXIAL SH	DISCH	DIFF	IN		OUT		
																							BFF	AFT					
1	112	138	51	143	53	162	41	1.7	4.1	8.5	50	95	62	68	64	61	43	3	9.5	23	23	100	4.9	1.4	0.8	65	51	83	A
3	103	140	43	108	45	152	45	1.3	4.1	8.3	50	88	70	73	76	82	63	72	0.3	0.5	1.2	4.2	2.3	1.2	0.7	61	49	53	
5	112	137	51	142	53	162	41	1.7	4.1	8.5	50	95	62	68	64	61	43	3	9.5	23	23	110	4.9	1.4	0.8	61	51	83	
7	103	138	43	108	45	152	45	1.3	4.1	8.4	50	88	70	73	76	82	63	72	0.3	0.5	1.2	4.5	2.3	1.2	0.7	60	49	53	
9	111	140	52	145	53	162	42	1.7	4	8.4	50	94	62	68	65	63	45	3	9.5	23	23	##	4.8	1.4	0.8	62	51	83	
11	103	139	44	110	45	151	45	1.3	4	8.5	50	88	69	72	75	81	62	72	0.3	0.5	1.2	4.2	2.2	1.2	0.7	61	49	53	
13	110	142	52	145	52	162	43	1.7	4	8.2	50	94	65	70	66	64	46	3	9.5	23	23	110	4.9	1.5	0.8	62	51	83	
15	102	145	45	110	45	151	45	1.3	4	8.4	50	88	73	74	79	83	67	76	0.3	0.4	1.5	4.2	2.2	1.2	0.7	65	49	53	
17	110	140	52	145	52	162	43	1.7	4	8.2	50	94	65	70	66	64	46	3	9.5	23	23	110	4.8	1.5	0.8	62	51	83	
19	102	145	45	110	45	117	45	1.3	4	8.4	58	88	73	74	79	83	67	76	0.3	0.4	1.5	4.3	2.2	1.2	0.7	65	49	53	
21	110	140	52	145	52	162	43	1.7	4	8.2	58	94	65	70	66	64	46	3	9.5	23	23	110	4.8	1.5	0.8	62	51	83	
23	102	145	45	110	45	117	45	1.3	4	8.4	58	88	73	74	79	83	67	76	0.3	0.4	1.5	4.3	2.2	1.2	0.7	65	49	53	

Tabel 4.3 Log Sheet Sea Water Pump

EXISTING CONDITIONS BY LOG SHEETS																				
Hours	G-7201E										G-7201FH									
	Motor Current AMPS	Discharge Press KG/CM ²	Winding Temp. °C	Upper Bearing	Thrust	Lower Bearing	Vibr. Reading Vertical	Vibr. Reading Horizontal	Vibr. Reading Axial	Motor Current AMPS	Discharge Press KG/CM ²	Winding Temp. °C	Upper Bearing	Thrust	Lower Bearing	Vibr. Reading Vertical	Vibr. Reading Horizontal	Vibr. Reading Axial		
1.00	310	6.1	59	59	61	55	57	19	19	34	340	6.2	71	45	64	46	54	1.1	0.9	3.8
3.00																				
5.00	310	6.1	59	60	61	55	57	19	19	24	340	6.2	72	45	65	46	56	1.2	0.9	3.8
7.00																				
9.00	310	6.2	62	60	61	56	58	19	18	33	310	5.9	73	46	66	48	54	1.1	0.9	4.8
11.00																				
13.00	310	6.2	62	60	61	56	58	19	18	33	310	5.9	73	46	66	48	54	1.1	0.9	4.8
15.00																				
17.00	310	6.3	63	60	61	56	58	19	19	24	340	5.9	74	46	66	47	55	1.1	0.9	2.7
19.00																				
21.00	310	6.3	63	60	61	56	58	19	19	24	340	5.9	74	46	66	47	55	1.1	0.9	2.7
23.00																				

Tabel 4.4 Log Sheet Power Generator

EXITING CONDITIONS BY LOG SHEETS																									
HOURS	FIELD		VOLTAGE BEFORE	VOLTAGE AFTER TRAFD			LOAD AMP			POWER FACTOR	LOAD MW				TEMPERATURE °C						GEN TRAFD			REMARKS	
	V			1-2	2-3	3-1	1	2	3		METER RECORD	METER RECORD	METER RECORD	METER RECORD	AIR			WINDING			LIQUID LEVEL	LIQUID TEMP.	RECT TRAFD LIQUID TEMP		K W HOURS
	1	2	1	2	3	1	2	3	1	2	3	4	5	6	1	2	3	4	5	6	1	2	3		
1	178	179	11.2	33	33	33	300	300	300	86	15	5									4.9	45	46	54	
3																									
5	188	188	11.2	33	33	33	310	310	310	85	14	5.8									4.9	45	46	54	
7																									
9	188	188	11.2	33	33	33	310	310	310	86	14	5.2									5	45	45	54	
11																									
13	183	183	11.2	33	33	33	305	305	305	85	14	5.5									5	45	45	54	
15																									
17	187	187	11.2	33	33	33	310	310	310	85	14	5.8									4.7	44	46	53	
19																									
21	185	185	11.2	33	33	33	310	310	310	85	15	5.5									4.7	44	46	53	
23																									

Tabel 4.5 Log Sheet Nitrogen Plant

COMPRESSOR K-101																					
HOURS	FILTER PRESS. DIFF. PDISH	AIR												AIRFLOW FIC 508	CONTROLLER		COOLING WATER				REMARKS
		TEMPERATURE TI-5XX °C								PRESSURE PI-5XX					TEMPERATURE TI-5XX °C						
		STAGE				STAGE				INTERCOOLER STAGE					OIL COOLER OUT						
1st	2nd	3rd	4th	1st	2nd	3rd	4th	1st	2nd	3rd	1st	2nd	3rd								
PLANT SETTING		42 °C	43 °C	42 °C	43.3	12	11	14	28	HIC 577	FIC 506	38	39	37	81/87						
1:00	63	130	45	107	43	145	46	102	38	1.25	3.25	7.3	9.4	300	100	5	45	45	44	38/34	
3:00																					
5:00	63	130	45	107	43	145	46	102	38	1.25	3.25	7.3	9.4	300	100	5	45	45	44	38/34	
7:00																					
9:00	63	131	45	107	43	145	46.5	102	37.5	1.25	3.25	7.3	9.4	300	100	10	45	45	44	38/34	
11:00																					
13:00	63	131	45	107	43	145	46.5	102	38	1.25	3.25	7.3	9.4	300	100	10	45	45.5	44	38/34	
15:00																					
17:00	63	130	45	107	43	145	46	102	38	1.25	3.25	7.3	9.4	300	100	5	46	45.5	44	38/34	
19:00																					
21:00	63	130	45	107	43	145	46	102	38	1.25	3.25	7.3	9.4	300	100	5	45	45	44	37/34	
23:00																					

COMPRESSOR K-101																				
HOURS	TEMP COOLER TI-5XX		OIL		PRESSURE PI-5XX kg/cm ²			TEMPERATURE TI-527XX °C				SHAFT				REMARK				
	IN	OUT	LG 450	TI 543	LO. DISCHARGE	LO TO K-101	FILTER delta P	STAGE				VIBRATION YE-525/X								
	IN	OUT	LG 450	TI 543	LO. DISCHARGE	LO TO K-101	FILTER delta P	1st	2nd	3rd	4th	IN-BOARD	OUT-BOARD	1st	2nd		3rd	4th		
PLANT SETTING		55 °C	MIN 50	65 °C	3.9	1.2	MAX 1.4													
1:00	61	50	85	61	3.7	1.6	0.4	68	69	68	70	65	82	13	8	13	8	-5	0	
3:00																				
5:00	61	50	85	61	3.7	1.6	0.4	68	69	68	70	65	82	13	8	13	8	-5	0	
7:00																				
9:00	61	50	85	61	3.7	1.6	0.4	68	69	68	70	65	82	13	8	13	8	-5	0	
11:00																				
13:00	61	50	85	61	3.7	1.6	0.4	68	69	68	70	65	82	13	8	13	8	-5	1	
15:00																				
17:00	61	50	85	62	3.7	1.6	0.4	71	72	71	72	68	84	13	8	13	8	-5	-1	
19:00																				
21:00	61	50	85	62	3.7	1.6	0.4	71	71	70	71	66	83	13	8	13	8	-5	1	
23:00																				

4.1.4 Perhitungan Performa Kompresor

Unjuk kerja atau performa kompresor bisa dihitung untuk mengetahui karakteristik kualitas termal, volumetris dan energi dari suatu kompresor, dengan penjelasan rumus-rumus dan perhitungan berikut :

1. Rumus Unjuk Kerja Kompresor.

a. Daya adiabatik

Didefinisikan sebagai perbandingan dari ratio tenaga adiabatik dan tenaga aktual. Relasi yang seringkali diterapkan untuk pengukuran adalah:

$$W = m_e c_p T_i \left[\left(\frac{P_2}{P_1} \right) - 1 \right] \quad (6)$$

Dimana m_e adalah kecepatan massa discharge, T_i adalah temperatur ambient masuk, c_p adalah kalor jenis dari gas dan P_1 adalah rasio tekanan pada sisi masuk, dan P_2 adalah rasio tekanan pada sisi keluar.

b. Efisiensi isothermal

Secara teoritis, unjuk kerja isothermal adalah tenaga minimal yang diperlukan untuk melakukan kompresi suatu gas. Oleh karena itu, biasanya unjuk kerja ini akan lebih kecil dibandingkan dengan unjuk kerja adiabatik.

Secara teoretis dihitung dengan relasi berikut:

$$eff = \frac{w_{iso}}{w_{actual}} \quad (7)$$

$$eff = \frac{m_e R T_1 \ln \left(\frac{P_2}{P_1} \right)}{m_e c_p (T_2 - T_1)}$$

Dimana m_e adalah kecepatan massa discharge, T_1 adalah temperatur ambient masuk, c_p adalah kalor jenis dari gas dan P_1 adalah rasio tekanan pada sisi masuk, dan P_2 adalah rasio tekanan pada sisi keluar.

c. Efisiensi mekanis

Efisiensi mekanis didefinisikan sebagai ratio antara kerja aktual dengan kerja porosnya. Efisiensi ini merupakan ukuran losses dari mechanical friction suatu sistem.

$$eff = \frac{w_{actual}}{w_{shaft}} \quad (8)$$

$$eff = \frac{w_{actual}}{w_{actual} + w_{friction}} \quad (9)$$

Dimana w adalah energi.

d. Efisiensi overall

Didefinisikan sebagai ratio dari tenaga adiabatic atau isothermal dengan tenaga shaft. Ratio ini juga dikenal sebagai efisiensi kompresor yang direlasikan dengan hubungan:

$$eff = \frac{w_{iso}}{w_{shaft}} \quad (10)$$

Dimana w adalah energi

e. Energi kompresor

$$W = mecpT_1 \left[\left(\frac{P_2}{P_1} \right)^{\frac{k-1}{k}} - 1 \right] \quad (11)$$

Dimana me adalah kecepatan massa discharge, T_1 adalah temperatur ambient masuk, cp adalah kalor jenis dari gas dan P_2/P_1 adalah rasio tekanan, k adalah konstanta kalor dan w adalah energi. Dengan mengetahui parameter-parameter tersebut, efisiensi teoritis bisa didapatkan.

2. Analisa dan Perhitungan.

Akibat minimnya data yang diperoleh, maka perhitungan performa kompresor hanya dilakukan terbatas pada energi. Perhitungan

energi kompresor dilakukan menggunakan rumus (11) yang telah didefinisikan di atas. Sumber perhitungan dalam rumus energi berasal dari hasil koleksi data di lapangan. Data yang digunakan berjangka waktu beberapa tahun ke belakang untuk melihat naik dan turunnya tingkat efisiensi mesin selama beroperasi.

Berdasarkan ketersediaan data telah dilakukan penghitungan energi untuk setiap bulan, mulai Juni 2009 sampai dengan Mei 2010.

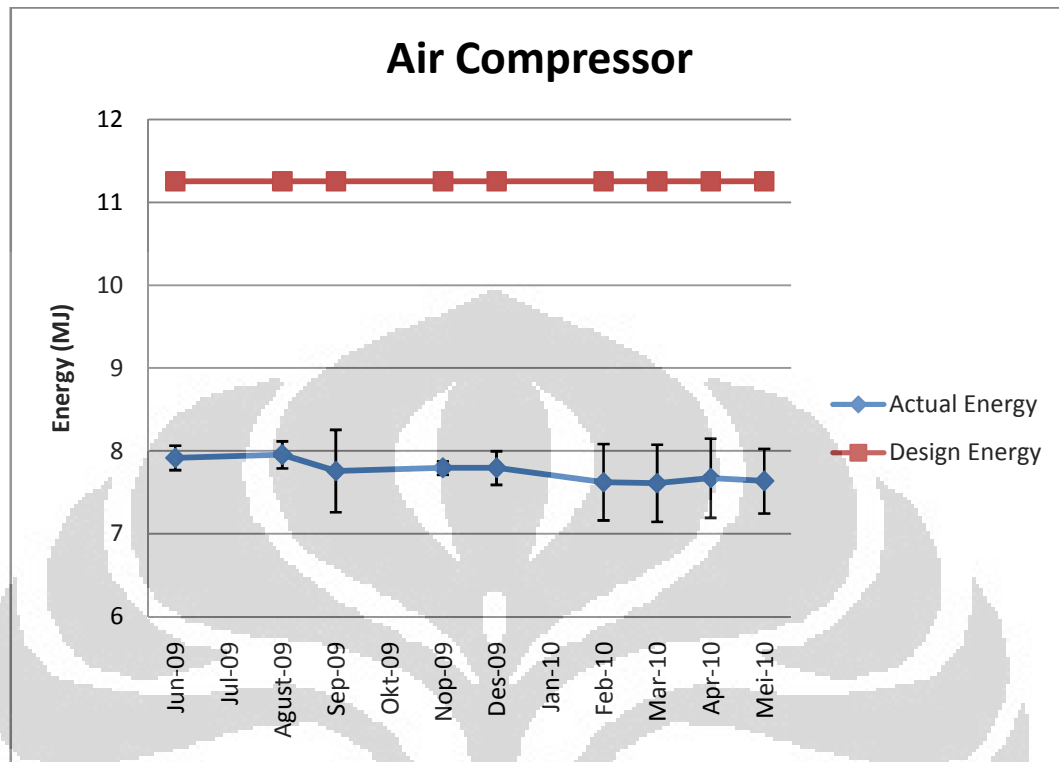
Data setiap bulannya diambil nilai rata-rata setiap harinya. Jumlah data yang diolah adalah 40% dari jumlah keseluruhan data yang telah diperoleh.

Standar deviasi digunakan untuk mengetahui toleransi minimum dan maksimum keakuratan nilai daya kompresor karena data yang diolah merupakan hasil rata-rata dari setiap harinya selama satu bulan sebagaimana ditunjukkan pada tabel 4.6

Tabel 4.6 Nilai Efisiensi dan Standar Deviasi Kompresor

Waktu	Energi (MJ)	Standar Deviasi
Jun-09	7.9178	0.147
Aug-09	7.9544	0.1637
Sep-09	7.7592	0.4976
Nov-09	7.7958	0.08
Dec-09	7.7958	0.2027
Feb-10	7.625	0.4609
Mar-10	7.6128	0.4649
Apr-10	7.6738	0.4779
May-10	7.6372	0.3895

Sesuai Tabel 4.6 dapat dihitung nilai rata-rata energi sebesar 7.7524 MJ. Sehingga terjadi penurunan energi terhadap nilai energi *design* sebesar 3.5026 MJ (31.12%). Sedangkan nilai energi tertinggi pada saat penghitungan sesuai jangka waktu ketersediaan data adalah sebesar 7.9178 MJ pada bulan Juni 2009 (ketika kompresor tersebut telah beroperasi selama 33 tahun), sedangkan nilai terendah sebesar 7.6128 MJ pada bulan Maret 2010.



Gambar 4.1 Grafik Tingkat Efisiensi Kompresor

Pada sumbu x grafik menunjukkan berbagai waktu kerja (dalam bulan) dari kompresor dan sumbu y menunjukkan nilai energi kompresor tersebut dalam satuan MJ.

Didapatkan 2 garis yang terbentuk akibat perhitungan nilai energi kompresor dari bulan ke bulan sesuai ketersediaan data yang didapat dari lapangan, kemudian garis lainnya adalah nilai energi *design* atau rancangan awal kompresor tersebut.

Pada garis *actual load* ditunjukkan tingkat kenaikan dan penurunan energi setiap bulannya. Sedangkan garis *design energy* bertujuan untuk membandingkan jumlah penurunan nilai daya antara kondisi *design* yang mempunyai nilai 11.255 MJ dengan masing-masing nilai energi setiap bulannya yang dihitung.

Penurunan energi dapat dipengaruhi oleh beberapa faktor, seperti jumlah beban atau debit dari gas yang dialirkan sudah tidak sebanyak tahun-tahun

sebelumnya, yang mengakibatkan daya kompresor menurun atau diturunkan. Selain itu adanya fluktuasi tegangan motor yang memang merugikan dan terjadi apabila tiga fase dari motor tidak sama. Hal ini disebabkan oleh perbedaan pasokan tegangan untuk setiap fasenya.

Maka untuk memperbaiki penurunan energi dapat dilakukan beberapa hal seperti meningkatkan perawatan dengan tinjauan terhadap beberapa komponen yaitu *bearing* dan kotoran yang berada, kondisi beban untuk memastikan motor tidak kelebihan atau kekurangan beban, pelumasan yang teratur, pemeriksaan *shaft* karena apabila terjadi penyimpangan akan terjadi aus [12].

4.1.4 Perhitungan Performa Power Generator

Umumnya efisiensi *power plant* didefinisikan dengan rasio antara keluaran tenaga listrik sebagai output dalam satuan waktu dengan nilai kalor dari bahan bakarnya, dengan penjelasan rumus-rumus dan perhitungan berikut :

1. Rumus Unjuk Kerja Power Generator

Secara teoritis, perhitungan dilakukan dengan menggunakan relasi:

$$\text{carnoteff} = \frac{\text{tenagalistrikyangdihasilkan (availableenergy)}}{\text{heatequivalentbahanbakar}} \quad (12)$$

2. Analisa dan Perhitungan

Heat equivalent bahan bakar merepresentasikan nilai kalor atau energi dari produk yang dimasukkan sebagai umpan generator. Output listrik merepresentasikan *net power* keluar dari *power station*.

Data yang digunakan berjangka waktu beberapa tahun ke belakang untuk melihat naik dan turunnya tingkat daya mesin selama beroperasi. Data setiap bulannya diambil nilai rata-rata setiap harinya. Jumlah data yang diolah adalah 40% dari jumlah keseluruhan data yang telah diperoleh.

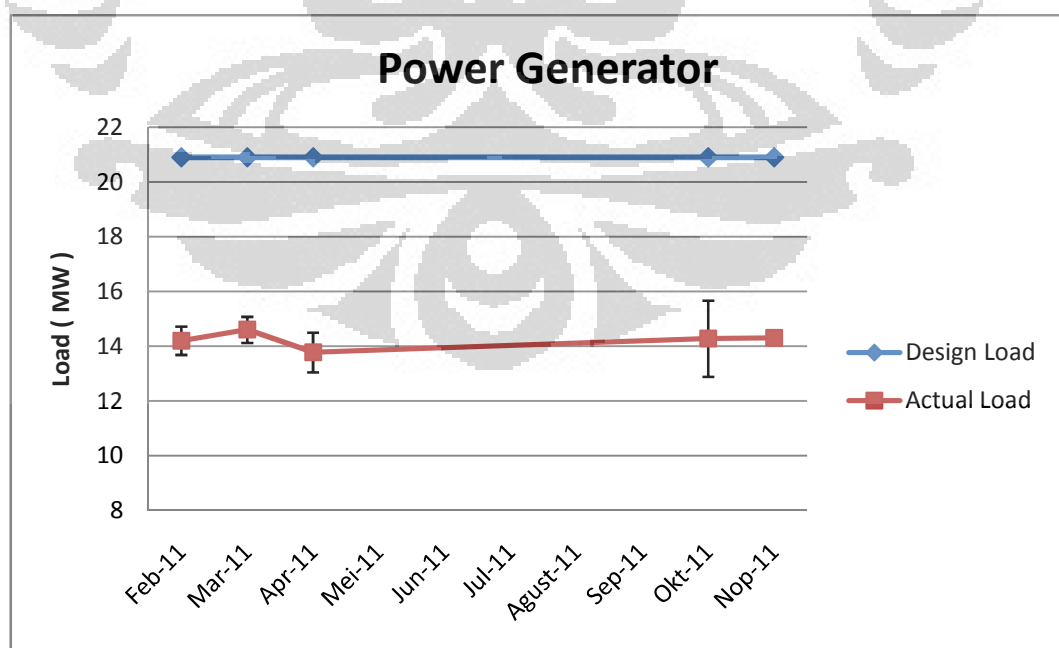
Standar deviasi digunakan untuk mengetahui toleransi minimum dan maksimum keakuratan nilai daya *power generator* karena data yang diolah merupakan hasil rata-rata dari setiap harinya selama satu bulan sebagaimana ditunjukkan dalam tabel 4.7

Tabel 4.7 Nilai Daya Dan Standar Deviasi *Power Generator*

Waktu	Daya (MW)	Standar Deviasi
Feb-11	14.2010101	0.517186221
Mar-11	14.6	0.477493455
Apr-11	13.7733333	0.724893968
Oct-11	14.275	1.388944443
Nov-11	14.3055556	0.228736227

Power generator mulai beroperasi pada tahun 1978, sedangkan perhitungan efisiensi dilakukan pada tahun 2011 yang berarti *power generator* tersebut telah beroperasi selama 33 tahun. Penurunan nilai daya pompa antara nilai daya *design* dengan rata-rata jumlah daya aktual yaitu sebesar 6.769 MW (32.388%). Sedangkan nilai daya tertinggi pada saat penghitungan sesuai jangka waktu ketersediaan data adalah sebesar 14.306 MW pada bulan November 2011, sedangkan nilai terendah sebesar 13.773 MW pada bulan April 2011.

Perhitungan daya *power generator* dilakukan menggunakan rumus (12) yang telah didefinisikan di atas. Namun karena terbatasnya data yang didapat, maka analisa grafik menggunakan nilai daya (MW).



Gambar 4.2 Grafik Nilai Daya (MW) *Power Generator*

Pada sumbu x grafik menunjukkan berbagai waktu nilai daya dari *power generator*. Sumbu y menunjukkan nilai daya *power generator* tersebut. Didapatkan 2 garis yang terbentuk akibat perhitungan nilai daya *power generator* dari bulan ke bulan sesuai ketersediaan data yang didapat dari lapangan, kemudian garis lainnya adalah nilai *design load* atau rancangan awal daya *power generator* tersebut. Untuk itu terdapat juga simbol standar deviasi pada setiap titik yang berada pada *actual load*.

Pada garis *actual load* ditunjukkan tingkat kenaikan dan penurunan daya *power generator* setiap bulannya. Sedangkan garis *design load* bertujuan untuk membandingkan jumlah penurunan nilai daya antara kondisi *design* yang mempunyai nilai daya 20.9 MW dengan masing-masing nilai daya setiap bulannya yang dihitung.

Penurunan daya yang terjadi bisa disebabkan karena pengurangan beban kerja pada mesin-mesin yang dijalankan. Faktor lain pengaruh penurunan daya adalah pengaruh umur komponen, kebersihan dalam *moving objects* yang mengakibatkan gesekan yang meningkat, penurunan kualitas kabel penghubung oleh faktor usia [13].

Untuk itu anjuran dalam kegiatan perawatan apabila diharapkan beroperasi untuk jangka waktu yang lebih panjang adalah kegiatan *over haul* rutin selama 3 sampai 6 bulan sekali untuk mengetahui kondisi masing-masing komponen yang berada pada sistem. Setelah mendapatkan bagian yang mengalami *fatigue* dapat dilakukan *refurbish* atau *replacement*.

4.1.5 Perhitungan Performa Pompa

Untuk perhitungan unjuk kerja pompa, harus dibandingkan tenaga yang dikeluarkan dari pompa dengan total tenaga yang diberikan ke pompa. Untuk menghitung tenaga yang keluar dari pompa atau (dalam satuan HP atau kW), harus mengalikan *head* pompa dengan kapasitasnya diikuti dengan angka konversinya. Bagian keluar biasanya menggunakan *term discharge head* yang terdiri dari 3 bagian:

1. Static head
2. Pressure head
3. System/dynamic head

Dengan penjelasan rumus-rumus dan perhitungan berikut :

1. Rumus Unjuk Kerja Pompa

- a. Efisiensi Pompa :

$$\eta_p = \frac{WHP}{BHP} \times 100\% \quad (13)$$

- b. Water Horse Power :

$$WHP = \frac{(\text{Debit}) \cdot (\text{Total Head}) \cdot (\text{SG})}{3960e} \quad (14)$$

3960e = *Converter* untuk mendapatkan satuan HP

WHP (HP)

Debit (USgpm)

HEAD (ft)

- c. Daya Input Motor Listrik :

$$P_i = V \cdot I \cdot PF \cdot \sqrt{3} \quad (15)$$

V = Tegangan (Volt)

I = Arus Listrik (Ampere)

PF = *Power Factor*(0.79)

2. Analisa dan Perhitungan

Akibat minimnya data yang diperoleh, maka perhitungan performa pompa hanya dilakukan terbatas pada daya motor listrik. Untuk menghitung unjuk kerja, akan dibandingkan dengan kurva pompa dari pabrikan. Perlu

diperhatikan juga bahwa disini digunakan *horse power/kW* aktual yang menuju ke pompa bukan kW yang dibutuhkan oleh motor elektrik.

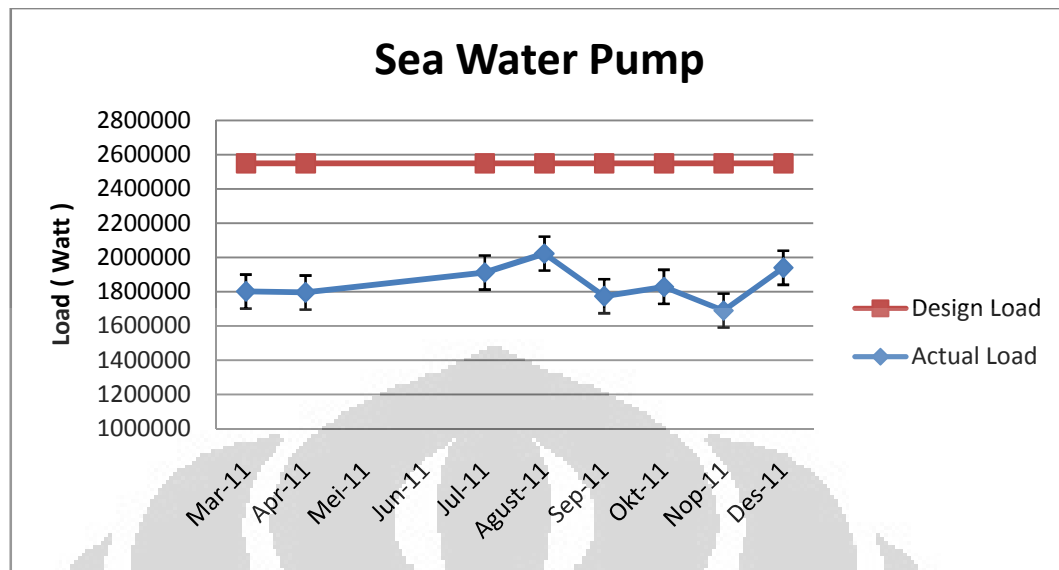
Perhitungan daya pompa dilakukan menggunakan rumus (13) yang telah didefinisikan di atas. Sumber perhitungan dalam rumus daya berasal dari hasil koleksi data di lapangan. Data yang digunakan berjangka waktu beberapa tahun ke belakang untuk melihat naik dan turunnya tingkat daya mesin selama beroperasi.

Data setiap bulannya diambil nilai rata-rata setiap harinya. Jumlah data yang diolah adalah 40% dari jumlah keseluruhan data yang telah diperoleh. Standar deviasi digunakan untuk mengetahui toleransi minimum dan maksimum keakuratan nilai daya pompa karena data yang diolah merupakan hasil rata-rata dari setiap harinya selama satu bulan:

Tabel 4.8 Nilai Daya Dan *Sea Water Pump*

Waktu	Ampere	Daya (Watt)
Mar-11	325	1,801,280
Apr-11	324	1,795,737.6
Jul-11	345	1,912,128
Aug-11	365	2,022,976
Sep-11	320	1,773,568
Oct-11	330	1,828,992
Nov-11	305	1,690,432
Dec-11	350	1,939,840

Pompa mulai beroperasi pada tahun 1982, sedangkan perhitungan daya dilakukan pada tahun 2011 yang berarti pompa tersebut telah beroperasi selama 29 tahun. Terlihat terjadi penurunan antara nilai daya *design* dengan jumlah rata-rata daya aktual yaitu sebesar 703,854.4 Watt (27.61%). Sedangkan nilai daya tertinggi pada saat penghitungan sesuai jangka waktu ketersediaan data adalah sebesar 2,022,976 Watt pada bulan Agustus 2011, sedangkan nilai terendah sebesar 1,690,432 Watt pada bulan November 2011.



Gambar 4.3 Grafik Nilai Daya Input Motor *Sea Water Pump*

Pada sumbu x grafik menunjukkan berbagai waktu nilai daya dari pompa. Sumbu y menunjukkan nilai daya pompa tersebut. Didapatkan 2 garis yang terbentuk akibat perhitungan nilai daya pompa dari bulan ke bulan sesuai ketersediaan data yang didapat dari lapangan, kemudian garis lainnya adalah nilai *design load* atau rancangan awal daya pompa tersebut. Untuk itu terdapat juga simbol standar deviasi pada setiap titik yang berada pada *actual load*.

Pada garis *actual load* ditunjukkan tingkat kenaikan dan penurunan daya daya setiap bulannya. Sedangkan garis *design load* bertujuan untuk membandingkan jumlah penurunan nilai daya antara kondisi *design* yang mempunyai nilai daya 2,549,504 Watt dengan masing-masing nilai daya setiap bulannya yang dihitung.

Penurunan daya pompa umumnya disebabkan pengurangan debit yang harus dialirkan oleh pompa sehingga daya yang dibutuhkan menurun atau diturunkan. Tetapi yang memang menyebabkan penurunan pada daya pompa seperti terjadi keausan pada *impeler dan casing*, peningkatan gesekan pada *bearing* yang kondisinya mulai menurun karena usia, kondisi motor yang menurun, adanya kotoran pada bagian dalam pompa yang dapat menyebabkan kontaminasi seperti ketidak seimbangan impeler atau terjadi kavitasi dan pengaratan, pelumasan yang menyebabkan *over heat* [14].

Untuk itu, pemakaian pompa dapat mencapai jangka waktu lebih panjang apabila kontrol terhadap daya selalu dilakukan terutama pada komponen motor. Selain itu pelumasan sangat penting dilakukan dengan jangka waktu antar periode tidak terlalu lama. Perawatan ideal dalam menjaga stabilitas performa pompa adalah melakukan *over haul* rutin untuk melihat secara nyata bagian-bagian komponen pompa yang sudah mengalami *fatigue*. Saat kegiatan *over haul* berlangsung, dapat diputuskan apakah komponen tersebut perlu dilakukan *refurbish* atau *replacement*.

4.2 Contoh Studi Kasus *Remaining Life Assessment* Pada Loading Arm

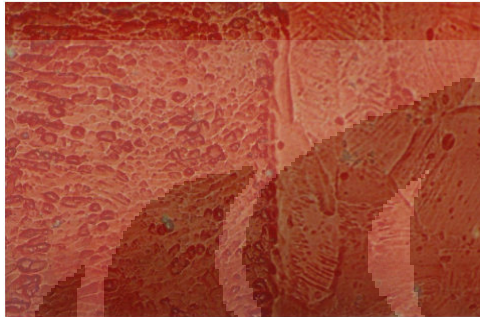
Seperti yang sudah dijelaskan bahwa *remaining life assessment* tidak dilakukan pada obyek yang bergerak. Pada *loading arm* yang mempunyai prinsip kerja seperti pompa, komponen-komponen seperti *impeller*, *shaft*, *bearing* dapat dianggap kondisi awal kembali setelah dilakukan penggantian. Perhitungan dilakukan pada bagian material saja. Material *loading Arm* yang diukur terdapat pada bagian pipa penghubung antara pompa dengan dengan kapal-kapal pengangkut gas.

Material *loading arm* mengalami naik turun suhu pada saat dioperasikan. Gas mempunyai sifat bersuhu rendah. Sedangkan *loading arm* berada di bawah sorotan sinar matahari secara langsung. Pada proses *heat treatment*, semua logam yang mengalami kenaikan dan penurunan suhu yang terus menerus dalam rentang tahun yang cukup lama, akan mengalami *fatigue*. Timbulnya *martensite* merupakan jenis *fatigue* yang mudah terjadi. *Martensite* dapat dideteksi menggunakan *metallography* secara berkala untuk mencatat perkembangan besaran *martensite* tersebut. *Martensite* merupakan salah satu parameter dalam melakukan pengukuran umur sisa

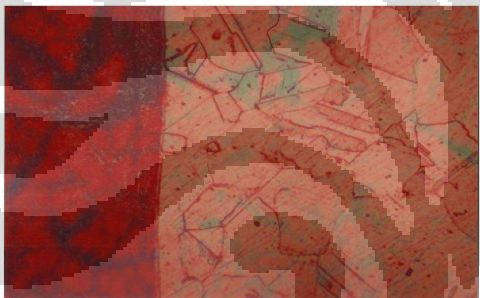
Maka dari itu saat pengukuran umur sisa dibutuhkan *record* pengujian angka *martensite* selama beberapa tahun ke belakang agar rata-rata peningkatannya dapat dihitung. Perhitungan juga melibatkan kondisi operasi dan jumlah pemakaian rata-rata setiap dilakukan pengujian nilai *martensite* tersebut.

4.2.1 Hasil Martensite Pada Permukaan Material Loading Arm

Pengetesan dan inspeksi *material* melalui uji *metallography* telah diselesaikan. Hasil uji tersebut menghasilkan beberapa gambar struktur logam sesuai perbesarannya sebagai berikut:



Gambar 4.4 Mikrostruktur Material Loading Arm Perbesaran 500x



Gambar 4.5 Mikrostruktur Material Loading Arm Perbesaran 1000x

Pengujian telah dilakukan menggunakan metode *non-destructive examination* (*NDE*) sebagai berikut : *liquid penetrant, radiographic, in situ metallographic, and in situ hardness test. Liquid Penetrant Inspection (LPI)* digunakan untuk mengetahui kecacatan permukaan material, sementara pengetesan menggunakan radiografi bertujuan menginspeksi jenis kecacatan tidak terlihat menggunakan kekuatan radiasi gelombang elektromagnetik untuk menambus struktur material.

Foto mikrostruktur pada sampel bertujuan untuk menunjukkan struktur material saat ini. Sedangkan teknik *in-situ metallography* melibatkan pemilihan lokasi, *mechanical grinding dan polishing (electrolytic), electrolytic etching or chemical etching, replication and microstructure observation*. Untuk uji kekerasan, digunakan metode inspeksi permukaan sampel menggunakan ultrasonic.

Nilai *martensite* suatu *material* dapat dilihat dari besaran area yang nampak melalui perbedaan warna. Pada gambar di atas tidak terlalu terlihat area *martensite*. Namun nilai prosentase *martensite* dapat dilihat dari data di bawah ini.

Tabel 4.9 Hasil Pengukuran *Martensite*

LOADING ARM ITEM NO. V-6801-B

DATE : May 09, 2010
: TZ/MIH

NO.	POSITION	READING					AVERAGE	NO.	POSITION	READING					AVERAGE		
		1	2	3	4	5	%			1	2	3	4	5	%		
1	↑ SEAWARD 	A	16.50	15.50	16.00	16.50	16.00	5	↑ SEAWARD 	A	0.20	0.10	0.30	0.20	0.30	0.22	
		B	13.50	16.00	14.00	14.50	13.50			14.30	B	0.30	0.20	0.20	0.10	0.30	0.23
		C	8.00	10.50	11.50	10.00	10.50			10.10	C	0.20	0.30	0.20	0.30	0.20	0.24
		D	10.50	11.50	10.00	11.00	11.50			10.90	D	0.10	0.20	0.10	0.30	0.30	0.20
		E	7.20	5.20	6.60	4.30	5.80			5.82	E						
		F	0.30	0.50	0.40	0.40	0.60			0.44	F						
2	↑ SEAWARD 	A	15.50	14.50	16.00	16.00	16.00	6	↑ SEAWARD 	A							
		B	14.00	15.50	14.50	15.00	13.50			14.50	B	9.50	9.00	9.50	9.50	11.00	9.70
		C	5.80	5.70	5.40	5.20	5.20			5.48	C	11.00	11.00	10.50	11.00	11.00	10.90
		D	14.00	13.00	12.00	12.00	13.00			12.80	D	10.50	10.50	11.00	11.00	10.50	10.70
		E	17.50	18.00	21.00	17.00	20.00			18.70	E	8.60	6.40	7.60	7.00	5.50	7.02
		F	0.70	0.90	0.60	0.80	0.80			0.76	F	0.30	0.30	0.20	0.30	0.20	0.26
3	↑ SEAWARD 	A	13.00	14.00	13.50	14.00	14.00	7	↑ SEAWARD 	A	9.50	9.00	9.00	9.00	9.00	9.10	
		B	13.00	13.00	12.50	13.50	12.50			12.90	B	9.50	9.50	9.00	9.50	9.50	9.40
		C	12.50	13.00	12.50	12.50	12.50			12.50	C	6.60	6.50	6.80	6.60	6.50	6.62
		D	11.00	10.50	11.00	10.50	11.50			10.90	D	9.80	9.20	9.20	9.30	9.20	9.30
		E									E	5.00	4.00	5.00	4.40	3.80	4.44
		F									F	0.40	0.20	0.30	0.40	0.20	0.30
4	↑ SEAWARD 	A	12.00	14.00	13.00	14.00	13.00	8	↑ SEAWARD 	A	6.20	5.80	6.20	5.40	7.60	6.24	
		B	11.00	11.00	10.50	11.50	10.00			11.00	B	9.60	9.60	9.60	9.50	9.60	9.58
		C	10.50	11.50	10.00	11.00	11.50			10.90	C	8.20	9.20	8.20	8.80	8.60	8.60
		D	9.50	11.00	9.50	12.00	10.50			10.50	D	7.80	8.00	6.60	7.60	6.80	7.36
		E									E						
		F									F						
9	↑ SEAWARD 	A						10	↑ SEAWARD 	A	3.70	4.00	3.30	4.00	3.60	3.72	
		B								B	10.50	10.00	10.00	10.50	10.00	10.20	
		C								C	5.70	5.50	5.60	5.40	5.50	5.54	

4.2.2 Pengolahan Data Tingkat Martensite Material Loading Arm

Dari tabel 4.10 data *martensite* dapat dipilah dengan mengambil 3 posisi yang dianggap mempunyai nilai *Martensite* paling besar atau kritis.

Tabel 4.10 Nilai Kritis *Martensite*

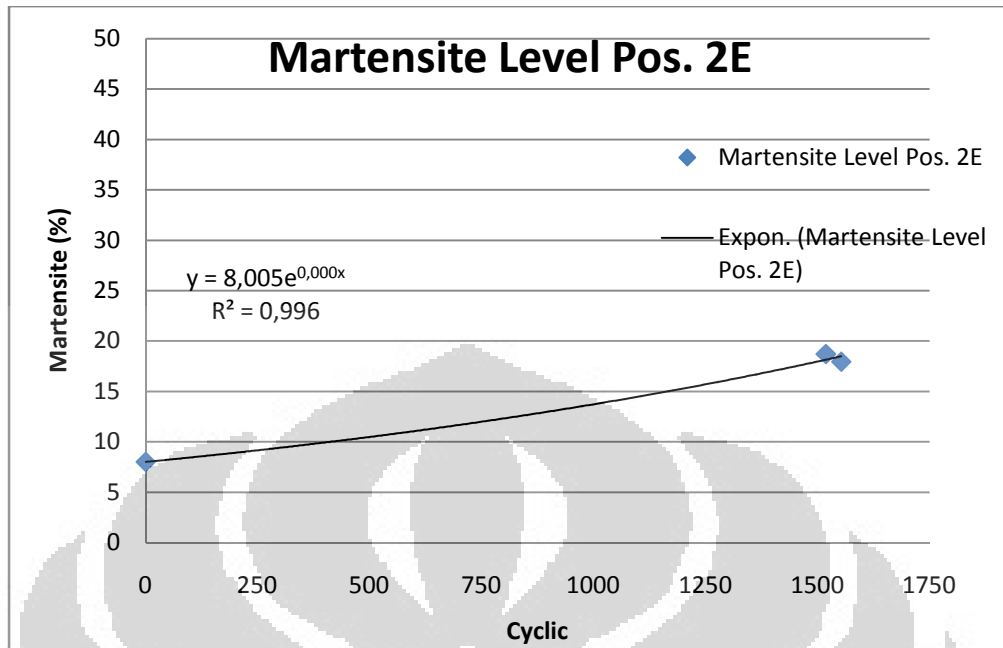
Loading Arm V-6801 B			
Position	Average (%)		
2E	8	18.7	17.94
1A	5.7	16.1	14.9
2B	10.3	14.5	15.78
Years	0	27	29

Untuk mendapat jumlah mulai tahun 1982 hingga tahun 2000 (18 tahun), diasumsikan penggunaan *loading arm* sebanyak 80 kali setiap tahunnya.

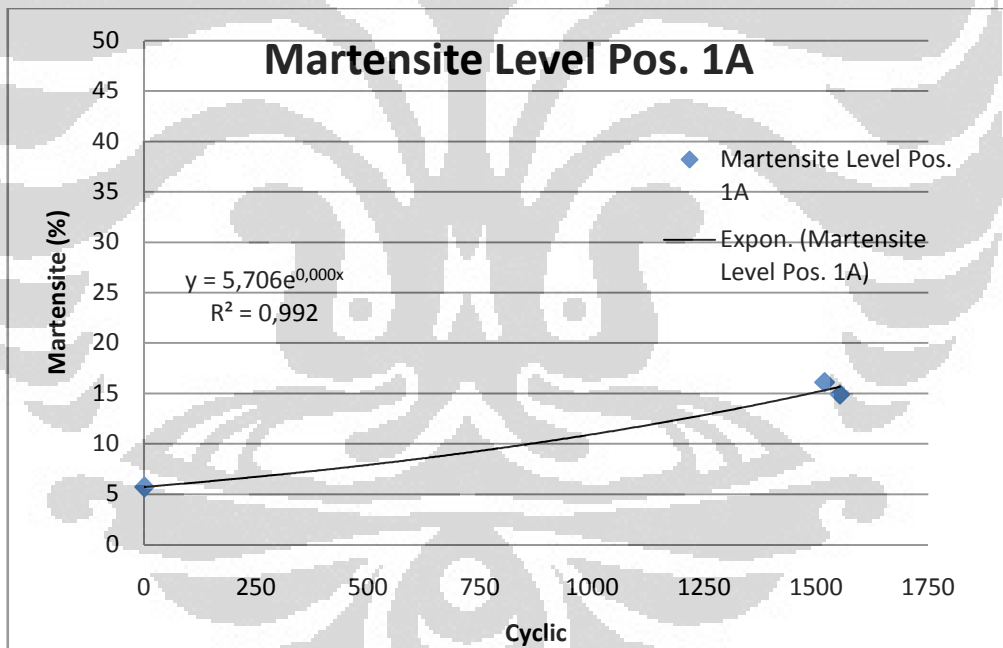
Tabel 4.11 Siklus Penggunaan *Loading Arm*

NO .	TAHUN	BERTH-2 (Loading)	Cyclic
1	1982	0	0
2	2000	79	1519
3	2001	34	1553
4	2002	76	1629
5	2003	77	1706
6	2004	68	1774
7	2005	73	1847
8	2006	59	1906
9	2007	49	1955
10	2008	42	1997
11	2009	37	2034
12	2010	34	2068
13	2011	20	2088
14	2012	10	2098

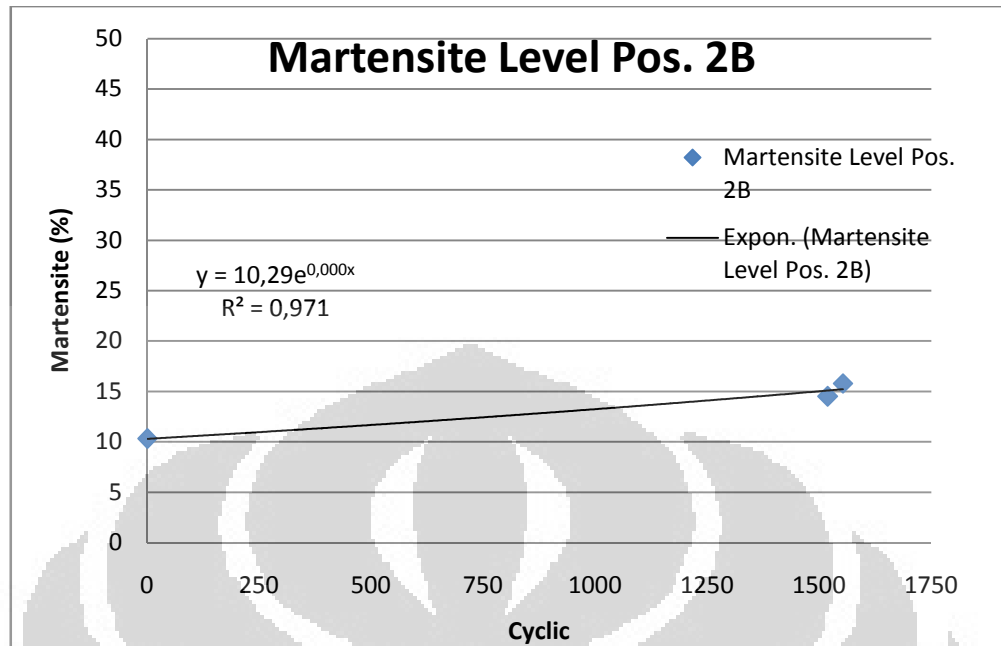
Setelah pemilahan data yang dianggap paling besar atau kritis maka dapat dituangkan dalam sebuah grafik, sebagai berikut :



Gambar 4.6 Grafik Nilai *Martensite* Pada Posisi 2E



Gambar 4.7 Grafik Nilai *Martensite* Pada Posisi 1A



Gambar 4.8 Grafik Nilai *Martensite* Pada Posisi 2E

Dari hasil pembuatan grafik eksponensial dari ketiga posisi pemeriksaan nilai *martensite*, posisi yang dianggap mempunyai tingkat pertumbuhan *martensite* terdapat pada posisi 2E. Diantara ketiga posisi pemeriksaan nilai *martensite*, posisi 2E memiliki nilai persebaran ($R^2 = 0,9926$)

Pada grafik gambar 4.6 ditunjukkan perubahan tingkat prosentase *martensite*, terlihat nilai *martensite* terjadi peningkatan dua kali lipat saat *loading arm* telah dipakai selama 27 tahun.

Nilai rata-rata *martensite* pada awal beroperasinya *loading arm* yaitu sebesar 8%, sedangkan pada tahun ke 27 dengan jumlah pemakaian sebanyak 2,068 kali menjadi sebesar 16.43%.

Tetapi bila dilihat pada tabel 4.10 di atas, nilai *martensite* posisi 2B pada tahun ke-27 (pemakaian 2,068 kali) sampai tahun ke-29 (pemakaian 2,098 kali) terjadi peningkatan, sedangkan pada posisi 2E dan 1A justru menurun.

Hal ini dapat disebabkan oleh beberapa faktor, antara lain :

- Adanya pergeseran titik yang diambil antara tahun ke-27 (pemakaian 2,068 kali) dan tahun ke-29 (pemakaian 2,098 kali) (*human error*)
- Adanya pengelupasan atau penipisan permukaan material dan kalibrasi alat yang digunakan pada uji *metallography*.

4.2.3 Hasil Studi *Remaining Life Assessment* Pada *Loading Arm*

Pada posisi 2E, dengan menggunakan metode linear pada tahun ke-0 nilai *martensite* yang dihasilkan 8%. Pada tahun ke-27 (pemakaian 2,068 kali) memiliki nilai *martensite* 18.7%, dan pada tahun ke-29 (pemakaian 2,098 kali) nilai *martensite* 17.94%.

Perbedaan nilai *martensite* selama kurun waktu 27 tahun (pemakaian 2,068 kali) adalah 10.7% (18,7% - 8%). Dan perbedaan nilai *martensite* selama kurun waktu tahun ke- 27 (pemakaian 2,068 kali) sampai tahun ke-29 (pemakaian 2,098 kali) adalah 0.76%.

Pada pemakaian awal *loading arm* sampai tahun ke-27 (pemakaian 2,068 kali) dapat dihitung kenaikan prosentase *martensite* per tahun yaitu sebesar 0.608%, sedangkan pada tahun ke-27 (pemakaian 2,068 kali) sampai tahun ke-29 (pemakaian 2,098 kali) prosentase per tahunnya sebesar 0,11%.

Perbedaan nilai *martensite* per tahun pada tahun ke-0 ke tahun ke-27 (pemakaian 2,068 kali) dan tahun ke-27 (pemakaian 2,068 kali) ke tahun ke-29 (pemakaian 2,098 kali) sangat berbeda karena jumlah pemakaian rata-rata per tahun *loading arm* sudah sangat menurun.

Martensite tersebut terbentuk karena proses *heat treatment* dari gas yang mengalir di dalam *loading arm*. Gas memiliki suhu rendah, sedangkan *loading arm* yang berada di bawah sinar matahari langsung pasti suhunya akan meningkat. Untuk itu, saat suhu pada *loading arm* sedang tinggi, dan kemudian ada penurunan suhu secara cepat yang diakibatkan aliran gas, perlahan pasti akan terjadi pengaruh terhadap struktur logam material dari *loading arm* tersebut.

Nilai *martensite* yang terlalu banyak akan membuat logam menjadi getas yang mengakibatkan rawan terjadinya *crack*, yang apabila diteruskan akan menyebabkan deformasi yang merugikan.

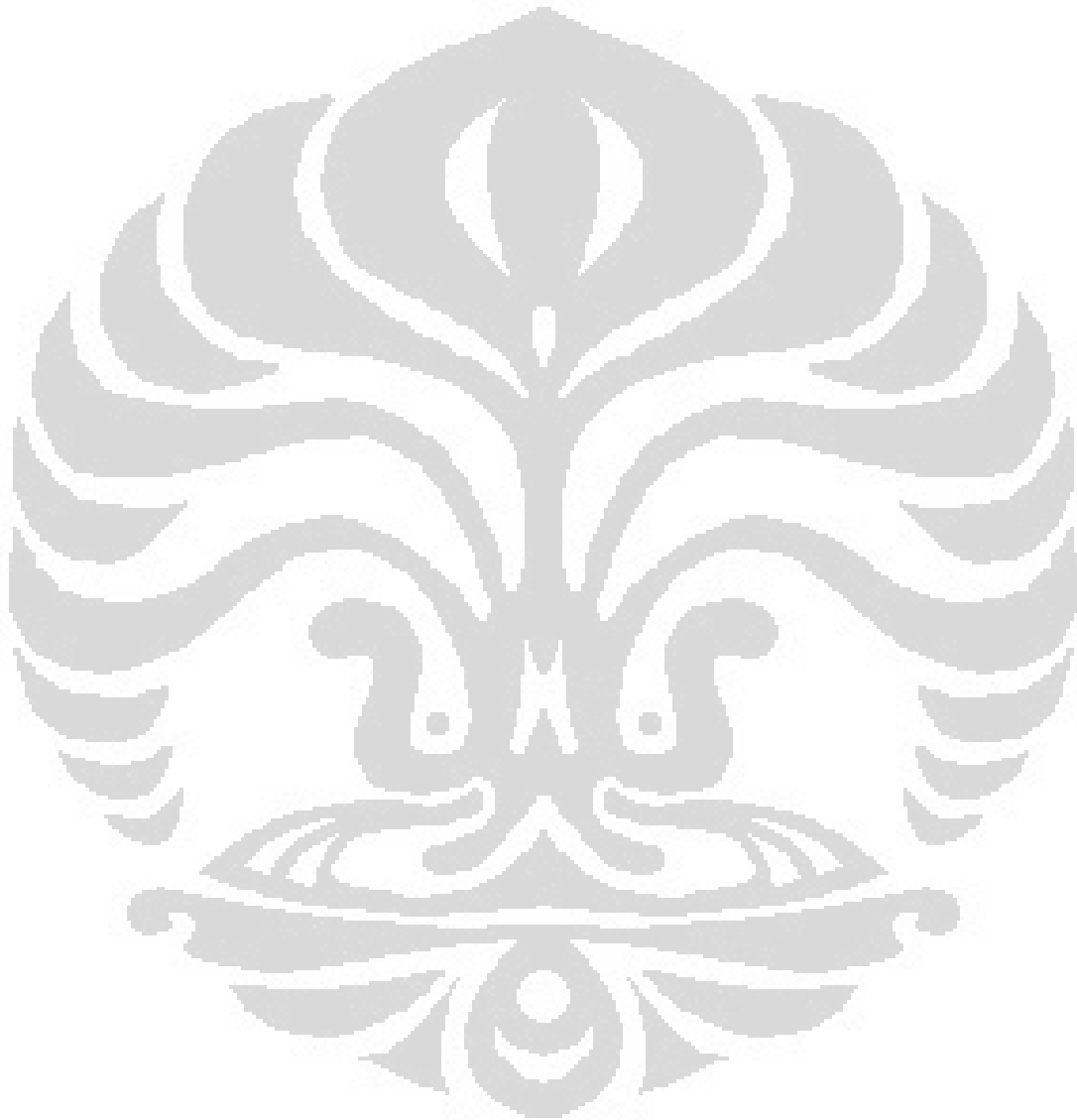
BAB 5 KESIMPULAN

Berdasarkan hasil studi yang telah dilakukan beberapa hal dapat disimpulkan dari pengukuran umur sisa :

1. RLA dilakukan dalam tiga langkah sebagai berikut:
 - a. Koleksi dan review data desain dan *&operation history*
 - b. Koleksi dan review data maintenance dan *inspection history*
 - c. Analisa *scientific* berdasarkan data tahap 1 & 2 dikombinasikan dengan sifat terukur material peralatan.
2. Data yang telah diperoleh dilakukan pemilahan yang dianggap signifikan, karena dalam studi *remaining life assessment* sangat dibutuhkan informasi mengenai *trending* mesin dari tahun ke tahun.
3. Sebagai dasar penting untuk mendapatkan hasil yang baik adalah analisis data-data operasional aktual (temperature, tekanan, tegangan, arus, output), pengalaman operasional dan *operational tenders*. Suatu pendekatan integral yang memungkinkan *assessment* kemampuan dan *safety* operasional saat ini hanya mungkin dilakukan dengan cara menarik suatu hubungan antara *operational load* dan status *actual* pabrik dan komponennya yang diperoleh dari test dan inspeksi.
4. Langkah-langkah penghitungan umur sisa telah dilakukan, akan tetapi umur sisa belum dapat dikeluarkan karena banyaknya kendala dalam pengumpulan data dari lapangan. Bila dapat memperoleh data yang lebih lengkap, umur sisa dipastikan terhitung sesuai dengan langkah yang dilakukan dalam penelitian ini.
5. Hasil sisa umur suatu mesin melalui metode *RLA* bagaimanapun harus ditunjang dengan program *maintenance* yang sesuai, minimal sama dengan program *maintenance* yang sudah diterapkan. Angka hasil sisa umur pada kenyataannya bisa kurang atau lebih dari angka yang keluar melalui penghitungan *RLA*. Semua kembali lagi dengan bagaimana kita

memperlakukan mesin tersebut yang idealnya harus diimbangi dengan perawatan yang cukup dan tepat.

6. Dengan kemungkinan ketersediaan data yang kurang lengkap dan mendukung sebagaimana penelitian ini, dalam penelitian lain disarankan untuk mencoba mengambil nilai kualitatif melalui studi literatur.



REFERENSI

- [1] <http://mechanicalbrothers.wordpress.com/2010/12/26/remaining-life-assesment-rla>
- [2] R. Viswanathan, "Damage Mechanism and life assessment og high temperature components"
- [3] Carl E.Jaske and Brian E.Shannon, " *Inspection and Remaining Life Evaluation of Process Plant Equipment*"
- [4] http://www.chem-is-try.org/materi_kimia/kimia-kesehatan/reaksi-kimia-kimia-kesehatan-materi_kimia/korosi-2/
- [5] <http://www.docstoc/docs/122864364/Nondestructive>
- [6] Vicente, Fernando. " *Mechanical Integrity Assessment Of A Large Horizontal NGL Pressure Vessel : Case Study*", ABB Service, Argentina
- [7] Haitao Liao, Ph.D., Wenbiao Zhao, Ph.D., Huairui Guo, Ph.D., " *Predicting Remaining Usefullife of an Individual Unit Using Proportional Hazard Model ang Logistic Regression Model*"
- [8] Davis,H.E, and G.E, Troxell, " *The Testing and Inspection of Engineering Material*", Mc. Graw Hill, New York, 1964
- [9] Van Der Voort, " *Metallography Principles and Practices*".
- [10] <http://ardra.biz/metalurgi/perlakuan-panas-logam/proses-tempering-penemperan>
- [11] <http://mechanic.dagdigdug.com/2009/12/pengenalan-terhadap-vibrasi/>
- [12] Lapina, Roland P. " *Estimating Centrifugal Compressor Performance,*" Gulf Publishing Company, Houston, Texas, 1982
- [13] Bureau of energy Efficiency (BEE), Ministry of Power, India. *Components of an Electric Motor.*2005
- [14] Bureau of Energy Efficiency, Ministry of Power, India. *Energy Efficiency in Electrical Utilities.*Book 3. 2004

