



TUGAS AKHIR- TM141585

**ANALISA KEGAGALAN POROS LOW PRESSURE
BOILER FEED PUMP (LP BFP) DITINJAU DARI
ASPEK METALURGI**

CHANDRA DWI PRASETYO
NRP. 2111 100 137

Dosen Pembimbing
Prof. Dr. Ir. Wajan Berata, DEA

JURUSAN TEKNIK MESIN
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2016



FINAL PROJECT- TM141585

FAILURE ANALYSIS OF SHAFT OF A LOW PRESSURE BOILER FEED PUMP (LP BFP) OBERVED FROM METALLURGICAL ASPECT

CHANDRA DWI PRASETYO
NRP. 2111 100 137

Academic Advisor
Prof. Dr. Ir. Wajan Berata, DEA

MECHANICAL ENGINEERING DEPARTEMENT
Faculty of Industrial Technology
Sepuluh Nopember Institute of Technology
Surabaya 2016

**ANALISA KEGAGALAN POROS *LOW PRESSURE*
BOILER FEED PUMP (LP BFP) DITINJAU DARI
ASPEK METALURGI**

TUGAS AKHIR

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik

pada

Program Studi S-1 Jurusan Teknik Mesin
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh :

CHANDRA DWI PRASETYO

NRP. 2111 100 045

Disetujui oleh Tim Penguji Tugas Akhir :

1. Prof. Dr. Ir. Wajan Berata, DEA (Pembimbing)
NIP. 19501211 198502 1 001
2. Suwarno, ST., MSc. Ph. D (Penguji I)
NIP. 19800520 200501 1 003
3. Wahyu Wijanarko, ST., MSc (Penguji II)
NIP. 19820209 201212 1 001
4. Ika Dewi Wijayanti, ST., MSc (Penguji III)
NIP. 19851202 201404 2 002

**SURABAYA
JANUARI, 2016**

ANALISA KEGAGALAN POROS *LOW PRESSURE BOILER FEED PUMP* (LP BFP) DITINJAU DARI ASPEK METALURGI

Nama Mahasiswa : CHANDRA DWI RASETYO
NRP : 2111100137
Jurusan : Teknik Mesin
Dosen Pembimbing : Prof. Dr. Ir. Wajan Berata, DEA

Abstrak

Pompa mempunyai peranan penting sebagai media untuk memindahkan fluida dari suatu tempat ke tempat yang lain. Salah satu pompa yang digunakan dalam pembangkitan listrik PLTGU adalah Low Pressure Boiler Feed Pump (LP BFP). Proses pengoperasian dan karakteristik material yang tidak sesuai pada pompa mengakibatkan terjadinya kegagalan. Demikian juga pada LP BFP yang terjadi kegagalan, berupa kerusakan pada ulir shaft pengunci impeller. Kegagalan tersebut menyebabkan kerugian operasional dan supply listrik akan terhenti akibat proses perbaikan pada komponen – komponen yang rusak.

Dalam penelitian ini digunakan pengamatan pola patahan secara makroskopis dan mikroskopis, pengamatan desain serta pengujian untuk identifikasi material. Pengamatan pola patahan makroskopis dilakukan dengan kamera perbesaran 32x, sedangkan pengamatan mikroskopis dilakukan dengan uji SEM (Scanning Electron Microscope). Pengamatan desain dilakukan dengan perhitungan kesesuaian tegangan yang bekerja dengan tegangan ijin dari material poros. Sedangkan untuk identifikasi material digunakan uji komposisi kimia, uji kekerasan dan uji metallography untuk material yang patah dan selanjutnya dicocokkan dengan standar.

Berdasarkan analisa dan data – data yang diperoleh, kegagalan yang terjadi disebabkan oleh kelelahan (fatigue). Jenis patahan yang terjadi merupakan low cycle fatigue (high load). Hasil pengamatan Scanning Electron Microscope (SEM) dan

perhitungan kesesuaian tegangan menunjukkan bahwa kegagalan terjadi karena material yang digunakan tidak sesuai standar.

Kata kunci : Analisa Kegagalan, Ulir Poros, LP BFP, Baja Tahan Karat Austenitik, Striasi

FAILURE ANALYSIS OF SHAFT OF A LOW PRESSURE BOILER FEED PUMP (LP BFP) OBSERVED FROM METALLURGICAL ASPECT

Nane : CHANDRA DWI RASETYO
Student ID : 2111100137
Departement : Teknik Mesin
Advisor Lecturer : Prof. Dr. Ir. Wajan Berata, DEA

Abstract

Pump has important role as a media to move the fluid from one place to another. One of pumps that used in power plant PLTGU is Low Pressure Boiler Feed Pump (LP BFP). Operation process and material characteristic that do not suit the pump causing the failure. As well as the LB BFP that was experiencing failure by damage of impeller key shaft. The failure caused operational loss and electrical supply would be stopped because of maintenance process in damaged components.

This research is using crack pattern observation by macroscopic and microscopic, design observation and tests for material identification. Macroscopic crack pattern observation was using camera with 32x zoom in, while microscopic was using SEM (Scanning Electron Microscope). Design observation was done by calculating between the force that happened with diameter and material suitability. While for material identification was using chemical composition, hardness test and metallography for broken material and then compared with standard.

Based on analysis and data, failure is caused by fatigue. Kind of fatigue that occurred is low cycle fatigue (high load). SEM result and stress suitability calculation show that failure is

occured due to material that used is not suitable with the standard.

Key word: failure analysis, LP BFP, Threaded shaft, Austenitic Stainless Steel, Striation

KATA PENGANTAR

Segala puji syukur penulis panjatkan kepada Allah SWT yang senantiasa mencurahkan rahmat dan hidayahNya sehingga penulis mampu menyelesaikan Tugas Akhir dengan judul : Analisa Kegagalan Poros *Low Pressure Boiler Feed Pump* (LP BFP) Ditinjau dari Aspek Metalurgi. Pada kesempatan ini penulis ingin mengucapkan terima kasih kepada :

1. Orang tua tercinta, untuk segala doa, restu, kasih sayang, pengorbanan, dan motivasi yang diberikan kepada penulis sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir ini.
2. **Prof. Dr. Ir. Wajan Berata, DEA** selaku dosen pembimbing Tugas Akhir ini. Terima kasih untuk segala waktu, kritik, saran, dan motivasi yang telah diberikan kepada penulis.
3. **Suwarno, ST., MSc. Ph. D, Wahyu Wijanarko, ST., MSc. , Ika Dewi Wijayanti, ST., MSc.** Selaku dosen penguji Tugas Akhir. Terima kasih atas nasehat dan saran yang telah diberikan kepada penulis.
4. **Indra Sidharta, ST., MSc.** ,delaku dosen wali yang telah memberikan arahan dan bimbingan untuk mengambil mata kuliah dari semester awal sampai akhirnya penulis mendapat gelar S1.
5. Presiden Lab. Metalurgi beserta kroni – kroninya : Galang, Bustan, Refki, Yordi, Brahmanda, Aji, Dewor, Iqo, Esty, Opi, Billy, Genjik, Rafi, Fadli, dan Syifaul. “*Koen kabeh dulurku rek*”
6. Teman seperjuangan penulis ketika manyelesaikan Tugas Akhir , Refki Despratama .
7. Angkatanku M-54 yang telah membantu penulis untuk beradaptasi di kota Surabaya ini.
8. Seluruh karyawan Metalurgi : Pak Bambang Sumantri, Pak Budiono, Pak Gathot, Pak Endang, Mas Agus yang telah membantu penulis dalam melakukan pengujian material.
9. Serta semua pihak yang telah memberikan bantuan serta dukungannya yang tidak dapat penulis sebutkan semuanya.

Penulis sadar bahwa penulisan Tugas Akhir ini masih banyak kekurangan. Oleh karena itu diperlukan kritik dan saran yang membangun demi perbaikan dan kesempurnaan Tugas Akhir ini. Semoga tulisan ini dapat memberikan manfaat bagi pembaca semua.

Surabaya, Januari 2016

Penulis

DAFTAR ISI

Lembar Pengesahan	v
Abstrak	vii
Abstract	ix
Kata Pengantar	xi
Daftar Isi	xiii
Daftar Gambar	xv
Daftar Tabel	xvii

BAB 1 PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang	1
1.2 Perumusan Masalah.....	3
1.3 Batasan Masalah	3
1.4 Tujuan Penelitian.....	4
1.5 Manfaat Penelitian.....	4

BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI

2.1 Tinjauan Pustaka	5
2.2 Dasar Teori	6
2.2.1 Pengertian Pompa.....	6
2.2.2 Konstruksi Pompa PLTGU	7
2.2.3 Gaya <i>Thrust</i> Aksial Impeller	9
2.2.4 Kecepatan Spesifik Fluida.....	10
2.2.5 Faktor Keamanan	11
2.2.6 Desain Poros akibat Beban Fluktuasi (DET).....	12
2.2.7 Investigasi dalam Analisa Kegagalan.....	13
2.2.8 Prinsip Dasar Kelelahan Material.....	14
2.2.9 Mekanisme Patah Lelah	15
2.2.9.1 Tahap Retak Awal	16
2.2.9.2 Tahap Perambatan Retak	17
2.2.9.3 Patah Akhir	18

BAB 3 METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Diagram Alir Penelitian.....	21
----------------------------------	----



3.2 Peralatan	22
3.3 Sampel Material	23
3.4 Langkah Penelitian	24
BAB 4 ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN	
4.1 Informasi Pompa LP BFP	29
4.2 Data Hasil Uji Komposisi Kimia	30
4.3 Data Hasil Uji Kekerasan	33
4.4 Data Hasil Pengamatan Metalografi	34
4.5 Analisa Gaya yang Bekerja pada Pompa	36
4.6 Data Hasil Pemeriksaan Awal dan Makroskopik	46
4.7 Data Hasil Pengamatan Fraktografi	47
BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN	
5.1 Kesimpulan	51
5.2 Saran	51
DAFTAR PUSTAKA	52
LAMPIRAN	54
BIOGRAFI PENULIS	58

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1	Sketsa <i>Low Pressure Boiler Feed Pump</i>	1
Gambar 1.2	LP BFP yang mengalami kerusakan	2
Gambar 1.3	<i>Shaft</i> LP BFP yang mengalami kegagalan	2
Gambar 1.4	(a) Ulir poros pengunci <i>impeller</i> tampak depan	3
	(b) Ulir poros pengunci <i>impeller</i> tampak samping	3
Gambar 2.1	Instalasi pompa sentrifugal	6
Gambar 2.2	Konstruksi Pompa PLTGU	7
Gambar 2.3	Pompa pada PLTGU	8
Gambar 2.4	Gaya Aksial pada <i>Impeller</i> Pompa Sentrifugal	9
Gambar 2.5	Notasi untuk Beban Siklus Amplitudo Konstan (R)= -1	15
Gambar 2.6	Mekanisme Patah Lelah	15
Gambar 2.7	(a) Penggambaran Ketergantungan Umur	16
	(b) Lelah dengan Tingkat Tegangannya	16
Gambar 2.8	Model Pengintian Retak oleh <i>Wood</i>	16
Gambar 2.9	Mekanisme Perambatan Retak	18
Gambar 3.1	Diagram Alir Penelitian	21
Gambar 3.2	Ulir poros pengunci <i>impeller</i> yang telah mengalami kegagalan	23
Gambar 3.3	Spektrometer Thermo ARL	25
Gambar 3.4	Kamera Digital dan <i>Stereo Microscope</i>	26
Gambar 3.5	Mikroskop Optis dan <i>SEM</i>	27
Gambar 3.6	Mikroskop Optik <i>Zeiss</i>	27
Gambar 4.1	Skema komponen poros LP BFP	30
Gambar 4.2	Posisi Indentasi pada Pengujian Vickers	33
Gambar 4.3	(a) Hasil Uji Metalografi pada Material Poros LP BFP dengan perbesaran 500x.....	35
	(b) Metalografi <i>316 Austenitic Stainless Steel</i> Sesuai ASM Handbook Volume 9, perbesaran 500x	35

Gambar 4.4 (a) Sketsa gaya- gaya yang bekerja pada poros	37
(b) Gaya yang bekerja pada ulir poros	37
(c) Distribusi tegangan geser	37
(d) Distribusi tegangan akibat momen	37
(e) Pengaruh gaya gaya inisial dan aksial tampak atas dari ulir poros	37
Gambar 4.5 Resultan gaya aksial akibat perbedaan tekanan kedua sisi <i>impeller</i>	39
Gambar 4.6 Kurva S-N <i>AISI 316 SS</i>	45
Gambar 4.7 Daerah Inisiasi, <i>Crack Propagation</i> , dan <i>Final Fracture</i> pada poros LP BFP yang Mengalami kegagalan	46
Gambar 4.8 (a) <i>Crack initiation</i> spesimen 1	47
(b) <i>Crack Initiation</i> menggunakan <i>Stereo Microscope</i>	47
(c) Hasil pengujian SEM perbesaran 250x	47
Gambar 4.9 <i>Ratchet Marks</i> yang terlihat menggunakan <i>Stereo Microscope</i> , perbesaran 32x	49
Gambar 4.10 Hasil <i>Scanning Electron Microscope</i> Spesimen 2, dengan perbesaran 250x 1	50

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Spesifikasi Pompa PLTGU	8
Tabel 3.1 Komposisi Kimia <i>316 Austenitic Stainless Steel</i>	23
Tabel 3.2 <i>Properties</i> Mekanik <i>316 Austenitic Stainless Steel</i> .	24
Tabel 4.1 Perbandingan Hasil Uji Komposisi Kimia dengan komposisi kimia standar material <i>AISI 410 SS</i> dan <i>AISI 316 SS</i>	31
Tabel 4.2 <i>Mechanical Properties AISI 316 SS</i>	32
Tabel 4.3 Hasil Indentasi Pengujian Vickers	34

LAMPIRAN

Table 2-1 (Continued)

STAINLESS STEELS

Cast or Heat Chemical Ranges and Limits

<i>Chemical Composition, Percent, Maximum Unless Otherwise Shown</i>									
UNS	Type	C	Mn	P	S	Si	Cr	Ni	Other Elements
Austenitic Stainless Steels									
S31703	317L	0.030	2.00	0.045	0.030	0.75	18.0-20.0	11.0-15.0	Mo 3.0-4.0 N 0.10
S31725	-	0.030	2.00	0.045	0.030	0.75	18.0-20.0	13.5-17.5	Mo 4.0-5.0 N 0.10
S31726	-	0.030	2.00	0.045	0.030	0.75	18.0-20.0	13.5-17.5	Mo 4.0-5.0 N 0.10-0.20
S31753	317LN	0.030	2.00	0.045	0.030	0.75	18.0-20.0	11.0-15.0	Mo 3.0-4.0 N 0.10-0.22
S32100	321	0.08	2.00	0.045	0.030	0.75	17.0-19.0	9.0-12.0	Ti 5x(C+N)-0.70 N 0.10
S32109	321H	0.04-0.10	2.00	0.045	0.030	0.75	17.0-19.0	9.0-12.0	Ti 4x(C+N)-0.70
S32615	-	0.07	2.00	0.045	0.030	0.8-6.0	16.5-19.5	19.0-22.0	Cu 1.5-2.5 Mo 0.30-1.5
S32654	-	0.020	2.0-4.0	0.030	0.005	0.50	24.0-25.0	21.0-23.0	Mo 7.0-8.0 N 0.45-0.55 Cu 0.30-0.60
S33169	-	0.10-0.20	0.50-0.80	0.030	0.030	1.00-1.40	7.0-9.0	19.0-22.0	-
S33228	-	0.04-0.06	1.00	0.020	0.015	0.30	26.0-28.0	31.0-33.0	Ce 0.05-0.10 Cb 0.6-1.0 Al 0.025

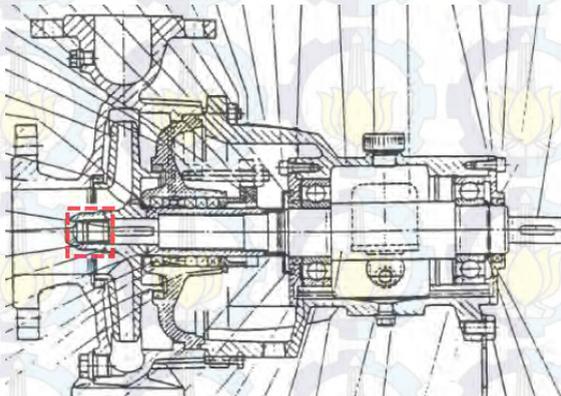
S31400	314	0.25	2.00	0.045	0.030	1.50-3.00	23.0-26.0	19.0-22.0	-
S31600	316	0.08	2.00	0.045	0.030	0.75	16.0-18.0	10.0-14.0	Mo 2.0-3.0 N 0.10
S31603	316L	0.03	2.00	0.045	0.030	0.75	16.0-18.0	10.0-14.0	Mo 2.0-3.0 N 0.10
S31609	316H	0.04-0.10	2.00	0.045	0.030	0.75	16.0-18.0	10.0-14.0	Mo 2.0-3.0
S31620	316F	0.08	2.00	0.20	0.10 min	1.00	17.0-19.0	12.0-14.0	Mo 1.75-2.50
S31635	316Ti	0.08	2.00	0.045	0.030	0.75	16.0-18.0	10.0-14.0	Ti 5x(C+N)-0.70 Mo 2.0-3.0 N 0.10

BAB 1 PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Pembangkit Listrik Tenaga Gas Uap (PLTGU) merupakan siklus kombinasi antara Pembangkit Listrik Tenaga Gas (PLTG) dan Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU). Penggunaan turbin gas dan turbin uap sebagai pembangkit energi listrik berperan untuk meningkatkan efisiensi termal yang tinggi mencapai 50%. Hal ini dikarenakan kebutuhan energi listrik yang semakin meningkat pesat. Sehingga dibutuhkan suatu pembangkit listrik dengan siklus kombinasi yang menghasilkan energi listrik yang besar.

Komponen yang memegang peranan penting dalam PLTGU adalah *Low Pressure Boiler Feed Pump* (LP BFP). LP BFP adalah sejenis pompa yang berperan untuk memompa fluida dari *deaerator* menuju *economizer*. Salah satu bagian yang sering mengalami kerusakan pada LP BFP adalah *shaft*. Kerusakan tersebut berupa patah di bagian ulir *shaft* pada *nut impeller*. Proses pengoperasian dan karakteristik material menjadi salah satu faktor penentu terhadap bentuk kerusakan yang terjadi.



Gambar 1.1. Sketsa Low Pressure Boiler Feed Pump

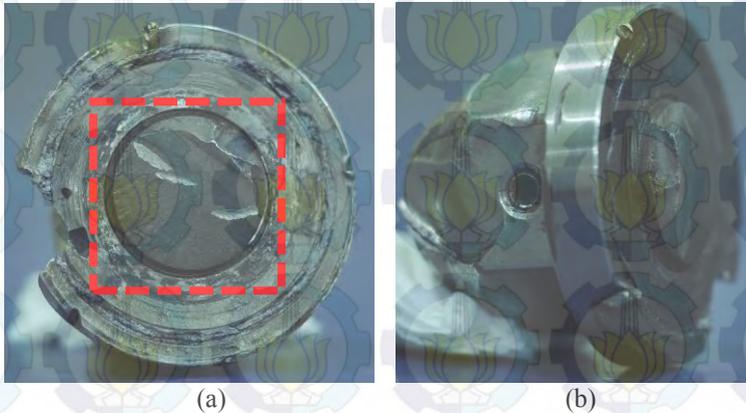


Gambar 1.2 LP BFP yang mengalami kerusakan

Kerusakan pada *shaft* pompa seringkali berlangsung secara tiba-tiba dan di luar prediksi yang telah direncanakan. Adanya kerusakan pada dunia pembangkit listrik, khususnya pada *shaft* LP BFP mengakibatkan dampak negatif pada berbagai aspek. Kerusakan ini akan mengganggu proses produksi, biaya operasional perusahaan meningkat dan *supply* listrik akan terhenti akibat proses perbaikan komponen-komponen yang mengalami kerusakan. Pada gambar 1.3 dan 1.4 , terlihat poros LP BFP yang mengalami kegagalan.



Gambar 1.3 Shaft LP BFP yang mengalami kerusakan



Gambar 1.4 (a) Ulir poros pengunci impeller tampak depan, (b) Ulir poros pengunci impeller tampak samping

Berawal dari kasus kegagalan pada *shaft* LP BFP beserta informasi yang didapatkan, maka akan dilakukan penelitian tentang analisa kegagalan pada *shaft* LP BFP sebagai langkah antisipasi untuk menghindari kegagalan yang serupa.

1.2 Perumusan Masalah

Perumusan masalah yang akan dianalisa dalam penelitian ini adalah :

1. Apa penyebab kegagalan yang terjadi pada kegagalan *shaft* pada *Low Pressure Boiler Feed Pump*.
2. Bagaimana mekanisme dan modus terjadinya kegagalan *shaft* pada *Low Pressure Boiler Feed Pump*.

1.3 Batasan Masalah

Agar penelitian dan pembahasan ini tidak meluas, maka diberikan batasan masalah sebagai berikut .:

1. Faktor getaran diabaikan.
2. Kedudukan poros, kopling, motor pada posisi lurus (*alignment*) baik dan tidak ada kerusakan.

1.4 Tujuan Penelitian

Penelitian analisa kegagalan *shaft* pada *Low Pressure Boiler Feed Pump* ini bertujuan untuk :

1. Mengetahui penyebab kegagalan yang terjadi pada kegagalan *shaft* pada *Low Pressure Boiler Feed Pump*.
2. Mengetahui mekanisme dan modus terjadinya kegagalan *shaft* pada *Low Pressure Boiler Feed Pump*.

1.5 Manfaat Penelitian

Hasil dari penelitian diharapkan dapat memberikan manfaat bagi dunia ilmu pengetahuan, yaitu :

1. Bagi perusahaan pembangkit listrik, dengan adanya analisa kegagalan ini, diharapkan dapat dijadikan acuan atau pertimbangan dalam pencegahan dan perawatan untuk menghindari kerusakan yang serupa.
2. Bagi kalangan akademis khususnya mahasiswa, dengan adanya studi analisa kegagalan ini diharapkan mampu mengaplikasikan dan memahami ilmu yang telah didapat untuk memecahkan masalah kegagalan pada komponen tersebut.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI

2.1 Tinjauan Pustaka

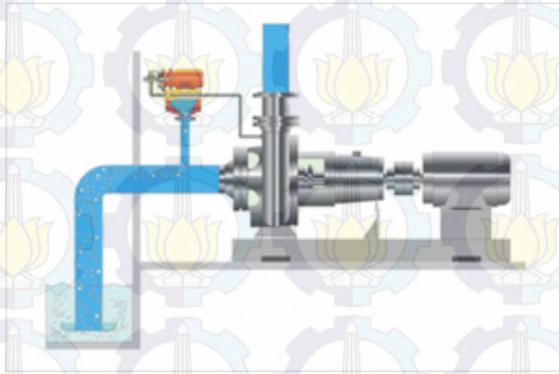
Purwo Subekti (2010) [1], menganalisa tentang patahan *short drive shaft* pada daerah *fillet*. Proses analisa dilakukan pertama kali adalah dengan melihat pola patahan makroskopis yang tampak pada permukaan. Tujuan penelitian ini adalah untuk menentukan penyebab terjadinya kerusakan pada *short drive shaft* dan mencegah terjadinya kerusakan yang sama di waktu mendatang. Penelitian terdiri dari pemeriksaan visual dan pengujian, meliputi uji metalografi, fraktografi, kekerasan, komposisi kimia dan perhitungan desain. Dari data hasil pengujian didapat kesimpulan bahwa kerusakan *short drive shaft* diakibatkan oleh terjadinya konsentrasi tegangan pada daerah alur pasak yang menyebabkan pasak menjadi longgar sehingga *worm screw* mengalami *rotating bending*. Selama beroperasi, kejadian tersebut terus menerus berulang dan terjadi kelelahan pada *short drive shaft*, yang berlanjut menjadi retak awal pada permukaan *fillet*, dan terus menjalar ke dalam dan akhirnya patah.

Sedangkan Galih Nurhadyan (2011) [2], menganalisa tentang analisa kegagalan poros pompa sentrifugal 107-JC PT Petrokimia Gresik, menunjukkan hal yang sama, bahwa proses analisa dilakukan pertama kali adalah dengan melihat pola patahan makroskopis yang tampak pada permukaan. Selain itu, pengamatan juga dilakukan dengan komparasi hasil pemeriksaan secara fraktografi, metalografi, identifikasi komposisi kimia. Hasil pengamatan pada penampang poros yang patah ditemukan retakan. Retakan tersebut berasal dari sudut daerah rumah pasak (*crack initiation*) yang kemudian membentuk rambatan retakan (*crack propagation*) dan akhirnya patah seluruhnya pada bagian sisi poros (*final rupture*). Sehingga dapat disimpulkan bahwa mekanisme terjadinya perpatahan adalah berupa patah lelah.

2.2 Dasar Teori

2.2.1 Pengertian Pompa

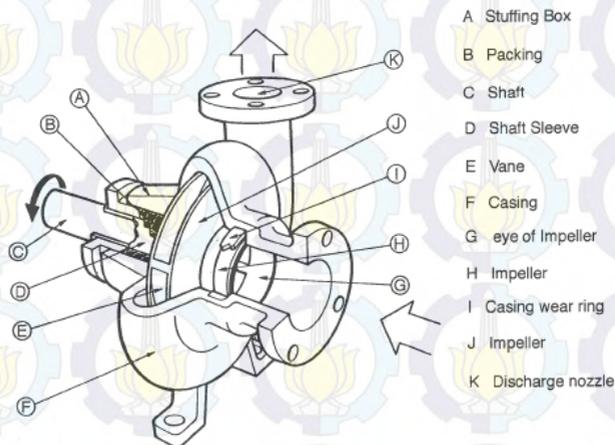
Pompa adalah alat yang digunakan untuk memindahkan fluida dari suatu tempat yang rendah ke tempat yang lebih tinggi, atau dari suatu tempat bertekanan rendah ke tempat yang bertekanan lebih tinggi dengan melewati fluida tersebut dalam system perpipaan [3]. Instalasi pompa secara umum ditunjukkan pada gambar 2.1 berikut ini.



Gambar 2.1 Instalasi pompa sentrifugal secara umum [3]

Pompa sentrifugal adalah salah satu jenis pompa yang dalam pengoperasiannya memanfaatkan gaya sentrifugal untuk menciptakan perbedaan tekanan antara bagian sisi hisap (*suction*) dan bagian sisi tekan (*discharge*) dari pompa [4]. Gaya sentrifugal dihasilkan oleh putaran *impeller* pompa yang digerakkan oleh poros yang terhubung dengan motor. Aliran air masuk ke dalam *impeller* secara *axial* dan keluar dari *impeller* secara *radial*. Air yang berada di dalam celah *impeller* diputar oleh *impeller* dan kemudian dihempaskan keluar *impeller* akibat gaya sentrifugal menuju ke *volute* pompa. Di dalam *volute* pompa terjadi penurunan energi kinetik atau terjadi peningkatan tekanan. Hal ini membuat fluida bisa mengalir ke bagian sisi tekan pipa. Sejumlah massa fluida yang keluar meninggalkan pompa membuat pompa menjadi vakum. Sehingga membuat fluida yang

ada pada bagian sisi pipa hisap menjadi terhisap ke dalam pompa. Berikut ini gambar 2.2 yang menunjukkan konstruksi pompa sentrifugal secara umum [8].



Gambar 2.2 Konstruksi pompa sentrifugal

2.2.2 Konstruksi Pompa PLTGU

Pompa PLTGU seperti pada gambar 2.3 merupakan jenis pompa sentrifugal, dimana fluida yang bekerja adalah air dan spesifikasi pompa tersebut seperti pada tabel 2.1 dibawah ini.



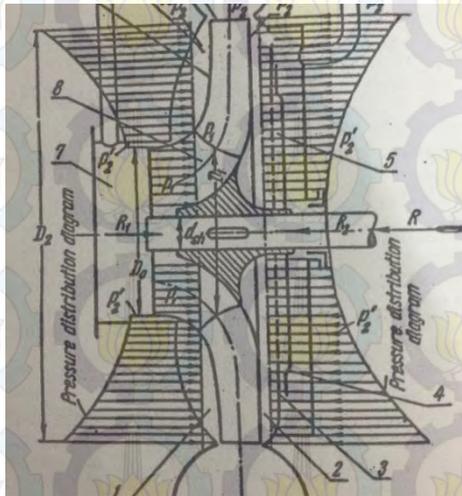
Gambar 2.3 Pompa pada PLTGU

Tabel 2.1 Spesifikasi pompa PLTGU

Merk Pompa	ENSIVAL – CMI
Tipe	CN 80 – 32
Jenis fluida	Air
Temperatur fluida	138 °C
Massa jenis fluida	0,9279 kg/dm ³
Kapasitas	129,3 m ³ /jam
Total Head	124,5 m
Kecepatan putaran	2970 rpm
Daya Penggerak	75 KW

2.2.3 Gaya Thrust Aksial pada Impeller

Pada saat pompa bekerja, cairan masuk melalui saluran inlet 7 (gambar 2.4) menyebabkan tekanan p_1 pada ruang inlet 8 yang lebih rendah dari tekanan p_2 pada bagian *outlet impeller* 10 [5]. Jika tidak ada gerakan berputar dari cairan pada celah-celah 1 dan 2 yang disebabkan oleh piringan *impeller*, maka tekanan pada celah-celah tersebut sama dengan p_2 . Tetapi karena pengaruh *viskositas* cairan dan putaran *impeller*, distribusi tekanan pada celah 1 dan 2 tidak *uniform* seperti terlihat pada gambar 2.4 dibawah ini.



Gambar 2.4 Gaya Aksial pada Impeller Pompa Sentrifugal [5]

Tekanan cairan yang terjadi pada bidang lingkaran dengan lebar $D_2 - D_0$, dari kiri ke kanan *impeller* adalah sama dan berlawanan arah sehingga saling meniadakan. Jadi yang tidak sama adalah gaya-gaya R_1 dan R_2 yang bekerja dari kanan dan kiri bidang lingkaran sebelah $D_0 - d_{sh}$. Katakanlah tekanan pada bagian inlet 7 adalah p_1 dan pada celah 2 adalah p_2 , maka kita dapatkan :

$$R' = R_2 - R_1$$

$$= \frac{\pi}{4} (p_2 - p_1) (D_o^2 - d_{sh}^2)$$

Cairan masuk kedalam *impeller* secara *axial* dan selanjutnya melalui *impeller* arahnya dirubah menjadi radial pada saat keluar *impeller* akibatnya terjadi gaya *axial* R3 dari kiri ke kanan.

$$R_3 = m c_0$$

Maka resultan gaya *axial* dari arah kanan ke kiri, didapatkan [5]:

$$R = R' - R_3$$

$$R = \frac{\pi}{4} (p_2 - p_1) (D_o^2 - d_{sh}^2) - m c_0$$

2.2.4 Kecepatan Spesifik Fluida

Kecepatan spesifik fluida digunakan untuk menentukan gaya *thrust* yang terjadi pada pompa [6]. Perumusan kecepatan spesifik sendiri adalah sebagai berikut :

$$ns = \frac{n \times \sqrt{Q}}{\sqrt[4]{H^3}}$$

Dimana : ns : kecepatan spesifik
 n : putaran *impeller* (rpm)
 H : tinggi kenaikan pompa seluruhnya (m)
 Q : kapasitas pompa (m³/s)

2.2.5 Faktor Keamanan

Faktor keamanan sangat penting dalam menentukan mampu tidaknya material menerima beban, juga pengaruh lingkungan saat material beroperasi. Namun dalam perancangan suatu elemen mesin tentunya tidak lepas dari adanya hal-hal

diluar perkiraan atau kondisi ketidakpastian. Kondisi ini mungkin timbul disebabkan beberapa faktor yaitu [7] :

1. Sifat material yang bervariasi
2. Dampak ukuran dalam sifat material statik
3. Jenis pembebanan
4. Dampak permesinan atau proses pembentukan
5. Dampak perlakuan panas terhadap sifat fisik material
6. Dampak pemakaian terhadap keandalan dan umur dari mesin
7. Dampak dari waktu dan lingkungan dimana material beroperasi
8. Persyaratan khusus terhadap umur dan umur terhadap keandalan material.
9. Persyaratan umum terhadap keselamatan kerja

Berdasarkan hal diatas maka Joseph P. Vidosic menyarankan beberapa beberapa besaran faktor keamanan berdasarkan kekuatan tarik sebagai berikut [7] :

1. $S_f : 1,25 - 1,5$ untuk material yang teruji dan digunakan pada kondisi terkendali, dimana beban dan tegangan yang bekerja diketahui secara pasti.
2. $S_f : 1,5 - 2$ untuk material yang diketahui berada pada kondisi lingkungan yang konstan, dimana beban dan tegangan telah dapat diketahui.
3. $S_f : 2 - 2,5$ untuk rata-rata material yang beroperasi di lingkungan biasa, dimana beban dan tegangan dapat ditentukan.
4. $S_f : 2,5 - 3$ untuk material kurang teruji atau material rapuh pada kondisi lingkungan, beban, dan tegangan rata-rata.
5. $S_f : 3 - 4$ untuk material tidak yang digunakan pada kondisi lingkungan, beban, dan tegangan rata-rata.

6. Sf : 3 – 4 untuk material teruji yang digunakan pada lingkungan, dan tegangan yang tidak pasti.
7. Beban berulang : nomor 3-6 : dapat diterima namun hanya terhadap batas ketahanan saja, tidak terhadap kekuatan tarik dari material.
8. Beban kejut : nomor 3- 6 : dapat diterima tetapi sudah termasuk factor kejut / tumbukan.
9. Bahan getas : nomor 1-6 dikalikan 2 ; dimana tegangan maksimal digunakan sebagai tegangan teoritis maksimum.

2.2.6 Desain Poros akibat Beban Fluktuasi dengan Teori Kegagalan DET

Seperti dalam kasus *maximum shear theory*, persamaan *Soderberg* dapat dituliskan dengan mensubstitusikan nilai σ_x dan s sebagai berikut [7].

$$\frac{S_{yp}}{N} = \sqrt{\left(\sigma_{avg} + \frac{S_{yp}}{S_e} \sigma_r\right)^2 + 3 \left(\tau_{avg} + \frac{S_{syp}}{S_{es}} \tau_r\right)^2} \quad [7]$$

Dimana:

S_{yp} adalah *stress yield point* (MPa)

S_{syp} adalah *shear stress yield point* (MPa)

N adalah angka keamanan

σ_{avg} adalah tegangan *principal* rata – rata (MPa)

σ_r adalah *range* tegangan *principal* (MPa)

τ_{avg} adalah tegangan geser rata – rata (MPa)

τ_r adalah *range* tegangan geser (MPa)

S_e adalah *corrected endurance limit* (MPa)

S_{es} adalah *corrected endurance limit for shear* (MPa)

2.2.7 Investigasi dalam Analisa Kegagalan

- **Fraktografi**

Fractography dilakukan untuk mengetahui profil dari permukaan patahan [10]. Dengan mengetahui profil dari permukaan patahan, maka jenis dan mekanisme patahan dari suatu benda yang mengalami kegagalan dapat ditemukan. Pada umumnya dalam *fractography* digunakan mikroskop elektron yaitu *Scanning Electron Microscope (SEM)*.

Berbagai modus kegagalan akan menimbulkan pencitraan yang berbeda-beda. Bahkan *mix-mode failure* sangat lazim terjadi, dimana penyebab kegagalan terdapat lebih dari satu jenis. Peran *fractography* sangat besar dalam kasus seperti ini. Pada bagian sebelumnya juga disebutkan bahwa diperlukan ketelitian dan kecermatan dalam melakukan persiapan pengujian *fractography*. Bila persiapan dilakukan dengan buruk, maka jejak patahan yang ada di permukaan patahan dari benda akan terhapus.

- **Pengujian Sifat Mekanik Material**

Dalam rangkaian proses analisa kegagalan, pengujian sifat mekanik dilaksanakan untuk mengetahui kesesuaian spesifikasi sifat mekanik yang dimiliki material dengan standarisasi yang ada, dan kesesuaian kondisi operasi dengan sifat mekanik tersebut. Prosedur yang umum digunakan untuk analisa kegagalan baut adalah menggunakan uji kekerasan.

- **Pengujian Komposisi Kimia**

Seperti kegunaan pengujian sifat mekanik material, pengujian komposisi kimia dilaksanakan untuk mengetahui

kesesuaian spesifikasi komposisi kimia yang dimiliki material dengan standarisasi yang ada, dan kesesuaian kondisi operasi dengan sifat mekanik tersebut.

- **Pengujian Metalografi**

Pada analisa kegagalan, pengamatan metalografi dilakukan untuk mengetahui proses yang terjadi pada material untuk kemudian dibandingkan dengan standarisasi yang ada, dan kesesuaian kondisi operasi dengan sifat mekanik tersebut.

2.2.8 Prinsip Dasar Kelelahan Material

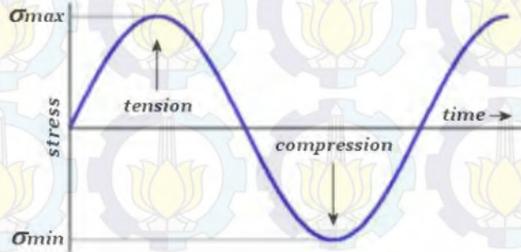
Kelelahan (*fatigue*) adalah suatu proses secara progresif pada suatu area struktur permanen dimana terjadi perubahan dalam material akibat adanya fluktuasi dari tegangan atau regangan pada satu atau beberapa titik yang mungkin akan memuncak dengan terjadinya suatu retak atau perpatahan secara penuh setelah jumlah fluktuasi tertentu.

Kelelahan diartikan sebagai kegagalan yang diakibatkan oleh beban dinamik yang diaplikasikan pada suatu konstruksi (material). Kegagalan lelah (*fatigue failure*) suatu material dapat terjadi pada tegangan yang jauh dari tegangan luluhnya, tergantung pada orientasi kisi-kisi kristal dan bentuk butiran.

Notasi tegangan yang biasa dipakai ditunjukkan pada gambar 2.2. Dari kondisi beban yang berulang tersebut dapat dikenai berbagai parameter tegangan, yaitu:

$$\text{Rasio Tegangan (Stress Ratio)} = R = \frac{\sigma_{\min}}{\sigma_{\max}}$$

Dimana: σ_{\min} = tegangan minimum
 σ_{\max} = tegangan maksimum



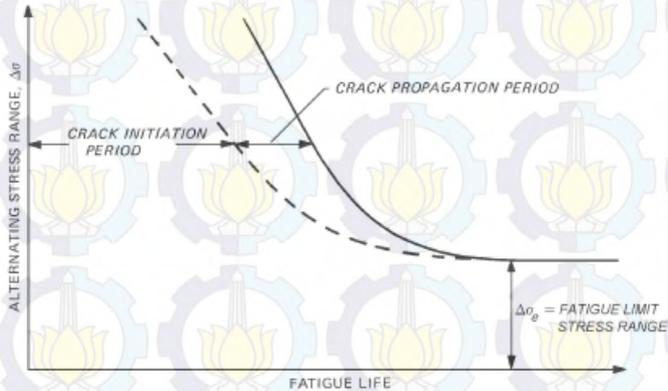
Gambar 2.5 Notasi untuk beban siklus amplitudo konstan ($R = -1$)

2.2.9 Mekanisme Patah Lelah

Patah lelah terjadi melalui tiga tahapan, yaitu tahap retak awal (*crack initiation*), tahap penjalaran retak (*crack propagation*), dan tahap patah statis [9]. Dan setelah retak lelah merambat cukup jauh, maka beban yang bekerja hanya akan didukung oleh penampang tersisa yang belum retak dan akhirnya komponen akan patah (tahap *final failure* atau patah statik) seperti yang terlihat pada gambar 2.2 dibawah ini.



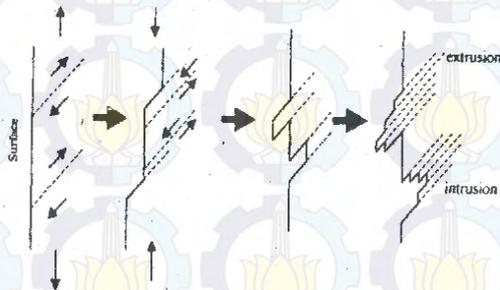
Gambar 2.6 Mekanisme patah lelah



Gambar 2.7 Penggambaran ketergantungan umur lelah (fatigue life) dengan tingkat tegangannya

2.2.9.1 Tahap Retak Awal (*Crack Initiation*)

Awal retak biasanya dimulai dari permukaan [9]. Hal ini terjadi karena permukaan menerima beban terbesar dan paling memungkinkan terjadinya konsentrasi tegangan, yang disebabkan oleh adanya perubahan dimensi pada permukaan atau proses pengerjaan tertentu pada material. Adanya cacat dalam akan menyebabkan juga konsentrasi tegangan. Fenomena awal retak, secara sederhana diberikan oleh Wood. Model pengintian retak oleh Wood ini dapat dilihat pada gambar 2.4 dibawah ini:



Gambar 2.8 Model pengintian retak oleh Wood

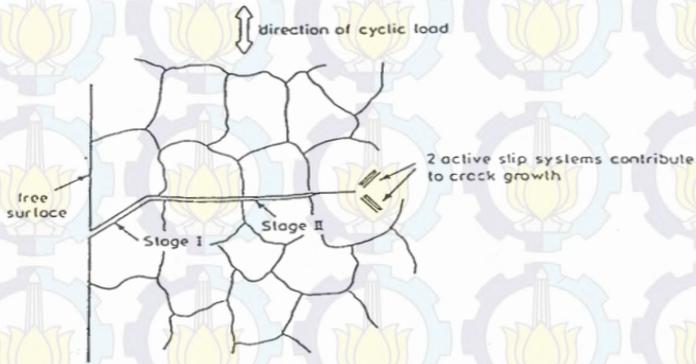
Pada beban tarik pertama, slip terjadi dengan membentuk permukaan bertingkat yang membentuk sudut 45° dengan sumbu tegangan. Hal ini akibat tegangan geser maksimal yang terjadi pada sudut tersebut. Pembebanan selanjutnya menyebabkan slip pada arah yang berlawanan. Slip ini terjadi pada bidang yang berdekatan dengan yang pertama. Dan selanjutnya merupakan proses pengulangan dalam pembebanan siklus yang sama. Tahap retak awal ini meliputi fase *cyclic slip*, fase pembentukan inti retak (*crack nucleation*) dan pertumbuhan retak mikro (*growth of microcrack*).

2.2.9.2 Tahap Perambatan Retak (*Crack Propagation*)

Perambatan retak pada suatu komponen terjadi jika tegangan maksimum pada ujung retakan berada di atas kekuatan material [9]. Hal tersebut mengakibatkan peningkatan konsentrasi tegangan pada ujung retak.

Awal retakan mula-mula akan menjalar pada bidang slip di dalam beberapa butir dengan kecepatan yang sangat lambat. Pengamatan secara makro tidak akan menampakkan perambatan ini. Peristiwa ini disebut perambatan retak tahap I.

Selanjutnya pertumbuhan retak tahap II sering ditandai dengan adanya striasi. Pada tahap ini pertumbuhan retak tegak lurus dengan tegangan tarik maksimum. Retakan mulai kelihatan dengan mata telanjang, oleh karena itu disebut dengan retak makro. Pengamatan retakan pada penelitian biasanya difokuskan pada tahap ini. Mekanisme perambatan retak dapat dilihat pada gambar 2.5.



Gambar 2.9 Mekanisme perambatan retak

2.2.9.3 Patah Akhir

Retak makro merambat sedikit demi sedikit dan bertambah panjang pada setiap siklus pembebanan yang selanjutnya menghasilkan keretakan yang semakin lama semakin panjang. Akhirnya penampang logam semakin kecil dan tidak lagi mampu mendukung beban yang diterima. Akhirnya logam menjadi patah.

Hasil dari observasi baik secara makro melalui *stereo microscope* ataupun secara mikro dengan *fractography* adalah berupa profil permukaan patahan. Klasifikasi dasar dari proses patah bila ditinjau dari modus dan penyebabnya adalah patah ulet, patah getas, patah lelah (*fatigue*), dan patah merangkak (*creep/monotonic*). Masing-masing dari jenis patahan di atas memiliki karakteristik tersendiri.

Berikut adalah karakteristik dasar untuk membedakan jenis patah lelah dengan patah merangkak, jenis patah getas dengan patah ulet pada skala makro, dan jenis patah getas dengan patah ulet pada skala mikro:

- Perbedaan karakteristik antara patah leleh dengan patah merangkak :

Beach marks dan striasi mengindikasikan patah leleh, sedangkan pada patah merangkak parameter tersebut tidak terlihat. Pertanda kehadiran *beach marks* bisa diketahui melalui pengamatan makro menggunakan *stereo microscope*, dan striasi hanya bisa diamati pada saat dilaksanakan *fractography*. Profil *beach marks* dan striasi ini merupakan hasil dari fluktuasi pembebanan yang diberikan pada benda.

- Perbedaan karakteristik antara patah getas dengan patah ulet pada skala makro :

Pada skala makro, patah ulet ditunjukkan dengan adanya perubahan ketinggian yang nyata sepanjang penampang potongan melintang dari benda, biasa dikenal dengan istilah *shear lips*. Kemudian pola patah getas ditunjukkan dengan permukaan patahan yang datar dan tegak lurus terhadap arah beban, serta tanpa adanya petunjuk bahwa telah terjadi deformasi plastis sebelum benda mengalami patah. Selain kedua karakteristik diatas, terdapat pola patahan gabungan (*mix-mode appearance*) baik patah getas yang bertransformasi jadi ulet ataupun patah ulet yang bertransformasi menjadi getas. Kebanyakan kasus yang terjadi adalah patah getas bertransformasi menjadi patah ulet.

- Perbedaan karakteristik antara patah getas dengan patah ulet pada skala mikro :

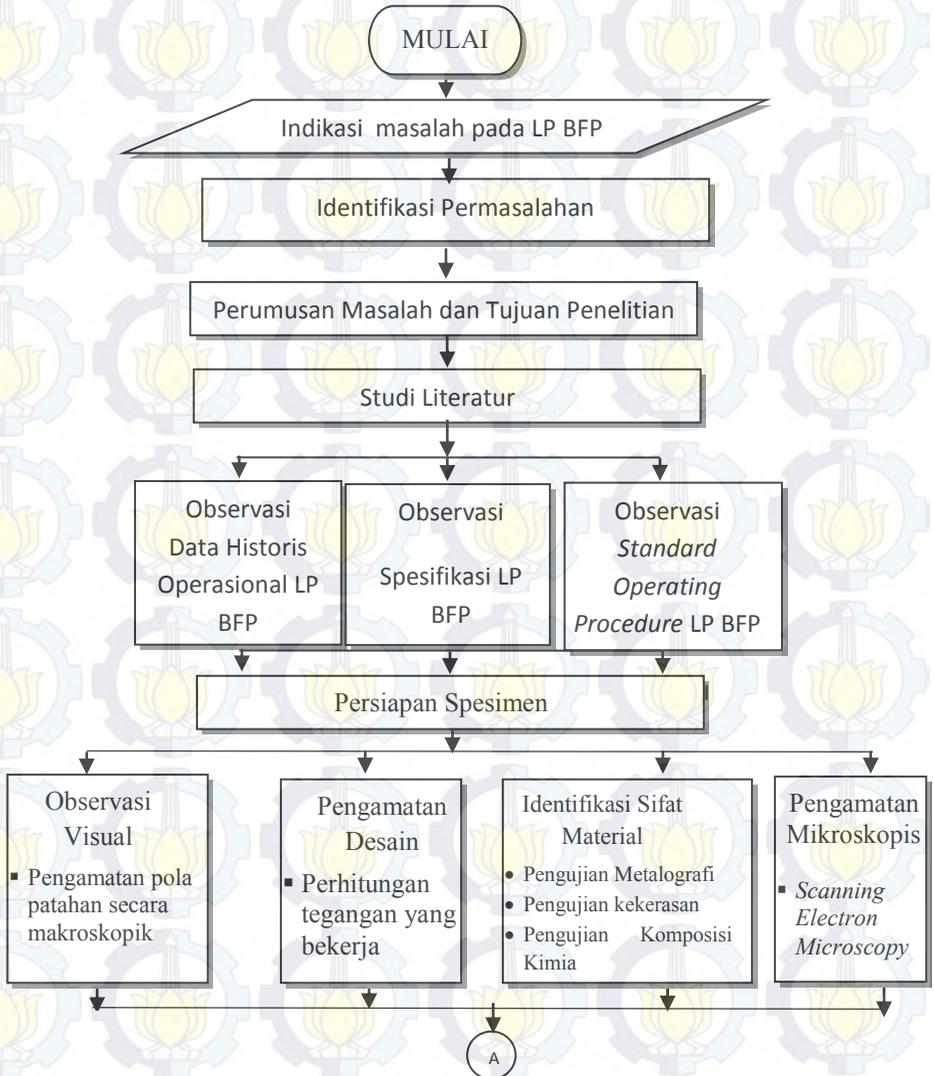
Pada skala mikro, patah ulet ditandai dengan adanya profil *dimple* pada permukaan patahnya yang disebabkan oleh penjaralan retakan mikro (*microvoids coalescence*). Sedangkan patah getas ditandai dengan salah satu dari fenomena berikut:

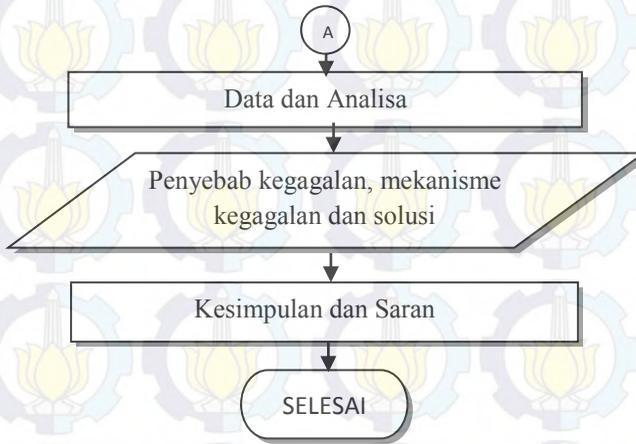
→ Patahan melintasi butiran atau patah transgranular, dikenal dengan nama *cleavage*.



BAB 3 METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Diagram Alir Penelitian





Gambar 3.1 Diagram alir penelitian

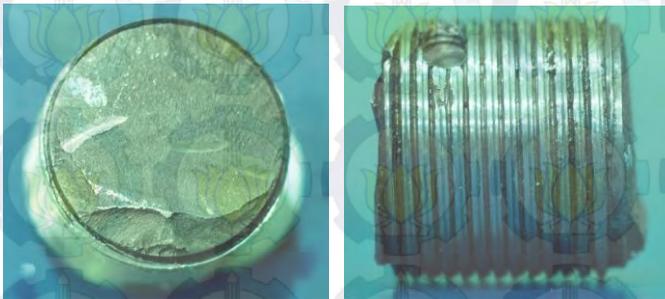
3.2 Peralatan

Peralatan yang digunakan untuk melakukan penelitian analisa kegagalan ini ialah:

1. Penggaris dan jangka sorong.
2. Kamera digital.
3. Mikroskop Optis.
4. *Stereo Microscope*
5. Perangkat pengujian metalografi berupa *mounting*, *grinding/polishing*, dan *etching*.
6. Alat uji komposisi kimia *spectrometer thermo ARL*
7. Perangkat pengamatan mikroskopis *Scanning Electron Microscopy (SEM)*.
8. Mesin pengujian kekerasan (Vickers).

3.3 Sampel Material

Komponen yang mengalami kegagalan adalah ulir poros *nut impeller* pada *Low Pressure Boiler Feed Pump* (LP BFP) terlihat pada gambar 3.2. Material yang digunakan pada ulir *shaft* yaitu *316 Austenitic Stainless Steel*. *Sample* material yang diamati dan diteliti berupa potongan ulir pada sepanjang ± 31 mm dengan diameter 30 mm yang mengalami kerusakan. Berikut ini adalah dimensi dan komposisi material *shaft 316 Austenitic Stainless Steel*.



Gambar 3.2 Ulir poros pengunci impeller yang telah mengalami kegagalan
(a) tampak atas dan (b) tampak samping

Tabel 3.1 Komposisi kimia 316 Austenitic Stainless Steel [11]

C	Mn	P	S	Si	Cr	Ni	Mo	N
0,08	2,00	0,045	0,030	0,75	16,0	10,0	2,00	0,10
(max)	(max)	(max)	(max)	(max)	-	-	-	(max)
					18,0	14,0	3,00	

Tabel 3.2 *Properties Mekanik 316 Austenitic Stainless Steel [11]*

Properties Mekanik	Nilai
<i>Tensile Strength</i> (MPa)	510
<i>Yield Strength</i> (MPa)	207
<i>Hardness</i> (HV)	200(max)
<i>Reduction in Area</i>	50
<i>Elongation</i>	40

3.4 Langkah Penelitian

Langkah penelitian yang dilakukan pada analisa kegagalan ini ialah sebagai berikut:

1. Pengamatan Lapangan

Pengamatan lapangan bertujuan untuk mencari informasi tentang suatu permasalahan yang terjadi. Dimana permasalahan tersebut dapat diangkat untuk dijadikan bahan penelitian sebagai pembuatan Tugas Akhir.

2. Identifikasi Permasalahan

Pada identifikasi ditemukan patah pada poros. Bagian poros yang mengalami kerusakan adalah pada ulir poros pengunci *impeller*.

3. Perumusan Masalah dan Tujuan Penelitian

Shaft yang telah patah ditetapkan sebagai objek penelitian analisa kegagalan dengan tujuan mencari penyebab dan mekanisme terjadinya kegagalan.

4. Studi Literatur

Kegiatan proses ulasan terhadap buku dan jurnal yang mendukung dalam memberikan informasi terhadap faktor-faktor yang berkaitan dengan kerusakan yang terjadi. Hal ini termasuk pengumpulan materi kuliah yang terkait untuk digunakan sebagai referensi dan penelitian terdahulu yang berhubungan.

5. Pengambilan Data

Pengambilan data dilakukan untuk mendapatkan data-data awal dari kondisi aktual yang terjadi. Akan didapatkan dua jenis informasi yang akan dipakai dalam proses analisa selanjutnya, yaitu informasi mengenai komponen yang mengalami kegagalan dan sejarah perawatan pada komponen tersebut serta informasi mengenai terjadinya kegagalan.

6. Pengujian Komposisi Kimia

Pengujian komposisi kimia dilakukan untuk mengetahui kandungan komposisi kimia yang terdapat pada komponen yang mengalami kegagalan. Pengujian komposisi kimia dilakukan menggunakan alat *spectrometer* Arc-met 8000 untuk mengetahui unsur-unsur secara kuantitatif pada komponen *shaft* LP BFP.



Gambar 3.3 Spektrometer Thermo ARL

7. Pengamatan Visual

Pengamatan visual dilakukan dengan dua jenis metode yaitu pengamatan makroskopik menggunakan bantuan kamera digital dan *stereo microscope*.



(a)

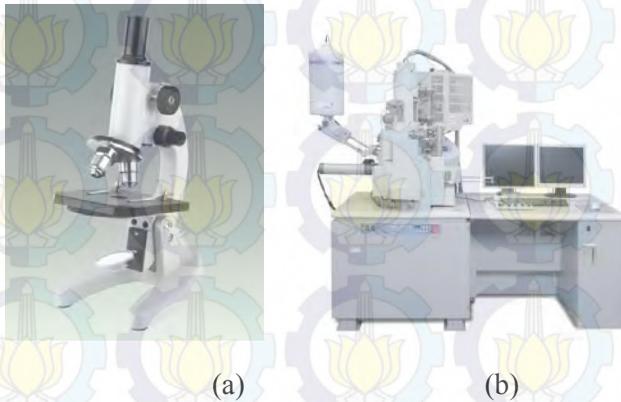


(b)

Gambar 3.4 (a) Kamera Digital, (b) Peralatan Stereo Microscope

8. Pengamatan Fraktografi

Pengamatan fraktografi dilakukan untuk mengetahui profil permukaan patahan secara mikro. Sebelum dilakukan proses ini, sampel material akan dibersihkan dengan metode *ultrasonic cleaning* untuk menghindari adanya kotoran-kotoran yang menempel seperti oli, debu dan lain sebagainya. Pengamatan fraktografi dilakukan dengan menggunakan alat *Scanning Electron Microscope (SEM)*.



Gambar 3.5 (a) Mikroskop Optis, (b) Scanning Electron Microscope

9. Persiapan dan Pengujian Metalografi

Pada tahap ini akan dibagi menjadi dua tahap yaitu tahap persiapan dan tahap pengujian metalografi. Tahap persiapan meliputi pemotongan spesimen ke arah transversal dan longitudinal, *grinding*, *polishing*, dan *etching*. Pengujian metalografi dilakukan untuk mengetahui struktur mikro yang terdapat pada material tersebut.



Gambar 3.6 Mikroskop Optik Zeiss

10. Pengujian Kekerasan

Pengujian mekanik dilaksanakan untuk mengetahui kesesuaian spesifikasi sifat mekanik antara komponen yang mengalami kerusakan dan spesifikasi sifat mekanik yang dimiliki material dengan standardisasi yang ada dan kesesuaian dengan desain awal. Pada penelitian ini, pengujian yang dilakukan adalah uji kekerasan *Vickers*.

11. Pembahasan dan Analisis Data

Pembahasan dan analisis data digunakan untuk menjelaskan fenomena kegagalan berdasarkan data yang didapat dan menjelaskan mekanisme kegagalan beserta mekanismenya.

12. Kesimpulan dan Saran

Berdasarkan data-data dan hasil dari pembahasan serta analisis data diperoleh kesimpulan atas penelitian yang telah dilakukan dan saran untuk menanggulangi atau menghindari kasus kegagalan yang serupa.

BAB 4 ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN

4.1 Informasi Pompa LP BFP

Dari hasil studi lapangan dan studi literatur pada poros pengunci *impeller* yang mengalami kegagalan didapatkan beberapa data. Data yang didapatkan nantinya akan digunakan untuk mempermudah analisa dan pembahasan penyebab kegagalan. Data - data yang didapat adalah sebagai berikut :

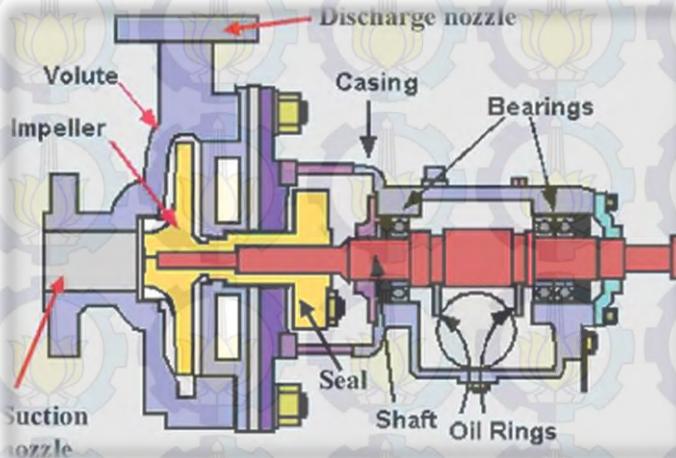
1. Nama, Spesifikasi, dan Nomor Kodifikasi

Komponen pompa yang digunakan dalam penelitian kali ini adalah jenis pompa sentrifugal merk ENSIVAL – CMI, tipe CN 80 – 32. Bagian-bagian pompa *Low Pressure Boiler Feed Pump* (LP BFP) ditunjukkan pada gambar nomor 4.1. Terdapat 4 komponen penting yaitu [6]:

- A. *Casing* : *Casing* pompa sentrifugal didesain berbentuk sebuah *diffuser* yang mengelilingi *impeller* pompa. *Diffuser* ini lebih dikenal sebagai *volute casing* yang berfungsi menurunkan kecepatan aliran fluida yang masuk ke dalam pompa.
- B. *Impeller*: Berfungsi untuk mengubah energi mekanis dari pompa menjadi energi kecepatan pada cairan yang dipompakan secara kontinyu.
- C. *Shaft* : Berfungsi untuk mentransmisikan putaran dari sumber gerak, seperti motor listrik ke pompa.
- D. *Bearing* : Berfungsi untuk menumpu dan menahan beban dari poros agar dapat berputar

Low Pressure Boiler Feed Pump (LP BFP) merupakan *equipment* yang penting dalam Pembangkit Listrik Tenaga Gas dan Uap (PLTGU). *Equipment* ini digunakan untuk memindahkan fluida dari *deaerator* menuju *economizer* dengan temperature \pm

138 °C dan kecepatan ± 2970 rpm. Poros LP BFP berputar dengan daya penggerak berupa motor listrik dengan kapasitas 75 kW.



Gambar 4.1 Skema komponen poros LP BFP [8]

4.2 Data Hasil Uji Komposisi Kimia

Pengujian komposisi kimia pada material poros LP BFP digunakan untuk mengetahui apakah komposisi kimia material tersebut sesuai dengan standar komposisi kimia pada ASTM Handbook AISI 410 SS. Pengujian komposisi kimia dilakukan pada material poros *Low Pressure Boiler Feed Pump* (LP BFP) menggunakan alat *Spectrometer Thermo ARL*. Pengujian ini dilakukan karena tidak adanya sertifikat material yang menyertai komponen poros LP BFP. Hasil pengujian dicocokkan dan dibandingkan dengan komposisi kimia standar. Hasil perbandingan dapat dilihat pada tabel 4.1.

Tabel 4.1 Perbandingan hasil uji komposisi kimia dengan komposisi kimia standar material AISI 410 SS dan AISI 316 SS [11]

No	Elemen	Komposisi Hasil Uji	<i>ASTM Handbook AISI 410</i> (max)	<i>ASTM Handbook AISI 316 SS</i> (max)
1	C	0,04217	0,15	1,00
2	Mn	1,433	1,00	2,00
3	P	0,0299	0,040	0,045
4	S	0.02728	0,030	0,030
5	Si	0,549	1,00	0,75
6	Cr	16,929	13,00	16,00 - 18,00
7	Ni	9,830	0,75	10,00 - 14,00
8	Mo	2,0255	-	2,00 – 3,00

Setelah dicocokkan dengan komposisi kimia standar *410 Martensitic Stainless Steel* pada *ASM Specialty Handbook – Stainless Steels*, poros LP BFP yang mengalami kegagalan memiliki komposisi kimia yang berbeda. Pada *ASM Specialty Handbook – Stainless Steels* menunjukkan bahwa kandungan maksimal unsur Ni adalah 0,75 dan tidak di temukan unsur Mo. Hasil spektrometer menunjukkan terbacanya unsur Ni sebesar 9,83 % dan Mo sebesar 2,0255 % menunjukkan bahwa baja tersebut termasuk ke dalam *316 Austenitic Stainless Steels*. Pada baja *stainless steel* penambahan unsur Chromium, meningkatkan kekuatan dan kekerasan terhadap penetrasi [12]. Penambahan

unsur Cr dalam jumlah besar menyebabkan menurunnya ketangguhan dan *yield strength* material. Pada *316 Austenitic Stainless Steel* memiliki kandungan Cr yang besar daripada *410 Martensitic Stainless Steel* yang menyebabkan *yield strength* rendah sehingga lebih mudah terdeformasi plastis pada tegangan tertentu. Unsur Mn dan Mo berfungsi untuk meningkatkan *hardenability* dan kekuatan. Dalam jumlah yang besar, unsur Mn meningkatkan kekerasan suatu material [12]. Semakin keras material menyebabkan menurunnya keuletan pada baja *stainless steel*.

316 Austenitic Stainless Steels pada umumnya memiliki temperatur lebur sekitar 1399-1454°C, dan modulus elastisitas sekitar 193.000 MPa pada temperatur 20°C [11].

- **Sifat Mekanik**

Adapun sifat mekanik material *Austenitic Stainless Steels* tipe AISI 316 SS berdasarkan standar adalah sebagai berikut:

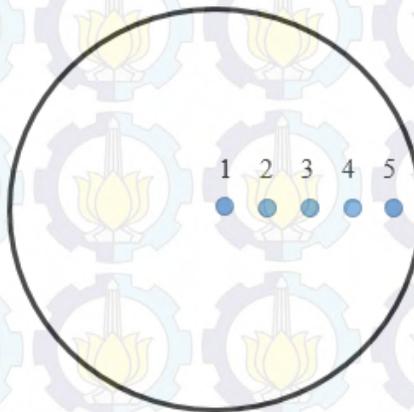
Tabel 4.2 *Mechanical Properties AISI 316 SS [11]*

Grade	AISI 316 SS
Yield Strength (MPa)	207
Tensile Strength (MPa)	510
Elongation (%)	40
Reduction in Area (%)	50

4.3 Data Hasil Pengamatan Uji Kekerasan

Dalam penelitian analisa kegagalan ini selain dilihat dari aspek metalurgi, tentu juga dibutuhkan data - data dari aspek mekanik untuk menguatkan hipotesa dalam penelitian ini. Salah satu data mekanik yang diperlukan adalah data kekerasan dari material tersebut. Untuk itu perlu dilakukan pengujian kekerasan pada potongan poros *Low Pressure Boiler Feed Pump* (LP BFP) yang mengalami kegagalan

Pengujian kekerasan dilakukan pada material poros LP BFP menggunakan uji kekerasan *Vickers* untuk didapatkan nilai kekerasan dalam HV (*Hardness Vickers*). Pengujian dilakukan pada poros yang mengalami kegagalan , yaitu spesimen poros LP BFP yang mempunyai jari- jari 30 mm. Detail pengujian dilakukan dari titik tengah menuju titik luar sebanyak 5 titik, seperti terlihat pada gambar 4.2 . Hasil pengujian terlihat pada tabel dibawah ini.



Gambar 4.2. Posisi Indentasi pada Pengujian *Vickers*

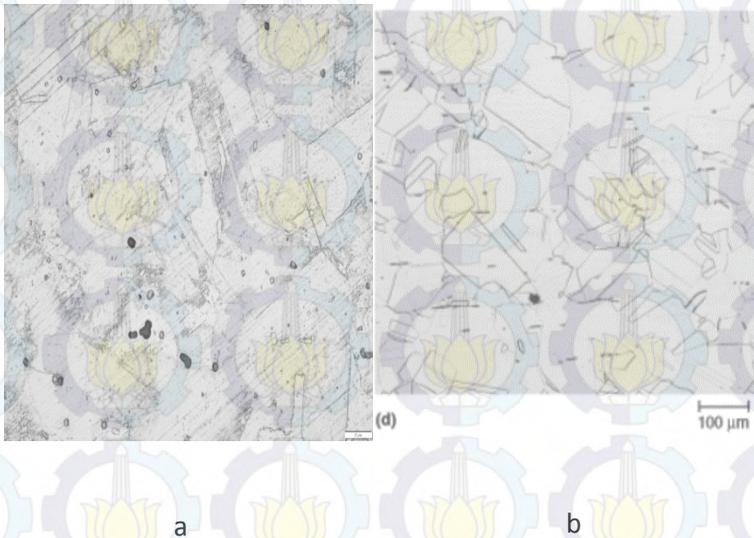
Tabel 4.3 Hasil Indentasi Pengujian Vickers

	Titik	Hardness Vickers (HV)	HV Rata-rata	HV AISI 316 berdasar ASM
1	1	137,159	140,538	200(max)
2	2	132,032		
3	3	142,591		
4	4	142,591		
5	5	148,320		

Dari data diatas didapatkan nilai kekerasan rata-rata yaitu 140,538 HVN. Sedangkan berdasar standar ASM nilai kekerasan AISI 316 SS maksimal 200 HVN. Hal ini menunjukkan bahwa material poros LP BFP masih termasuk ke dalam AISI 316 SS yang tergolong ke dalam *Austenitic Stainless Steel*.

4.4 Data Hasil Pengamatan Metalografi

Pengamatan metalografi dilakukan untuk mengamati sruktur mikro pada material poros LP BFP berupa AISI 316 SS. Dari pemeriksaan struktur mikro nanti akan didapatkan fasa pada material poros tersebut. Sehingga dapat diamati apakah material tersebut telah mengalami perlakuan panas sesuai dengan standar yang telah diberikan atau tidak.



Gambar 4. 3 Hasil uji metalografi pada (a) Material poros LP BFP dengan perbesaran 500x (b) Metalografi 316 Staninless Steel sesuai ASM Handbook Volume 9, perbesaran 500x [13]

Pengujian metalografi menggunakan campuran *oxalic acid* 10 gr dan aquades 200 ml sebagai etsa dan langkah selanjutnya di elektrolisis selama 60 detik. Pada gambar 4.6a hasil dari pengamatan metalografi menunjukkan fase utama *austenite*. Setelah dicocokkan tidak terdapat perbedaan antara material poros hasil metalografi dengan atlas metalografi berdasarkan *ASM Volume 9 Metallography and Microstructures* seperti pada gambar 4.6b. Setelah dilakukan pengujian komposisi kimia, kekerasan, dan metalografi dapat disimpulkan bahwa material ulir poros *nut impeller* merupakan *Austenitic 316 Stainless Steel*.

4.5 Analisa Gaya yang Bekerja pada Pompa

Spesifikasi *Low Pressure Boiler Feed Pump (LPBFP)*

Merk	: ENSIVAL - CMI
Tipe	: CN 80 - 32
Jenis Fluida	: Air
Temperatur fluida	: 138 °C
Massa jenis fluida	: 0,9279 kg/dm ³
Kapasitas	: 129,3 m ³ /jam
Total Head	: 124,5 m
Kecepatan putaran	: 2970 rpm
Daya Penggerak	: 75 kW
Berat impeller	: 9 kg

Data Teknis Poros *Low Pressure Boiler Feed Pump (LPBFP)*

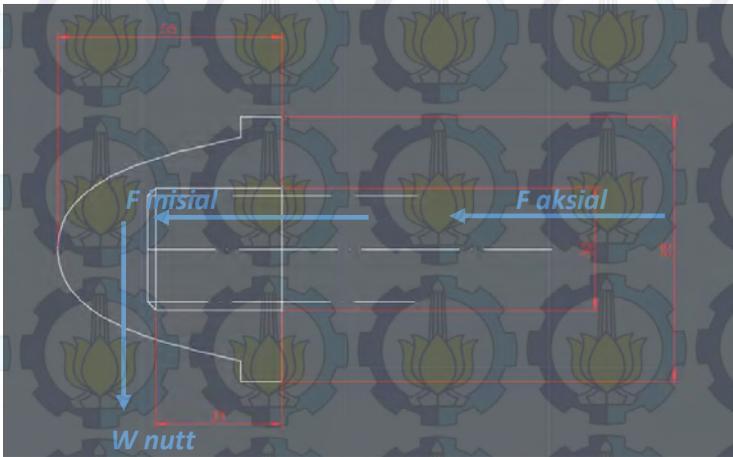
Data teknis poros LP BFP adalah sebagai berikut :

Bahan	: Baja AISI 316 SS
Diameter	: 30 mm

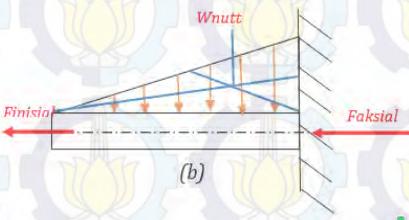
Perhitungan

Beban yang bekerja pada poros diakibatkan oleh berat impeller dan berat poros itu sendiri. Bahan poros adalah baja AISI 316 SS, dimana sifat fisik $\rho = 8,027 \cdot 10^3 \text{ kg/m}^3$

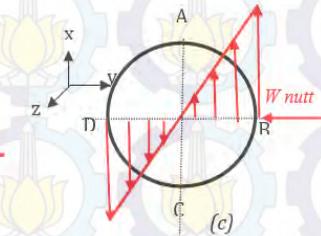
$$\begin{aligned}
 W_{\text{poros}} &= \rho \times V \times g \\
 &= 8,027 \cdot 10^3 \times 799750 \cdot 10^{-9} \times 9,81 \\
 &= 62,97 \text{ N} \\
 W_{\text{nuttimpeller}} &= 0,75 \text{ kg} \times 9,81 \text{ m/s}^2 \\
 &= 7,3575 \text{ N}
 \end{aligned}$$



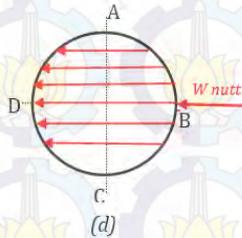
(a)



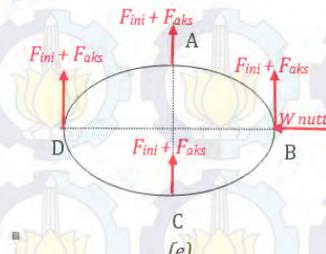
(b)



(c)



(d)



(e)

Gambar 4.4 [a] Sketsa gaya-gaya yang bekerja pada ulir poros [b] gaya yang bekerja pada ulir poros [c] distribusi tegangan geser [d] distribusi tegangan akibat momen [e] pengaruh gaya inisial dan aksial tampak atas dari ulir poros

Dimana :

F_i adalah gaya aksial yang bekerja akibat pengencangan torsi

F_a adalah gaya aksial

M_b adalah momen bending

F_i disebut gaya inisial yang timbul akibat pengencangan torsi pada ulir *poros nut impeller* tersebut. F_i selanjutnya menjadi tegangan principal ke arah sumbu z dengan notasi σ_{fi} . F_a disebut gaya aksial terjadi akibat perbedaan tekanan pada sisi *suction* dan sisi *discharge* pada *impeller*. M_b adalah momen *bending* yang timbul akibat berat *impeller*. M_b menimbulkan tegangan principal ke arah y, dengan notasi σ_{Mb} .

$$F_i = \frac{T}{C \cdot D_b} [7]$$

Dimana :

T adalah allied torque [Nm]

C adalah coefficient torque [0,2 for unlubricated bolt]

D adalah diameter ulir [m]

Mencari gayainisial akibat pengencangan ulir poros

$$F_i = \frac{T}{C \cdot D_b}$$

$$F_i = \frac{75 \text{ Nm}}{0,2 \times 0,03 \text{ m}}$$

$$F_i = \frac{1060 \text{ Nm}}{0,2 \times 0,03 \text{ m}}$$

$$F_i = 12.500 \text{ N}$$

Perhitungan Gaya Thrust Axial

Gaya *thrust* aksial terjadi akibat perbedaan tekanan pada *impeller* [5]. Gaya thrust aksial ini dapat dihitung dengan rumus sebagai berikut :

Diketahui : $P_2 = 1,278 \text{ MPa}$

$$P_1 = 0,346 \text{ MPa}$$

$$D_o = 126,4 \text{ mm}$$

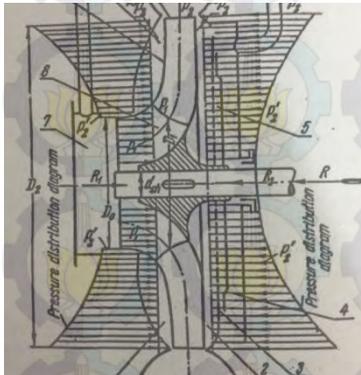
$$d_{sh} = 30 \text{ mm}$$

$$m = 200,4 \frac{\text{ton}}{\text{hr}} \times \frac{1000 \text{ kg}}{1 \text{ ton}} \times \frac{\text{jam}}{3.600 \text{ s}} = 55,67 \frac{\text{kg}}{\text{s}}$$

$$(\text{pada } T = 138 \text{ C} \rightarrow \rho = 927,9 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3})$$

$$m = \rho \times Q$$

$$Q = \frac{m}{\rho} = 0,0599 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$$



Gambar 4. 5 Resultan gaya aksial akibat perbedaan tekanan kedua sisi *impeller* [5]

$$R' = R_2 - R_1$$

$$= \frac{\pi}{4} (p_2 - p_1) (126,4^2 - 30^2)$$

$$= \frac{\pi}{4} (0,932) \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} (126,4^2 - 30^2) \text{ mm}^2$$

$$= 11.030,605 \text{ N}$$

$$\begin{aligned}
 R_3 &= m \cdot c_o \text{ dimana } c_o = \frac{4 \times Q}{\pi \times D^2} = \frac{4 \times (0,0599) \frac{m^3}{s}}{\pi \times (0,1264)^2 m^2} = 4,77 m/s \\
 &= 55,67 \frac{kg}{s} \times 4,77 \frac{m}{s} \\
 &= 265,5459 N \\
 R_{\text{resultan}} &= R' - R_3 \\
 &= (11.030,605 - 265,5459) N \\
 &= 10.765,0591 N
 \end{aligned}$$

Menghitung momen *bending*

$$\begin{aligned}
 M_b &= W_{\text{nut}} \times \frac{1}{3} \times l \\
 M_b &= (0,75 \text{ kg} \times 9,81 \frac{m}{s^2}) \times \frac{1}{3} \times (0,03133 \text{ m}) \\
 M_b &= 0,0768 \text{ Nm}
 \end{aligned}$$

Pada gambar 4.4 [a] terlihat distribusi gaya yang ditimbulkan akibat berat *nut impeller*. Ketika sebuah gaya dipindahkan maka timbul momen dengan lengan yang tegak lurus dengan gaya tersebut. Karena poros berputar dan mengalami *rotating bending* maka pada titik A,B,C, dan D diasumsikan mendapat momen bending yang sama sehingga untuk menghitung tegangan yang ditimbulkan akibat momen, dapat menggunakan satu titik saja.

Titik B

Berdasarkan perhitungan, harga *cross sectional area* baik untuk tensile *stress* maupun shear *stress* pada adalah sebagai berikut.

$$\begin{aligned}
 A_{ts} &= 560,587 \text{ mm}^2 \\
 A_{ss} &= 1121,1744 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

Menghitung $\sigma_{Faksial}$

$$\begin{aligned}\sigma_{Faksial} &= \frac{F_i}{A_{ts}} \\ &= \frac{10.765,0591 \text{ N}}{560,587 \text{ mm}^2} \\ &= 19,203 \text{ Mpa}\end{aligned}$$

Menghitung σ_{fi}

$$\begin{aligned}\sigma_{fi} &= \frac{F_i}{A_{ts}} \\ \sigma_{fi} &= \frac{12.500 \text{ N}}{560,587 \text{ mm}^2} \\ \sigma_{fi} &= 22,29 \text{ MPa}\end{aligned}$$

Menghitung τ_{xy}

$$\begin{aligned}\tau_{xy} &= -\frac{F}{A_{ss}} = -\frac{W_{nutt}}{A_{ss}} \\ \tau_{xy} &= \frac{7,3575 \text{ N}}{1121,1744 \text{ mm}^2} \\ \tau_{xy} &= 0,00656 \text{ Mpa (tekan)}\end{aligned}$$

Menghitung σ_{Mb}

$$\sigma_{Mb} = \frac{M.c}{I} [18]$$

Dimana:

σ_{Mb} adalah tegangan principal akibat momen bending [MPa]

c adalah lengan yang tegak lurus (jari – jari ulir poros) [m]

I adalah momen inersia [m⁴]

$$\sigma_{Mb} = \frac{0,0768 \text{ Nm} \cdot 0,015 \text{ m}}{\pi/64 \cdot (0,03 \text{ m})^4}$$

$$\sigma_{Mb} = 0,029 \text{ MPa}$$

Pada beban *fatigue* terdapat tegangan maksimum dan tegangan minimum, sehingga

$$\begin{aligned}\sigma_{max} &= \sigma_{fi} + \sigma_{aks} + \sigma_{Mb} \\ &= 22,29 \text{ MPa} + 19,203 \text{ MPa} + 0,029 \text{ MPa} \\ &= 41,522 \text{ MPa}\end{aligned}$$

$$\sigma_{min} = \sigma_{fi} = 22,29 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{avg} = \frac{\sigma_{max} + \sigma_{min}}{2} = 31,91 \text{ MPa}$$

$$\sigma_r = \frac{\sigma_{max} - \sigma_{min}}{2} = 9,616 \text{ MPa}$$

$$\tau_{avg} = \tau_{xy} = 0,00656 \text{ MPa}$$

$$\tau_r = 0 \text{ MPa}$$

Menentukan keamanan ulir poros dengan *Fluctuating Loads Based on DET*

$$\frac{S_{yp}}{N} = \sqrt{\left(\sigma_{avg} + \frac{S_{yp}}{S_e} \sigma_r\right)^2 + 3 \left(\tau_{avg} + \frac{S_{syp}}{S_{es}} \tau_r\right)^2} [7]$$

Dimana:

S_{yp} adalah *stress yield point* [MPa]

S_{syp} adalah *shear stress yield point* [MPa]

N adalah angka keamanan

σ_{avg} adalah *tegangan principal rata – rata* [MPa]

σ_r adalah *range tegangan principal* [MPa]

τ_{avg} adalah *tegangan geser rata – rata* [MPa]

τ_r adalah *range tegangan geser* [MPa]

S_e adalah *corrected endurance limit* $\left(C_R C_S C_F S'_n \frac{1}{K_f} \right) [MPa]$

S_{es} adalah *corrected endurance limit for shear* $\left(C_R C_S C_F S'_{ns} \frac{1}{K_{fs}} \right) [MPa]$

$$\frac{S_{yp}}{N} = \sqrt{\left(\sigma_{avg} + \frac{S_{yp}}{S_e} \sigma_r \right)^2 + 3 \left(\tau_{avg} + \frac{S_{syp}}{S_{es}} \tau_r \right)^2} \quad [14]$$

$$\frac{207 \text{ MPa}}{2} \geq \sqrt{\left(31,91 + \frac{207}{25,779} 9,6 \right)^2 + 3(0,00656 + 0)^2}$$

$103,5 \text{ MPa} \leq 110,99 \text{ MPa}(\text{gagal})$

Berdasarkan *fluctuating Loads Based on DET theory* ketika tegangan yang bekerja lebih besar dari tegangan ijin, maka baut tersebut dinyatakan **gagal**.

Menggunakan ulir poros *nut impeller* AISI 304N SS

Apabila menggunakan AISI 304N SS, maka perhitungannya adalah sebagai berikut.

$$\frac{S_{yp}}{N} = \sqrt{\left(\sigma_{avg} + \frac{S_{yp}}{S_e} \sigma_r \right)^2 + 3 \left(\tau_{avg} + \frac{S_{syp}}{S_{es}} \tau_r \right)^2} \quad [14]$$

$$\frac{241 \text{ MPa}}{2} = \sqrt{\left(31,91 + \frac{241}{28,003} 9,6 \right)^2 + 3(0,00656 + 0)^2}$$

$120,5 \text{ MPa} \leq 114,232 \text{ MPa}(\text{aman})$

Berdasarkan *fluctuating Loads Based on DET theory* ketika tegangan yang bekerja lebih besar dari tegangan ijin, maka ulir poros *nut impeller* tersebut dinyatakan **aman**.

Dari hasil perhitungan pada kondisi kerja yang sama **ulir poros nut impeller AISI 304N SS** memenuhi standar keamanan berdasarkan *fluctuating Loads Based on DET theory*.

Menghitung kurva S-N

Kurva S-N adalah karakteristik *fatigue* yang umum digunakan dari suatu bahan yang mengalami tegangan berulang [14]. Kurva dapat diperoleh dengan cara tes spesimen yang diberi beban berulang dengan jumlah N siklus sampai terjadi kegagalan dan dengan metode pendekatan perhitungan prediksi umur *fatigue*. Kurva S-N pada material AISI 316 SS melalui pendekatan perhitungan prediksi umur *fatigue* berdasarkan *properties* material adalah sebagai berikut.

Diketahui:

$$S_{uts} = 517 \text{ MPa} = 74,98 \text{ ksi}$$

$$S_e' = 0,5 \times S_{uts} = 258,5 \text{ MPa} = 37,49 \text{ ksi}$$

$$S_l' = 0,9 \times S_{uts} = 465,3 \text{ MPa} = 67,49 \text{ ksi}$$

$$S_f = 110,99 \text{ MPa} = 45,708 \text{ ksi}$$

Persamaan garisnya adalah $y = ax + c$

$$\log S_f = a(\log N) + c$$

$$\log S_l' = a(\log 10^3) + c = 3a + c$$

$$\log S_e' = a(\log 10^6) + c = 6a + c$$

$$a = -\frac{1}{3} \log \frac{S_l'}{S_e'}$$

$$a = -0,085$$

$$c = \log \frac{(S_l')^2}{S_e'}$$

$$c = 2,08$$

Fatigue life dapat dihitung menggunakan persamaan.

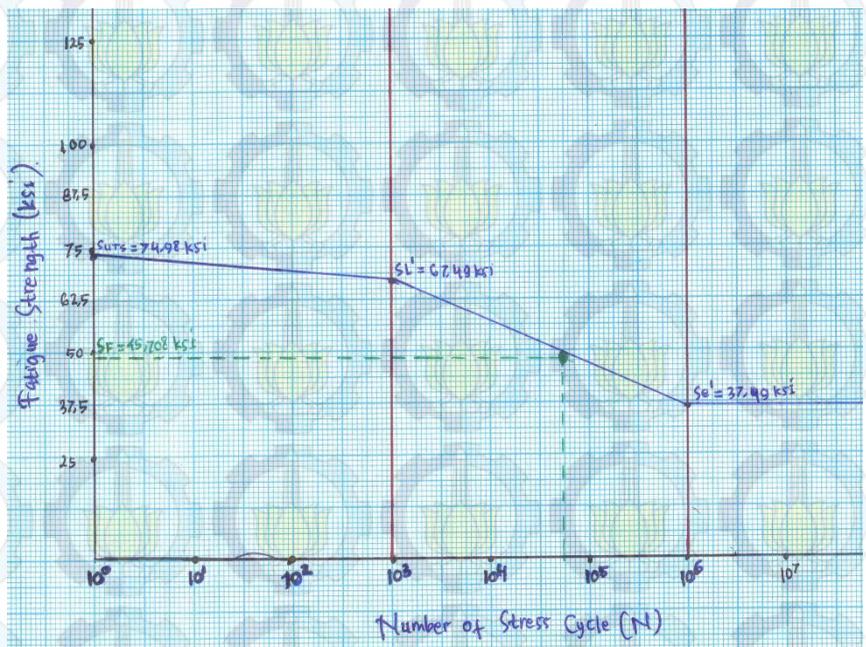
$$Sf = 10^c N^a$$

$$N = (Sf \cdot 10^{-c})^{1/a}$$

$$N = (45,708 \times 10^{-2,08})^{-11,76}$$

$$N = 8,695 \times 10^4 \text{ cycle}$$

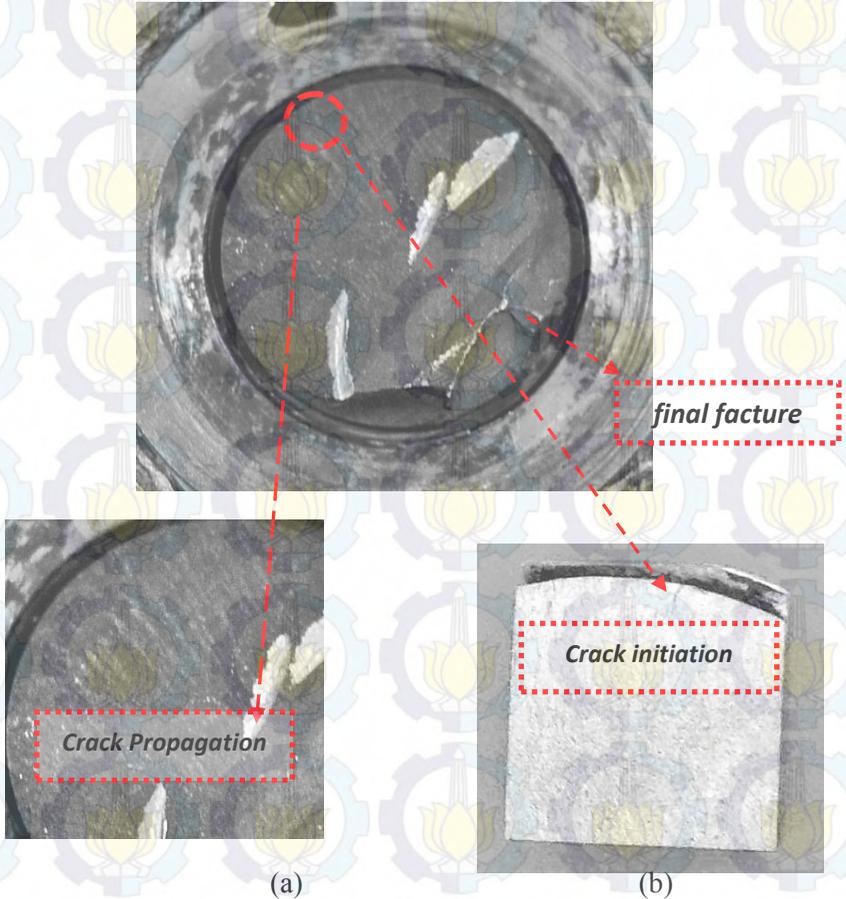
Berdasarkan ASM volume 19 tentang *fatigue and fractures* apabila siklus tegangan yang terjadi dibawah 10^5 , maka termasuk kategori *low cycle fatigue* dengan pembebanan besar (*high load*).



Gambar 4.6 Kurva S-N AISI 316 SS

4.6 Data Hasil Pemeriksaan Awal dan Pengamatan Makroskopik

Pengamatan visual dilakukan untuk melihat kondisi material poros *Low Pressure Boiler Feed Pump* (LP BFP) yang mengalami kegagalan.



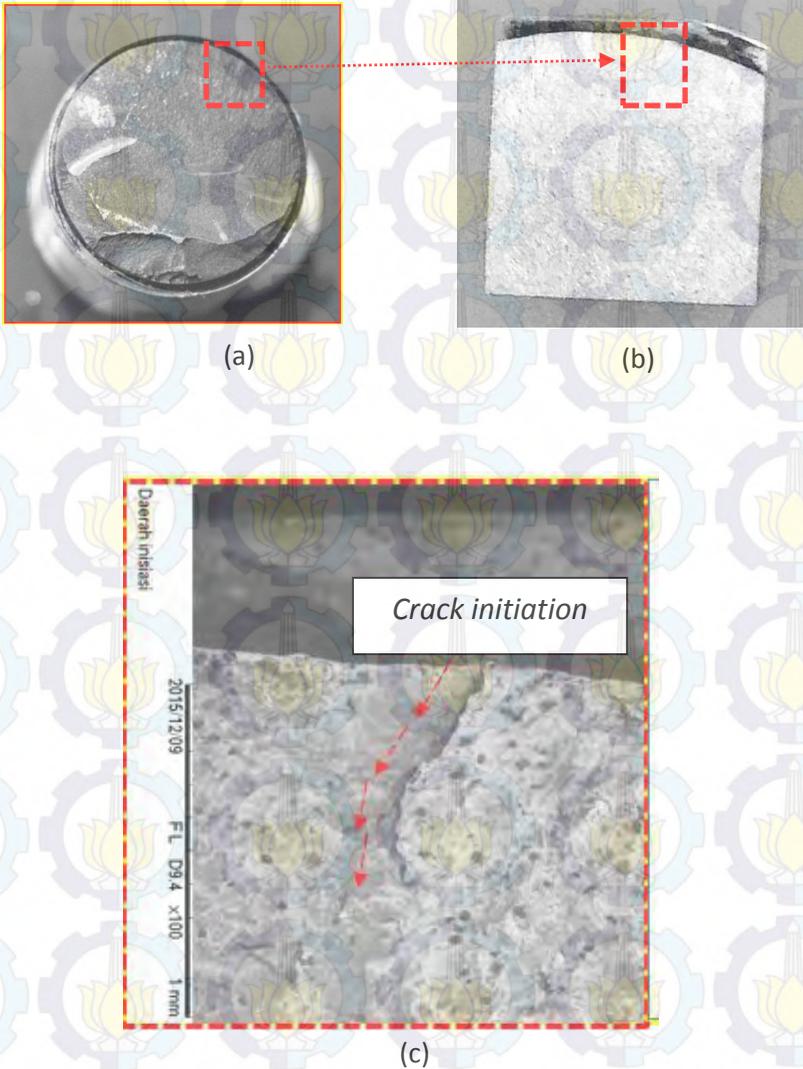
Gambar 4.7 Daerah inisiasi, crack propagation, dan final fracture pada poros LP BFP yang mengalami kegagalan
(a) clam shell, (b) crack initiation

Patah *fatigue* terjadi melalui tiga tahapan, yaitu retak awal (*crack initiation*), tahap penjalaran retakan (*crack propagation*) dan tahap patah statis (*final fracture*) [15]. Kegagalan suatu material yang terindikasi *fatigue* dapat diketahui bila ada tanda-tanda perambatan retak seperti *beach marks*. *Beach marks* berkembang dari sumber retakan kemudian terus berkembang hingga terjadi *final fracture*.

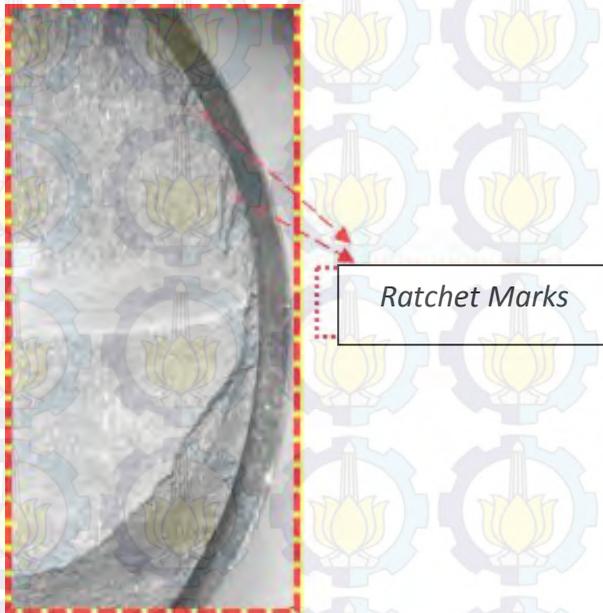
Pada gambar 4.7 menunjukkan tahapan terjadinya patah *fatigue*. Pada tahap inisiasi terlihat awal retakan sangat kecil yang dimulai dari permukaan poros seperti yang terlihat pada gambar 4.7a. Hal ini terjadi karena permukaan poros menerima beban terbesar dan memungkinkan terjadinya konsentrasi tegangan. Pada tahap selanjutnya adalah *crack propagation*. Pada tahap ini terlihat *smooth area* dimana ditandai dengan adanya *clamshell* (kulit kerang) seperti yang terlihat pada gambar 4.7b. Daerah *crack propagation* biasanya sejalan dengan arah pembebanan. Luas penampang yang tersisa tidak lagi mampu menahan tegangan yang bekerja, sehingga poros tersebut mengalami kegagalan.

4.7 Data Hasil Pengamatan Fraktografi

Pengamatan fraktografi dilakukan untuk mencari bukti penyebab kegagalan dan mengamati pola patahan yang terbentuk setelah poros mengalami kegagalan. Pengamatan dilakukan dengan menggunakan *Stereo Mikroskop Electron* dan *Scanning Electron Microscope* (SEM). Pada pengamatan SEM, spesimen dipotong menjadi 3 bagian dengan menggunakan mesin *wire cut* dengan dimensi 10 mm x 10 mm x 5 mm.

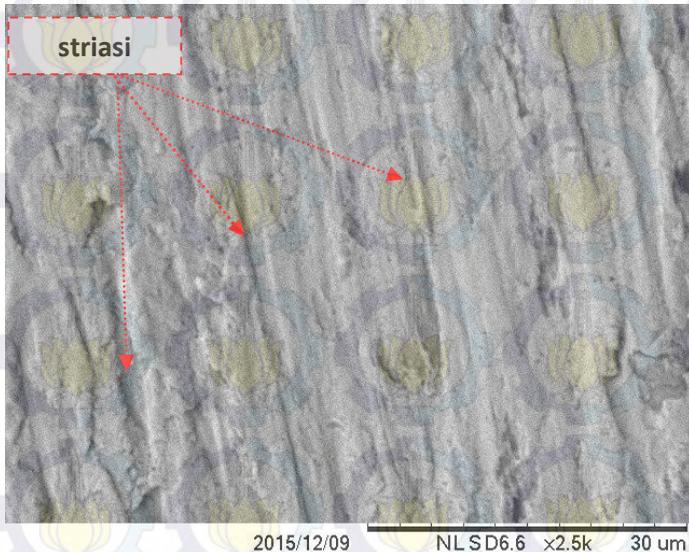


Gambar 4.8(a) Crack Initiation Spesimen 1, (b) Crack Initiation menggunakan Stereo Microscope perbesaran 32x, (c) Hasil pengujian Scanning Electrone Microscope (SEM), perbesaran 250x



Gambar 4.9 Ratchet Marks yang terlihat menggunakan Stereo Microscope, perbesaran 32x

Hasil pengamatan dengan menggunakan SEM perbesaran 250x menunjukkan daerah awal retakan (*crack initiation*) seperti pada gambar 4.8c. Patah *fatigue* akibat *rotating bending* ditandai dengan adanya beberapa *ratchet marks* pada daerah *crack initiation*. Pada gambar 4.9 dengan menggunakan *Stereo Mikroscope Electron* perbesaran 32x menunjukkan adanya *ratchet marks*. *Ratchet marks* merupakan titik – titik inisiasi pada kegagalan *fatigue*. Adanya konsentrasi tegangan yang besar pada permukaan poros menyebabkan titik - titik inisiasi bermunculan.



Daerah inisiasi

Gambar 4. 10 Hasil Scanning Electron Microscope Spesimen 2, dengan perbesaran 250x

Ciri – ciri patah *fatigue* lainnya adalah adanya striasi yang dapat terlihat menggunakan *Scanning Electron Microscope* (SEM) seperti pada gambar 4.10. Striasi menunjukkan siklus tegangan fluktuatif yang dialami oleh komponen setiap waktu [16]. Tidak semua material yang mengalami patah *fatigue* ditemukan adanya striasi [17]. Striasi akan tampak jelas pada *pure metals* dan aluminium. Beberapa literatur menyebutkan bahwa setiap striasi menunjukkan satu siklus pembebanan. Striasi menjangar sesuai dengan arah pembebanan.

BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

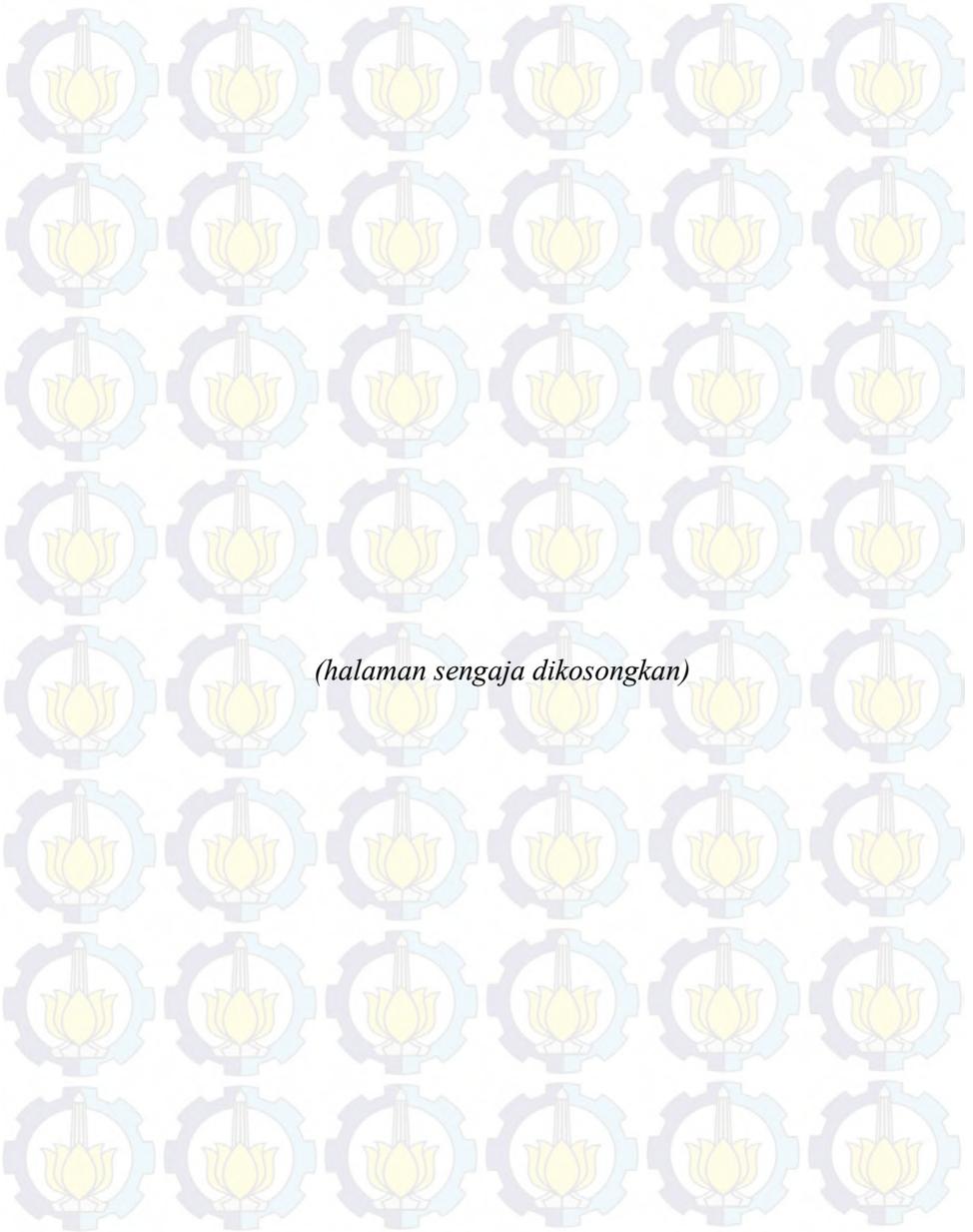
Dari penelitian yang telah dilakukan dapat ditarik beberapa kesimpulan mengenai mekanisme terjadinya kegagalan pada ulir poros pengunci *impeller*, yaitu:

1. Kegagalan yang menyebabkan patahnya ulir poros pengunci *impeller* disebabkan oleh kelelahan (*fatigue*) dari material poros akibat beban dinamis gabungan dari gaya inisial dan gaya inisial akibat perbedaan tekanan pada kedua sisi *impeller*. Jenis kelelahan yang terjadi adalah jenis *low cycle fatigue* yaitu jenis kelelahan yang disebabkan oleh tegangan yang besar (*high load*). Hal ini ditunjukkan oleh bentuk permukaan patahan poros yang menunjukkan kondisi patah *overload* yaitu kondisi dimana perambatan retak terjadi dalam waktu singkat dan akhirnya dengan cepat diikuti oleh patah getas.
2. Material ulir poros *nut impeller* AISI 316 SS mengalami kegagalan karena tegangan yang bekerja pada ulir poros sebesar 110,99 MPa melebihi tegangan ijin material AISI 316 SS sebesar 103,5 Mpa berdasarkan *fluctuating Loads Based on DET*.

5.2 Saran

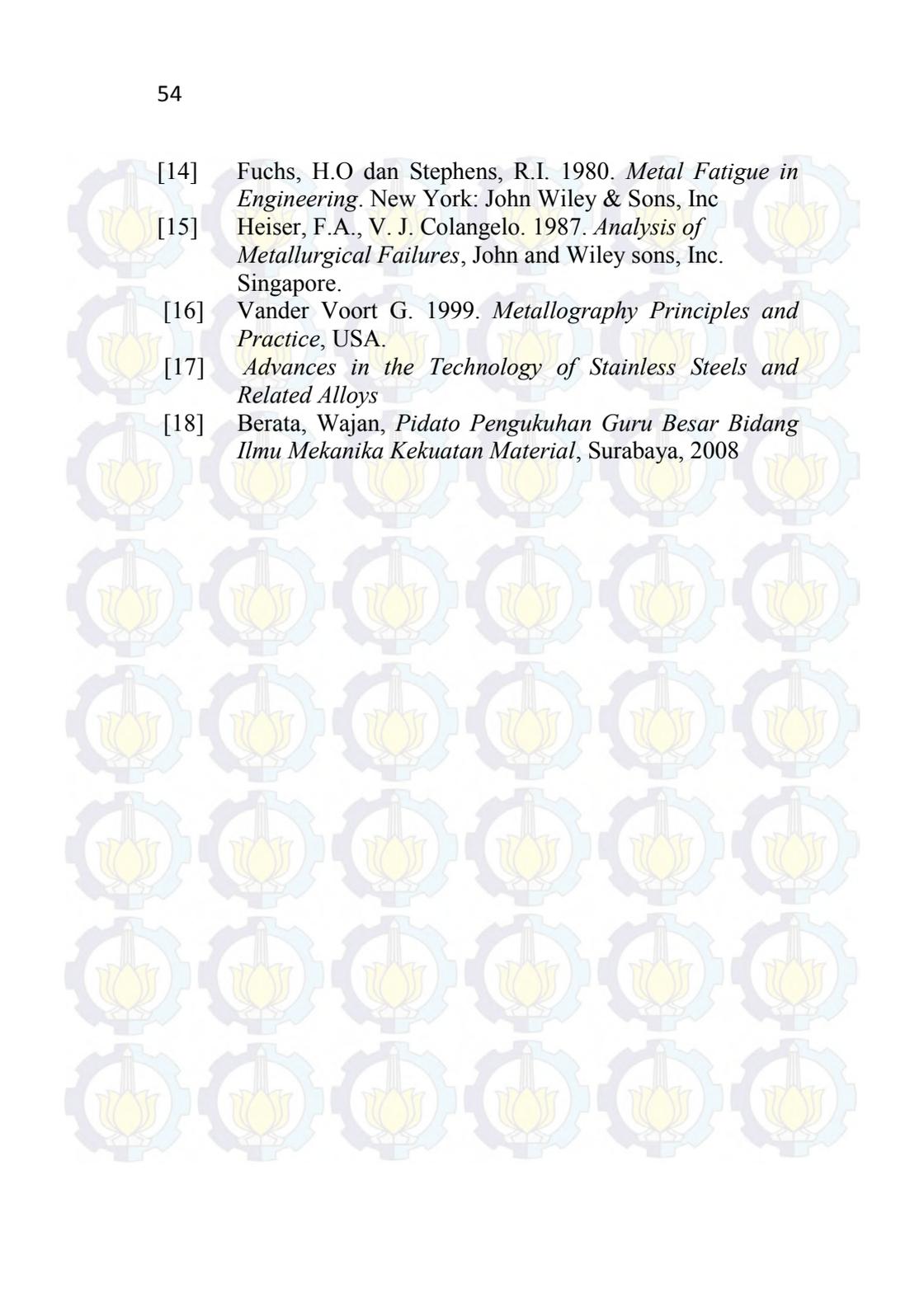
Saran – saran yang diberikan untuk mencegah terjadinya kerusakan pada ulir poros pengunci *impeller* antara lain:

1. Melakukan pengawasan pada saat perbaikan dan penggantian komponen untuk menanggulangi kejadian yang serupa
2. Langkah-langkah dalam analisa kegagalan sebaiknya dilakukan dengan hati-hati supaya tidak menghilangkan jejak-jejak kegagalan pada poros LP BFP, terutama dalam mengamati pola patahan.



DAFTAR PUSTAKA

- [1] Subekti, Purwo. 2010. “*Analisa Kerusakan Short Drive Shaft Kempa Ulir pada Pabrik Kelapa Sawit*”, Jurusan Mesin dan Alat Pertanian Universitas Pasir Pengaraian.
- [2] Nurhadyan Galih. 2011. “*Analisa Kegagalan Shaft Stainless Steel 17-4 PH pada Pompa Sentrifugal 107-JC di Pabrik 1 Plant Ammonia PT. Petrokimia Gresik*”, Jurusan Teknik Material dan Metalurgi ITS Surabaya.
- [3] Pudjanarsa, Astu dan Djati Nursuhud. 2006. *Mesin Konversi Energi*, Yogyakarta.
- [4] Lazarkiewics, S dan Troskolanski, A. 1965. *Impeller pump*, Pergamon Press Ltd. New York.
- [5] Khetagurov, M,. 1998. *Marine Auxiliary Machinery and Systems*.
- [6] Karassik, Igor J. 2011. *Pump Handbook*, McGraw-Hill Book Co.
- [7] Deutsehmen, A.D, Walter J. Michels dn Charles E. Wilson. 1975. *Machine Design*, Macmillan Publishing Co. Inc. New York.
- [8] Dietzel, Fritz,.1996. *Turbin, Pompa, dan Kompresor*, alih bahasa Dakso Sriyono, Erlangga Jakarta.
- [9] Callister, William D. 2007. *Materials Science and Engineering an Introduction*, USA.
- [10] Ramachandran, V dkk. 2005. *Failure Analysis : Methodology and Case Histories*, USA.
- [11] Peckner David. 1977. *Handbook of Stainless Steels, California*.
- [12] Avner, Sidney H .V. *Introduction Physical Metallurgy*, New York.
- [13] ASM Handbook Commitee. 2002. *ASM Handbook Vol. 9 : Atlas Microstructures of Industrial Alloys*, Amerika : ASM International

- 
- [14] Fuchs, H.O dan Stephens, R.I. 1980. *Metal Fatigue in Engineering*. New York: John Wiley & Sons, Inc
- [15] Heiser, F.A., V. J. Colangelo. 1987. *Analysis of Metallurgical Failures*, John and Wiley sons, Inc. Singapore.
- [16] Vander Voort G. 1999. *Metallography Principles and Practice*, USA.
- [17] *Advances in the Technology of Stainless Steels and Related Alloys*
- [18] Berata, Wajan, *Pidato Pengukuhan Guru Besar Bidang Ilmu Mekanika Kekuatan Material*, Surabaya, 2008

BIODATA PENULIS



Penulis dilahirkan di Klaten pada tanggal 19 Mei 1993 dengan nama **Chandra Dwi Prasetyo**. Penulis merupakan anak kedua dari dua bersaudara. Pendidikan formal yang telah ditempuh yaitu SDN 1 TLOGRANDU (1999-2005), SMPN 2 WONOSARI Klaten (2005-2008), SMAN 1 Sukoharjo (2008-2011). Selepas SMA penulis melanjutkan studinya di Jurusan S1 Teknik Mesin FTI-ITS Surabaya.

Selama kuliah, penulis telah melakukan kerja praktek di Perusahaan Pupuk di PT. Petrokimia, Gresik selama 1 bulan dan kerja praktek di PT Petrowidada yang merupakan pabrik pembuatan *ortho xyline* di Gresik.

Penulis aktif di berbagai organisasi dan kepanitiaan, antara lain IKEMAS (Ikatan Mahasiswa Sukoharjo di Surabaya), Kepala Divisi HRD (*Human Resource Development*) DIMENSI Teknik Mesin FTI-ITS (2013 – 2014), dan menjadi bagian dari Tim *Scrutineering* IEMC (*Indonesi Energy Marathon Challenge*) pada tahun 2013 dan 2014.

email : chandra.dwi93@gmail.com