



ITS
Institut
Teknologi
Sepuluh Nopember

TUGAS AKHIR - TL141584

ANALISIS KEGAGALAN PADA *SHAFT GEARBOX* MESIN *PALLETIZER* DI PT HOLCIM TBK TUBAN

ASIA
0251144000038

Dosen Pembimbing
Lukman Noerochim, ST., MSc.Eng. PhD
Ir. Rochman Rochiem, M.Sc

DEPARTEMEN TEKNIK MATERIAL DAN METALURGI
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2018



TUGAS AKHIR - TL141584

ANALISIS KEGAGALAN PADA *SHAFT GEARBOX* MESIN *PALLETIZER* DI PT HOLCIM TBK TUBAN

ASIA
0251144000038

Dosen Pembimbing
Lukman Noerochim, ST., MSc.Eng. PhD
Ir. Rochman Rochiem, M.Sc

DEPARTEMEN TEKNIK MATERIAL DAN METALURGI
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2018

(Halaman ini sengaja dikosongkan)



FINAL PROJECT - TL141584

FAILURE ANALYSIS ON SHAFT GEARBOX PALLETIZER MACHINE IN PT HOLCIM TBK TUBAN

ASIA
0251144000038

Advisor
Lukman Noerochim, ST., MSc.Eng. PhD
Ir. Rochman Rochiem, M.Sc

MATERIAL AND METALLURGICAL ENGINEERING DEPARTMENT
Faculty of Industrial Technology
Sepuluh Nopember Institute of Technology
Surabaya 2018

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

**ANALISIS KEGAGALAN PADA *SHAFT GEARBOX*
MESIN *PALLETIZER* DI PT HOLCIM TBK TUBAN**

TUGAS AKHIR

Diajukan untuk Memenuhi Salah Satu Syarat
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik
Pada
Bidang Korosi dan Analisis Kegagalan
Program Studi S-1 Departemen Teknik Material dan Metalurgi
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh :

ASIA

0251144000038

Disetujui oleh Dosen Pembimbing Tugas Akhir :

1. Lukman Noerochim, ST., MSc.Eng. PhD.....(Pembimbing 1)
2. Ir. Rochman Rochiem, M.Sc.....(Pembimbing 2)



(Halaman ini sengaja dikosongkan)

Analisis Kegagalan pada *Shaft Gearbox* Mesin *Palletizer* di PT. Holcim Tbk. Tuban

Nama : Asia
NRP : 0251144000038
Departemen : Teknik Material dan Metalurgi
Dosen Pembimbing : Lukman Noerochim, ST., MSc.Eng. PhD
Ir. Rochman Rochiem, M.Sc

ABSTRAK

Shaft merupakan bagian yang cukup penting di dalam motor karena *shaft* berfungsi sebagai penyalur gaya atau tenaga. *Shaft* bekerja sesuai dengan kerja mesin dan motor. Penelitian ini dilakukan untuk menganalisis penyebab kegagalan yang terjadi pada *shaft gearbox* mesin *palletizer*. Beberapa pengujian dilakukan untuk mendukung analisis ini. Dari hasil uji komposisi didapatkan bahwa material *shaft* tersebut merupakan AISI 1030 dan material *shaft* tersebut sesuai dengan ASTM A291. Dari pengujian *metallography* didapatkan hasil struktur mikro yang terdiri dari ferit dan perlit. Pengujian SEM dilakukan pada permukaan patahan dan hasil dari uji SEM menunjukkan adanya retakan dan terdapat garis striasi halus akibat adanya pembebanan berulang dan terus menerus. Uji kekerasan dilakukan pada 2 daerah yaitu daerah dekat patahan dan daerah yang jauh dari patahan. Semakin jauh titik pengujian dari patahan maka hasil kekerasan semakin menurun. Dari hasil analisis *rietveld* didapatkan nilai regangan dan tegangan sisa pada daerah yang dekat dari patahan lebih besar dari pada daerah yang jauh dari patahan. Pada patahan *shaft* ini terdapat retakan yang ditandai dengan adanya awal retakan (*crack initiation*) pada daerah ujung rumah pasak, penjalaran retak (*crack propagation*) yang ditandai dengan garis pantai dan *final fracture* dengan permukaan yang kasar.

Kata Kunci : *crack, metallography, palletizer, rietveld, shaft*

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

Failure Analysis on Shaft Gearbox Palletizer Machine in PT Holcim Tbk Tuban

Name : Asia
NRP : 0251144000038
Major : Material and Metallurgical Engineering
Advisor : Lukman Noerochim, ST., MSc.Eng. PhD
Ir. Rochman Rochiem, M.Sc

ABSTRACT

Shaft is an important part in the motor because the shaft functions as a styling or power supply. Shaft works in accordance with the work of the engine and motor. This study was conducted to analyze the causes of failure that occurred on the shaft gearbox palletizer machine. Several tests were conducted to support this analysis. From the compositional test results obtained that the shaft material is AISI 1030 and the shaft material is in accordance with ASTM A291. From the metallography test, the result of micro structure consisting of ferrite and pearlite. The SEM test is performed on the fracture surface and the result of the SEM test shows the presence of a crack and there is a fine striation line due to repeated and continuous loading. Hardness test was conducted on 2 areas, namely area near fault and area far from fracture. The further the testing point of the fault then the result of the hardness decreases. From the result of rietviold analysis, the value of strain and residual stress in adjacent area of fracture is greater than the area far from the fracture. In this shaft fracture there is a crack marked by the beginning of crack initiation at the end of the house peg, crack propagation characterized by coastline and final fracture with a rough surface.

Keywords: crack, metallography, palletizer, rietviold, shaft

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

KATA PENGANTAR

Puji Syukur penulis haturkan kehadirat tuhan yang maha kuasa dan maha memberi karunia. Sehingga atas kuasa-Nya penulis dapat menyelesaikan tugas akhir yang berjudul:

“ANALISIS KEGAGALAN PADA *SHAFT GEARBOX* MESIN *PALLETIZER* DI PT HOLCIM TBK TUBAN”

Penulis dengan penuh rasa hikmat ingin menyampaikan rasa terimakasih dan penghargaan setinggi-tingginya kepada:

1. **Allah SWT** yang telah memberikan rahmat dan karunia-Nya
2. **Orang Tua penulis** yang telah memberi bantuan secara moril dan materil serta do'a yang tak putus sehingga penulis tetap tegar dalam menyelesaikan tugas akhir ini
3. **Kakakku tercinta Sudahra dan Istri**, terima kasih atas motivasi serta dukungannya. Terima kasih juga sudah mau diajak diskusi mengenai permasalahan yang sedang diteliti penulis
4. **Keluarga Besar Penulis**, terima kasih atas dukungannya sehingga penulis tetap tegar dikala stres mengerjakan tugas akhir ini
5. **Bapak Lukman Noerochim, ST, MSc.Eng. PhD dan Bapak Ir. Rochman Rochiem, M.Sc**, selaku pembimbing dalam menyelesaikan tugas akhir ini. Terimakasih atas bimbingan dan motivasi yang tak kunjung henti
6. **Bapak Sigit Tri Wicaksono, S.Si, M.Si, PhD**, selaku dosen wali penulis
7. **Seluruh civitas akademika Teknik Material dan Metalurgi ITS, rekan-rekan Laboratorium Metalurgi serta karyawan Laboratorium Metalurgi** atas dukungan serta bantuannya sehingga memberi kemudahan kepada penulis dalam urusan administratif serta urusan yang lainnya.
8. **Teman-temanku MT16**, yang tak henti memberi penyegaran serta memberi motivasi saat penulis sedang patah semangat.

9. **Teman-teman Grader Metalurgi MT16**, yang selalu sedia diajak diskusi untuk membantu penulis mengerjakan tugas akhir
10. **Rusmi, Selvy, Tiara, Wiwin, Ayu, Ana, Milda, Uut**, terima kasih atas dukungannya dan candaannya yang membuat penulis tertawa dikala stres dalam mengerjakan tugas akhir ini
11. **Teman-teman FOKUS ITS**, terima kasih untuk dukungan dan hiburannya
12. **Mbak Sefri Fisika 2012**, terima kasih sudah membantu penulis belajar software yang sebelumnya penulis tidak pernah gunakan untuk menganalisa hasil XRD dalam penelitian ini.

Surabaya, Januari 2018

Penulis

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
LEMBAR PENGESAHAN	v
ABSTRAK	vii
ABSTRACT	ix
KATA PENGANTAR	xi
DAFTAR ISI	xiii
DAFTAR GAMBAR	xv
DAFTAR TABEL	xvii
BAB I PENDAHULUAN	
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Perumusan Masalah.....	2
1.3 Tujuan Penelitian.....	2
1.4 Batasan Masalah.....	3
1.5 Manfaat Penelitian.....	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	
2.1 Mesin <i>Palletizer</i>	5
2.2 Poros atau <i>Shaft</i>	11
2.3 Baja	13
2.4 Klasifikasi Baja Karbon	14
2.5 Baja AISI 1030.....	16
2.6 Diagram Fasa Fe-Fe ₃ C	17
2.7 Analisa Kegagalan.....	18
2.7.1 Prosedur dalam Analisa Kegagalan.....	21
2.8 Kelelahan (<i>Fatigue</i>).....	21
2.8.1 Faktor-faktor yang Mempengaruhi Kekuatan Lelah .	23
2.8.2 Perambatan Retak <i>Fatigue</i>	25
2.9 Macam-macam Pengujian	25
2.10 Penelitian Sebelumnya	28
BAB III METODOLOGI PENELITIAN	
3.1 Diagram Alir Penelitian.....	31
3.2 Metode Penelitian.....	32
3.3 Material yang Digunakan	32
3.4 Peralatan.....	34

3.5 Tahapan Penelitian	35
3.5.1 Review Dokumen Perusahaan.....	35
3.5.2 Pengujian Komposisi Unsur Kimia	35
3.5.3 Pengamatan Makro	35
3.5.4 Preparasi Spesimen	35
3.5.5 Pengujian Strukturmikro	36
3.5.6 Pengujian Kekerasan.....	37
3.5.7 Pengujian SEM	38
3.5.8 Pengujian XRD	38
3.6 Rancangan Penelitian	39
BAB IV ANALISI DATA DAN PEMBAHASAN	
4.1 Analisis Data	41
4.1.1 Data Operasional Lapangan	41
4.1.2 Hasil Pengujian Komposisi Kimia	41
4.1.3 Hasil Pengamatan Makroskopik.....	43
4.1.4 Hasil Pengamatan Struktur Mikro	44
4.1.5 Hasil Pengamatan SEM	45
4.1.6 Hasil Pengujian Kekerasan	48
4.1.7 Hasil Analisa Rietveld	50
4.2 Pembahasan.....	51
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	
5.1 Kesimpulan	57
5.2 Saran	58
DAFTAR PUSTAKA	xix
LAMPIRAN	xxiii
BIODATA PENULIS	xxix

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Mesin Palletizer di PT Holcim Tbk Tuban	5
Gambar 2.2	Bagian-bagian Mesin <i>Palletizer</i>	6
Gambar 2.3	<i>Gravity Roller Conveyor</i>	6
Gambar 2.4	<i>Timing Belt Conveyor</i>	7
Gambar 2.5	<i>Distribution Conveyor</i>	7
Gambar 2.6	<i>Double Storage Roller Conveyor</i>	8
Gambar 2.7	<i>Bar-type Turning Device</i>	8
Gambar 2.8	<i>Accumulating Conveyors for Bag Rows</i>	9
Gambar 2.9	<i>Layer Forming Belt Conveyors</i>	9
Gambar 2.10	<i>Layer Stacking Table</i>	10
Gambar 2.11	<i>Layer Pushing Unit</i>	10
Gambar 2.12	Bagian-bagian Motor	12
Gambar 2.13	Dimensi <i>Shaft</i>	13
Gambar 2.14	Diagram Fasa Fe-Fe ₃ C	18
Gambar 2.15	Skema Pola Patahan	23
Gambar 2.16	Penekan oleh Hardened Steel Ball	26
Gambar 2.17	Skematis Prinsip Indentasi dengan Metode Vickers	27
Gambar 3.1	Diagram Alir Penelitian	31
Gambar 3.2	<i>Shaft</i> Mesin <i>Palletizer</i>	33
Gambar 3.3	<i>Shaft</i> Mesin <i>Palletizer</i> yang Patah	33
Gambar 3.4	Penampang Patahan <i>Shaft</i> Mesin <i>Palletizer</i>	34
Gambar 3.5	Mikroskop Optik <i>Olympus BX51M-RF</i>	37
Gambar 3.6	Alat Uji kekerasan <i>Universal Hardness Tester</i> <i>HBRV 187.5A</i>	37
Gambar 3.7	Alat Uji SEM	38
Gambar 3.8	Alat Uji XRD	38
Gambar 4.1	Permukaan Patahan <i>Shaft</i>	43
Gambar 4.2	Ujung Patahan <i>Shaft</i>	44
Gambar 4.3	Struktur Mikro <i>Shaft</i> (a) Daerah yang Jauh dari Patahan Menggunakan Etsa Nital dengan Perbesaran 50x (b) Daerah yang Dekat dari Patahan Menggunakan Etsa Nital dengan	

Perbesaran 50x	45
Gambar 4.4 Fraktografi pada Permukaan <i>Shaft</i>	46
Gambar 4.5 Fraktografi Bagian Tepi Permukaan Patahan	46
Gambar 4.6 Fraktografi Bagian Tepi Permukaan Patahan	47
Gambar 4.7 Fraktografi Bagian Permukaan Patahan di Daerah Akhir Patahan	47
Gambar 4.8 Titik-titik Pengujian Kekerasan.....	48
Gambar 4.9 Distribusi Kekerasan <i>Shaft</i> Daerah yang Jauh dari Patahan	49
Gambar 4.10 Distribusi Kekerasan <i>Shaft</i> Daerah yang Dekat dari Patahan	49
Gambar 4.11 Hasil XRD pada Daerah yang Jauh dari Patahan	50
Gambar 4.12 Hasil XRD pada Daerah yang Dekat dari Patahan	50

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Komposisi Kimia Baja AISI 1030 (ASTM A29)	16
Tabel 2.2 Sifat Mekanik Baja AISI 1030 (ASM HANDBOOK VOL 1)	17
Tabel 2.3 Permasalahan dalam Kegagalan Komponen Mesin	19
Tabel 2.4 Kasus Kegagalan Material Akibat Perawatan Komponen Mesin	20
Tabel 2.5 Penyebab Pegagalan dalam Komponen Mesin	20
Tabel 3.1 Rancangan Penelitian	39
Tabel 3.2 Jadwal Kegiatan Selama Penelitian	39
Tabel 4.1 Data Motor	41
Tabel 4.2 Data Operasional Mesin Palletizer	41
Tabel 4.3 Pencocokan Hasil Uji Komposisi dengan ASTM A29	42
Tabel 4.4 Perbandingan Hasil Uji Komposisi dengan ASTM A291	42
Tabel 4.5 Hasil Uji Kekerasan pada Daerah yang Jauh dari Patahan	48
Tabel 4.6 Hasil Uji Kekerasan pada Daerah yang Dekat dari Patahan	49
Tabel 4.7 Hasil <i>Output</i> Program <i>Rietica</i> pada Material <i>Shaft</i> <i>Gearbox</i>	51
Tabel 4.8 Hasil Perhitungan Regangan dan Tegangan Sisa	51

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

PT Holcim Indonesia Tbk (Holcim Indonesia) adalah sebuah perusahaan publik Indonesia dimana mayoritas sahamnya (86,35%) dimiliki dan dikelola oleh Holcim Group, yang berbasis di Swiss, produsen semen terbesar di dunia dengan total lebih dari 115.000 karyawan dan kapasitas produksi di lebih dari 90 negara mencapai lebih dari 15 juta ton semen per tahun. Dalam upaya penyediaan semen tersebut, sebagai salah satu perusahaan semen terbesar di Indonesia, PT Holcim Indonesia Tbk menjalankan usaha yang terintegrasi terdiri dari semen dan beton siap pakai. PT Holcim hadir di Indonesia ditandai dengan pengoperasian empat pabrik semen masing-masing di Lhoknga-Aceh, Narogong-Jawa Barat, Cilacap-Jawa Tengah dan Tuban-Jawa Timur.

Proses Pembuatan semen PT. Holcim unit Tuban secara garis besar melalui proses dengan dimulai dari pengambilan bahan baku, proses pembuatan terak (*clinker*), proses penggilingan semen (*milling*), penyimpanan dalam *silo*, dan pengemasan semen (*packing*). Proses pembuatan terak (*clinker*) meliputi pemanasan awal, pengeringan dalam *rotary kiln*, dan pendinginan (*Cooling*). Proses penggilingan meliputi pencampuran dengan aditif, penggerusan dan pembentukan *powder*. Proses *packing* yaitu memasukan semen kedalam kemasan dan menyimpang kedalam gudang.

Di Holcim terdapat suatu mesin yang berfungsi untuk mengemas barang hasil produksi yaitu semen. Mesin tersebut dinamakan mesin *palletizer*. Dengan adanya mesin tersebut akan memudahkan karyawan untuk mengemas barang dengan jumlah yang banyak dan berkelanjutan. Sehingga tidak harus melakukan pengemasan secara manual. Pada suatu mesin tentunya terdapat beberapa bagian untuk menunjang fungsi mesin agar berfungsi secara maksimal. Salah satu bagian yang menunjang cara kerja mesin *palletizer* tersebut adalah motor. Motor merupakan bagian



yang sangat penting karena dapat menjalankan mesin *palletizer* tersebut. Pada motor terdapat bagian penting yaitu *shaft*. *Shaft* merupakan bagian motor yang cukup penting karena berfungsi sebagai penyalur daya atau tenaga dari motor ke mesin *palletizer*. Para karyawan di Holcim sendiri kurang memperhatikan masalah *shaft* itu sendiri sehingga hal-hal yang tidak terduga bisa saja terjadi seperti keretakan yang akhirnya bisa menyebabkan *shaft* patah. *Shaft* pada *gearbox* motor untuk mesin *palletizer* ini mulai beroperasi dari tahun 2014 dan patah pada tanggal 12 September 2017. Patahnya material tersebut bisa saja diakibatkan oleh pemilihan material yang tidak tepat atau bisa juga dikarenakan mesin bekerja secara berkelanjutan atau berulang yang dimana *shaft* juga ikut didalamnya sehingga material lelah dan akhirnya patah. Akibat dari patahnya *shaft* tersebut akan berpengaruh pada proses pengemasan barang hasil produksi Holcim. Oleh karena itu diperlukan adanya analisis kegagalan pada *shaft* tersebut sehingga kegagalan tersebut tidak terulang kembali dan dapat mendukung produksi semen di PT Holcim Tuban Plant Indonesia.

1.2 Perumusan Masalah

Perumusan masalah yang akan dikaji dalam analisa kegagalan ini adalah sebagai berikut:

1. Apa saja faktor-faktor yang menyebabkan terjadinya kegagalan pada *shaft gearbox* mesin *palletizer* ?
2. Bagaimana mekanisme kegagalan yang terjadi pada *shaft gearbox* mesin *palletizer* ?
3. Apa saja hal-hal yang perlu dilakukan agar kegagalan pada *shaft gearbox* mesin *palletizer* dapat ditanggulangi ?

1.3 Tujuan Penelitian

Sesuai dengan permasalahan yang telah disebutkan, maka tujuan penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Menganalisa faktor-faktor penyebab terjadinya kegagalan pada *shaft gearbox* mesin *palletizer*



2. Menganalisa mekanisme kegagalan yang terjadi pada *shaft gearbox* mesin *palletizer*
3. Menganalisa hal-hal yang perlu dilakukan agar kegagalan pada *shaft gearbox* mesin *palletizer* dapat ditanggulangi

1.4 Batasan Masalah

Agar penelitian ini menjadi terarah dan memberikan kejelasan analisis permasalahan, maka dilakukan pembatasan permasalahan, yaitu:

1. Lingkungan sekitar *shaft gearbox* mesin *palletizer* diabaikan
2. Temperatur dianggap sesuai dengan data operasional

1.5 Manfaat Penelitian

Hasil dari penelitian ini diharapkan mampu memberi manfaat kepada seluruh pihak yang berkaitan, yaitu mahasiswa sebagai pelaksana penelitian mampu memahami serta mengaplikasikan ilmu yang telah didapat khususnya cabang ilmu material dan metalurgi, PT. Holcim Tuban Plant Indonesia sebagai pihak utama yang menyokong penelitian dapat menerapkan hasil penelitian untuk :

1. Menentukan faktor-faktor penyebab terjadinya kegagalan *shaft gearbox* mesin *palletizer*
2. Masukan untuk hal-hal yang dapat dilakukan agar kegagalan *shaft gearbox* mesin *palletizer* dapat ditanggulangi



(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Mesin *Palletizer*

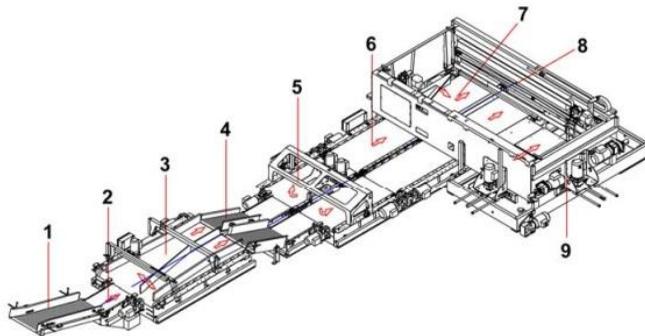
Mesin *palletizer* berfungsi untuk menyusun atau memindahkan barang produksi ke tempat yg telah disediakan. Mesin ini dikendalikan secara manual dan semi otomatis. Garis besar pengontrolan dalam mesin ini adalah pada pengendalian photosensor sebagai saklar induksi. (Widagdo, 2011)



Gambar 2.1 Mesin *Palletizer* di PT Holcim Tbk Tuban

Dalam mesin *palletizer* ini photosensor digunakan sebagai saklar induksi. Maksud dari saklar induksi adalah photosensor – photosensor yang satu dan yang lain dalam mesin *palletizer* ini saling berhubungan dan mempengaruhi kerja mesin *palletizer* ini.

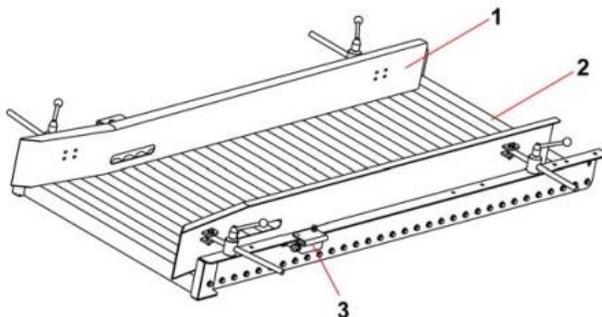
Gambar 2.1 merupakan mesin *palletizer* di PT Holcim. Mesin *palletizer* di PT Holcim ini sendiri bekerja selama 24 jam. Mesin ini berfungsi untuk ngepres kantong semen yang sudah berisi semen yang kemudian dipindahkan ke tempat yang telah disediakan. Setiap 3 detik mesin ini berjalan dari kiri ke kanan mengangkut 5 kantong semen dengan berat 250 kg. Berikut bagian-bagian dari mesin *palletizer* yang ditunjukkan pada gambar 2.2 sampai gambar 2.11:



Gambar 2.2 Bagian-bagian Mesin *Palletizer* (*Manual Book Holcim*)

Keterangan gambar :

1. *Gravity roller conveyor*
2. *Timing belt conveyor*
3. *Distribution conveyor*
4. *Double storage roller conveyor*
5. *Bar-type turning device*
6. *Accumulating conveyors for bag rows*
7. *Layer forming belt conveyors*
8. *Layer pushing unit*
9. *Layer stacking table*

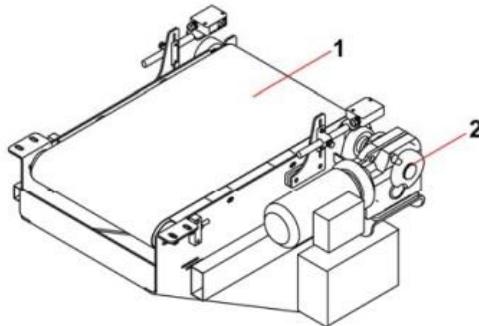


Gambar 2.3 *Gravity Roller Conveyor* (*Manual Book Holcim*)



Keterangan gambar :

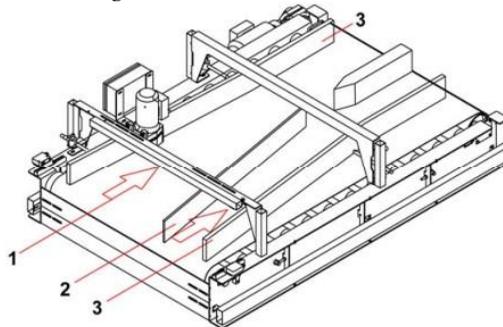
1. *Positioning side wall*
2. *Idler*
3. *Watchdog unit*



Gambar 2.4 *Timing Belt Conveyor (Manual Book Holcim)*

Keterangan gambar :

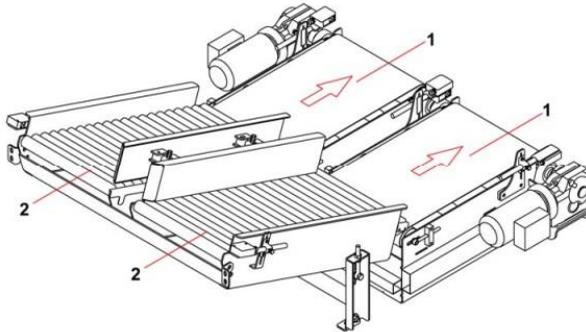
1. *Timing belt conveyor*
2. *Shaft-mounted gear motor*



Gambar 2.5 *Distribution Conveyor (Manual Book Holcim)*

Keterangan gambar :

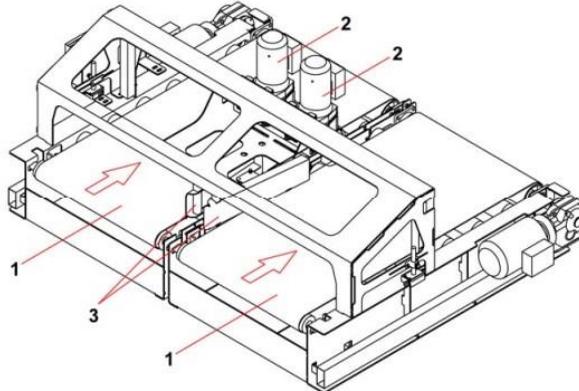
1. *Distribution conveyor*
2. *Distribution plate*
3. *Bag positioning plate*



Gambar 2.6 *Double Storage Roller Conveyor (Manual Book Holcim)*

Keterangan gambar :

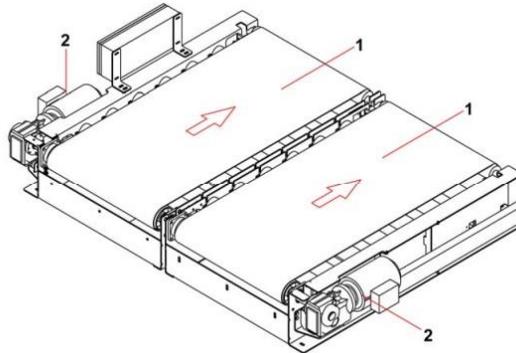
1. *Timing belt conveyor*
2. *Gravity roller conveyor*



Gambar 2.7 *Bar-type Turning Device (Manual Book Holcim)*

Keterangan gambar :

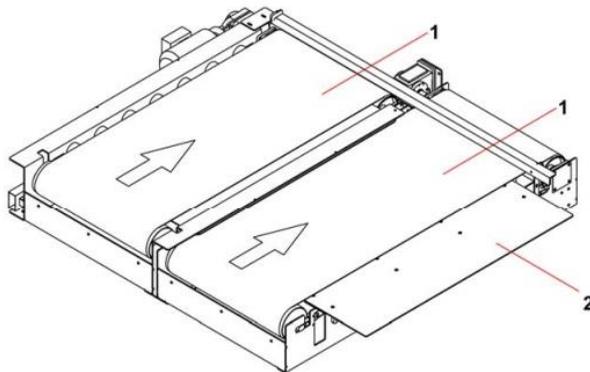
1. *Positioning belt conveyor*
2. *Turning bar*
3. *Bag positioning plate*



Gambar 2.8 *Accumulating Conveyors for Bag Rows (Manual Book Holcim)*

Keterangan gambar :

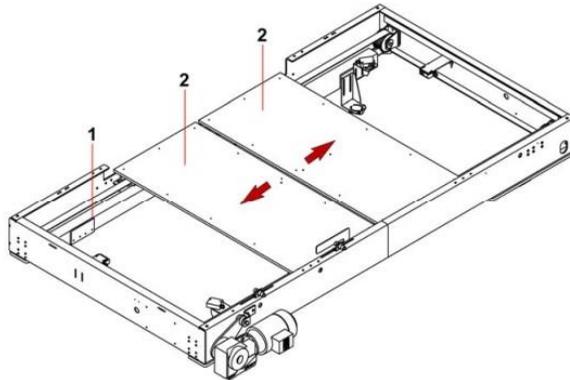
1. *Accumulating conveyor for bag rows*
2. *Shaft-mounted gear motor*



Gambar 2.9 *Layer Forming Belt Conveyors (Manual Book Holcim)*

Keterangan gambar :

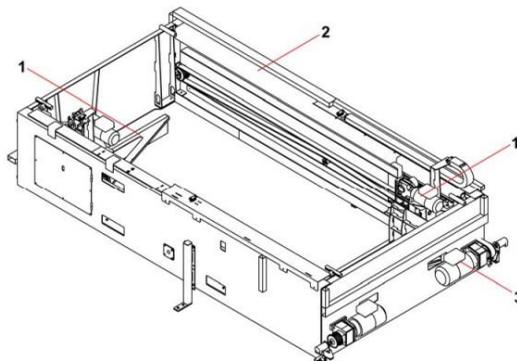
1. *Layer forming belt conveyor*
2. *Transfer plate*



Gambar 2.10 *Layer Stacking Table (Manual Book Holcim)*

Keterangan gambar :

1. *Frame*
2. *Table plates*



Gambar 2.11 *Layer Pushing Unit (Manual Book Holcim)*

Keterangan gambar :

1. *Pusher carriage*
2. *Frame*
3. *Travel drive*



2.2 Poros atau *Shaft*

Poros berfungsi untuk meneruskan tenaga baik berupa puntiran, torsi maupun bending dari suatu bagian ke bagian yang lain. Akibat beban tersebut poros mengalami pembebanan yang terus berulang. Akibatnya suatu poros sering mengalami kegagalan dalam operasinya. Kegagalan akibat beban berulang sangat tidak diinginkan karena tanda-tanda akan terjadinya kegagalan tidak dapat diketahui secara langsung. Kegagalan ini dapat berupa *crack* yang terus berkembang hingga terjadi perambatan *crack* yang kemudian menjadi patah. (Sugiarto, 2013)

Secara garis besarnya poros dibedakan menjadi:

1. Poros Transmisi

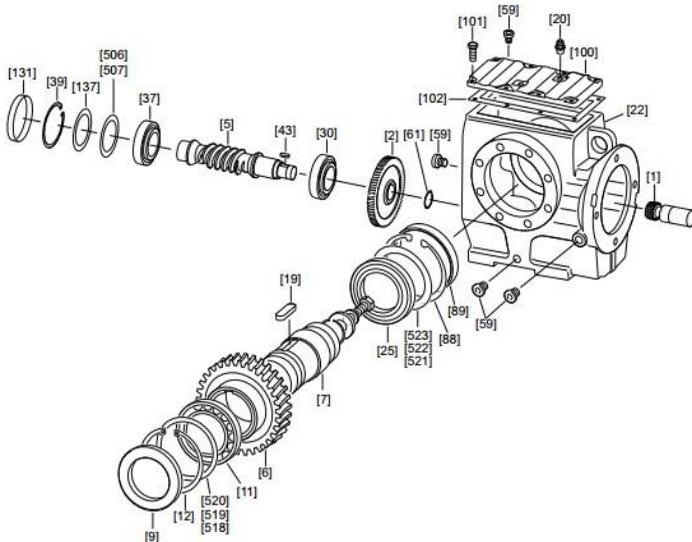
Poros ini mendapat beban puntir murni atau puntir dan lentur. Daya ditransmisikan kepada poros ini melalui kopling, roda gigi, sabuk dan rantai.

2. Spindel

Spindel adalah poros transmisi yang relatif pendek, seperti poros utama mesin perkakas, dimana beban utamanya berupa puntiran. Syarat yang harus dipenuhi oleh poros ini adalah deformasinya harus kecil dan bentuk serta ukurannya harus teliti.

3. Gandar adalah poros yang dipasang diantara roda-roda kereta barang dimana tidak mendapat beban puntir. Gandar hanya mendapat beban lentur, kecuali jika digerakkan oleh penggerak mula dimana akan mengalami beban puntir juga. (Basselo, 2014)

Pada PT Holcim terdapat suatu motor yang terletak pada mesin *palletizer*. Motor tersebut berfungsi sebagai penggerak mesin. Pada motor tersebut terdapat bagian-bagian penting yang mendukung fungsi dari motor yang terlihat pada gambar 2.12. Salah satu bagian penting pada motor yaitu *shaft* yang berfungsi sebagai penyalur daya dari motor ke mesin. Berat motor yang digunakan pada mesin *palletizer* yaitu seberat 28,346 kg (*include* berat reducer) dengan *maximum permitted input speed* 1435 rpm dan *permitted voltage* 400 V serta *rate frequency* 50 Hz.



Gambar 2.12 Bagian-bagian Motor (*Manual Book Holcim*)

Keterangan gambar:

- | | |
|------------------------|----------------------|
| [1] Pinion | [20] Breather valve |
| [88] Circlip | [2] Gearwheel |
| [22] Gear unit housing | [89] Closing cap |
| [5] Worm | [25] Roller bearing |
| [100] Gear cover plate | [6] Worm gear |
| [30] Roller bearing | [101] Hex head screw |
| [7] Output shaft | [37] Roller bearing |
| [102] Seal | [9] Oil seal |
| [39] Circlip | [131] Closing cap |
| [11] Roller bearing | [43] Key |
| [137] Supporting ring | [12] Circlip |
| [59] Screw plug | [506] Shim |
| [19] Key | [61] Circlip |
| [507] Shim | [518] Shim |
| [520] Shim | [522] Shim |



2.4 Klasifikasi Baja Karbon

Baja karbon terdiri dari besi dan karbon, karbon merupakan unsur yang dapat meningkatkan kekerasan dan kekuatan baja. Selain itu karbon termasuk unsur yang paling efektif dan murah. Oleh karena itu, sebagian besar baja mengandung unsur karbon dengan kadar yang cukup besar dibandingkan dengan unsur paduan lainnya seperti Mn, P, Cu, S dan Si. Adapun pengaruh unsur paduan pada bahan baja karbon adalah :

1. *Carbon* (C)

Karbon pada baja dapat meningkatkan kekuatan dan kekerasan baja. Akan tetapi jika berlebihan akan menurunkan ketangguhan baja (*toughness*).

2. *Manganese* (Mn)

Pada umumnya semua baja mengandung mangan karena mangan sangat dibutuhkan dalam proses pembuatan baja. Mangan tidak akan memberikan pengaruh yang besar pada struktur baja dengan kadar yang rendah. Dengan adanya unsur paduan mangan pada baja akan membuat butiran struktur mikro baja lebih halus. Penambahan unsur mangan dalam baja juga dapat meningkatkan kekuatan tarik. Sehingga baja dengan adanya penambahan unsur mangan akan memiliki sifat yang kuat. Selain itu unsur mangan juga dapat mencegah terjadinya *hot shortness* (kegetasan pada temperatur tinggi).

3. *Phosphor* (P)

Phosphor bisa membuat baja mengalami kegetasan pada temperatur rendah. Akan tetapi *phosphor* dapat menaikkan fluiditas yang membuat baja mudah dirol panas. Kadar *phosphor* dalam baja biasanya kurang dari 0,05%.

4. *Sulphur* (S)

Sulfur bisa membuat kegetasan pada baja di temperatur tinggi. Akibatnya baja dengan paduan unsur sulfur di temperatur tinggi akan sulit jika dilakukan pengerjaan seperti pengerolan. Kadar sulfur harus dibuat serendah-



rendahnya yaitu lebih rendah dari 0,05% agar bisa mendapatkan sifat baja yang diinginkan.

5. *Silicon (Si)*

Si dengan kadar 3,2 % akan menurunkan kekerasan baja. Akan tetapi jika lebih akan meningkatkan kekerasan baja.

Dalam pengaplikasiannya baja karbon sering digunakan sebagai bahan baku untuk pembuatan alat-alat perkakas, komponen mesin dan lainnya. Baja karbon dapat diklasifikasikan berdasarkan jumlah persentase komposisi kimia karbon dalam baja yaitu :

1. *Baja Karbon Rendah (low carbon steel)*

Baja dengan kandungan karbon $< 0,25\%$ memiliki kekuatan sedang dengan keuletan yang baik. Baja karbon rendah biasanya digunakan untuk pembuatan jembatan, bangunan gedung, kendaraan bermotor dan kapal laut. Baja karbon rendah ini memiliki ketangguhan dan keuletan tinggi akan tetapi memiliki sifat kekerasan dan ketahanan aus yang rendah. Penggunaan baja karbon rendah yaitu sebagai berikut:

- a. Sebagai pelat pada kendaraan.
- b. Profil, batang untuk keperluan tempa.
- c. Pekerjaan mesin dan konstruksi bangunan.

3. *Baja Karbon Sedang (medium carbon steel)*

Baja ini mengandung karbon antara 0,25% sampai dengan 0,60%. Baja karbon ini memiliki kelebihan dibandingkan dengan baja karbon rendah. Baja karbon sedang memiliki sifat mekanis yang lebih kuat dengan tingkat kekerasan yang lebih tinggi daripada baja karbon rendah. Besarnya karbon yang terdapat dalam besi memungkinkan baja untuk dapat dikeraskan dengan memberikan perlakuan panas (*heat treatment*) yang sesuai. Baja karbon sedang dalam dunia teknik biasanya digunakan sebagai alat-alat perkakas, poros, engkol, roda gigi, ragum, pegas, dan lain-lain



3. Baja Karbon Tinggi (*high carbon steel*)

Baja yang mengandung karbon antara 0,60% sampai dengan 1,4%. Baja karbon tinggi memiliki sifat tahan panas, kekerasan serta kekuatan tarik yang sangat tinggi akan tetapi memiliki keuletan yang lebih rendah sehingga baja karbon ini menjadi lebih getas. Baja karbon ini sulit diberi perlakuan panas untuk meningkatkan sifat kekerasannya, hal ini dikarenakan baja karbon tinggi memiliki jumlah martensit yang cukup tinggi sehingga tidak akan memberikan hasil yang optimal pada saat dilakukan proses pengerasan permukaan. Baja karbon ini banyak digunakan untuk keperluan pembuatan alat-alat konstruksi yang berhubungan dengan panas yang tinggi atau dalam penggunaannya akan menerima dan mengalami panas, misalnya landasan, palu, gergaji, pahat, kikir, mata bor, bantalan peluru dan sebagainya. (Callister, 2014)

2.5 Baja AISI 1030

Material *shaft* yang mengalami kegagalan di PT Holcim termasuk ke dalam kategori baja karbon menengah yaitu AISI 1030. AISI 1030 adalah baja karbon menengah yang memiliki komposisi kimia yang tertera pada table 2.1 dibawah ini.

Tabel 2.1 Komposisi Kimia Baja AISI 1030 (ASTM A29)

KODE	C%	Mn%	P%	S%
AISI 1030	0,28-0,34	0,060-0,90	Max 0,004	Max 0,005

Baja karbon menengah ini memiliki *hardenability* yang rendah. Aplikasi baja ini banyak digunakan sebagai *gear*, *crankshaft*, *chain link*, dan komponen lainnya yang membutuhkan kombinasi antara kekuatan tinggi, ketangguhan dan ketahanan aus yang baik. Sifat mekanik baja AISI 1030 ditunjukkan pada tabel 2.2.



Tabel 2.2 Sifat Mekanik Baja AISI 1030 (ASM HANDBOOK VOL 1)

AISI grade ^(a)	Condition or treatment	Tensile strength		Yield strength		Elongation ^(b) , %	Reduction in area, %	Hardness, HB	Izod impact strength	
		MPa	ksi	MPa	ksi				J	ft · lbf
1030	As-rolled	550	80	345	50	32.0	57	179	75	55
	Normalized at 925 °C (1700 °F)	525	76	345	50	32.0	61	149	94	69
	Annealed at 845 °C (1550 °F)	460	67	345	50	31.2	58	126	69	51

2.6 Diagram Fasa Fe-Fe₃C

Dalam besi cair karbon dapat larut, tetapi dalam keadaan padat kelarutan karbon dalam besi akan terbatas. Selain sebagai larutan padat, besi dan karbon juga dapat membentuk senyawa *interstisial* (*interstitial compound*), eutektik dan juga eutektoid, atau mungkin juga karbon akan terpisah (sebagai grafit). Karena itu diagram fasa besi-karbon ada 2 macam, diagram fasa besi – karbida besi dan diagram fasa besi – grafit.

Diagram keseimbangan besi-karbon cukup kompleks, tetapi hanya sebagian saja yang penting bagi dunia teknik, yaitu bagian antara besi murni sampai senyawa *interstitial*-nya, karbida besi Fe₃C, yang mengandung 6,67 %C. dan diagram fasa yang banyak digunakan adalah diagram fasa besi-karbida besi, diagram Fe-Fe₃C.

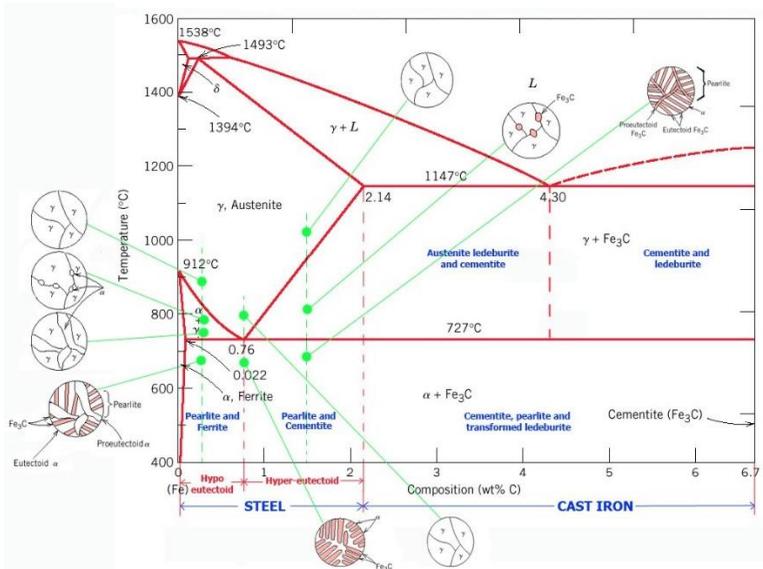
Pada keadaan yang betul-betul ekuilibrium karbon akan berupa karbon bebas (grafit), sehingga akan diperoleh diagram kesetimbangan besi-grafit. Perubahan-perubahan dalam keadaan ekuilibrium berlangsung terlalu lama. Seharusnya karbida besi akan terjadi pada temperatur kamar (pada temperatur sekitar 700°C pun perubahan ini akan makan waktu bertahun-tahun). Dalam hal ini karbida besi dikatakan sebagai suatu struktur yang metastabil.

Dari Gambar 2.14 tampak bahwa diagram fasa ini memiliki tiga garis mendatar yang menandakan adanya reaksi



yang berlangsung secara *isothermal*, yaitu:

- Pada 1496°C, kadar karbon antara 0.10-0.50 %, berlangsung reaksi peritektik.
 $L + \delta \rightarrow \gamma$
- Pada 1130°C, kadar karbon antara 2,0-6,67 %, berlangsung reaksi eutektik.
 $L \rightarrow \gamma + Fe_3C$
- Pada 723°C, kadar karbon antara 0.025-6.67 %, berlangsung reaksi *eutectoid*.
 $\gamma \rightarrow \alpha + Fe_3C$



Gambar 2.14 Diagram Fasa Fe-Fe₃C (Avner, 1974)

2.7 Analisa Kegagalan

Analisa kegagalan dapat diartikan sebagai pemeriksaan/pengujian terhadap komponen-komponen atau struktur yang mengalami kerusakan beserta kondisi yang menyebabkan kegagalan dengan tujuan untuk mengetahui



penyebab dari kegagalan tersebut. Jadi tujuan utama dari analisa kegagalan adalah untuk mengetahui mekanisme terjadinya kegagalan serta memberikan solusi-solusi yang dapat dilaksanakan untuk menanggulangi masalah kegagalan tersebut. Dengan kata lain, analisa kegagalan berujung pada observasi pada komponen-komponen yang rusak. Pengamatan pola patahan yang rusak adalah kunci bagi seluruh proses analisa kegagalan, oleh sebab itu pengamatan secara makroskopis dan mikroskopis harus dilaksanakan secara bertahap. Selain itu pengujian mekanik juga diperlukan karena secara umum kegagalan disebabkan oleh gaya-gaya yang bekerja dari lingkungan kerja komponen. Menurut sumber-sumber penelitian yang ada di dunia industry, faktor penyebab kegagalan yang sering terjadi di dunia industri dapat di karenakan :

A. Faktor kesalahan pemilihan material

Hasil penelitian mengenai faktor kegagalan material yang dominan yaitu faktor kesalahan dalam memilih material. Tabel 2.3 dibawah ini menunjukkan statistik tentang permasalahan dalam kasus kegagalan material

Tabel 2.3 Permasalahan dalam Kegagalan Komponen Mesin
(Brooks, 2002)

Permasalahan	%
Kesalahan pemilihan material	38
Cacat produksi	15
Kesalahan perlakuan panas	15
Kesalahan desain mekanik	11
Kondisi operasi yang berlebihan	8
Kondisi lingkungan yang tidak terkontrol	6
Pemeriksaan yang kurang baik	5
Material yang tidak jelas	2

B. Perawatan komponen yang kurang baik

Proses perawatan komponen mesin yang kurang baik termasuk salah satu penyebab kegagalan yang paling dominan. Tabel 2.4



menunjukkan data mengenai kasus kegagalan material yang terjadi.

Tabel 2.4 Kasus Kegagalan Material Akibat Perawatan Komponen Mesin (Brooks, 2002)

Permasalahan	%
Perawatan yang kurang baik	44
Cacat saat fabrikasi	17
Defisiensi desain	16
Pemakaian yang abnormal	10
Cacat material	7
Penyebab yang tidak jelas	6

C. Kesalahan dalam perancangan komponen

Faktor kesalahan dalam proses perancangan komponen mesin adalah sebagai berikut:

1. Kegagalan ulet akibat pembebanan yang melebihi kekuatan material
2. Kegagalan getas akibat beban kejut
3. Kegagalan pada temperatur tinggi (pemuluran)
4. Proses perancangan yang terlalu banyak memicu konsentrasi tegangan seperti takikan
5. Analisa tegangan komponen yang kurang detail yang menyebabkan rawan terjadi kegagalan akibat overload

D. Kondisi kerja yang ekstrim

Permasalahan yang spesifik dalam kegagalan komponen mesin akibat kondisi kerja yang ekstrim disajikan dalam Tabel 2.5.

Tabel 2.5 Penyebab Kegagalan dalam Komponen Mesin (Brooks, 2002)

Penyebab Kegagalan	%
Korosi	29
Kelelahan (fatigue)	25
Kegagalan getas (brittle fracture)	16
Kelebihan beban	11



Korosi temperatur tinggi	7
Korosi retak tegang, korosi lelah, penggetasan hydrogen	6
Pemuluran (creep)	3
Abrasi, Erosi	3

2..7.1 Prosedur dalam Analisa Kegagalan

Ketika terjadi sebuah kegagalan atau retak, perlu dilakukan suatu tindakan untuk mencegah terjadinya kegagalan yang sama dengan menginvestigasi dan menganalisa kegagalan komponen yang terjadi. Adapun tindakan yang perlu dilakukan dalam menginvestigasi komponen yaitu (Nishida, 1992):

1. Data produksi : melting, rolling, forming, casting, heat treatment, dan proses machining
2. Analisa kimia : pengujian X-Ray, komposisi kimia
3. Sifat mekanik : tensile, hardness, impact, dan fatigue test.
4. Struktur metalurgi : struktur makro dan mikro struktur
5. Patah permukaan

2.8 Kelelahan (*Fatigue*)

Kelelahan atau *Fatigue* adalah kerusakan material yang diakibatkan oleh adanya tegangan yang berfluktuasi yang besarnya lebih kecil dari tegangan tarik maksimum (ultimate tensile strength) (σ_u) maupun tegangan luluh (*yield*). Apabila suatu logam dikenai tegangan berulang maka logam tersebut akan patah pada tegangan yang jauh lebih rendah dibandingkan dengan tegangan yang dibutuhkan untuk menimbulkan perpatahan pada beban statik. Adapun mekanisme terjadinya kegagalan *fatigue* dapat dibagi menjadi 3 fase yaitu antara lain :

1. Awal Retak (*crack initiation*)

Mekanisme *fatigue* umumnya dimulai dari adanya awal retakan yang terjadi di permukaan material yang lemah atau daerah dimana terjadinya konsentrasi tegangan dipermukaan akibat adanya pembebanan yang berulang.

2. Perambatan Retak (*crack propagation*)



Jumlah total siklus yang menyebabkan kegagalan *fracture* merupakan penjumlahan jumlah siklus yang menyebabkan retakan awal dan fase perambatannya. Perambatan ini kemudian akan terus menjalar yang nantinya akan berujung pada *failure*.

3. Patah

Patahnya material terjadi ketika material telah mengalami siklus tegangan dan regangan yang menghasilkan kerusakan yang permanen. Ketika terjadi penjalaran retak, penampang pada bagian tersebut akan berkurang sampai pada kondisi dimana penampang pada bagian tersebut tidak mampu menahan beban yang terakhir kali. Pada tahap ini penjalaran retak yang terjadi sangat cepat sehingga struktur akan terpecah menjadi dua. Karakteristik kelelahan logam dibagi menjadi dua yaitu :

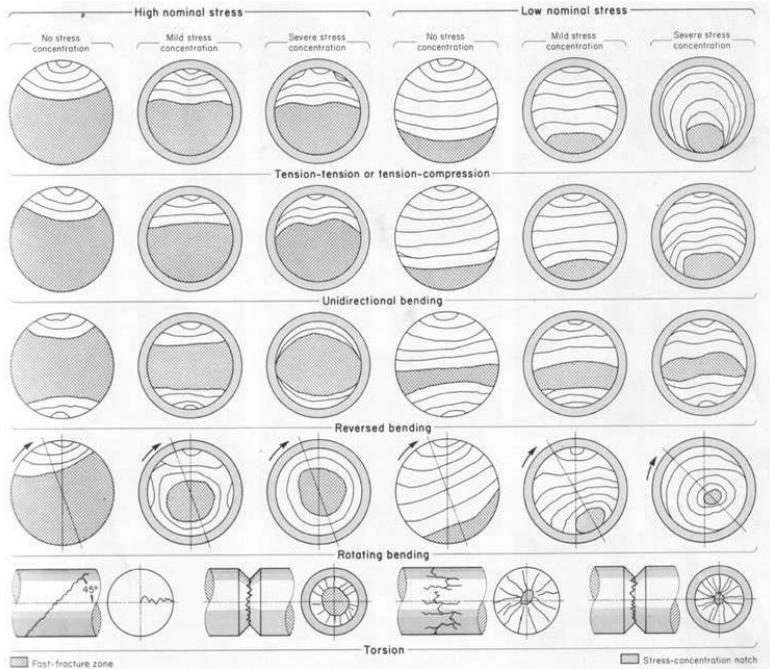
a. Karakteristik makro

Karakteristik makro merupakan ciri-ciri kelelahan yang dapat diamati secara visual (dengan mata telanjang dan kaca pembesar).

b. Karakteristik mikro.

Karakteristik mikro merupakan ciri-ciri kelelahan yang hanya dapat diamati dengan menggunakan mikroskop.

Pada dasarnya kegagalan *fatigue* dimulai dengan terjadinya retakan pada permukaan benda uji. Hal ini membuktikan bahwa sifat-sifat *fatigue* sangat peka terhadap kondisi permukaan, yang dipengaruhi oleh beberapa faktor antara lain kekasaran permukaan, perubahan sifat-sifat permukaan dan tegangan sisa permukaan. Beberapa pola patahan *fatigue* ditunjukkan pada gambar 2.15.



Gambar 2.15 Skema Pola Patahan (Van Gys, 2013)

2.8.1 Faktor-faktor yang Mempengaruhi Kekuatan Lelah

Faktor-faktor yang mempengaruhi atau cenderung mengubah kekuatan lelah yaitu jenis pembebanan, kelembaban lingkungan (korosi), temperatur, komposisi kimia bahan.

- a. Faktor kelembaban lingkungan
Faktor kelembaban lingkungan sangat mempengaruhi kekuatan lelah sebagaimana yang telah diteliti Haftirman (1995) bahwa pada kelembaban relatif 70 % sampai 80%. Lingkungan kelembaban yang tinggi akan terkorosi dan akan mengalami retak pada permukaan spesimen yang menyebabkan kegagalan lebih cepat terjadi.



-
- b. Tipe pembebanan
Tipe pembebanan sangat mempengaruhi kekuatan lelah sebagaimana yang diteliti oleh Ogawa (1989) bahwa baja S45S yang diberikan tipe pembebanan lentur putar dan pembebanan aksial mempunyai kekuatan lelah yang sangat berbeda, baja S45S dengan pembebanan aksial mempunyai kekuatan lelah lebih rendah dari baja yang menerima pembebanan lentur putar. (Darami, 2009)
- c. Faktor temperatur
Faktor temperatur sangat mempengaruhi kekuatan lelah karena temperatur menaikkan konduktifitas elektrolit lingkungan sehingga dapat mempercepat proses oksidasi. Menurut Haftirman (1995) bahwa pada pengujian di temperatur 40°C retakan pada spesimen memanjang dari pada pengujian di temperatur 20°C dengan retakan yang halus, karena temperatur yang tinggi menyebabkan molekul air yang terbentuk mengecil di permukaan baja sehingga mempercepat terjadinya reaksi oksidasi dan membuat jumlah pit korosi jauh lebih banyak, akibatnya pit korosi cepat bergabung membentuk retakan yang memanjang. Dieter (1986) mengemukakan secara umum kekuatan lelah baja akan turun dengan bertambahnya temperatur di atas temperatur kamar kecuali baja lunak dan kekuatan lelah akan bertambah besar apabila temperatur turun.
- d. Faktor komposisi kimia
Faktor komposisi kimia sangat mempengaruhi kekuatan lelah karena apabila komposisi kimia tidak sesuai dengan standar yang sudah ada maka akan cepat mengalami kegagalan (*failure*). Sebagai contoh apabila suatu baja kekurangan kadar unsur karbon maka kekerasan dan kekuatannya akan turun sehingga akan cepat mengalami patah atau kegagalan.
-



2.8.2 Perambatan Retak *Fatigue*

Perambatan retak adalah tahap kedua dari ketiga tahap proses kegagalan atau kerusakan. Dalam tahap ini retak akan tumbuh dan menjalar hingga mencapai batas kritis (*critical size*). Dengan adanya perambatan retak maka suatu material akan memiliki umur (*fatigue life*) yang menandakan bahwa material tersebut sudah berada pada titik akhir dan tidak bisa menerima beban lagi. *Fatigue life* dapat ditingkatkan dengan cara :

1. Mengontrol tegangan
 - a. Peningkatan tegangan akan menurunkan umur *fatigue*.
 - b. Kegagalan *fatigue* selalu dimulai pada peningkatan tegangan.
2. Mengontrol struktur mikro
3. Mengontrol permukaan
 - a. Dalam banyak pengujian dan aplikasi pemakaian, tegangan maksimum terjadi pada permukaan.
 - b. Umur *fatigue* sensitif terhadap kondisi permukaan.
 - c. Faktor lain yang harus dipertimbangkan adalah tegangan sisa permukaan

2.9 Macam-Macam Pengujian

Untuk mengetahui sifat dan karakteristik suatu material diperlukan yang namanya pengujian. Berikut beberapa macam pengujian untuk material

1. Uji kekerasan

Kekerasan suatu material dapat didefinisikan sebagai ketahanan material tersebut terhadap gaya penekanan dari material lain yang lebih keras. Kebanyakan uji kekerasan menggunakan metode indentasi. Pengujian dengan metode indentasi dilakukan dengan penekanan benda uji menggunakan indenter. Kekerasan suatu material ditentukan oleh dalamnya area ataupun luas area indentasi yang dihasilkan (tergantung jenis indenter dan jenis pengujian). Berdasarkan prinsip kerjanya metode uji kekerasan dengan cara indentasi dapat diklasifikasikan sebagai berikut :



a. Pengujian Brinell

Metode ini diperkenalkan pertama kali oleh J.A. Brinell pada tahun 1900. Pengujian kekerasan dilakukan dengan memakai bola baja yang dikeraskan (*hardened steel ball*) dengan beban dan waktu indentasi tertentu. Metode ini dilakukan seperti gambar 2.16. Hasil penekanan adalah jejak berbentuk lingkaran bulat, yang harus dihitung diameternya dibawah mikroskop khusus pengukur jejak. Pengukuran nilai kekerasan suatu material diberikan oleh rumus:

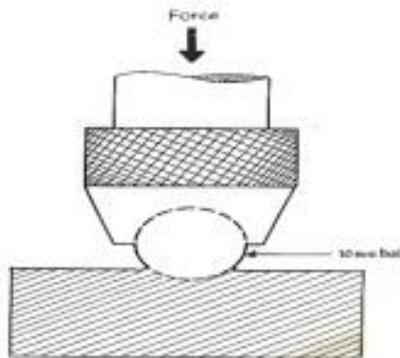
$$\text{BHN} = \frac{2P}{\pi D(D - \sqrt{D^2 - d^2})} \dots\dots\dots(2.1)$$

dimana:

P = beban (kg)

D = diameter indenter (mm)

d = diameter jejak (mm)



Gambar 2.16 Penekan oleh *Hardened Steel Ball* (ASTM E92-82)

27

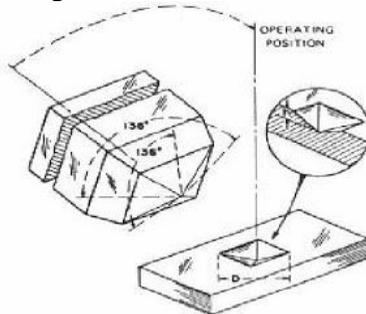
b. Pengujian Vickers

Pada metode ini digunakan indenter intan berbentuk piramida dengan sudut 136° dengan beban 100kg. Prinsip pengujian adalah sama dengan metode Brinell, walaupun jejak yang dihasilkan berbentuk bujur sangkar berdiagonal. Metode ini dilakukan seperti skema pada

gambar 2.17. Nilai kekerasan suatu material diberikan oleh rumus:

$$\text{VHN} = \frac{1.854 P}{d^2} \dots\dots\dots(2.2)$$

dimana d adalah panjang diagonal rata-rata dari jejak berbentuk bujur sangkar



Gambar 2.17 Skematis Prinsip Indentasi dengan Metode Vickers (ASTM E92-82)

c. Pengujian Rockwell

Berbeda dengan metode Brinell dan Vickers dimana kekerasan suatu bahan dinilai dari diameter. Rockwell merupakan uji kekerasan dengan pembacaan langsung (*direct-reading*). Metode yang sering digunakan biasanya Rockwell tipe B dengan beban 100 kg serta Rockwell tipe C dengan indenter intan dan beban 150 kg.

2. Uji XRD

Uji XRD biasanya dilakukan untuk mengetahui fasa dari suatu material. Selain itu uji XRD juga bisa dilakukan untuk mengetahui jumlah tegangan sisa yang terdapat pada material. Mekanisme uji XRD yaitu dengan cara menembakkan elektron dan elektron akan dibiaskan. Hasil dari pembiasan akan muncul di komputer.



3. Uji SEM

Uji SEM merupakan pengujian yang dilakukan untuk mengetahui karakterisasi permukaan dari suatu material. Mekanisme kerja dari mesin uji SEM ini yaitu ada elektron yang ditembakkan kepada material. Kemudian dari penembakan elektron tersebut ada yang dibiarkan dan hasil dari pembiasan ini yang kemudian tampil pada komputer untuk dilihat hasil karakterisasi dari permukaan material tersebut.

4. Uji Metalografi

Metalografi merupakan pengujian yang dilakukan untuk mengetahui informasi-informasi yang ada didalam suatu material yang dapat diamati dengan mikroskop optic seperti fasa, butir, komposisi kimia dan sebagainya. Adapun langkah-langkah untuk melakukan uji metalografi yaitu:

- a. Pemilihan spesimen
- b. Pemotongan spesimen
- c. Pembungkahan (*mounting*)
- d. Penggerindaan (*grinding*)
- e. Pemolesan (*polishing*)
- f. Pengetsaan (*etching*)
- g. Observasi pada mikroskop optic

5. Uji Komposisi

Uji komposisi kimia merupakan suatu pengujian untuk mengetahui kandungan unsur kimia yang terdapat pada suatu logam benda uji. Komposisi kimia dari logam sangat penting untuk diketahui karena komposisi kimia pada logam bisa menentukan sifat dari logam tersebut. *Spectrometer* adalah alat yang mampu menganalisa unsur-unsur logam induk atau campurannya dengan akurat, cepat dan mudah dioperasikan.

2.10 Penelitian Sebelumnya

Tiastuti (2016) melakukan penelitian terhadap perambatan retak pada AISI 1020 yang diakibatkan karena faktor pembebanan.



Perambatan retak yang diamati menjalar secara cepat sampai akhirnya mengalami patah statis.

Tawaf et al (2014) melakukan penelitian pada *fatigue failure* pada temperatur rendah didapatkan kesimpulan bahwa *fatigue life* pada temperatur rendah lebih besar dari pada temperatur yang lebih tinggi.

Moolwan et al (2013) melakukan penelitian tentang *failure analysis of a two high gearbox shaft* didapatkan kesimpulan bahwa kegagalan yang terjadi disebabkan *fatigue failure*. Terdapat awal retak dan penjarangan retak pada patahan pada daerah lasan karena di daerah tersebut merupakan daerah dengan tegangan yang tinggi.

Sarjito et al (2009) melakukan penelitian tentang analisa kekuatan puntir, lentur putar dan kekerasan baja ST 60 untuk poros setelah di quenching didapatkan kesimpulan bahwa kekerasan bertambah setelah dilakukan perlakuan panas quenching sehingga baja ini bisa digunakan sebagai poros sesuai standar yang ada. Solusi yang ditawarkan yaitu dilakukan perlakuan panas quenching atau mengganti material yang memiliki kekerasan dan komposisi kimia sesuai standar yang ada.

Van Gys Zyl et al (2013) melakukan penelitian dengan judul *failure analysis of conveyor pulley shaft*. Pada penelitian ini menggunakan spesimen yang terdapat lasan. Pengujian yang dilakukan yaitu pengamatan secara visual, pengujian metalografi, XRF/CS dan XRD, SEM/EDS, pengujian tarik, pengujian impak, pengujian fatik, pengujian kekerasan dan *stress analysis*. Dari hasil yang didapatkan kekerasan pada daerah lasan lebih tinggi dari pada daerah base metal. Adanya lasan juga mengakibatkan umur fatik lebih rendah. Pada penelitian ini disimpulkan bahwa kegagalan yang terjadi diakibatkan karena fatik.

Bhattacharyya et al (2007) melakukan penelitian dengan judul *failure analysis of an input shaft of skip drive gearbox*. Pada penelitian ini terdapat *shaft* yang patah. Adapun pengujian yang dilakukan yaitu uji SEM, uji *metallography*, uji kekerasan dan uji komposisi. Dari hasil yang didapatkan kegagalan terjadi karena kesalahan pemilihan material sehingga kekerasan material tidak



sesuai spesifikasi dan penyebab lain yaitu terjadi SCC (*stress corrosion cracking*).

Fuller et al (2007) melakukan penelitian dengan judul *failure analysis of AISI 304 stainless steel shaft*. Pada penelitian ini terdapat *shaft* yang patah. Adapun pengujian yang dilakukan yaitu uji komposisi, uji *metallography*, dan uji SEM. Dari hasil yang didapatkan kegagalan ini disebabkan karena kesalahan pemilihan material.

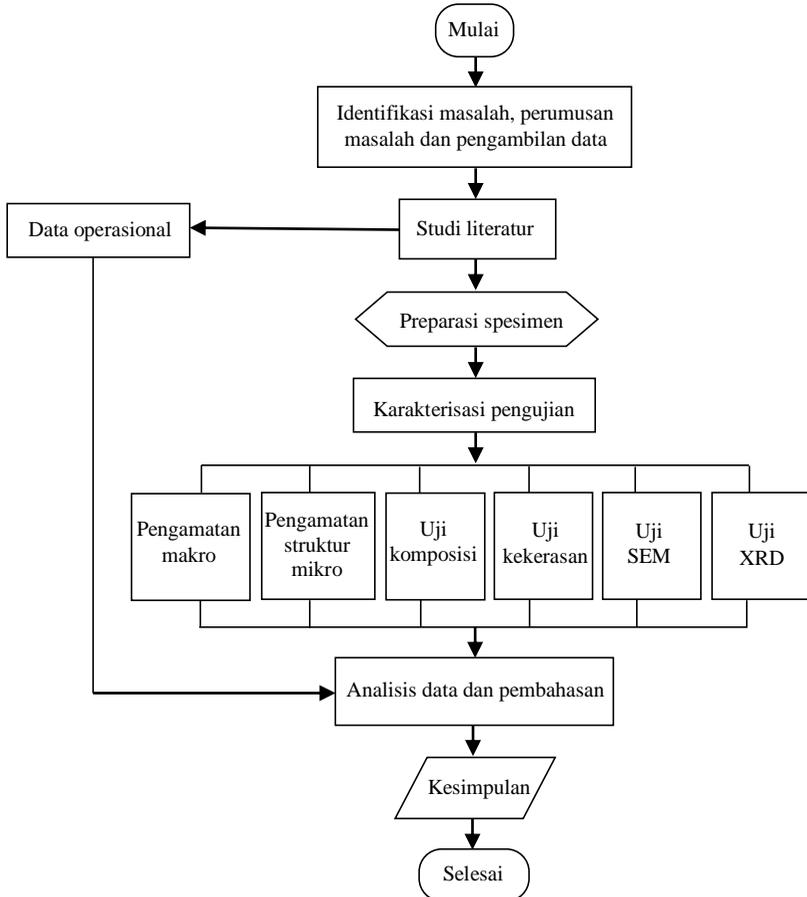
Shi Junbo et al (2017) melakukan penelitian dengan judul *fretting fatigue fracture of the supporting shaft in a rotary kiln*. Pada penelitian ini *shaft* mengalami kegagalan yaitu patah. Adapun pengujian yang dilakukan pada penelitian ini yaitu uji komposisi, uji tarik, uji kekerasan dan uji *metallography*. Dari hasil yang didapatkan kegagalan ini disebabkan karena fatik atau patah lelah.

Pada penelitian kali ini dilakukan untuk mengetahui penyebab terjadinya kegagalan *shaft gearbox* pada mesin *palletizer* di PT Holcim Tbk Tuban. Beberapa pengujian dilakukan untuk mendukung penelitian ini yaitu pengamatan secara makro, uji komposisi, uji metalografi, uji kekerasan, uji SEM dan Uji XRD.

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Diagram Alir Penelitian

Penelitian ini dilakukan berdasarkan alur yang ditunjukkan pada Gambar 3.1 dibawah ini



Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian



3.2 Metode Penelitian

Metode Penelitian yang digunakan dalam penelitian kali ini antara lain studi lapangan, studi literature dan pengujian. Adapun hal-hal yang mencakup penelitian antara lain:

1. Studi lapangan

Metode ini mengacu pada pencarian informasi tentang komponen yang akan diteliti beserta informasi tentang kegagalan yang terjadi pada komponennya dengan cara terjun langsung ke lapangan yaitu PT. Holcim Tbk., dan berdiskusi dengan dosen mata kuliah, dosen pembimbing, dan pihak PT. Holcim Tbk., yang ahli dibidangnya.

2. Studi Literatur

Metode studi literatur mengacu pada buku-buku, jurnal-jurnal penelitian, dan situs industri yang mempelajari tentang permasalahan analisa kegagalan khususnya *fatigue* pada *shaft* mesin

3. Pengujian

Metode ini dilakukan dengan pengujian langsung sesuai dengan prosedur dan metode yang ada. Adapun pengujian yang diperlukan dalam eksperimen ini yaitu : uji komposisi untuk mengetahui komposisi *shaft*, pengamatan makro, pengamatan struktur mikro, dan uji kekerasan menggunakan Vickers untuk mengetahui kekerasan dari *shaft* tersebut

3.3 Material yang Digunakan

1. Material

Pada tanggal 12 September 2017 ditemukan *shaft* pada mesin palletizer di PT. Holcim Tbk Tuban ada yang mengalami kepatahan seperti yang terlihat pada gambar 3.2.



Gambar 3.2 *Shaft Mesin Palletizer*

2. Spesimen

Spesimen yang digunakan pada penelitian ini adalah *shaft* mesin palletizer yang patah, diperlihatkan pada gambar 3.3 dan 3.4 berikut:



Gambar 3.3 *Shaft Mesin Palletizer yang Patah*



Gambar 3.4 Penampang Patahan *Shaft* Mesin *Palletizer*

3.4 Peralatan

Peralatan yang digunakan pada penelitian ini yaitu:

1. Penggaris digunakan untuk mengukur spesimen
2. Alat pemotong digunakan untuk memotong spesimen
3. Kamera digunakan untuk melihat kegagalan secara makro
4. Mesin uji kekerasan digunakan untuk mengetahui nilai kekerasan dari spesimen
5. Peralatan untuk pengujian metalografi seperti amplas *grade* 80 sampai 2000, mesin polish, dan larutan etsa
6. Mikroskop optik digunakan untuk mengetahui struktur mikro dari *shaft*



7. *Optical Emission Spectrometer* digunakan untuk mengetahui komposisi kimia unsur dari *shaft*
8. SEM digunakan untuk mengetahui karakterisasi pada permukaan patahan
9. XRD digunakan untuk mengetahui fasa dan tegangan sisa material *shaft*

3.5 Tahapan Penelitian

3.5.1 Review Dokumen Perusahaan

Review dokumen perusahaan dilakukan untuk mendapatkan data-data pendukung yang berkaitan dengan material yang akan diteliti yaitu *shaft* pada mesin palletizer, adapun data yang perlu didapatkan yaitu:

1. Data operasional
2. Spesifikasi Material

3.5.2 Pengujian Komposisi Unsur Kimia

Pengujian komposisi unsur kimia diperlukan untuk mengetahui jenis dari *shaft* pada mesin palletizer. Hal ini dikarenakan tidak adanya dokumen mengenai data komposisi unsur kimia di PT. Holcim Tbk, plant Tuban

3.5.3 Pengamatan Makro

Pengamatan makro ini dibutuhkan agar kita tahu apa yang akan dilakukan dengan material ini dengan kondisi kegagalan yang terjadi. Sebelum dilakukan preparasi spesimen kita harus tau bagian mana yang akan diambil untuk diuji.

3.5.4 Preparasi Spesimen

Sebelum melakukan pengujian maka perlu dilakukan preparasi terlebih dahulu. Preparasi ini adalah pemotongan pada bagian *shaft* daerah patahan dan yang jauh dari daerah patahan, hal ini dilakukan untuk membandingkan dengan kondisi yang rusak dan yang masih tergolong baik.



3.5.5 Pengujian Strukturmikro

Pada pengamatan strukturmikro dengan mikroskop optik dilakukan untuk menganalisis fasa, bentuk, dan ukuran strukturmikro. Hal ini digunakan untuk mengetahui proses manufaktur yang terjadi pada material tersebut. Pengujian ini dilakukan dengan menggunakan mikroskop optik *Olympus BX51M-RF* yang terlihat pada gambar 3.5. Pada pengujian metallografi dibagi menjadi dua tahap, yaitu :

1. Tahap persiapan

- *Grinding* : Menggosok spesimen dengan kertas gosok *grade* 80-2000 dan dialiri dengan air. Spesimen diputar 90° atau tegak lurus terhadap arah gosokan ketika pindah *grade*.
- *Polishing* : Memoles spesimen dengan pasta alumina di atas piringan yang berputar cepat. Proses ini akan menghasilkan permukaan yang mengkilat seperti cermin.
- *Etching* : Mencelup permukaan spesimen ke dalam larutan nital. Tidak hanya dengan cara dicelupkan tetapi ada acara lain yaitu dioleskan. Pengolesan etsa nital biasanya dilakukan apabila spesimen dengan cara pengetsaan yang dicelup gosong.

2. Tahap pengamatan

Tahap pengamatan dilakukan untuk mengamati struktur mikro spesimen dengan mikroskop optik dengan beberapa kali perbesaran. Hal ini dimaksudkan agar struktur mikro yang akan diamati lebih jelas apabila memakai pembesaran yang sesuai.



Gambar 3.5 Mikroskop Optik *Olympus BX51M-RF*

3.5.6 Pengujian Kekerasan

Pengujian kekerasan dilakukan untuk mengetahui distribusi kekerasan dengan melakukan indentasi di beberapa titik pada sampel material. Pengujian ini dilakukan dengan metode Vickers dimana dalam pengujiannya memakai indentor piramida intan, pembebanan sebesar 100 kg dan waktu indentasi selama 10 detik. Pengujian ini menggunakan *Universal Hardness Tester HBRV 187.5A* yang ditunjukkan pada gambar 3.6 di Laboratorium Metalurgi, Departemen Teknik Material ITS.



Gambar 3.6 Alat Uji kekerasan *Universal Hardness Tester HBRV 187.5A*



3.5.7 Pengujian SEM

Pengujian SEM dilakukan untuk mengetahui informasi yang terdapat pada permukaan patahan suatu material. Pengujian ini dilakukan di Departemen Teknik Material dengan alat yang ditunjukkan pada gambar 3.7:



Gambar 3.7 Alat Uji SEM

3.5.8 Pengujian XRD

Pengujian XRD dilakukan untuk mengetahui karakterisasi Kristal dari material *shaft*. Pengujian ini dilakukan di Departemen Teknik Material dengan alat yang ditunjukkan pada gambar 3.8:



Gambar 3.8 Alat Uji XRD



3.6 Rancangan Penelitian

Rancangan penelitian pada kasus ini ditunjukkan pada tabel 3.1:

Tabel 3.1 Rancangan Penelitian

Bahan	Pengujian			XRD
	Vickers	Strukturmikro	SEM	
Daerah yang dekat dari patahan	√	√	√	√
Daerah yang jauh dari patahan	√	√	-	√



(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB IV ANALISIS DATA DAN PEMBAHASAN

4.1 Analisis Data

4.1.1 Data Operasional Lapangan

Mesin *palletizer* di PT Holcim Tbk plant Tuban menggunakan motor untuk menggerakkan mesin tersebut. Pada penelitian ini *shaft* dibagian *gearbox* yang menyalurkan daya dari motor ke mesin sehingga mesin dapat berfungsi dengan baik mengalami kerusakan yaitu patah. Tabel 4.1 menjelaskan data oper motor dan Tabel 4.2 menjelaskan data operasional mesin *palletizer*.

Tabel 4.1 Data Motor

Berat motor + reducer	28,346 kg
<i>maximum permitted input speed</i>	1435 rpm
<i>permitted voltage</i>	400 V
<i>rate frequency</i>	50 Hz
<i>Current</i>	1,75 A

Tabel 4.2 Data Operasional Mesin *Palletizer*

Temperatur	$\pm 27^{\circ}\text{C}$
Beban (5x50 kg)	250 kg
Durasi	3 <i>second</i>

4.1.2 Hasil Pengujian Komposisi Kimia Material *Shaft*

Pengujian ini dilakukan untuk mengamati komposisi kimia pada *shaft* dengan menggunakan OES (Optical Emission Spectroscopy). Berdasarkan ASTM A29 hasil yang didapatkan menunjukkan material yang digunakan untuk *shaft gearbox* adalah AISI 1030. Tabel 4.3 menunjukkan hasil pengujian yang dicocokkan dengan salah satu komposisi unsur ASTM A29 dan Tabel 4.4 menunjukkan hasil pengujian yang dibandingkan dengan salah satu komposisi unsur yang bisa digunakan untuk *shaft* yang tertera pada ASTM A291.



Tabel 4.3 Pencocokan Hasil Uji Komposisi *Shaft* dengan ASTM A29

Unsur	Kadar (%)	1030 (ASTM A29)
C	0,315	0,28-0,34
Si	0,151	-
Mn	0,771	0,60-0,90
P	0,0133	0,040 max
S	0,0190	0,050 max
Cr	0,198	-
Mo	0,0180	-
Cu	0,180	-
Ni	0,115	-
Fe	98,2197	-

Tabel 4.4 Perbandingan Hasil Uji Komposisi *Shaft* dengan ASTM A291

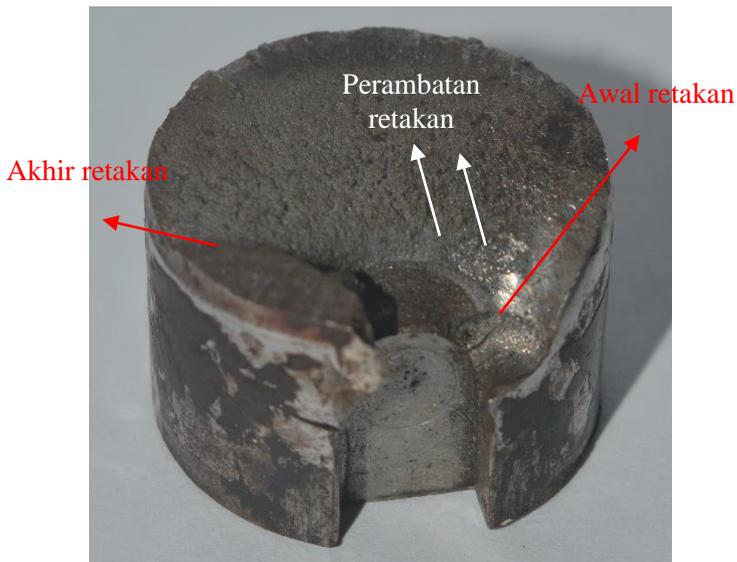
Unsur	Kadar (%)	ASTM A291
C	0,315	0,55 max
Si	0,151	0,35 max
Mn	0,771	0,60-0,90
P	0,0133	0,040 max
S	0,0190	0,040 max
Cr	0,198	0,25 max
Mo	0,0180	0,10 max
Cu	0,180	0,35 max
Ni	0,115	0,30 max
Fe	98,2197	-

Tabel 4.3 merupakan komposisi kimia spesimen *shaft gearbox* memiliki kesesuaian dengan ASTM A29 yaitu dengan komposisi seperti itu merupakan baja karbon menengah yaitu AISI 1030. Tabel 4.4 merupakan komposisi kimia spesimen *shaft gearbox* yang dibandingkan dengan ASTM A291 yang menjelaskan tentang komposisi yang cocok untuk digunakan

sebagai *shaft*. *Shaft* yang diteliti tidak memiliki sertifikat sehingga perlu dilakukan uji komposisi untuk mengetahui jenis material yang digunakan sebagai *shaft* tersebut.

4.1.3 Hasil Pengamatan Makroskopik

Tampak pada gambar-gambar dibawah ini menunjukkan kegagalan *shaft* yang terjadi di PT Holcim Tbk Tuban.



Gambar 4.1 Permukaan Patahan *Shaft*

Pada gambar 4.1 terlihat jelas permukaan patahan dari *shaft gearbox*. Pada permukaan patahan *shaft* ini ditandai dengan adanya area awal retakan (*crack initiation*), perambatan retak (*crack propagation*) yang ditandai dengan adanya garis pantai dan *final fracture* dengan patahan yang kasar yang terlihat pada gambar 4.2. Garis-garis striasi halus terlihat jelas pada area tengah permukaan patahan. Munculnya garis-garis striasi menandakan bahwa pada *shaft gearbox* tersebut mengalami beban atau kerja yang berulang.

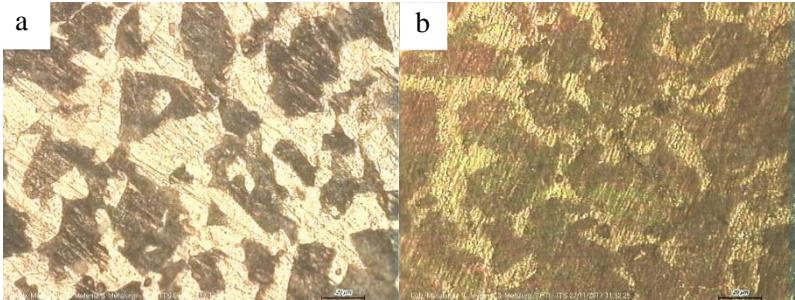


Gambar 4.2 Ujung Patahan *Shaft*

4.1.4 Hasil Pengamatan Struktur Mikro Material *Shaft*

Pengamatan strukturmikro menggunakan alat mikroskop optik. Pengamatan ini berguna untuk melengkapi karakterisasi dari material yang digunakan untuk *shaft gearbox* tersebut. Pengamatan strukturmikro dilakukan di 2 daerah yaitu daerah yang jauh dari patahan dan daerah yang dekat dari patahan. Hal ini dilakukan untuk mengetahui apakah ada perubahan yang terjadi pada strukturmikro pada dua daerah tersebut.

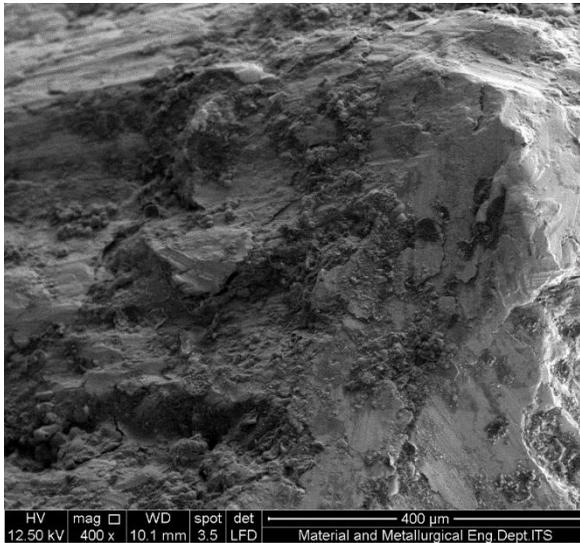
Pada hasil pengamatan struktur mikro terdapat 2 fasa yang diperoleh yaitu fasa ferit dan perlit. Hal ini sesuai dengan penjelasan pada diagram fasa Fe-Fe₃C bahwa baja dengan kadar karbon 0,3% C akan memiliki fasa ferit dan perlit. Gambar 4.3 (a) merupakan hasil *metallography* pada daerah yang jauh dari patahan. Sedangkan gambar 4.3 (b) merupakan hasil *metallography* pada daerah yang dekat patahan. Strukturmikro pada daerah yang dekat dari patahan terlihat lebih memanjang dari pada strukturmikro daerah yang jauh dari patahan. Hal ini disebabkan karena pada daerah yang dekat dengan patahan mengalami *strain hardening* yang mengakibatkan terjadinya deformasi pada struktur mikro material *shaft* tersebut.



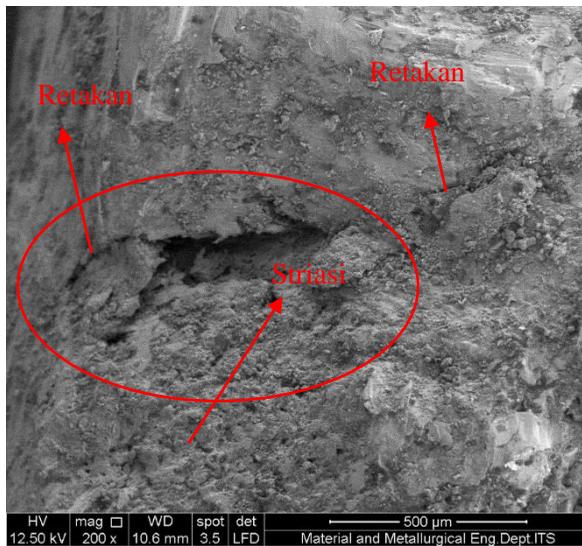
Gambar 4.3 Struktur Mikro *Shaft* (a) Daerah yang Jauh dari Patahan Menggunakan Etsa Nital dengan Perbesaran 50x (b) Daerah yang Dekat dari Patahan Menggunakan Etsa Nital dengan Perbesaran 50x

4.1.5 Hasil Pengamatan SEM (*Scanning Electron Microscope*)

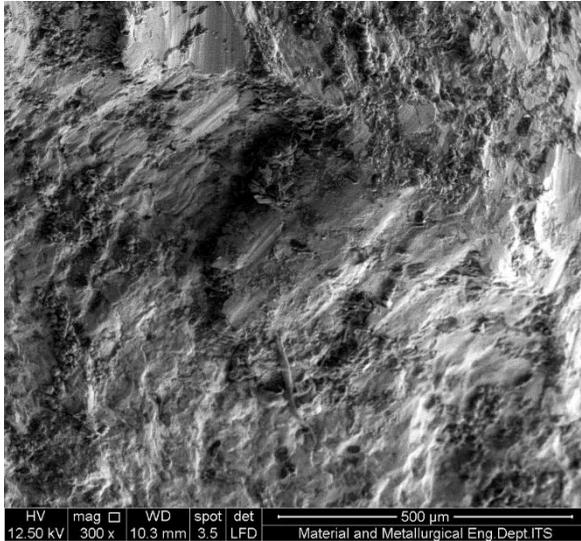
Sama halnya seperti pengamatan struktur mikro, pengamatan SEM ini dilakukan juga untuk melengkapi karakterisasi pada bagian permukaan dari material yang digunakan untuk *shaft gearbox* tersebut. Gambar 4.4, 4.5, 4.6 dan 4.7 merupakan hasil pengamatan SEM pada permukaan *shaft* yang patah. Pada hasil pengamatan SEM tersebut terlihat jelas adanya retakan dan juga terdapat garis-garis striasi halus pada permukaan patahan *shaft* tersebut.



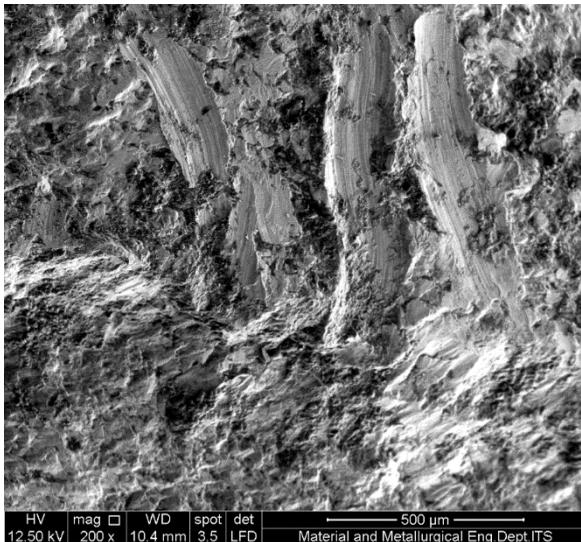
Gambar 4.4 Fraktografi pada Permukaan *Shaft*



Gambar 4.5 Fraktografi Bagian Tepi Permukaan Patahan *Shaft*



Gambar 4.6 Fraktografi Bagian Tepi Permukaan Patahan *Shaft*

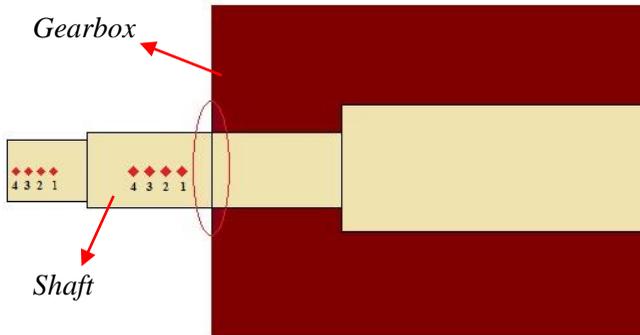


Gambar 4.7 Fraktografi Bagian Permukaan Patahan *Shaft* di Daerah Akhir Patahan



4.1.6 Hasil Pengujian Kekerasan Material *Shaft*

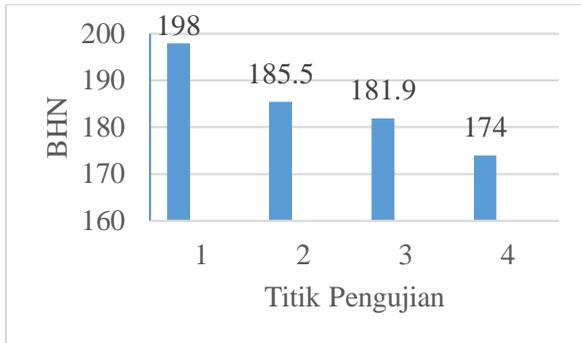
Pengujian kekerasan pada material *shaft gearbox* dilakukan untuk mengetahui nilai kekerasan dari material tersebut. Pengujian menggunakan 2 sampel yaitu yang pertama pengujian dilakukan pada daerah yang jauh dari patahan dan yang kedua pada daerah yang dekat dari patahan. Pada setiap sampel dilakukan 4 kali indentasi menggunakan metode Vickers. Gambar 4.8 merupakan skema titik-titik pengujian yang dilakukan pada material *shaft* yang diteliti. Hasil pengujian kekerasan ini ditunjukkan pada tabel 4.5 dan 4.6. Sedangkan untuk distribusi kekerasan ditunjukkan pada gambar 4.9 dan 4.10.



Gambar 4.8 Titik-titik Pengujian Kekerasan

Tabel 4.5 Hasil Uji Kekerasan *Shaft* pada Daerah yang Jauh dari Patahan

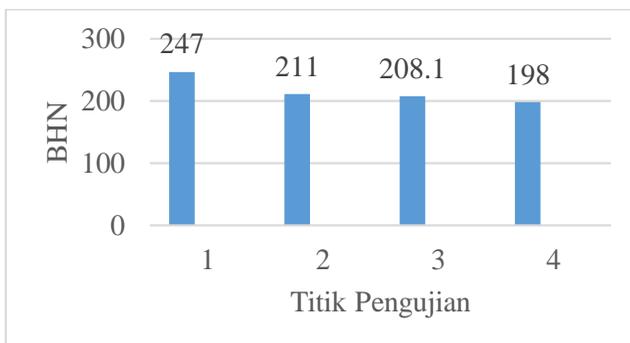
Titik	D1	D2	HV	BHN
1	0,928	0,962	208	198
2	0,978	0,972	195	185,5
3	0,984	0,988	191	181,9
4	1,006	1,008	183	174
Rata-rata			194,25	184,85



Gambar 4.9 Distribusi Kekerasan *Shaft* Daerah yang Jauh dari Patahan

Tabel 4.6 Hasil Uji Kekerasan *Shaft* pada Daerah yang Dekat dari Patahan

Titik	D1	D2	HV	BHN
1	0,792	0,892	260	247
2	0,884	0,942	222	211
3	0,878	0,964	219	208,1
4	0,932	0,954	208	198
Rata-rata			227,25	216,025

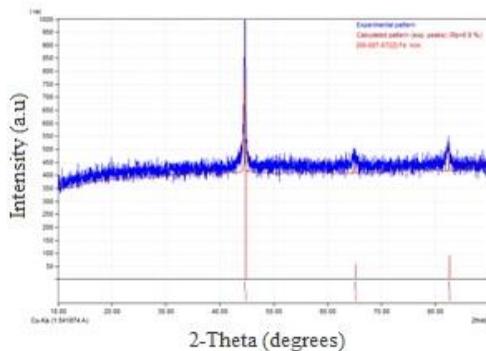


Gambar 4.10 Distribusi Kekerasan *Shaft* Daerah yang Dekat dari Patahan

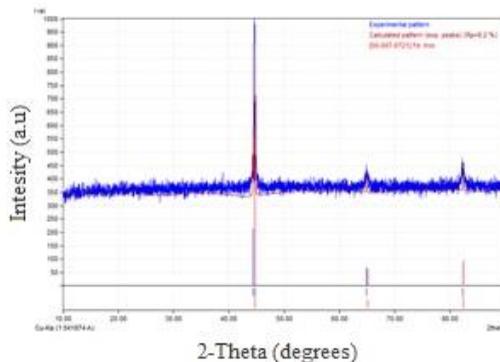


4.1.7 Hasil Analisis *Rietveld*

Analisis *rietveld* bertujuan untuk menganalisis tegangan dan regangan sisa dengan metode *Rietveld* pada material *shaft gearbox*. Analisis menggunakan program *rietica* dan MAUD berdasarkan data pengujian XRD yang ditunjukkan pada gambar 4.11 dan 4.12. Hasil *output* dari program *rietica* dapat dilihat pada tabel 4.7 dan hasil perhitungan regangan dan tegangan sisa pada material *shaft gearbox* dapat dilihat pada tabel 4.8.



Gambar 4.11 Hasil Uji XRD pada Daerah yang Jauh dari Patahan



Gambar 4.12 Hasil Uji XRD pada Daerah yang Dekat dari Patahan



Tabel 4.7 Hasil *Output* Program *Rietica* pada Material *Shaft Gearbox*

Bagian	Rp	Rwp	x^2
Jauh dari patahan	3,93	6,13	2,93
Dekat dari patahan	3,67	5,94	3,23

Tabel 4.8 Hasil Perhitungan Regangan dan Tegangan Sisa

Bagian	Regangan	Tegangan (MPa)
Jauh dari patahan	0,000157437	31,4874
Dekat dari patahan	0,000551367	110,2734

4.2 Pembahasan

Berdasarkan hasil uji komposisi unsur kimia menggunakan OES, komposisi kimia dari *shaft gearbox* tersebut sesuai dengan komposisi kimia material AISI 1030 yang ditunjukkan pada tabel 4.3. *Shaft* ini termasuk baja karbon sedang atau *medium*. Baja karbon sedang dalam dunia teknik biasanya digunakan sebagai alat-alat perkakas, poros, engkol, roda gigi, ragum, pegas, dan lain-lain. Material yang digunakan sebagai *shaft gearbox* ini sesuai dengan ASTM A291 yang ditunjukkan pada tabel 4.4 tentang penggunaan komposisi kimia material yang cocok digunakan sebagai *shaft*. Kegagalan yang terjadi pada *shaft* ini bukan dikarenakan kesalahan pemilihan material. Kegagalan yang terjadi bisa saja disebabkan karena kondisi operasi yang berlebihan, cacat produksi, dan pemeriksaan yang kurang baik (Brooks, 2002).

Shaft tersebut menerima pembebanan secara terus menerus baik dari motor maupun mesin. Pada *gearbox* juga terdapat *gear* yang memberikan beban torsi kepada *shaft*. Pembebanan yang didapat *shaft* dari motor yaitu sebesar 4,99 N.m dan pembebanan yang didapat dari mesin untuk mengangkat 5 kantong semen yaitu sebesar 350 kg. Momen bending dari *shaft* tersebut yaitu sebesar 342 Mpa. Kegagalan *shaft* juga bisa dikarenakan pembebanan yang berlebihan atau *overload*. Selain pembebanan yang berlebihan, kegagalan juga bisa disebabkan karena perawatan komponen atau



maintenance yang tidak benar sehingga kegagalan tidak bisa dihindari.

Dari pengujian struktur mikro pada gambar 4.3 didapatkan struktur mikro ferit dan perlit yang mendukung karakterisasi material ini sebagai *carbon steel* dan juga sesuai dengan diagram fasa Fe-Fe₃C bahwa struktur mikro dengan kadar karbon 0,3%C adalah ferit dan perlit (Callister, 2014). Pada gambar 4.3 (a) menunjukkan hasil pengujian struktur mikro material *shaft* di daerah yang jauh dari patahan. Terlihat hasil dari struktur mikro tersebut terdapat 2 fasa yang berbeda yaitu fasa ferit dan perlit. Fasa ferit terlihat lebih dominan dibandingkan dengan perlit. Hal ini disebabkan karena sifat dari baja dengan kadar karbon 0,3% C sedikit ulet sehingga perlit lebih sedikit dari pada ferit. Apabila dilihat dari diagram fasa Fe-Fe₃C didapatkan perhitungan perbandingan fasa pada 0,3% C yaitu sebagai berikut :

$$\alpha = \frac{0,8-0,3}{0,8-0,008} \times 100\% = 63,13\%$$

$$p = \frac{0,3-0,008}{0,8-0,008} \times 100\% = 36,87\%$$

Dari hasil perhitungan terlihat banyaknya fasa ferit dan perlit. Berdasarkan perhitungan dari *lever rule* diagram fasa Fe-Fe₃C yaitu banyaknya perlit hampir setengah dari ferit sehingga sifat dari baja ini tidak terlalu keras.

Pada gambar 4.3 (b) menunjukkan hasil pengujian struktur mikro material *shaft* di daerah yang dekat dari patahan. Sekilas terlihat tidak ada yang berubah karena struktur yang terbentuk tetap yaitu ferit dan perlit. Akan tetapi, struktur mikro di daerah yang dekat patahan terlihat strukturnya memanjang (terjadi *elongation*). Terjadinya pertambahan panjang dari struktur mikro material tersebut disebabkan karena terjadi *strain hardening* pada material sebelum mengalami patah. *Strain hardening* sendiri yaitu pengerasan regangan yang disebabkan karena pergeseran dislokasi. Dislokasi pada logam semakin rapat dan meningkat serta terjadi



pembentukan dislokasi baru. Dengan adanya pembentukan dislokasi baru membuat dislokasi lama terdesak. Pada saat material akan mengalami patah terjadi peregangan sehingga struktur mikro dari material tersebut mengalami penarikan dan membuat struktur mikronya terlihat memanjang.

Material yang mengalami pembebanan pada umumnya akan mengalami peningkatan tegangan dalam yang dikenal dengan *strain hardening*. Terjadinya *strain hardening* juga sangat dipengaruhi oleh seberapa besar beban luar yang dikenakan pada material tersebut. Beban yang dikenakan pada material akan menyebabkan material mengalami reaksi terhadap beban tersebut dengan mengalami deformasi yaitu mengalami regangan atau *strain*. Selama regangan masih dalam batas kemampuan material untuk menahan, maka energi dari luar tersebut yang berupa beban akan digunakan oleh material untuk mengalami peregangan. Akibatnya energi dalam material akan meningkat. Atau hal ini dikenal dengan terjadinya *internal stress* atau tegangan dalam. Semakin besar tegangan dalam yang terjadi dapat menyebabkan kerusakan atau perpatahan pada material, jika tegangan tersebut melebihi kemampuan kekuatan dari material tersebut (Rusianto, 2008).

Dari hasil pengamatan makroskopik pada gambar 4.1 dan 4.2 terlihat jelas dari permukaan patahan terdapat adanya *initial crack* atau awal retakan yang terdapat di pinggir cekungan. Awal retakan terjadi pada daerah tersebut karena pada daerah tersebut merupakan pusat tegangan sehingga lebih sering terjadi retakan pada daerah tersebut. Retak mulai menjalar dan akhirnya menyebabkan patah yang berujung di daerah seberang terjadinya awal retakan. Pada daerah tengah permukaan patahan material *shaft* tersebut terlihat adanya garis striasi yang halus. Penjalaran retak disepanjang permukaan patahan ditandai dengan adanya garis pantai. Sedangkan pada akhir patahan terlihat dengan jelas permukaannya lebih kasar.

Jika dilihat dari pola patahan, maka pola patahan *shaft* ini termasuk pola patahan akibat *rotasi bending* seperti yang



ditunjukkan pada skema pola patahan di gambar 2.15. Selain itu dari hasil uji SEM terlihat pada permukaan patahan terdapat garis striasi halus. Garis striasi yang timbul disebabkan karena adanya pembebanan berulang yang dialami oleh komponen sebelum patah.

Pada gambar 4.4, 4.5, 4.6 dan 4.7 merupakan hasil dari uji SEM pada permukaan patahan *shaft*. Pada gambar 4.4 menunjukkan hasil fraktografi pada permukaan patahan *shaft*. Pada gambar 4.5 menunjukkan adanya retakan. Di daerah tersebut juga terlihat adanya garis striasi halus. Adanya retakan menandakan awal terjadinya kegagalan pada material *shaft*. Pembebanan berulang dan terus menerus yang dialami oleh komponen akan menyebabkan retak yang terbentuk akan mudah menjalar hingga akhirnya mencapai dimensi yang cukup signifikan untuk menyebabkan komponen patah (Sutowo, 2014). Pada gambar 4.6 dan 4.7 merupakan hasil uji SEM pada daerah akhir patahan. Dari hasil SEM tersebut terlihat patahan lebih kasar dan lebih gelap.

Pengujian kekerasan dilakukan pada 2 daerah yaitu daerah yang jauh dari patahan dan daerah yang dekat dengan patahan. Daerah yang jauh dari patahan diambil di ujung material *shaft* dengan 4 titik pengujian. Hasil pengujian kekerasan ditunjukkan pada tabel 4.5. Titik 1 didapatkan nilai kekerasan 208 HV. Titik 2 didapatkan nilai kekerasan 195 HV. Titik 3 didapatkan nilai kekerasan 191 HV dan titik 4 di ujung *shaft* didapatkan nilai kekerasan 183 HV. Semakin jauh titik pengujian dari daerah patahan maka kekerasan semakin menurun. Hal ini ditunjukkan oleh distribusi kekerasan pada gambar 4.9 semakin menurun.

Pengujian kekerasan yang kedua dilakukan pada daerah yang dekat dari patahan. Hasil pengujian kekerasan ditunjukkan pada tabel 4.6. Titik 1 di daerah ujung patahan didapatkan nilai kekerasan 260 HV. Titik 2 didapatkan nilai kekerasan 222 HV. Titik 3 didapatkan nilai kekerasan 219 HV dan titik 4 didapatkan nilai kekerasan 208 HV. Sama halnya pada daerah yang jauh dari daerah patahan, nilai kekerasan akan semakin turun seiring jauhnya titik pengujian dengan patahan. Hal ini ditunjukkan oleh distribusi kekerasan pada gambar 4.10 semakin menurun.



Dari data hasil pengujian didapatkan nilai kekerasan yang sesuai dengan standar pada ASTM A291. Akan tetapi, pada daerah yang dekat dari patahan didapatkan nilai kekerasan yang lebih tinggi dari nilai kekerasan daerah yang jauh dari patahan. Hal ini disebabkan karena pada daerah yang dekat dari patahan mengalami *strain hardening* sehingga menyebabkan kekerasan di daerah yang dekat dengan patahan meningkat.

Bila dilihat dari hasil analisis *rietveld* yang digunakan untuk menghitung analisis regangan dan tegangan sisa yang diinputkan dari hasil XRD seperti yang ditunjukkan pada gambar 4.11 dan 4.12 dapat dilihat hasilnya yaitu pada tabel 4.8 bahwa daerah yang dekat dari patahan memiliki nilai regangan dan tegangan sisa yang lebih besar dibandingkan dengan daerah yang jauh dari patahan. Semakin besar tegangan dalam atau tegangan sisa yang terbentuk dapat menyebabkan kerusakan atau perpatahan pada material jika tegangan tersebut melebihi kemampuan kekuatan dari material tersebut (Rusianto, 2008).



(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Kesimpulan yang dapat diambil dari penelitian ini yaitu :

1. Berdasarkan hasil penelitian didapatkan faktor-faktor penyebab terjadinya kegagalan:
 - a. Terjadi *strain hardening* pada material *shaft* sebelum patah yang menyebabkan kekerasan material di dekat daerah patahan meningkat dan *strain hardening* menyebabkan adanya tegangan sisa sehingga menyebabkan komponen patah atau mengalami kegagalan pada material jika tegangan tersebut melebihi kemampuan kekuatan dari material tersebut
 - b. Pola patahan termasuk pola patahan *rotasi bending*. Terdapat retakan sebelum material patah yang ditandai dengan adanya awal retakan (*crack initiation*) yang terjadi pada ujung rumah pasak, penjalaran retak (*crack propagation*) yang ditandai dengan adanya garis pantai dan *final fracture* dengan permukaan yang kasar. Pada daerah tengah permukaan patahan terdapat garis-garis striasi halus yang menandakan adanya pembebanan berulang
 - c. Kegagalan yang terjadi pada *shaft* ini bukan dikarenakan kesalahan material. Kegagalan yang terjadi bisa saja disebabkan karena kondisi operasi yang berlebihan, cacat produksi, dan pemeriksaan yang kurang baik.
2. Mekanisme terjadinya kegagalan pada kasus ini disebabkan karena ada beban berulang dan terus menerus sehingga pada saat mencapai titik maksimum komponen menerima beban akan menyebabkan komponen patah. Terdapat retakan pada daerah rumah pasak dimana daerah tersebut merupakan daerah terjadinya gesekan antara *shaft*



dengan komponen motor yang lain seperti *gear* dan daerah tersebut juga merupakan daerah pemusatan tegangan

3. Hal-hal yang perlu dilakukan agar kegagalan *shaft* tidak terjadi lagi yaitu perlu dilakukan pengecekan secara berkala sehingga bisa langsung ditangani sebelum akhirnya terjadi kegagalan. Hal lain yang perlu diperhatikan yaitu masalah *maintenance* atau perawatan komponen mesin sehingga bisa meminimalisir terjadinya kegagalan pada *shaft* maupun komponen motor ataupun mesin yang lainnya.

5.2 Saran

Saran dari penelitian ini yaitu :

1. *Maintenance* atau perawatan komponen-komponen motor maupun mesin lebih diperhatikan
2. Pengoperasian alat lebih diperhatikan karena salah satu faktor kegagalan bisa saja disebabkan karena kesalahan operasi
3. Mengurangi sudut-sudut tajam pada komponen supaya mengurangi kemungkinan adanya retakan

DAFTAR PUSTAKA

- _____, 1990. ASM Handbook Volume 1 : *Properties and Selection: Irons Steel and High Performance Alloys*. USA: ASM International
- _____, 2003. ASTM A29/A29M-03 : *Standard Specification for Steel Bars, Carbon and Alloy, Hot-Wrought and Cold-Finished, General Requirements for*. Material Park: ASTM International
- _____, 2003. ASTM A291-03 : *Standard Specification for Steel Forgings, Carboon and Alloy, for Pinions, Gears and Shaft for Reduction Gears*. Material Park: ASTM International
- _____, 2007. ASTM E3-01 : *Standard Guide for Preparation of Metallographic Specimens*. Material Park: ASTM International
- _____, 2003. ASTM E92-82 : *Standard Test Method for Vickers Hardness for Metallic Material*. Material Park: ASTM International
- _____, 2010. SEW Eurodrive. *Assembly and Operating Instructions*
- _____, 2012. *Translation of the Original Instructions-Operating Instruction*. Polysius AG TUBAFA Indonesia
- Avner, Sidney H. 1974. *Introduction to Physical Metallurgy*. Singapore: McGraw-Hill Book Co
- Basselo, Daswin dkk. 2014. *Optimasi Diameter Poros Terhadap Variasi Diameter Sproket pada Roda Belakang Sepeda Motor*. Teknik Mesin Universitas Sam Ratulangi
- Bhattacharyya, Sandip dkk. 2007. *Failure Analysis of an Input Shaft of Skip Drive Gearbox*. India
- Brooks, Charlie and Choudhury, Ashok. 2002. *Failure Analysis of Engineering Materials*. New York: McGraw-Hill
- Callister Jr, William D. 2014. *Materials Science and Engineering an Introduction, 9th Edition*. New Jersey: John Wiley & Sons, Inc, Hoboken

- Darami, Asy'ari Yunus. 2009. *Struktur dan Sifat Material*. Jakarta: Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Darma Persada
- Fuller, R.W dkk. 2007. *Failure Analysis of AISI 304 Stainless Steel Shaft*. USA
- Moolwan, Charmont dkk. 2013. *Failure Analysis of a two High Gearbox Shaft*. Bangkok
- Nishida, Shin-ichi. 1992. *Failure Analysis in Engineering Application*. Oxford: Butterworth- Heinemann
- Rusianto, Toto. 2008. *Pengaruh Tegangan Dalam (Internal Stress) terhadap Laju Korosi pada Baut*. Yogyakarta: Teknik Mesin FTI IST AKPRIND
- Sarjito, dkk. 2009. *Analisa Kekuatan Puntir, Lentur Putar dan Kekerasan Baja St 60 untuk Poros Propeller Setelah Diquenching*. Semarang: Teknik Perkapalan Fakultas Teknik Universitas Diponegoro
- Shi, Junbo dkk. 2017. *Fretting Fatigue Fracture of the Supporting Shaft in a Rotary Kiln*. China
- Sugiarto, Teguh dkk. 2013. *Analisis Uji Ketahanan Lelah Baja Karbon Sedang AISI 1045 dengan Heat Treatment (Quenching) dengan Menggunakan Alat Rotary Bending*. Lampung: Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Lampung
- Sutowo, Cahya dkk. 2014. *Analisa Kegagalan pada Poros Baja Karbon S45C Aplikasi Komponen As Sink Roll*. Tangerang: Pusat Penelitian Metalurgi dan Material LIPI
- Tawaf, Nanang dkk. 2014. *Analisis Fatigue Failure Suhu Rendah Struktur Batang Aluminium dengan Mesin Siklus Bending*. Malang: Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Brawijaya
- Tiastuti, Jesi. 2016. *Analisis Perambatan Retak Fatik Baja AISI 1020*. Lampung: Fakultas Teknik Universitas Lampung
- Van, Gys Zyl. 2013. *Failure Analysis of Conveyor Pulley Shaft*. Saudi Arabia: SABIC T&I Jubail

Widagdo, Ari. 2011. *System Kerja Mesin Pindahan Krat ke Palet (Palletizer) pada PT. Sinar Sosro Ungaran*. Semarang: Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Diponegoro

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

LAMPIRAN

1. Data Motor



2. Gambar Motor Beserta Gearbox



3. Konversi dari HV ke BHN

a. Daerah yang jauh dari patahan

$$\begin{aligned} & - 208 \text{ HV (1)} \\ & \frac{208 - 200}{210 - 200} = \frac{y - 190}{200 - 190} \\ & y = 198 \text{ BHN} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} & - 195 \text{ HV (2)} \\ & \frac{195 - 190}{200 - 190} = \frac{y - 181}{190 - 181} \\ & y = 185,5 \text{ BHN} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} & - 191 \text{ HV (3)} \\ & \frac{191 - 190}{200 - 190} = \frac{y - 181}{190 - 181} \\ & y = 181,9 \text{ BHN} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} & - 183 \text{ HV (4)} \\ & \frac{183 - 180}{190 - 180} = \frac{y - 171}{181 - 171} \\ & y = 174 \text{ BHN} \end{aligned}$$

b. Daerah yang dekat dari patahan

$$- 260 \text{ HV (1)} = 247 \text{ BHN}$$

$$\begin{aligned} & - 222 \text{ HV (2)} \\ & \frac{222 - 220}{230 - 220} = \frac{y - 209}{219 - 209} \\ & y = 211 \text{ BHN} \end{aligned}$$

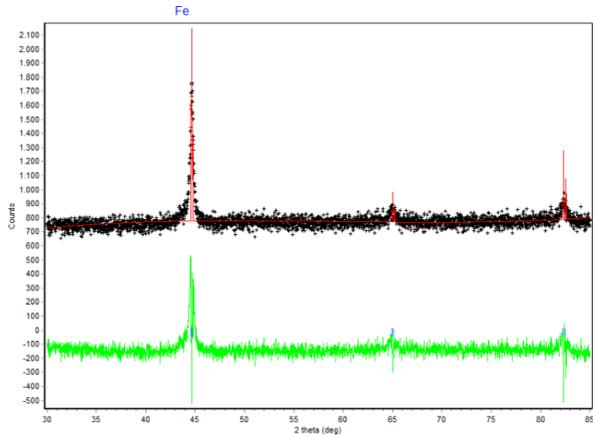
$$\begin{aligned} & - 219 \text{ HV (3)} \\ & \frac{219 - 210}{220 - 210} = \frac{y - 200}{209 - 200} \\ & y = 208,1 \text{ BHN} \end{aligned}$$

$$- 208 \text{ HV (4)}$$

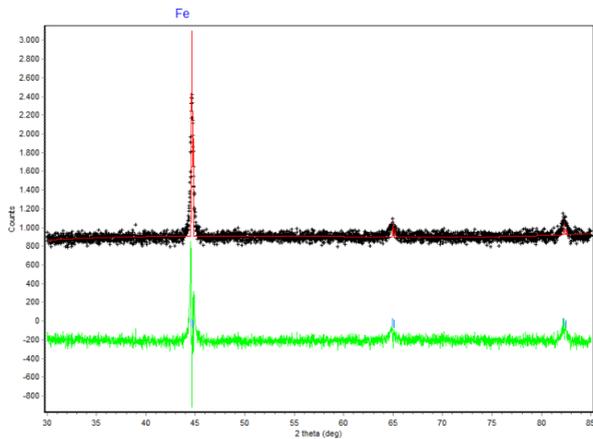
$$\frac{208 - 200}{210 - 200} = \frac{y - 190}{200 - 190}$$

$$y = 198 \text{ BHN}$$

4. Hasil XRD Setelah di Rietica
 a. Daerah Jauh dari Patahan

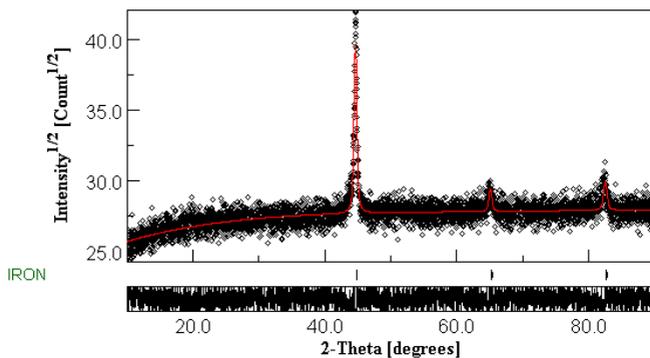


b. Daerah Dekat dari Patahan

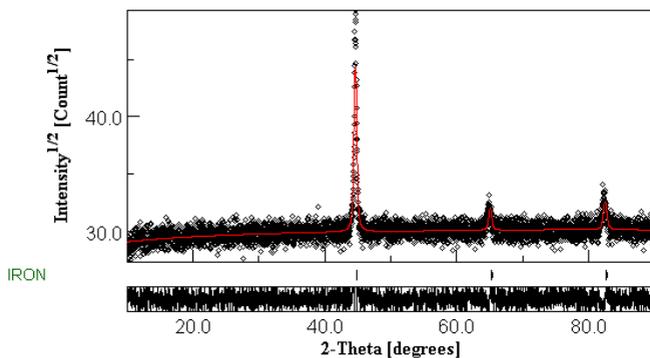


5. Hasil XRD Setelah di MAUD

a. Daerah Jauh dari Patahan



b. Daerah Dekat dari Patahan



6. Perhitungan Tegangan Sisa

a. Daerah Jauh dari Patahan

Modulus Elastisitas 1030 = 200 GPa = 200000 MPa

Dari Hasil MAUD (Regangan = 0,000157437)

$$\sigma = E \times \varepsilon$$

$$= 200000 \times 0,000157437$$

$$= 31,4874 \text{ MPa}$$

b. Daerah Dekat dari Patahan

Modulus Elastisitas 1030 = 200 GPa = 200000 MPa

Dari Hasil MAUD (Regangan = 0,000551367)

$$\begin{aligned}\sigma &= E \times \varepsilon \\ &= 200000 \times 0,000551367 \\ &= 110,2734 \text{ MPa}\end{aligned}$$

7. Perhitungan beban torsi dari motor

$$\begin{aligned}T &= \frac{P \times 60}{2 \times \pi \times N} \\ T &= \frac{0,75 \times 10^3 \times 60}{2 \times \pi \times 1435} \\ T &= 4,99 \text{ N.m}\end{aligned}$$

8. Perhitungan bending

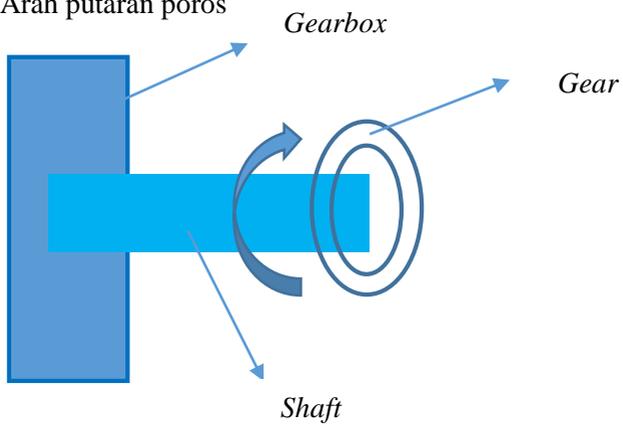
$$\begin{aligned}M &= F \times d \\ M &= 350 \text{ kg} \times 0,15 \text{ m} \\ M &= 525 \\ y &= \frac{1}{2}D \\ y &= \frac{1}{2} \times 0,025 \text{ m} \\ y &= 0,0125 \text{ m} \\ I &= \frac{\pi \times D^4}{64} \\ I &= \frac{3,14 \times 0,025^4}{64} \\ I &= 19,165 \times 10^{-9} \text{ m}^4\end{aligned}$$

$$\sigma = \frac{M \times y}{I}$$

$$\sigma = \frac{525 \times 0,0125}{19,165 \times 10^{-9}}$$

$$\sigma = 342 \text{ MPa}$$

9. Arah putaran poros



BIODATA PENULIS



Asia, Lahir di Sumenep pada tanggal 28 Februari 1997. Penulis menempuh pendidikan dasar di SDN Pinggir Papas II. Kemudian dilanjutkan ke jenjang pertama di SMPN 2 Sumenep. Selanjutnya dilanjutkan ke jenjang atas di SMAN 1 Sumenep. Lalu penulis melanjutkan pendidikan ke perguruan tinggi negeri yaitu di Departemen Teknik Material dan Metalurgi FTI-ITS.

Selama menempuh perkuliahan penulis juga tercatat aktif di acara departemen maupun institusi. Penulis pernah menjadi panitia di acara yg diadakan fakultas maupun institusi seperti Gerigi ITS 2015 dan Pra-TD 2015. Penulis juga tercatat sebagai Wakil Kepala Departemen Sosial Masyarakat HMMT FTI-ITS 2016/2017. Selain itu penulis juga pernah menjadi Bendahara FOKUS ITS 2015/2016. Penulis juga pernah menjadi Grader atau Asisten Laboratorium Metalurgi selama 2 periode yaitu pada tahun ajaran 2016/2017 dan 2017/2018.

Penulis memiliki pengalaman kerja praktek di PT. PERTAMINA RU IV Cilacap pada bulan Juli-Agustus 2017 dan memiliki topik selama kerja praktek dengan judul “Penyusunan NDE *Mapping* untuk *Equipment Column* 11C-1 Unit CDU 1-11 Area FOC 1 PT Pertamina (Persero) RU IV Cilacap”.

Tugas akhir yang diambil penulis yaitu dalam bidang Korosi dan Analisis Kegagalan dengan judul “Analisis Kegagalan pada *Shaft Gearbox* Mesin *Palletizer* di PT Holcim Tbk Tuban”.

(Halaman ini sengaja dikosongkan)