



TUGAS AKHIR - TL141584

ANALISA KEGAGALAN *ROCKER ARM* PADA
VERTICAL ROLLER MILL DI *COAL MILL TUBAN*
1 PT. SEMEN INDONESIA

Azhar Basyir Baharuddin
NRP 2712 100 134

Dosen Pembimbing :
Ir. Rochman Rochiem, M.Sc.
Dr. Lukman Noerochin, ST., M.Sc. Eng

JURUSAN TEKNIK MATERIAL DAN METALURGI
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya
2016

(Halaman ini sengaja dikosongkan)



FINAL PROJECT - TL141584

FAILURE ANALYSIS OF ROCKER ARM IN VERTICAL ROLLER MILL AT COAL MILL PLANT TUBAN 1 PT. SEMEN INDONESIA

Azhar Basyir Baharuddin
NRP 2712 100 134

Advisor :

Ir. Rochman Rochiem, M. Sc.

Dr. Lukman Noerochim, ST, M.Sc.Eng

Department of Materials and Metallurgical Engineering
Faculty of Industrial Technology
Sepuluh Nopember Institute of Technology
Surabaya
2016

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

ANALISA KEGAGALAN *ROCKER ARM* PADA *VERTICAL ROLLER MILL* DI *COAL MILL TUBAN 1 PT. SEMEN INDONESIA*

TUGAS AKHIR

Diajukan Guna Memenuhi Salah Satu Syarat Untuk Memperoleh
Gelara Sarjana Teknik Material dan Metalurgi
pada
Bidang Studi Korosi dan Kegagalan Material
Jurusan Teknik Material dan Metalurgi
Fakultas Teknik Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh :

AZHAR BASYIR BAHARUDDIN
NRP. 2712 100 134

Disetujui oleh Tim Penguji Tugas Akhir :

Ir. Rochman Rochiem, M.Sc (Pembimbing 1)

Dr. Lukman Noerochim, ST, M.Sc.Eng (Pembimbing 2)



(Halaman ini sengaja dikosongkan)

KATA PENGANTAR

Alhamdulillah atas limpahan rahmat dan karunia Allah SWT, sehingga saya dapat menyelesaikan Tugas Akhir serta menyusun Laporan Tugas Akhir yang berjudul: **Analisa Kegagalan Pada Rocker Arm pada Vertical Roller Mill di Coal Mill Tuban 1 PT. Semen Indonesia.**

Pada kesempatan kali ini penyusun mengucapkan banyak terima kasih kepada :

1. Allah SWT atas berkat dan rahmatNya di dalam hidup saya.
2. Kedua orang tuaku Bapak Baharuddin Karim , Ibu Nur Amalia dan adek-adekku Hanan,Annisa,Fadhil atas semua dukungan moril dan materiil yang selalu dicurahkan.
3. Bapak Dr. Agung Purniawan, ST, M,Eng selaku Ketua Jurusan Teknik Material dan Metalurgi FTI – ITS.
4. Bapak Ir. Rochman Rochiem M.Sc selaku dosen pembimbing tugas akhir yang telah memberikan bekal yang sangat bermanfaat.
5. Bapak Dr Lukman Noerochim, ST, M.Sc.Eng. selaku co dosen Pembimbing yang telah banyak membanyak memberikan ilmu.
6. Ibu Diah Susanti Ph.D Selaku dosen wali yang sangat mengayomi
7. Seluruh dosen dan karyawan Jurusan Teknik Material dan Metalurgi FTI-ITS.
8. Bapak Fredy Agung Prabowo, ST,Bapak Didi,Bapak Zaka dan Bapak Soni, selaku pembimbing di PT. Semen Indonesia.
9. Sahabat-Sahabat terbaik saya keluarga CCD Ocin, Lege, Panji ,Rangga, Gopar, Aim, Sena, Toni, Ratno, Akbar dan Diksi yang selalu memberikan canda dan tawa.
- 10.Keluarga MT 14 yang banyak memberikan saya pengalaman berharga selama di jurusan.
- 11.Sahabat-sahabat seperjuangan saya keluarga Ngaraji Kultur khususnya untuk mentor saya kang Adi yang telah banyak memberikan ilmu kepada saya.

12. Sahabat-Sahabat terbaik saya keluarga 2ipar40 Mita, Evi, Disca, Resty, Fonny, Zul, Syahrani, Pimen, dan Cardi yang telah memberikan banyak semangat

13. Dan Seluruh pihak yang telah memberikan partisipasi dalam Tugas Akhir ini.

Penyusun menyadari adanya keterbatasan di dalam penyusunan laporan ini. Besar harapan penyusun akan saran, dan kritik yang sifatnya membangun. Selanjutnya semoga tulisan ini dapat selalu bermanfaat. Amin

Surabaya, Juli 2016

Penyusun

Analisa Kegagalan pada Rocker Arm pada Vertical Roller mill di Coal Mill Tuban 1 PT. Semen Indonesia

Nama : Azhar Basyir Baharuddin
NRP : 2712 100 134
Jurusan : Teknik Material dan Metalurgi FTI ITS
Dosen Pembimbing : Ir. Rochman Rochiem, M. Sc
Co-Pembimbing : Dr. Lukman Noerochim, ST, M.Sc.

Abstrak

Vertical Roller Mill memiliki peranan penting pada Industri Semen sebagai Penghancur batu bara yang digunakan sebagai bahan bakar pembuatan semen. Pada *Vertical Roller mill* sering sekali terjadi kegagalan terutama pada bagian *Rocker Arm*. *Rocker arm* memiliki kegunaan sebagai tempat menahan beban putaran dari komponen penggerak *Vertical Roller Mill*. Dalam penelitian ini dilakukan untuk menganalisa penyebab terjadinya kegagalan pada *Rocker Arm*. Pengujian yang dilakukan untuk menganalisa material ini adalah, uji komposisi, metalografi, *hardness*, SEM, dan uji titik kritis tegangan dengan menggunakan *software* inventor. Dari hasil uji komposisi didapatkan material *rocker arm* memiliki perbandingan komposisi yang sama dengan standar DIN 1681 GS 60 yaitu *cast steel*. Kemudian dari uji kekerasan ini diperoleh data rata-rata nilai kekerasan pada daerah yang mengalami kegagalan sebesar 256 HB, dan pada daerah yang jauh dari kegagalan sebesar 206 HB. Hasil dari permodelan diperoleh tegangan yang tinggi pada lingkaran *rocker arm* yang mengalami kegagalan. Analisa struktur mikro dan makro pada komponen *rocker arm* ini dan analisa karakterisasi material dari SEM menunjukkan pola patah lelah getas akibat tingginya tegangan yang berulang-ulang pada daerah *rocker arm*.

Kata kunci : Rocker Arm, Vertical Roller Mill, Cast Steel, Patah Lelah Getas, Hardness.

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

Failure Analysis of Rocker Arm in Vertical Roller Mill at Coal Mill Plant Tuban 1 PT. Semen Indonesia

Name : Azhar Basyir Baharuddin
SRN : 2712 100 134
Major : Material & Metallurgical Engineering Dept
Advisor : Ir. Rochman Rochiem, M. Sc
Co-Advisor : Dr. Lukman Noerochim, ST, M.Sc.

Abstract

Vertical Roller Mill has an important role in the Cement Industry as crusher of coal to be used as fuel in cement process. At Vertical Roller mill failure often occurs, especially on the Rocker Arm. Rocker arm has function as structure to hold bearing rotation load of drive components Vertical Roller Mill. In this study conducted to analyze the causes of failure in the Rocker Arm. Tests were carried out to analyze this material are ,composition test, metallographic, hardness, SEM, and critical stress test by using software inventor. From the test results obtained material composition ratio rocker arm has the same composition with the standard DIN 1681 GS 60 is cast steel. From hardness test data showed the average value of hardness in area that near the failure is 256 HB, and in area far from failure is 206 HB. Result of modeling obtained a high stress concentration in the circle of failure rocker arm. Micro and macro structures analysis on the rocker arm component and material characterization of SEM showed fatigue brittle fracture due to high stress applied repeatedly on the rocker arm area.

Keywords: Rocker Arm, Vertical Roller Mill, Cast Steel, Fatigue Brittle Fracture, Hardness.

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
LEMBAR PENGESAHAN	v
ABSTRAK	vii
ABSTRACT	ix
KATA PENGANTAR	xi
DAFTAR ISI	xiii
DAFTAR GAMBAR	xv
DAFTAR TABEL	xviii
BAB I. PENDAHULUAN	
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Perumusan Masalah.....	2
1.3. Batasan Masalah.....	2
1.4. Tujuan Penelitian.....	2
1.5. Manfaat Penelitian.....	3
BAB II. TINJAUAN PUSTAKA	
2.1. Pengertian Vertical Roller Mill	5
2.2. Pengertian Rocker Arm	6
2.3. Cast Steel.....	7
2.4. Analisa Kegagalan	10
2.5. Prosedur dalam Analisa Kegagalan.....	13
2.6. Patah Getas dan Patah Ulet	14
2.6.1. Patahan Ulet	15
2.6.2. Patah Getas	19
2.7. Mekanisme Pembentukan Patah Lelah	21
2.7.1. Tahap Retak Awal (<i>Crack Initiation</i>).....	22
2.7.2. Tahap Perambatan Retak (<i>Crack Propagation</i>)	23
2.8. Karakteristik Patahan	24
BAB III. METODOLOGI PENELITIAN	
3.1. Diagram Alir Penelitian	27
3.2. Metode Peneltitian.....	28
3.3. Material yang digunakan	28
3.4. Peralatan	30

3.5. Tahapan Penelititan	30
3.5.1. Review Dokumen Perusahaan	30
3.5.2. Preparasi Spesimen.....	31
3.5.3. Uji Komposisi.....	31
3.5.4. Pengamatan Makroskopik	31
3.5.5. Pengamatan Mikroskopik.....	32
3.5.6. Uji Kekerasan	33
3.6. Rancangan Penelitian	34
BAB IV ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN	
4.1 Analisa Data.....	35
4.1.1. Record Rocker Arm di Vertical Roller Mill	35
4.1.2 Pengamatan Hasil Makro.....	37
4.1.3. Hasil Stereomicroscope	38
4.1.4. Hasil Pengujian SEM (<i>Scanning Electron Microscope</i>) .	42
4.1.5. Hasil Pengujian Komposisi Kimia	47
4.1.6. Hasil Pengujian Komposisi Metalografi	47
4.1.7. Hasil Pengujian Kekerasan Brinell	52
4.1.8. Analisa Titik Kritis	54
4.2. Pembahasan	56
BAB V KESIMPULAN	
5.1 Kesimpulan.....	59
5.2 Saran	59
DAFTAR PUSTAKA	xx
LAMPIRAN	xxiv
BIODATA PENULIS	xxxiv

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Permasalahan dalam kegagalan komponen mesin.....	11
Tabel 2.2 Kasus kegagalan material akibat perawatan komponen mesin.....	12
Tabel 2.3 Penyebab kegagalan dalam komponen mesin....	13
Tabel 3.1 Rancangan Penelitian.....	34
Tabel 4.1 Dimensi rocker arm	36
Tabel 4.2 Data Operasi Vertical Roller Mill di Coal Mill 1 PT. Semen Indonesia	36
Tabel 4.3 Hasil Komparasi uji komposisi	47
Tabel 4.4 Data hasil pengujian kekerasan.....	53

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Komponen utama <i>Vertical Roller Mill</i>	5
Gambar 2.2	Analisa Beban pada <i>Roller Mill</i>	6
Gambar 2.3	Rocker Arm Assembly.....	7
Gambar 2.4	Aplikasi Penggunaan Cast Steel.....	8
Gambar 2.5	Proses Pembuatan Cast Steel.....	9
Gambar 2.6	Struktur martensit dari permukaan yang telah di quenched dan temper Ni-Cr-Mo Cast Steel 8635	10
Gambar 2.7	Skematik ciri patah getas dan patah ulet dari diagram tegangan-regangan.....	15
Gambar 2.8	(a) bentuk patahan ulet, (b) bentuk patahan ulet setelah terjadi <i>necking</i> , (c) bentuk patahan getas tanpa terjadi deformasi plastis	16
Gambar 2.9	Tahap patahan cup dan cone (a) awal <i>necking</i> , (b) terbentuknya cavity kecil(c)pengumpulan <i>cavity</i> hingga menjadi retakan,(d)perambatan retak, (e) patahan geser dengan sudut 45° terhadap arah tegangan	17
Gambar 2.10	(a) patah ulet (<i>cup and cone</i>) pada aluminium,dan (b)patah getas pada <i>mild steel</i>	18
Gambar 2.11	(a) SEM yang menunjukkan <i>spherical dimple</i> karakteristik, patahan hasil beban tarik <i>uniaxial</i> , 3300×, dan (b) SEM yang menunjukkan <i>spherical dimple</i> karakteristik hasil beban geser, 5000x.....	19
Gambar 2.12	(a) Foto yang menunjukkan bentuk V “chevron” sebagai karakteristik patah getas dan (b) Foto yang menunjukkan permukaan patah getas daerah asalretakan	19
Gambar 2.13	(a) skema perambatan retak yang melewati butir (<i>transgranular</i>) (b) hasil SEM dari patah secara transgranular	20
Gambar 2.14	(a) skema perambatan retak yang terjadi sepanjang batas butir (<i>intergranular</i>) (b) hasil SEM dari patah secara <i>intergranular</i>	21
Gambar 2.15	Mekanisme patah leleh dan faktornya (ASM Handbook Vol.19 <i>Fatigue and Fracture</i>	21

Gambar 2.16 Model Wood untuk pengintian retak	22
Gambar 2.17 Mekanisme penumpulan ujung retakan secara plastis (a) beban nol (b) beban tarik kecil (c) beban tarik maksimum (d) beban-tekan kecil (e) beban tekan maksimum (f) beban tarik kecil	24
Gambar 2.18 Foto SEM yang menunjukkan <i>Beachmarks</i> dan striasi secara mikro.....	25
Gambar 2.19 Retakan dengan pola rambatan (a) Transgranular (b) Intergranular	26
Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian	27
Gambar 3.2 a.) Komponen <i>rocker arm</i> yang terpecah. b.).Bagian <i>rocker arm</i> yang masih terpasang ..	29
Gambar 3.3 Permukaan pecahan yang di indikasi ada <i>initial crack</i>	29
Gambar 3.4 (a) Kamera merk Nikon tipe SLR (b) Stereomicroscope SLR.....	32
Gambar 3.5 Mesin SEM –EDAX FEI type Inspect S-50	33
Gambar 3.6 <i>Universal Hardness Tester HBRV 187.5A</i>	34
Gambar 4.1 Desain dari <i>rocker arm</i> di PT.Semen Indonesia..	35
Gambar 4.2 Pengamatan makro komponen <i>rocker arm</i> gagal.....	37
Gambar 4.3 (a) pengamatan <i>crack initiation</i> dengan kamera SLR ; (b) pengamatan <i>crack initiation</i> dengan Stereomicroscope perbesaran 8kali.....	39
Gambar 4.4 (a) pengamatan <i>crack propagation</i> dengan kamera SLR ; (b) pengamatan <i>crack propagation</i> dengan Stereomicroscope perbesaran 8kali.....	40
Gambar 4.5 (a) pengamatan patah akhir dengan kamera SLR; (b) pengamatam patah akhir dengan <i>stereomicroscope</i> perbesaran 8kali.	41

Gambar 4.6 (a) pengamatan <i>crack initiation</i> dengan SEM perbesaran 400x ; (b) pengamatan <i>crack initiation</i> dengan SEM perbesaran 1000x.....	43
Gambar 4.7 (a) pengamatan <i>crack propagation</i> dengan SEM perbesaran 500x ; (b) pengamatan <i>crack propagation</i> dengan SEM perbesaran 500x.....	45
Gambar 4.8 (a) pengamatan <i>final crack</i> dengan SEM perbesaran 100x ; (b) pengamatan <i>final crack</i> dengan SEM perbesaran 500x	46
Gambar 4.9 Struktur mikro <i>Cast Steel</i> DIN 1681 GS 60 perbesaran 100x pada material yang jauh dari patahan	48
Gambar 4.10 Struktur mikro <i>Cast Steel</i> DIN 1681 GS 60 perbesaran 200x pada material yang jauh dari patahan	48
Gambar 4.11 Struktur mikro <i>Cast Steel</i> DIN 1681 GS 60 perbesaran 500x pada material yang jauh dari patahan	49
Gambar 4.12 Struktur mikro <i>Cast Steel</i> DIN 1681 GS 60 perbesaran 100x pada material yang dekat dari patahan	49
Gambar 4.13 Struktur mikro <i>Cast Steel</i> DIN 1681 GS 60 perbesaran 200x pada material yang dekat dari patahan	50
Gambar 4.14 Struktur mikro <i>Cast Steel</i> DIN 1681 GS 60 perbesaran 500x pada material yang dekat dari patahan.....	50
Gambar 4.15 Pembagian daerah indentasi uji kekerasan brinell.....	52
Gambar 4.16 Grafik distribusi kekerasan pada <i>rocker arm</i>	54
Gambar 4.17 a) meshing pada <i>rocker arm</i> (b) hasil simulasi pembebanan pada <i>rocker arm</i> (c) perbesaran gambar, terjadi konsentrasi tegangan pada daerah yang berwarna merah yang juga daerah terjadinya patahan.....	55

(Halaman Ini Sengaja Dikosongkan)

(Halaman Ini Sengaja Dikosongkan)



BAB 1 PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

PT. Semen Indonesia yang dulu PT Semen Gresik merupakan produsen semen terbesar di Indonesia. Diresmikan di Gresik pada tanggal 7 Agustus 1957 oleh Presiden RI pertama dengan kapasitas terpasang 250.000 ton semen per tahun. Pada tanggal 20 Desember 2012, melalui Rapat Umum Pemegang Saham Luar Biasa (RUPSLB) Perseroan, resmi mengganti nama dari PT Semen Gresik (Persero) Tbk, menjadi PT Semen Indonesia (Persero) Tbk. Penggantian nama tersebut, sekaligus merupakan langkah awal dari upaya merealisasikan terbentuknya Strategic Holding Group yang ditargetkan dan diyakini mampu mensinergikan seluruh kegiatan operasional.

Saat 2014 kapasitas terpasang Semen Indonesia sebesar 31,8 juta ton semen per tahun, dan menguasai sekitar 42% pangsa pasar semen domestic. PT. Semen Indonesia memiliki anak perusahaan PT. Semen Gresik, PT. Semen Padang, PT. Semen Tonasa dan Thang Long Cement. Untuk PT Semen Indonesia sendiri memiliki 4 pabrik dengan kapasitas terpasang 8,5 juta ton semen per tahun yang berlokasi di Desa Sumberarum, Kec Kerek, Tuban, Jawa Timur

Pabrik Semen sendiri memiliki banyak komponen penunjang salah satunya yang berperan penting ialah tempat penggilingan batubara (*coal mill*). Tempat ini berfungsi sebagai penghancur batubara yang nantinya hasil dari *coal mill* ini digunakan sebagai bahan bakar untuk pabrik semen. Pada *coal mill* terdapat komponen mesin yaitu *vertical roller mill*. *Vertical roller mill* itu sendiri terbagi lagi menjadi 2 komponen utama yaitu *millstone* dan *rocker arm*. *Rocker Arm* sendiri sebagai struktur penahan beban dari *vertical roller mill*. Pada tanggal 7 Januari 2016 *rocker arm* pada *vertical roller mill* di *coal mill* Tuban 1 PT. Semen Indonesia mengalami patah menjadi 2 bagian. Permasalahan patah pada *rocker arm* ini sudah pernah terjadi sebelumnya. Kerusakan ini



mengakibatkan *coal mill* mengalami penurunan hasil penghancuran batu bara dan proses produksi semen mengalami penurunan hingga *rocker arm* tersebut diganti dengan *part* yang baru. Disamping itu, *part* baru *rocker arm* harus diganti secara keseluruhan, sehingga sangat menghambat proses produksi PT Semen Indonesia. Untuk menanggulangi hal yang sama, analisa kegagalan pada *rocker arm* ini perlu dilakukan.

1.2 Rumusan Masalah

Rumusan masalah dalam penelitian ini adalah :

1. Faktor apa yang menyebabkan kegagalan komponen *rocker arm* pada *vertical roller mill* di *coal mill*?
2. Bagaimana mekanisme kegagalan pada komponen *rocker arm* pada *vertical roller mill* di *coal mill*?
3. Bagaimana mengatasi kegagalan yang terjadi pada komponen *rocker arm* pada *vertical roller mill* di *coal mill*?

1.3 Batasan Masalah

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

1. Desain *rocker arm* memenuhi standart operasional.
2. Pengaruh lingkungan diabaikan.

1.4 Tujuan Penelitian

Tujuan penelitian ini adalah :

1. Menganalisa faktor penyebab terjadinya kegagalan pada komponen *rocker arm* pada *vertical roller mill* di *coal mill*.
2. Menganalisa mekanisme kegagalan komponen *rocker arm* pada *vertical roller mill* di *coal mill*.
3. Memberikan solusi dari kegagalan yang terjadi pada komponen *rocker arm* pada *vertical roller mill* di *coal mill*.



1.5 Manfaat Penelitian

Penelitian ini diharapkan dapat menjadi acuan penanganan bila terjadi kegagalan dikemudian hari dan dasar pengembangan pada ilmu berikutnya.



(Halaman ini sengaja dikosongkan)



BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Pengertian Vertical Roller Mill

Vertical Roller Mill merupakan komponen paling umum sebagai unit penggilingan (*Grinding*) *raw material* yang banyak digunakan di perusahaan semen. *Vertical Roller Mill* sendiri mempunyai ukuran diameter meja 2 sampai 6 meter tergantung oleh ukuran *Vertical Roller Mill* itu sendiri. Produk akhir dari *Vertical Roller Mill* itu sendiri berukuran lebih kecil dari ukuran semula sekita 90 mikron. (Jensen, 2011)

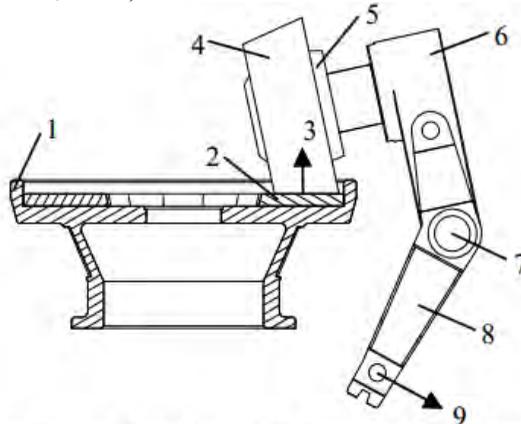


Gambar 2.1 Komponen utama *Vertical Roller Mill* (Jensen, 2011)

Adanya gaya sentrifugal, *Vertical Roller Mill* beroperasi normal pada 20-40 RPM tergantung dari ukuran *Vertical Roller*



Mill itu sendiri dan memiliki kecepatan tangensial maksimum sebesar 7 m/s.(Jensen, 2011)



1-millstone 2-scaleboard 3-force of scaleboard
4-roller coat 5-roller core 6-up rocker 7-center of rotation
8-lower rocker 9-force of hydraulic cylinder

Gambar 2.2 Analisa Beban pada *Roller Mill* (Cheng,2011)

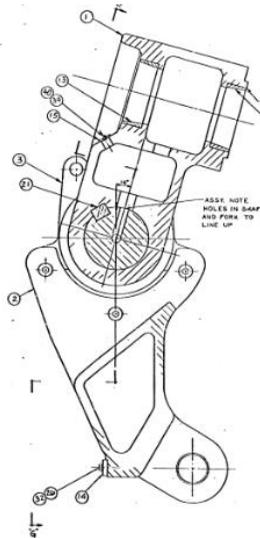
Penggilingan material sendiri memiliki peranan penting dalam proses penghasilan energy,pertambangan dan produksi semen.Efisiensi dan Kualitas dalam proses penggilingan memiliki dampak langsung pada produk hasil penggilingan.Dalam beberapa tahun ini,*Vertical Roller Mill* sangat banyak digunakan di Dunia ini.*Vertical Roller Mill* sendiri memiliki banyak keunggulan seperti efisiensi pengeringan yang tinggi,noise yang rendah dan memiliki ukuran masukan yang besar,aus yang rendah dan konsumsi energy yang rendah.(Wang, 2012)

2.2 Pengertian Rocker Arm

Rocker Arm merupakan komponen utama sebagai struktur penahan beban dari *vertical roller mill* yang banyak digunakan di perusahaan semen sebagai mesin penggiling. *Rocker arm* sendiri



biasanya terbuat oleh *cast iron* atau *forged carbon steel*. *Rocker system* sendiri terdiri dari *roller core*, *roller coat*, *grinding roll axle*, *bearing*, *rocker arm axle*, *up rocker* dan *lower rocker* yang merupakan komponen kunci dari sebuah *vertical roller mill*. Distribusi tegangan dari rocker system sendiri merupakan objek utama dalam desain dan pentelitian *vertical roller mill*. (Cheng, 2011)



Gambar 2.3 Rocker Arm Assembly (Fuller, 1996)

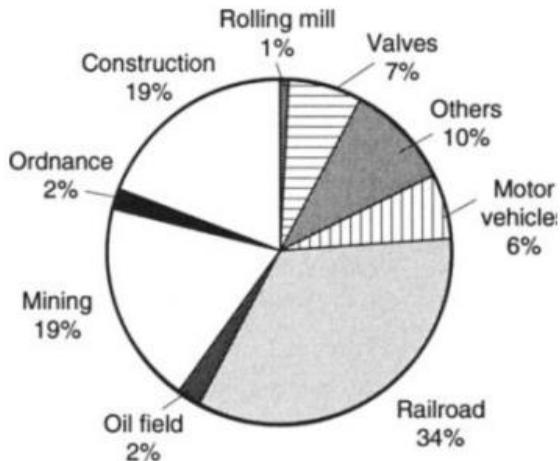
2.3 Cast Steel

Baja adalah material yang sangat serbaguna dalam dunia teknik pada saat ini. Baja sangat mudah di las dan di buat dan memerankan peranan penting dalam mengatur standar yang tinggi dalam kehidupan industri dalam suatu negara. Baja yang serbaguna ini dapat dengan mudah di dikenali dengan berbagai aplikasinya yang mana mulai dari



aplikasi struktur berkekuatan tinggi hingga anti karat dalam fluida yang kuat.

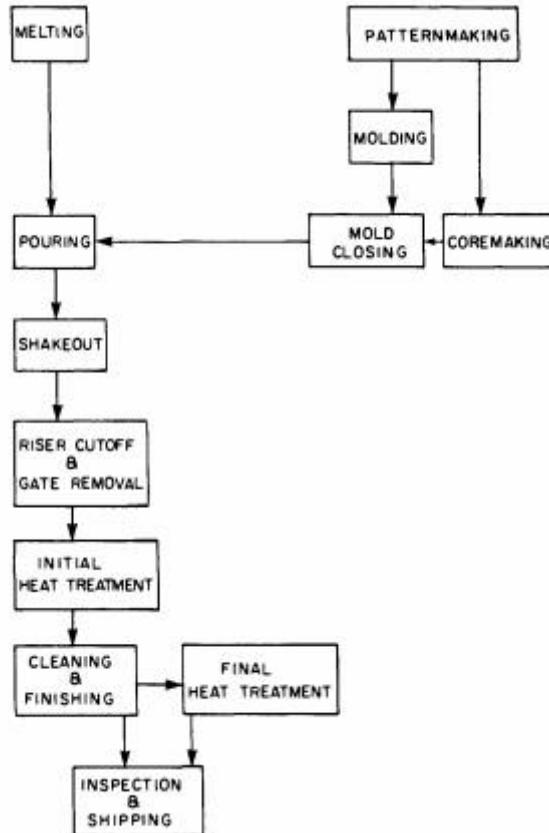
Perbedaan antara *Cast Steel* itu sendiri dengan yang lain adalah dalam proses produksinya. *Cast steel* di produksi dalam bentuk produk akhir tanpa adanya proses pengerjaan mekanik. Meskipun penjualan *cast steel* hanya dianggap memiliki 10% dari industri pengecoran logam akan tetapi *cast steel* merupakan komponent vital penggunaannya dalam industri pertambangan, jalur kereta api, truk, konstruksi, militer dan industri gas dan minyak.



Gambar 2.4 Aplikasi Penggunaan Cast Steel (Steel Casting Handbook 6th Edition, 1995)

Cast Steel adalah produk yang dibentuk dari penuangan cairan baja ke dalam cetakan. Cairan baja dingin dan mengalami pendinginan di dalam cetakan dan kemudian di pindahkan untuk dibersihkan. Perlakuan panas mungkin

dibutuhkan untuk kebutuhan tertentu. Dibawah ini merupakan diagram proses manufaktur dari cast steel *step by step*



Gambar 2.5 Proses Pembuatan Cast Steel (Steel Casting Handbook 6th Edition, 1995)

Cast Steel biasanya memiliki komposisi kimia yang terdiri dari:



- 1.Manganese 1%,
- 2.Silicon 0.80%
- 3.Nickel 0.50%
- 4.Copper 0.50%
- 5.Chromium 0.25%
- 6.Molybdenum 0.10%
- 7.Vanadium 0.05%
- 8.Tungsten 0.05% .

dibawah ini merupakan mikrostruktur dari salah satu jenis cast steel.(Steel Casting Handbook 6th Edition,1995)



A

250×

Gambar 2.6 Struktur martensit dari permukaan yang telah di quenched dan temper Ni-Cr-Mo Cast Steel 8635.(Steel Casting Handbook 6th Edition,1995)



2.4 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 makrokopis dan mikrokopis 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 industri (Brooks,2002). Faktor penyebab kegagalan yang sering terjadi di dunia industri dapat dikarenakan :

1. Faktor kesalahan pemilihan material

Hasil penelitian mengenai faktor kegagalan material yang dominan yaitu faktor kesalahan dalam memilih material. Tabel 2.1 dibawah ini menunjukkan statistik tentang permasalahan dalam kasus kegagalan material

Table 2.1 Permasalahan dalam kegagalan komponen mesin

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

2. Perawatan komponen yang kurang baik

Proses perawatan komponen mesin yang kurang baik termasuk salah satu penyebab kegagalan yang paling dominan. Tabel 2.2 menunjukkan data mengenai kasus kegagalan material yang terjadi.

Tabel 2.2 Kasus kegagalan material akibat perawatan komponen mesin

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

3. 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 temperature tinggi (pemuluran)
4. *Static delayed fracture*
5. Proses perancangan yang terlalu banyak memicu konsentrasi tegangan seperti takikan



6. Analisa tegangan komponen yang kurang detail yang menyebabkan rawan terjadi kegagalan akibat *overload*
 7. Kesalahan dalam menentukan material dari komponen mesin sehingga mempengaruhi hitungan yang dilakukan.
4. Kondisi kerja yang ekstrim
- Permasalahan yang spesifik dalam kegagalan komponen mesin akibat kondisi kerja yang ekstrim disajikan dalam Tabel 2.3.

Tabel 2.3 Penyebab kegagalan dalam komponen mesin

Penyebab Kegagalan	%
Korosi	29
Kelelahan (<i>fatigue</i>)	25
Kegagalan getas (<i>brittle fracture</i>)	16
Kelebihan beban	11
Korosi temperature tinggi	7
Korosi retak tegang, korosi leleh, penggetasan hydrogen	6
Pemuluran (<i>creep</i>)	3
Abrasi, Erosi	3

2.5 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):

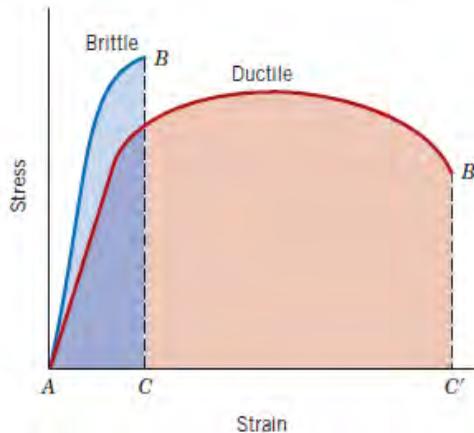


1. Material yang digunakan
 - a. Data produksi : *melting, rolling, forming, casting, heat treatment*, dan proses *machining*
 - b. Analisa kimia : pengujian X-Ray, komposisi kimia
 - c. Sifat mekanik : *tensile, bending, hardness, impact*, dan *fatigue test*.
 - d. Struktur metalurgi : struktur makro dan mikro struktur
 - e. Pengerasan permukaan dan tegangan sisa ; *finishing*
 - f. Patah permukaan
2. Desain tegangan dan kondisi perawatan
 - a. Kekuatan dari luar : golongan, besar, pengulangan.
 - b. Atmospher : udara, air, air laut, dan sebagainya
 - c. Yang lain : kondisi perbaikan
3. Uji percobaan
 - a. Uji laboratorium : perhitungan tegangan (kekuatan material, *finite element method* (FEM), kekuatan lelah, kekerasan patahan.
 - b. Konfirmasi uji lapangan : ukuran tegangan, uji produksi.
4. Hasil uji seluruhnya.

2.6 Patah Getas dan Patah Ulet

Patahan adalah spesimen dari sebuah benda menjadi 2 atau lebih potongan karena terjadinya tegangan statik dan pada temperature yang relatif rendah terhadap titik leleh dari suatu material. Tegangan yang terjadi pada material bisa merupakan tegangan tarik, tegangan kompresi, tegangan geser ataupun torsi. Dalam rekayasa material terdapat dua jenis mode patahan yang mungkin terjadi yaitu patahan ulet dan patah getas. Klasifikasi jenis patahan ini berdasarkan kemampuan sebuah material dalam menerima deformasi

plastis yang dapat menyerap energi yang besar sebelum terjadi patahan. Material yang ulet mempunyai deformasi plastis yang tinggi, pembentukan small cavity diujung retak, serta retak memanjang atau menjalar bertahap. Sedangkan pada material yang getas mempunyai deformasi plastis rendah, tegangan lokal meningkat pada ujung retak sehingga retak menjalar dengan sangat cepat. Pada Gambar 2.7 ditunjukkan diagram tegangan dan regangan dari patahan ulet dan getas.



Gambar 2.7 Skematik ciri patah getas dan patah ulet dari diagram tegangan-regangan(Callister,2007)

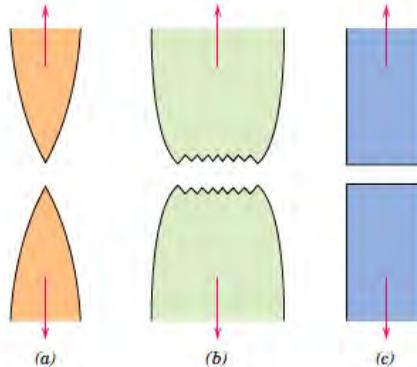
Patahan ulet dan getas pada suatu material tergantung pada kondisi pembebanan. Pada proses terjadinya patahan melibatkan dua tahap yaitu terbentuknya retak dan perambatan sebagai respon dari tegangan yang dialami oleh material. Modus patahan sangat bergantung pada perambatan retak.



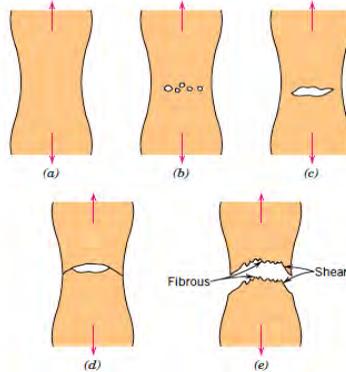
2.6.1 Patahan Ulet

Bentuk patahan ulet memiliki karakteristik yang berbeda jika diamati secara makroskopis. Pada Gambar 2.8 ditunjukkan skematik representative dari dua karakteristik profil patahan secara makro. Konfigurasi yang ditunjukkan oleh Gambar 2.8 (a) ditemukan pada material lunak seperti emas pada temperature ruang dan metal, polimer dan inorganik gelas pada temperature yang relatif tinggi.

Secara umum profil patahan material ulet akibat tegangan tarik ditunjukkan pada Gambar 2.8b) dimana patahan didahului oleh adanya necking. Proses patahan ulet dari material terjadi dalam beberapa tahap. Pertama, setelah terjadi pengecilan luasan setempat (*necking*) *cavities* kecil atau *microvoid* terbentuk di dalam struktur material seperti yang ditunjukkan oleh Gambar 2.9.



Gambar 2.8 (a) bentuk patahan ulet, (b) bentuk patahan ulet setelah terjadi *necking*, (c) bentuk patahan getas tanpa terjadi deformasi plastis (Callister,2007)



Gambar 2.9: Tahap patahan cup dan cone (a) awal *necking*, (b) terbentuknya cavity kecil, (c) pengumpulan *cavity* hingga menjadi retakan, (d) perambatan retak, (e) patahan geser dengan sudut 45° terhadap arah tegangan (Callister, 2007)

Kemudian dengan bertambahnya deformasi akibat tegangan maka *microvoid* membesar dan berkumpul menjadi satu yang kemudian *coalesce* membentuk retak secara elips yang memiliki panjang tegak lurus dari arah pembebanan. Retak kemudian tumbuh sejajar dengan arah pembebanan, akhirnya patahan terbentuk oleh perambatan retak yang cepat disekitar area *necking* seperti Gambar 2.9e oleh deformasi geser pada sudut disekitar arah tegangan tarik dimana sudut ini merupakan tegangan geser tertinggi. Terkadang sebuah patahan mempunyai karakteristik kontur seperti *cup* dan *cone* karena salah satu permukaan patahan menyerupai *cone*. Spesimen yang mempunyai bentuk patahan seperti ini berbentuk *fibrous* yang tidak teratur dimana hal ini menandakan deformasi plastis. Lebih jauh lagi untuk mengetahui informasi mengenai penentuan secara pengujian dengan menggunakan *Scanning Electron Microscope* (SEM). Studi mengenai tipe patahan disebut *fractographic*. *Scanning*

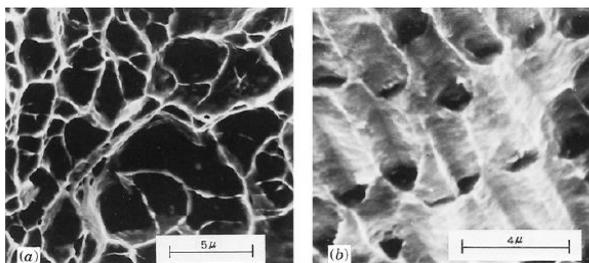


Electron Microscope (SEM) lebih banyak digunakan dalam mengamati bentuk crack, patahan karena mempunyai resolusi dan kedalaman observasi yang lebih tinggi dari mikroskopik optik. Gambar 2.10 menunjukkan patah ulet *cup* dan *cone* dan perbedaan patah getas pada *mild steel*



Gambar 2.10 (a) patah ulet (*cup and cone*) pada aluminium, dan (b) patah getas pada *mild steel* (Callister,2007)

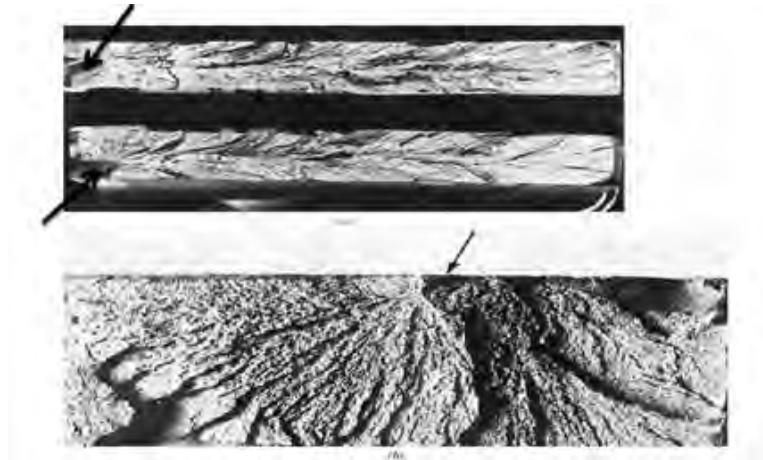
Pada skala makro, patah ulet ditunjukkan dengan adanya perubahan ketinggian yang nyata sepanjang penampang potongan melintang dari benda, biasa dikenal dengan istilah *shear lips*. Kemudian pada skala mikro, patah ulet ditandai dengan adanya profil *dimple* pada permukaan patahnya yang disebabkan oleh penjalaran retakan mikro (*microvoids coalescence*) pada gambar 2.11.





Gambar 2.11 (a) SEM yang menunjukkan *spherical dimple* karakteristik, patahan hasil beban tarik *uniaxial*, 3300x, dan (b) SEM yang menunjukkan *spherical dimple* karakteristik hasil beban geser, 5000x (Callister,2007)

2.7.2 Patah Getas

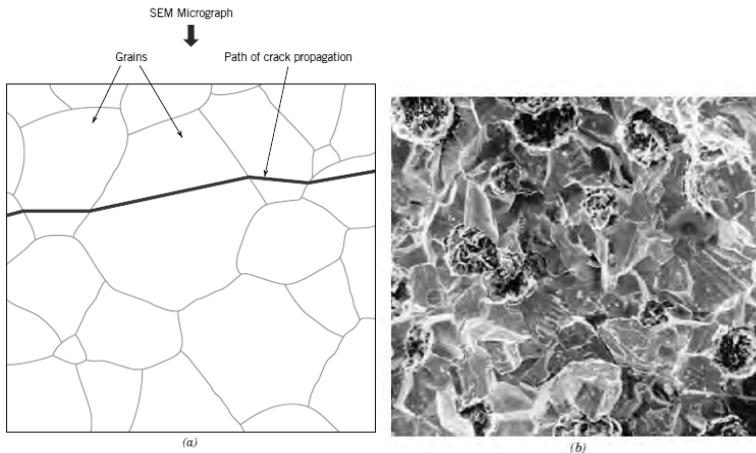


Gambar 2.12 (a) Foto yang menunjukkan bentuk V “chevron” sebagai karakteristik patah getas dan (b) Foto yang menunjukkan permukaan patah getas daerah asal retakan (Callister,2007)

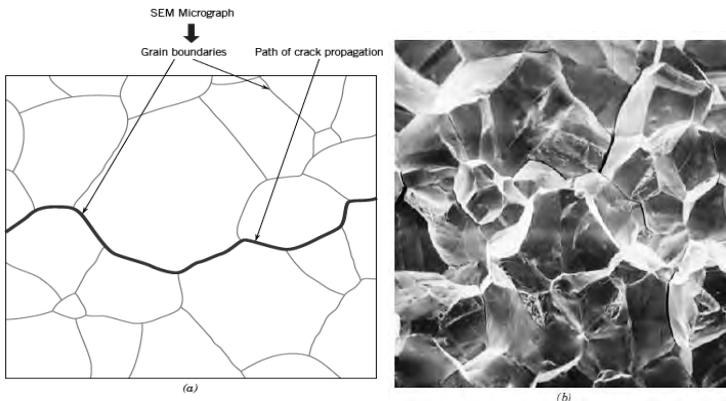
Patah getas sering terjadi tanpa adanya atau sedikit sekali terjadi deformasi plastis pada material. Retak/ patahan merambat sepanjang bidang-bidang kristalin yang membelah atom-atom material (transgranular). Kemudian pada material lunak dengan butir kasar (*coarse grain*) maka dapat dilihat pola-pola yang dinamakan *chevron* seperti Gambar 2.12(a) atau patah getas permukaan terlihat garis atau daerah asal retakan disebut *fan pattern* seperti pada Gambar 2.12(b). Untuk hasil perambatan dan SEM, dapat terlihat jelas untuk



retak yang melewati batas butir (*transgranular*) dan retak yang terjadi sepanjang batas butir (*intergranular*) pada gambar 2.13 dan 2.14.



Gambar 2.13 (a) skema perambatan retak yang melewati butir (*transgranular*) (b) hasil SEM dari patah secara transgranular (Callister,2007)





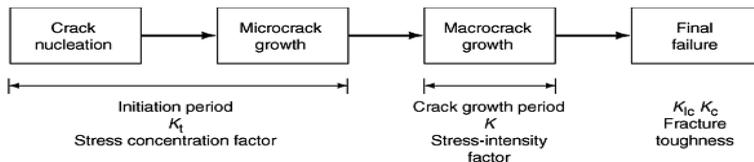
Gambar 2.14 (a) skema perambatan retak yang terjadi sepanjang batas butir (*intergranular*) (b) hasil SEM dari patah secara *intergranular* (Callister,2007)

2.7 Mekanisme Pembentukan Patah Lelah

Kelelahan mengakibatkan terjadinya patah lelah. Patah lelah terjadi melalui tiga tahap yaitu tahap retak awal (*crack initiation*), tahap penjaralan retak (*crack propagation*), dan tahap patah statis. 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*).

Menurut Schijve, terdapat 5 fase yang selama proses *fatigue*, yaitu : (ASM Handbook Committee Volume 19, 2002):

1. *Cyclic slip*
2. *Crack nucleation*
3. *Growth of microcrack*
4. *Growth of macrocrack*
5. *Final failure*

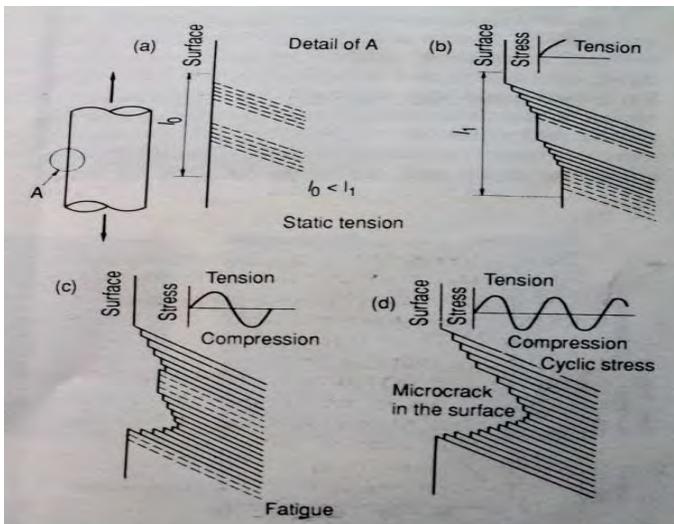


Gambar 2.15 Mekanisme patah lelah dan faktornya (ASM Handbook Vol.19 *Fatigue and Fracture*,2002)



2.7.1 Tahap Retak Awal (*Crack Initiation*)

Awal retak biasanya dimulai dari permukaan. 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 menyebabkan juga konsentrasi tegangan. Fenomena awal retak secara sederhana diberikan oleh Wood. Beberapa model diberikan dalam menjelaskan *fatigue crack* pada gambar 2.16.



Gambar 2.16 Model Wood untuk pengintian retak (Nishida, Shin-ichi, 1992)

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

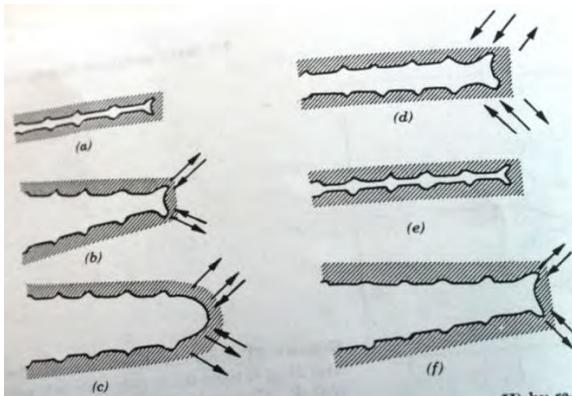


menyebabkan slip pada arah yang berlawanan. Slip ini terjadi pada bidang yang berdekatan dengan yang pertama. Dan selanjutnya merupakan proses pengulangan dalam pembebanan siklus yang sama. Tahap retak awal ini meliputi fase *cyclic slip*, fase pembentukan inti retak (*crack nucleation*) dan pertumbuhan retak mikro (*growth of microcrack*).

2.7.2 Tahap Perambatan Retak (*Crack Propagation*)

Perambatan retak pada suatu komponen terjadi jika tegangan maksimum pada ujung retakan berada di atas kekuatan material. Hal ini mengakibatkan peningkatan konsentrasi tegangan pada ujung retak. Awal retakan mula-mula menjalar pada bidang slip di dalam beberapa butir dengan kecepatan yang sangat lambat. Pengamatan secara makro tidak menampakkan perambatan ini. Peristiwa ini disebut perambatan retak tahap I.

Selanjutnya pertumbuhan retak pada tahap II 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 retak pada penelitian biasanya difokuskan pada tahap ini. Adapun model mekanisme crack secara plastis terdapat pada Gambar 2.17 dibawah ini.



Gambar 2.17 Mekanisme penumpulan ujung retakan secara plastis (a) beban nol (b) beban tarik kecil (c) beban tarik maksimum (d) beban-tekan kecil (e) beban tekan maksimum (f) beban tarik kecil (Callister,2007)

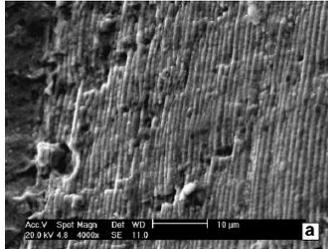
2.8 Karakteristik Patahan

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 (*ASM Handbook Committee Volume 12, 2002*):

- ❖ Perbedaan karakteristik antara patah lelah dengan patah merangkak

Beachmarks dan striasi mengindikasikan patah lelah, sedangkan pada patah merangkak parameter tersebut tidak terlihat. Pertanda kehadiran beach marks bisa diketahui melalui pengamatan makro menggunakan *stereomicroscope*, dan striasi hanya bisa diamati pada saat dilaksanakan

SEMfractography (Gambar 2.18). Profil *beachmarks* dan striasi ini merupakan hasil dari fluktuasi beban yang diberikan pada benda.



Gambar 2.18 Foto SEM yang menunjukkan *Beachmarks* dan striasi secara mikro (Poursaedi, 2005)

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

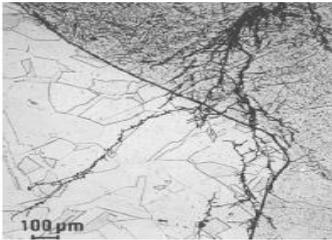
Pada skala makro, patah ulet ditunjukkan dengan adanya perubahan ketinggian yang nyata sepanjang penampang potongan melintang dari benda, biasa dikenal dengan istilah *shear lips*. Kemudian pola patah getas ditunjukkan dengan permukaan patahan yang datar dan tegak lurus terhadap arah beban, serta tanpa 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. Contoh ciri patah ulet ditunjukkan pada Gambar 2.10.

- ❖ 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 (*micro voids coalescence*). Sedangkan patah getas ditandai dengan salah satu dari fenomena berikut:

- a. Patahan melintasi butiran atau patah transgranular, dikenal dengan nama *cleavage*, ditunjukkan pada Gambar 2.19 (a)
- b. Patahan melewati batas butir atau patah intergranular, dikenal dengan nama *intergranular embrittlement*, ditunjukkan pada Gambar 2.19 (b)



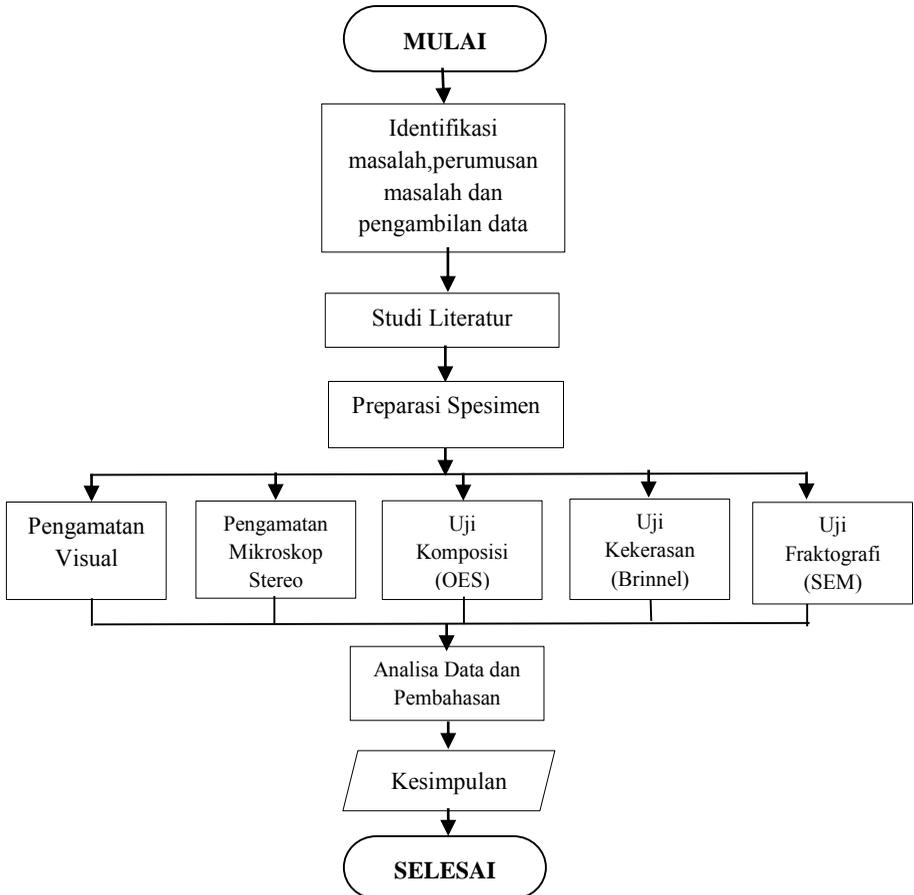
Gambar 2.19 Retakan dengan pola rambatan
(a) Transgranular (b) Intergranular (Colangelo, 1989)



BAB III METODOLOGI PENELITIAN

3.1. Diagram Alir Penelitian

Pelaksanaan penelitian ini dilakukan beberapa pengujian seperti ditunjukkan dalam Gambar 3.1 dibawah ini



Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian.



3.2 Metode Penelitian

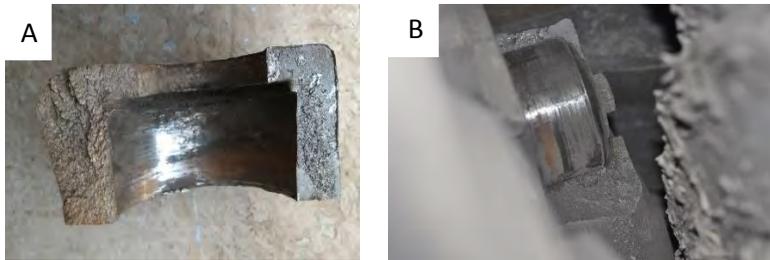
Metode Penelitian yang digunakan dalam penelitian kali ini antara lain studi lapangan, pengujian dan studi literature. Adapun hal-hal yang mencakup penelitian antara lain:

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. Semen Indonesia, dan berdiskusi dengan dosen mata kuliah, dosen pembimbing, dan pihak PT. Semen Indonesia 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 pada *rocker arm*.
3. Pengujian
Metode ini dilakukan dengan pengujian langsung sesuai dengan prosedur dan metode yang ada. Adapun pengujian yang diperlukan dalam eksperimen ini yaitu : pengamatan bentuk *crack* dengan mikroskop optik dan SEM, pengamatan mikro dengan SEM, uji komposisi dengan menggunakan spektrometer dan uji kekerasan untuk mengetahui nilai kekerasan pada material *rocker arm*.

3.3 Material yang digunakan

1. Material

Pada tanggal 7 Januari 2016 ditemukan rocker arm pada *vertical roller mill* di *coal mill* Pabrik Tuban 1 pecah menjadi 2 bagian yang diperlihatkan pada gambar 3.2.



Gambar 3.2 A.Komponen *rocker arm* yang terpecah B.Bagian rocker arm yang masih terpasang

2. Spesimen

Spesimen yang digunakan dalam penelitian ini yaitu komponen Rocker arm yang sudah retak/ gagal diperlihatkan pada



Gambar 3.3 Permukaan pecahan yang di indikasi ada *initial crack*



3.4 PERALATAN

Peralatan yang digunakan dalam penelitian ini antara lain:

1. Penggaris
Digunakan untuk mengukur spesimen.
2. Alat Pemotong
Digunakan untuk memotong spesimen.
3. Kamera Digital
Digunakan untuk mendapatkan informasi kegagalan secara makro.
4. Mesin OES (*Optical Emission Spectroscopy*)
Digunakan untuk mengetahui komposisi material uji
5. Hardness Test
Digunakan untuk mengetahui nilai kekerasan dari material uji.
6. Amplas grade 80 hingga 2000
Digunakan untuk preparasi pengujian mikroskop optik.
7. Mesin Polish
Digunakan untuk preparasi pengujian mikroskop optik.
8. Larutan Etsa
Digunakan untuk preparasi pengujian mikroskop optik.
9. Resin
Digunakan untuk preparasi pengujian mikroskop optik.
10. Mesin SEM –EDX
Digunakan untuk mendapatkan informasi kegagalan secara topografi permukaan.

3.5 TAHAPAN PENELITIAN

3.5.1 Review Dokumen Perusahaan

Review dokumen perusahaan dilakukan untuk mendapatkan data data perusahaan yang berkaitan dengan Rocker Arm sebagai pendukung hasil penelitian, berikut data yang harus diambil, yaitu :

1. Desain rocker arm
2. Data operasi
3. Spesifikasi material



4. *Maintenance record*

3.5.2 Preparasi Spesimen

Tahap Persiapan ini diperlukan sebelum melakukan pengujian untuk menentukan penyebab kegagalan *rocker arm* pada PT Semen Indonesia. Persiapan ini berupa proses *cutting* dan *sectioning*.

Proses pemotongan dilakukan pada bagian ujung pecahan *rocker arm* yang terindikasi adanya *initial crack* dan bagian yang jauh dari *crack*. Specimen yang terindikasi adanya *initial crack* serta bagian yang jauh dari *crack* akan diuji sbagai perbandingan antara material yang baru dengan material yang sudah retak/pecah.

3.5.3 Uji Komposisi

Pengujian komposisi kimia adalah untuk mengetahui komposisi kimia yang terdapat pada komponen yang mengalami kegagalan. Pada identifikasi komposisi kimia menggunakan alat *Optical Emission Spectroscopy (OES)* di Laboratorium Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya (PPNS) untuk mengetahui komposisi yang ada pada *rocker arm*.

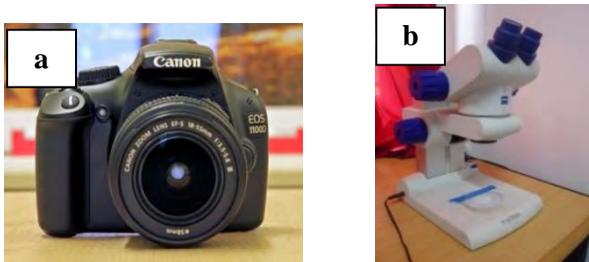
3.5.4 Pengamatan Makroskopik

Pengamatan makro dilakukan untuk mengetahui bentuk, tampilan dan lokasi komponen yang mengalami kegagalan secara makro. Pengamatan makro dilakukan menggunakan kamera dan digital dan mikroskop stereo.

Adapun perlakuan terhadap sampel material sebagai berikut:

1. Melakukan pengambilan fotografi dengan kamera digital untuk mendapatkan informasi bentuk dari kegagalan secara makro.

Pengamatan melalui *stereomicroscope* terhadap sampel material dengan beberapa kali perbesaran untuk mendapatkan profil makronya



Gambar 3.4 (a) Kamera merk Nikon tipe SLR.
(b) Stereomicroscope

3.5.5 Pengamatan Mikroskopik

Pada pengamatan Mikroskopik dilakukan dengan menggunakan alat, yaitu :

Scanning Elektron Mikroskop (SEM)

SEM (*Scanning Electron Microscope*) adalah sebuah mikroskop elektron yang didesain untuk menganalisa permukaan dari objek solid secara langsung.

Langkah-langkah yang dilakukan dalam *fractography* menggunakan SEM adalah sebagai berikut :

1. Spesimen yang telah dipotong dibersihkan dengan hati-hati menggunakan *blower* untuk menghilangkan debu dan pengotor ringannya.
2. Spesimen diletakkan diatas holder yang sebelumnya telah dilekatkan dengan *carbon tape*. *Carbon tape* berfungsi untuk melekatkan *holder* dengan sampel
3. Spesimen yang telah berisi *holder* dimasukkan kedalam mesin SEM pada gambar 3.5 dan siap dilakukan proses pengamatan. Pada layar komputer akan tampak permukaan spesimen dengan berbagai perbesaran yang bisa diatur sesuai keinginan.



Gambar 3.5 : Mesin SEM –EDAX FEI type Inspect S-50

3.5.6 Uji Kekerasan

Pengujian kekerasan dilakukan untuk mengetahui distribusi kekerasan dengan melakukan indentasi di beberapa titik pada sampel material. Pengujian ini dilakukan dengan metode Brinell dimana dalam pengujiannya memakai indenter bola baja, pembebanan sebesar 187.5 kgf dan waktu indentasi selama 15 detik. Pengujian ini menggunakan *Universal Hardness Tester HBRV 187.5A* di Laboratorium Metalurgi, Jurusan Teknik Mterial dan Metalurgi, ITS.



Gambar 3. 6 *Universal Hardness Tester HBRV 187.5A*

Sebelumnya, sampel yang digunakan harus memiliki permukaan yang rata untuk meghindari cacat indentasi.

3.6 RANCANGAN PENELITIAN

Tabel 3.1. Rancangan penelitian

Bahan	Pengujian SEM	Pengujian Spectrometri	Uji Hardness	Uji Mikrostruktur
Bagian crack	√	-	√	√
Bagian bukan crack	-	√	√	√

BAB III METODOLOGI PENELITIAN



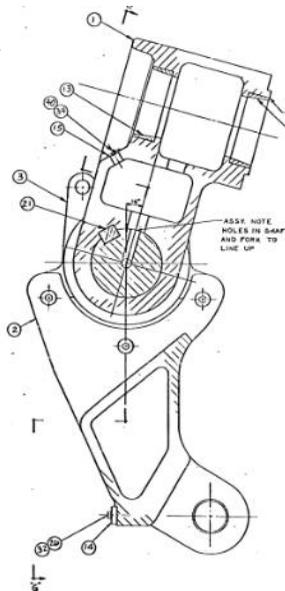
BAB IV ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN

4.1 Analisa Data

4.1.1 Record Rocker Arm di Vertical Roller Mill

Pada bulan Januari 2016 PT. Semen Indonesia sedang melaksanakan maintenance rutin yang berlangsung selama 2 minggu. Kemudian di *Coal Mill* Tuban 1 ditemukan sebuah patahan dari rocker arm yang merupakan komponen vertical roller mill. Padahal menurut operator umur komponen ini masih diluar *lifetime* dan masih tersisa 5 tahun lagi. Sebelumnya *rocker arm* sudah pernah patah sebanyak 3 kali dimana patah pada bagian yang sama. Rocker arm ini menggunakan material *cast steel*.

Berikut ini data-data dari *rocker arm* mencakup spesifikasi rocker arm pada vertical roller mill mencakup



Gambar 4.1 Desain rocker arm di PT.Semen Indonesia



Tabel 4.1 Dimensi Rocker arm PT. Semen Indonesia

Tinggi	2,970 Meter
Lebar	1,395 Meter

Tabel 4.2 Data Operasi Vertical Roller Mill di Coal Mill 1 PT. Semen Indonesia

Data Operasi	
Daya	600 kw
Kecepatan Putar	36,18 RPM
Gaya hidrostatik	71 kg/cm ²
Vibrasi	7-10 mm/s



4.1.2 Pengamatan Hasil Makro



Gambar 4.2 Pengamatan makro komponen rocker arm gagal

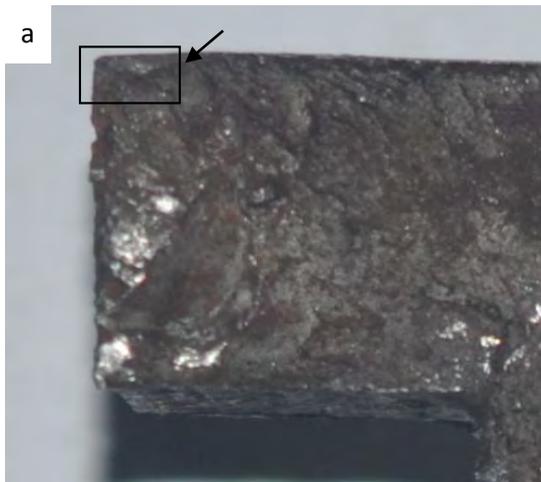


Berdasarkan hasil pengamatan visual secara makro menggunakan bantuan kamera DSLR pada daerah komponen rocker arm yang mengalami kerusakan terlihat pada Gambar 4.2. Terlihat kegagalan pada rocker arm bermula dari ujung sebelah kanan dan menjalar sampai ke bawah. Lalu kemudian dapat ditentukan Pada gambar 4.2 dibagi menjadi 3 daerah yaitu retak awal (*initial crack*) pada daerah X, penjalaran retak (*crack propagation*) pada daerah Y, dan retak akhir (*final crack*) pada daerah Z.

4.1.3 Hasil Stereomicroscope

Berdasarkan pengamatan dengan menggunakan *stereomicroscope* dengan perbesaran yang lebih besar dari kamera DSLR sehingga retakan tampak jelas. Gambar 4.3 (a) initial crack dengan menggunakan bantuan kamera SLR dan gambar 4.3 (b) menggunakan *stereomicroscope* dengan perbesaran 8 kali

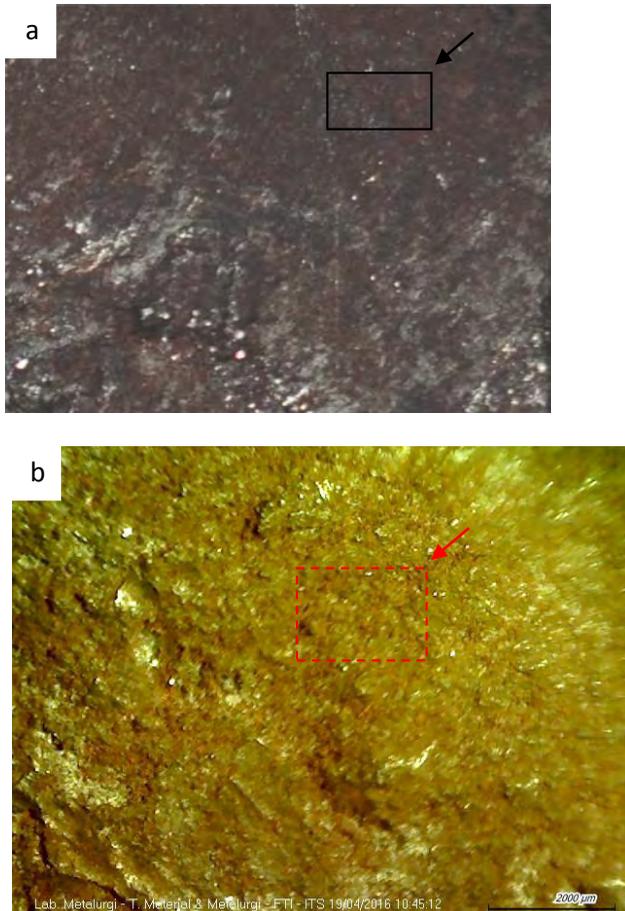
Pengamatan pada gambar 4.3 (a) yaitu pada permukaan *rocker arm* menggunakan bantuan Kamera SLR terdapat adanya awal retak (*crack initiation*) ditunjukkan tanda panah yang kemudian arah retakannya menjalar (*crack propagation*) ke samping kiri



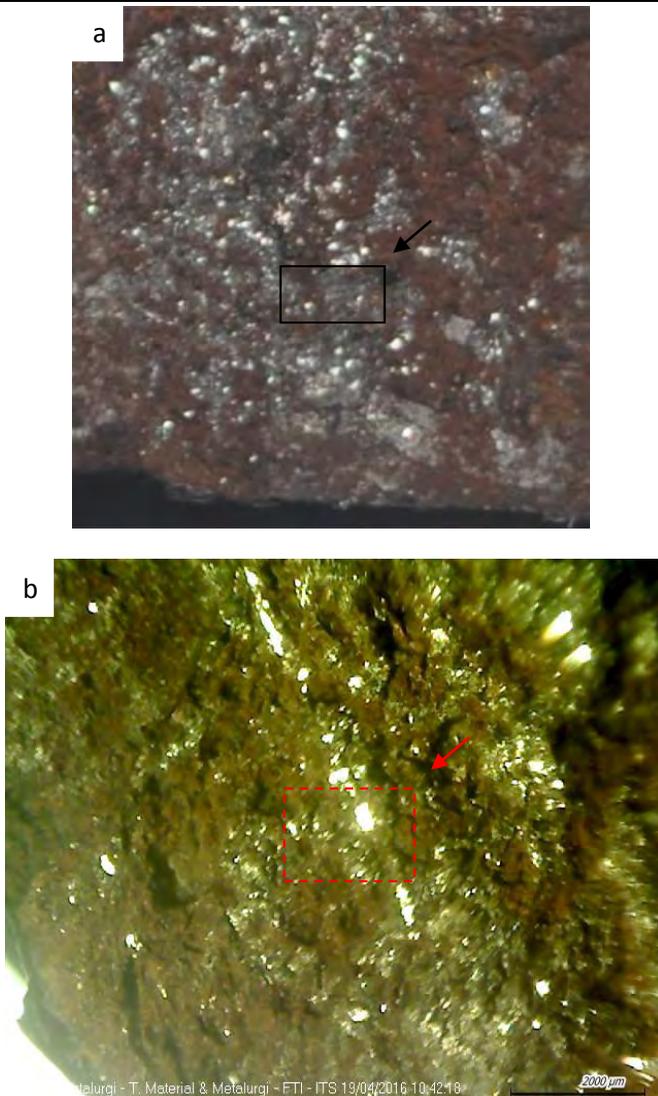


Gambar 4.3 (a) pengamatan *crack initiation* dengan kamera SLR ;
(b) pengamatan *crack initiation* dengan Stereomicroscope perbesaran 8kali. .

Kemudian dari *initial crack* tadi patahan berlanjut ke *propagation* atau penjaralan patah pada gambar 4.4 (b) arah yang ditunjukkan pada tanda panah *crack propagation*, warna dari permukaan patah lebih gelap di bandingkan dengan warna *crack initiation* yang memiliki warna terang.



Gambar 4.4 (a) pengamatan *crack propagation* dengan kamera SLR ; (b) pengamatan *crack propagation* dengan Stereomicroscope perbesaran 8kali



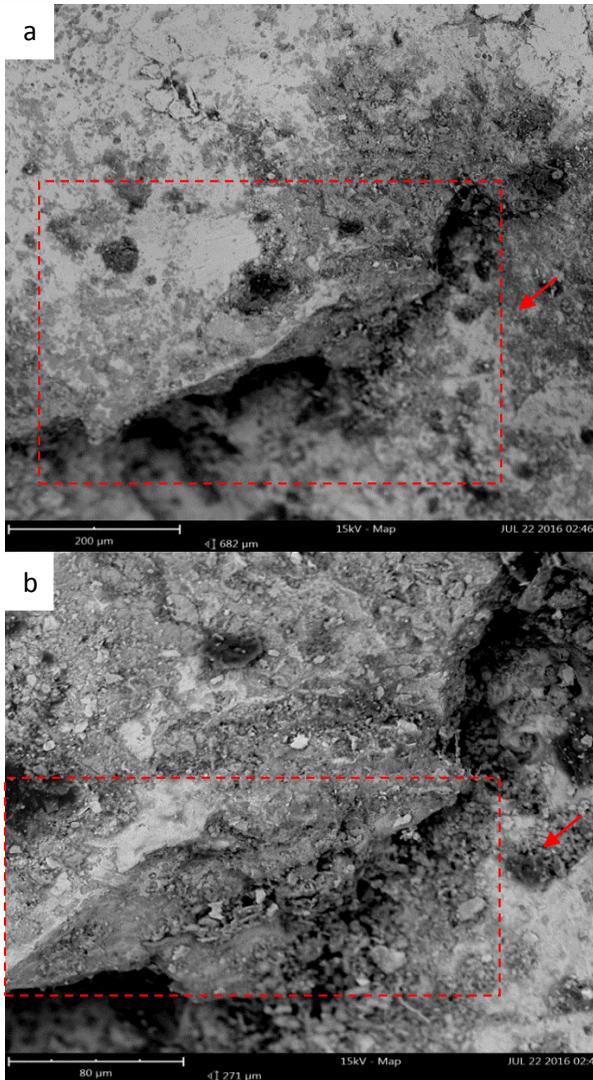
Gambar 4.5 (a) Pengamatan patah akhir dengan kamera SLR; (b) Pengamatan patah akhir dengan *stereomicroscope* perbesaran 8kali.



Lalu setelah dari propagation tadi lanjut ke bagian patah akhir (*final crack*) yang di tunjukkan pada gambar 4.5 menunjukkan kontur permukaan dari patah akhir yang kasar, hal ini di sebabkan karena pada patah akhir (*final crack*) mendapatkan pembebanan yang statis. Pada skala makro juga di tunjukan adanya perubahan tinggi pada penampang komponen. Meninjau hasil pengamatan makro dengan menggunakan *stereomicroscope* tampak patahan yang terjadi pada permukaan *rocker arm* dapat di kategorikan patah getas.

4.1.4 Hasil Pengujian SEM (Scanning Electron Microscope)

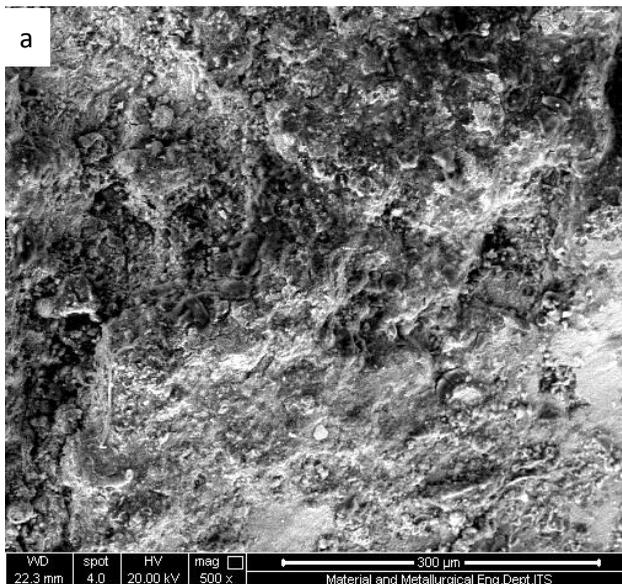
Berdasarkan hasil pengamatan SEM yang lebih jelas lagi Pada gambar 4.6 memperlihatkan daerah *initial crack* pada *rocker arm* dengan menggunakan sem perbesaran 400x dan 1000x. Di tandai dengan adanya permukaan yang lebih rendah dibandingkan permukaan yang lain. Daerah ini diambil tepat pada daerah kuping *rocker arm* tempat dimana *dowell* dipasangkan, yang mendapatkan pembebanan paling besar pada saat *rocker arm* bekerja. Dari sini terlihat bahwa *rocker arm* telah mengalami *fatigue crack brittle* dengan arah retakan yang tegak lurus dengan pembebanan. Pada daerah awal retak ini tidak terdapat *beachmark* dan striasi yang berarti komponen ini menerima beban dinamis lebih sedikit dibandingkan beban statisnya. Hal ini sesuai dengan sifat material yang memiliki kekerasan yang tinggi.

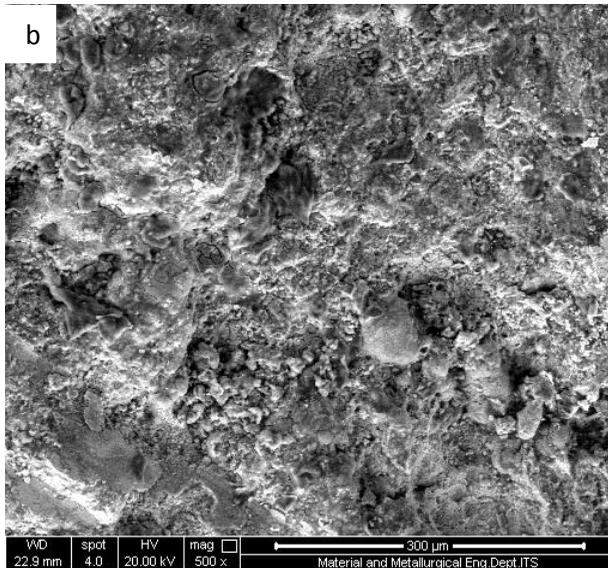


Gambar 4.6 (a) Pengamatan *crack initiation* dengan SEM perbesaran 400x ; (b) Pengamatan *crack initiation* dengan SEM perbesaran 100x



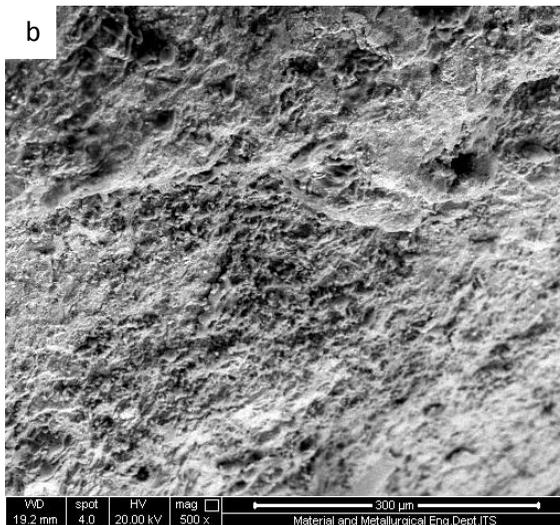
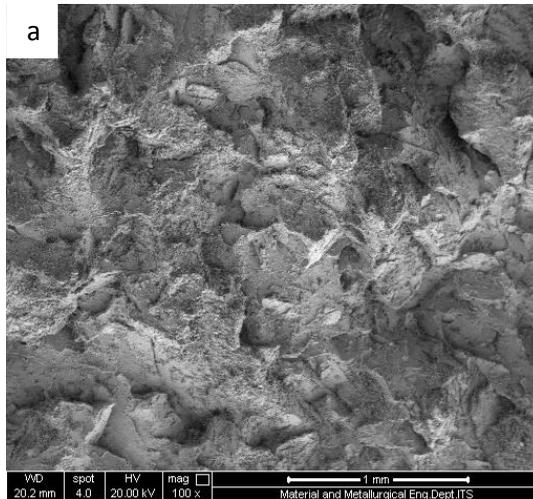
Kemudian setelah dari *initial crack* kemudian pengamatan SEM dilanjutkan kembali Pada gambar b adalah daerah perambatan retak pada rocker arm yang mengalami kegagalan dimana terlihat adanya perbedaan ketinggian secara nyata dan juga warna yang lebih gelap dibandingkan daerah awal retak yang dapat dilihat pada gambar 4.6 dan dengan SEM pada perbesaran 500x pada gambar 4.7. berdasarkan pengujian pada gambar 4.x daerah ini terlihat adanya butiran butiran kasar yang merupakan ciri dari patah getas. Disini terlihat dengan Jelas patahan yang melintasi butiran atau patah transgranular. Patah Transgranular Ini ditandai dengan adanya pola patahan dipermukaan yang memiliki bentuk butir butir kasar yang dan tersebar acak di permukaan patahan





Gambar 4.7 (a) pengamatan crack propagation dengan SEM perbesaran 500x ; (b) pengamatan crack propagation dengan SEM perbesaran 500x

Pada gambar 4.8 adalah daerah dari patah akhir (*final crack*) pada rocker arm yang mengalami kegagalan. Dengan permukaan yang kasar dengan butir-butir yang kasar (*coarse grains*) yang terlihat pada hasil pengamatan secara makro dengan menggunakan *stereomicroscope* pada Gambar 4.8. hal ini mengindikasikan bahwa rambatan ini adalah rambatan akhir pada saat komponen tidak lagi bisa menerima beban yang diberikan dengan luasan penampang yang tersisa sehingga terjadi kegagalan pada komponen ini.



Gambar 4.8 (a) Pengamatan *final crack* dengan SEM perbesaran 100x ; (b) Pengamatan *final crack* dengan SEM perbesaran 500x



4.1.5 Hasil Pengujian Komposisi Kimia

Uji Komposisi kimia menggunakan OES (*Optical Emission Spectroscopy*) pada komponen *rocker arm*. Pengujian dilakukan untuk mengamati komposisi pada spesimen *rocker arm*. Hasil pengujian komposisi kimia ditunjukkan pada Tabel 4.3.

Tabel 4.3 Hasil Komparasi uji komposisi

Unsur(%)	Material Retak	DIN 1681 GS 60
C	0.338	0.27– 0.45
Si	0.566	0.45 – 0.60
Mn	0.629	0.60– 0.95
P	0.0077	0.040 max
S	0.0086	0.040 max
Cr	0.186	-
Ni	0.120	-
Mo	0.0526	-
V	0.083	-
Cu	0.0422	-
Al	0.0569	-
Fe	Balance	Balance

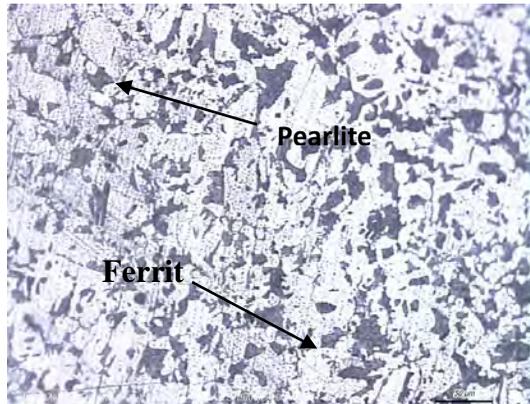
Tabel 4.3 Menunjukkan komposisi kimia pada sample uji. Berdasarkan hasil pengujian komposisi diatas, menunjukkan komposisi yang sesuai dengan cast steel DIN 1681 GS 60 dimana standar ini banyak digunakan sebagai acuan pembuatan *rocker arm*. Tidak adanya *mill certificate* yang menunjukkan kebenaran dari material yang digunakan, sehingga sulit untuk menentukan perbandingan standart komposisi materialnya.

4.1.6 Hasil Pengujian Metalografi

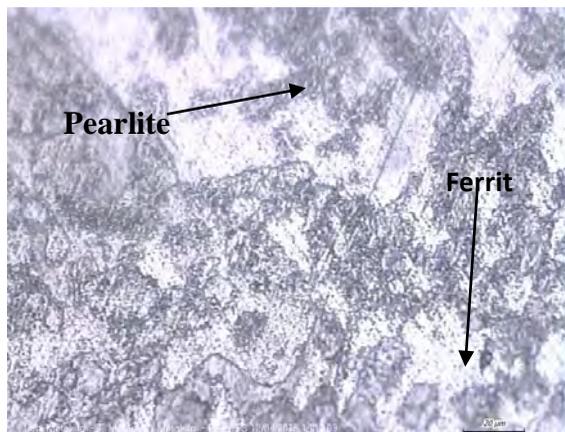
Pengujian struktur mikro ini dilakukan pada daerah yang jauh dari patahan dan yang dekat dari patahan. Sehingga dapat diamati apakah material mengalami perubahan fasa yang menyebabkan



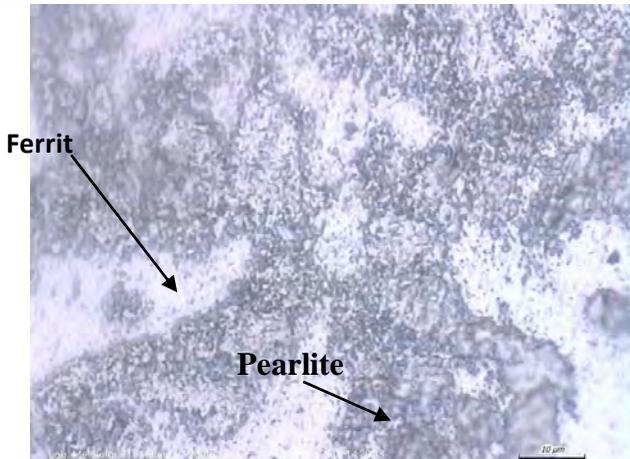
berubahnya sifat dari material tersebut yang memicu terjadinya kegagalan. Pengamatan yang dilakukan dengan perbesaran 100x sampai dengan 500x dengan menggunakan alat mikroskop optik.



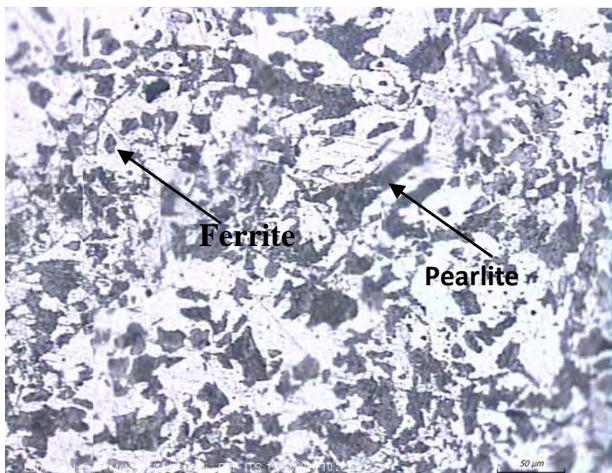
Gambar 4.9 Struktur mikro *Cast Steel* DIN 1681 GS 60 perbesaran 100x pada material yang jauh dari patahan



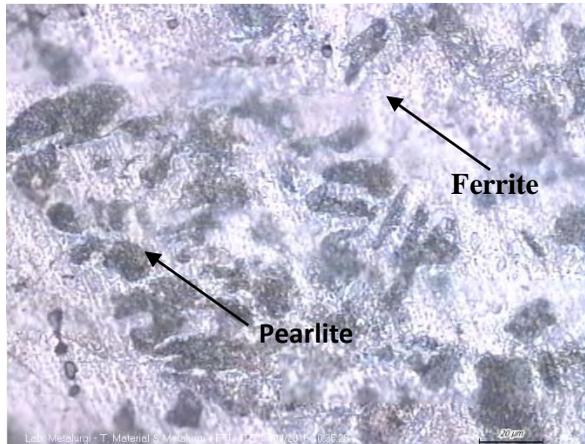
Gambar 4.10 Struktur mikro *Cast Steel* DIN 1681 GS 60 perbesaran 200x pada material yang jauh dari patahan



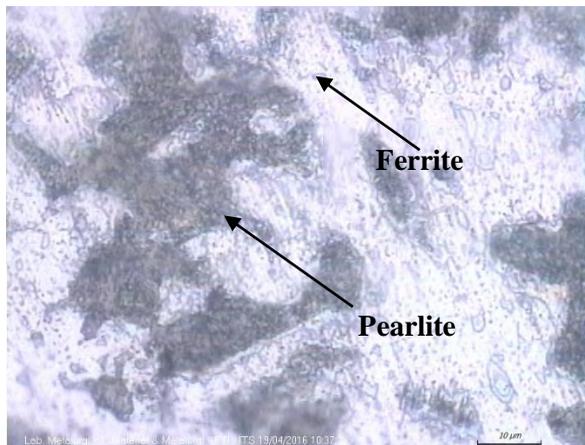
Gambar 4.11 Struktur mikro *Cast Steel* DIN 1681 GS 60 perbesaran 500x pada material yang jauh dari patahan



Gambar 4.12 Struktur mikro *Cast Steel* DIN 1681 GS 60 perbesaran 100x pada material yang dekat dari patahan



Gambar 4.13 Struktur mikro *Cast Steel* DIN 1681 GS 60 perbesaran 200x pada material yang dekat dari patahan



Gambar 4.14 Struktur mikro *Cast Steel* DIN 1681 GS 60 perbesaran 500x pada material yang dekat dari patahan



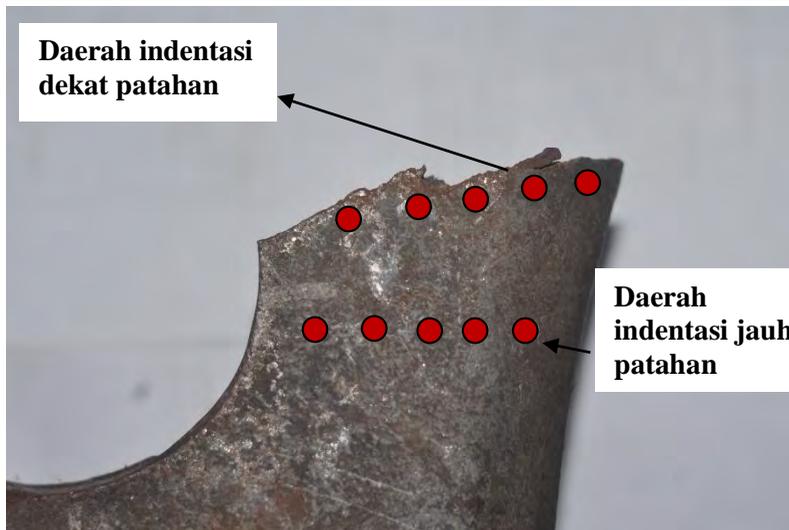
Berdasarkan pengamatan foto struktur mikro pada *rocker arm* diatas, didapatkan bahwa pada bagian yang berwarna putih adalah matriks *Ferrite* yang merupakan unsure utama *Rocker Arm*. Selain itu terdapat juga bagian yang berwarna hitam yaitu fasa *Pearlite*. Hal ini sesuai dengan material *cast steel* yang memiliki kandungan karbon 0.33 %.

Dapat diketahui juga terdapat perbedaan penyebaran struktur *pearlite* pada daerah yang dekat patahan dan jauh dari patahan dimana pada daerah yang dekat memiliki persebaran *pearlite* yang lebih banyak dibandingkan dengan daerah yang jauh dari patahan yang kemudian memengaruhi kekerasan pada daerah tersebut.

Kemudian pada struktur mikro *pearlite* yang di dekat patahan memiliki struktur yang mengalami *strain hardening* akibat dari tegangan selama *rocker arm* bekerja sehingga terlihat memanjang dibandingkan struktur didaerah yang jauh dari patahan.

4.1.7 Hasil Pengujian Kekerasan Brinell

Pengujian *hardness* ini digunakan untuk mengetahui distribusi kekerasan pada *rocker arm* yang mengalami kegagalan dan yang berada jauh dari kegagalan diperlihatkan pada gambar xxxx. Pengujian ini menggunakan indentasi sebanyak 5 titik, indentasi dilakukan pada daerah yang dekat dan jauh dari patahan dengan beban sebesar 187.5 kgf. Pembagian daerah indentasi dapat dilihat pada gambar 4.15



Gambar 4.15 Pembagian daerah indentasi uji kekerasan brinell

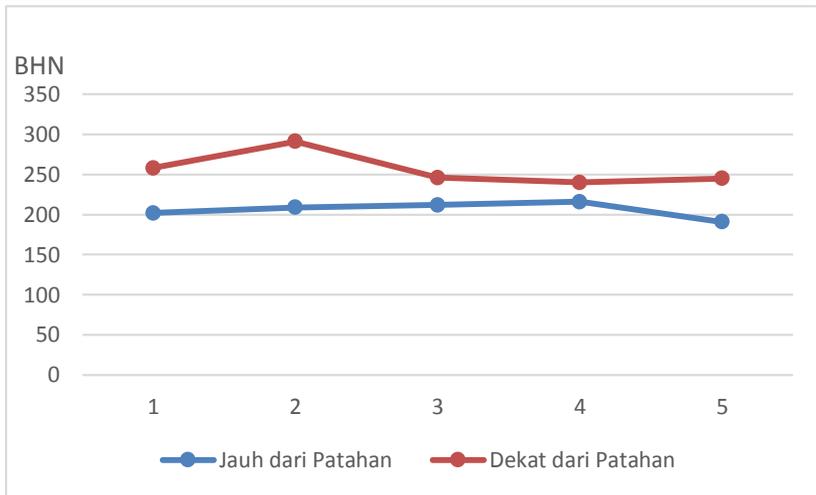
Pada tabel 4.4 diperlihatkan nilai kekerasan yang didapatkan pada daerah patahan dan yang jauh dari patahan, serta grafik distribusi kekerasan.

Dari gambar grafik 4.16 bisa terlihat bahwa nilai kekerasan di daerah yang jauh dari patahan memiliki rata rata sebesar 206 BHN, sedangkan yang dekat dengan patahan memiliki nilai rata rata sebesar 256 BHN. Dari sini bisa dilihat bahwa komponen ini mengalami kenaikan kekerasan pada daerah yang mengalami patahan bila dibandingkan dengan daerah yang berada jauh dari patahan.



Tabel 4.4 Data hasil pengujian kekerasan

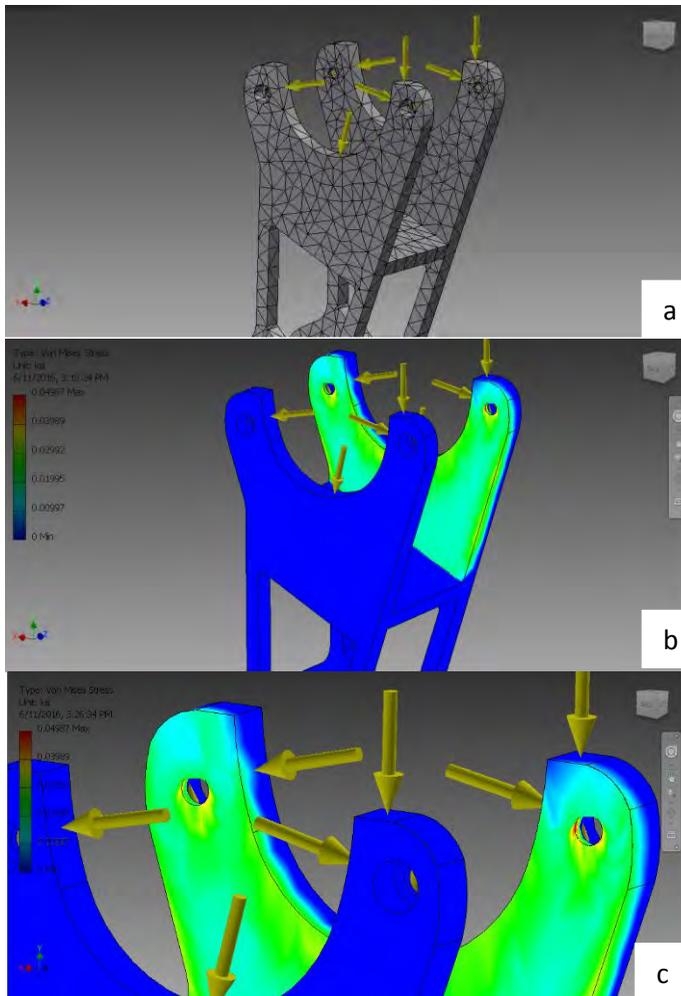
Nilai Kekerasan (BHN)		
Daerah Indentasi	Jauh dari patahan	Dekat dari patahan
<i>1</i>	202	258
<i>2</i>	209	291
<i>3</i>	212	246
<i>4</i>	216	240
<i>5</i>	191	245
<i>Average</i>	206	256



Gambar 4.16 Grafik distribusi kekerasan pada *rocker arm*

4.1.8 Analisa Titik Kritis

Berdasarkan permodelan software inventor untuk mengetahui titik kritis *rocker arm*. Pembebanan dibagi menjadi beberapa gaya yaitu *force load* dari atas dan bawah. kemudian dilakukan *meshing* pada oleh software inventor pada gambar 4.17a setelah itu kemudian di simulasikan dan terdapat di bagian lingkaran didalam kuping *rocker arm* memiliki warna yang lebih merah. Pada gambar 4.17b terlihat bahwa Pembebanan *rocker arm* terpusat pada bagian lingkaran ditegah kuping *rocker arm*. Dimana pada bagian tersebut sebagai tumpuan dari *dowell* yang digunakan untuk menahan struktur *roller mill*, sehingga menandakan bahwa didalam lingkaran tersebut terjadi pusat tegangan. Hal ini sesuai dengan dengan temuan patahan yang berada di tengah lingkaran tersebut.



Gambar 4.17 (a) meshing pada *rocker arm* (b) hasil simulasi pembebanan pada *rocker arm* (c) perbesaran gambar, terjadi konsentrasi tegangan pada daerah yang berwarna merah yang juga daerah terjadinya patahan



4.2 Pembahasan

Berdasarkan hasil pengujian yang telah dilakukan, faktor-faktor penyebab kegagalan dapat dibagi menjadi beberapa faktor, yaitu tegangan, material dan proses *maintenance*.

Berdasarkan pengamatan uji metalografi didapatkan perbedaan struktur mikro dimana struktur *pearlite* di daerah dekat patahan memiliki persebaran yang banyak di bandingkan dari struktur *pearlite* di daerah yang jauh dari patahan. Selain itu, struktur mikro di daerah dekat patahan mengalami *strain hardening* akibat dari tegangan selama rocker arm bekerja dimana struktur mikronya mengalami *elongation* (memanjang) dibanding struktur di daerah yang jauh dari patahan sehingga kekerasan mengalami kenaikan di daerah dekat patahan.

Berdasarkan uji kekerasan yang dilakukan terjadi perubahan kekerasan pada daerah yang dekat dari patahan dan jauh dari patahan. Dimana pada daerah yang dekat dengan patahan mengalami kenaikan kekerasan di bandingkan daerah yang jauh dari patahan ini disebabkan oleh tingginya tegangan yang bekerja pada daerah yang dekat patahan.

Hasil analisa titik kritis menggunakan software inventor pun di dapatkan bahwa daerah yang terjadi patahan merupakan daerah yang memiliki tegangan yang tinggi yang berasal dari *roller mill, hydraulic pneumatic pressure* yang menyebabkan pusat tegangan pada rocker arm tersebut. Selain itu, pemasangan *dowell* pada rocker arm pun dapat menyebabkan terjadinya patah karena dekat dengan daerah yang memiliki tegangan tinggi. Menurut Zhang, (2011) tegangan yang tinggi mengakibatkan semakin mudah terjadinya *crack*

Kemudian pada pengamatan fraktografi dapat diketahui bahwa *Initial Crack*, merupakan retak awal yang ditandai dengan permukaan yang terlihat terang dan halus. Menurut Nishida Shin-ichi (1992). Awal retak biasanya dimulai dari permukaan. 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 juga menyebabkan konsentrasi tegangan.

Crack Propagation, merupakan penjalaran retak dengan permukaan yang berwarna lebih gelap dan adanya perbedaan ketinggian yang terlihat secara makro bila dibandingkan dengan daerah initial crack.

Final Crack, merupakan daerah rambatan akhir dengan permukaan yang kasar dengan butir-butir yang kasar (*coarse grains*).

Dari hasil pengamatan dan penelitian di atas dapat dipastikan bahwa rocker arm mengalami fatigue brittle akibat dari tingginya tegangan pada tengah lingkaran rocker arm. Disini juga tidak terlihat striasi atau *beachmark* diakibatkan waktu patah statis yang merambat hingga patah akhir lebih lama dibandingkan patah dinamis

Terjadinya kerusakan pada *rocker arm* ini dapat di akibatkan oleh pemasangan dowell pada *rocker arm* yang tidak hati-hati dapat mengakibatkan inisiasi crack dan juga pada proses pemeliharaan (*maintenance*) yang kurang baik dapat dilihat dengan rocker arm yang harusnya terlumasi oli akan tetapi pada saat patah ditemukan kering tanpa oli, sehingga *dowell* jika bergerak pada daerah yang tidak diberikan oli dapat dengan mudah menyebabkan inisiasi crack karena gesekan dengan lingkaran dalam *rocker arm*



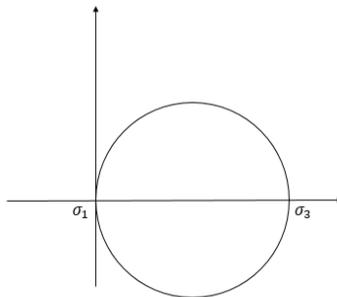
(halaman ini sengaja dikosongkan)



LAMPIRAN

A. Perhitungan Tegangan

- Diketahui :
 - Daya motor (P) = 600 kw
 - Kecepatan putar millstone = 36.18 rpm
 - Radius Average Load = 0.875 m
 - banyak roller (n) = 3 buah
 - Luasan rocker arm (a) = 4.2 m²
 - Hydraulic Pneumatic Pressure = 71 Kgf/mm²
- Ditanya : Tegangan yang bekerja pada komponen
Rocker arm yang mengalami kegagalan
- Dijawab :
 - Metode Tresca



$$\tau = \frac{\sigma_1 - \sigma_3}{2}$$

Dimana, $2 \tau = \sigma_y$
 $\sigma_y = \sigma_1 - \sigma_3$



Karena pembebanan secara uniaxial, maka dapat disimpulkan bahwa :

Sehingga,

$$\sigma_3 = 0$$
$$\sigma_y = \sigma_1 - 0$$
$$\sigma_y = \sigma_1$$

Sehingga,

$$\sigma_1 = \frac{F}{A}$$

Dimana, F = Gaya (N) ; A= Luas Penampang (m²)

- Mencari torsi (T_d)

$$T_t = \frac{9550 \text{ Daya}}{\text{Kecepatan rotasi}}$$
$$T_t = \frac{9550 \times 600}{36.18}$$
$$T_t = 158374,79 \text{ Nm}$$

- Mencari Force (F_i)

$$T_t = F_i \times R \times n$$
$$F = \frac{T}{r \times n}$$
$$F = \frac{158374,79}{0.875 \times 3}$$
$$= 60333 \text{ N}$$
$$= 60,33 \text{ KN}$$



- Mencari tegangan yang bekerja pada rocker arm

$$\sigma_1 = \frac{F}{A}$$
$$\sigma_1 = \frac{60,33}{4,2}$$
$$\sigma_1 = 14,374 \text{ kN/m}^2 \text{ (Pa)}$$
$$\sigma_1 = 0.014374 \text{ MPa}$$

- Safety Factor

$$S_f = \sigma_1 \times 2$$
$$S_f = 0.028748 \text{ MPa}$$

Hydraulic Pneumatic Pressure 71 kgf/mm²

=696,272 MPa

Total Stress

=0.028748+696,272

=696,3 MPa

- Perbandingan tegangan maksimal pada material dengan standart

$$\sigma_1 < \sigma_y$$
$$696,3 \text{ MPa} < 730 \text{ MPa}$$



B. Analisa OES (Optical Emission Spectrometry) Komposisi kimia

POLITEKNIK PERKAPALAN NEGERI SURABAYA
LABORATORIUM DT NDT

OES Chemical Results

Sample ID :	1	Material :	CS
Customer :	Sdr. Azhar Basyir (T.Material-ITS) Dimension :		-
Lab-no. :	UJI BAHAN	Heat-no. :	-
Operator :	ELHAM	Ka. Laboratorium :	M. THORIQ WAHYUDI
Date :	23/03/2016		

Spektralanalyse Foundry-MASTER Grade :

	Fe	C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo
1	97.8	0.333	0.581	0.623	0.0083	0.0110	0.185	0.0513
2	97.9	0.342	0.579	0.636	0.0079	0.0083	0.185	0.0535
3	97.9	0.339	0.539	0.627	0.0070	0.0066	0.187	0.0529
Ave	97.9	0.338	0.566	0.629	0.0077	0.0086	0.186	0.0526

	Ni	Al	Ca	Cu	Nb	Ti	V	W
1	0.120	0.0629	0.0007	0.0411	0.0170	0.0167	0.0102	< 0.0010
2	0.121	0.0535	< 0.0005	0.0458	0.0177	0.0135	0.0083	< 0.0010
3	0.118	0.0544	0.0007	0.0397	0.0145	0.0150	0.0063	< 0.0010
Ave	0.120	0.0569	0.0006	0.0422	0.0164	0.0151	0.0083	< 0.0010

	Pb	Sn	B	Ca	Zr	Zn	Bi	As
1	< 0.0010	0.0025	0.0006	0.0022	0.0134	0.0010	0.0019	< 0.0005
2	< 0.0010	0.0017	0.0001	0.0012	0.0136	0.0014	0.0007	< 0.0005
3	< 0.0010	0.0012	0.0002	0.0009	0.0135	0.0015	< 0.0005	< 0.0005
Ave	< 0.0010	0.0018	0.0003	0.0014	0.0135	0.0013	0.0009	< 0.0005

	N	Se	Sb	Ta
1	0.0161	< 0.0010	< 0.0010	< 0.0040
2	< 0.0030	< 0.0010	< 0.0010	< 0.0040
3	< 0.0030	< 0.0010	< 0.0010	< 0.0040
Ave	0.0053	< 0.0010	< 0.0010	< 0.0040

Kampus ITS Sukolilo
Jl. Teknik, Malang



C. Standar DIN 1681 GS 60 (Mechanical Properties) & (Chemical Composition)

Material: steel

Material designator	Material no.	Material/DINEN reference	Chemical composition in weight percentage ^a					Heat treatment ^b
			C	S	Mn	P	S	
PLAIN CARBON STRUCTURAL STEEL DIN 1681								
GS-38	10420		0.17	0.30	0.60		N	
GS-45	10446		0.22	0.30	0.60		N	
GS-52	10552		0.27	0.30	0.60		N	
GS-60	10558		0.42	0.30	0.60		N	
GS-70	10554		0.50	0.30	0.40		N	
CAST STEEL FOR CASE HARDENING EN 10284								
GS-CK 15	11141		0.15	0.30	0.40		V	
GS-20MnCr4	17221		0.20	0.30	0.75	0.40	0.45 V	
GS-17CrNiMo6	16587		0.16	0.30	0.50	1.60	1.60 0.30 V	
TEMPERING CAST STEEL^c EN 10283								
GS-50CrMo4	17118		0.55	0.30	0.60	1.00	0.25 V1	
GS-50CrMo4	17218		0.55	0.30	0.60	1.00	0.25 V11	
GS-50CrMo4	17220		0.54	0.30	0.60	1.00	0.25 V1	
GS-50CrMo4	17220		0.54	0.30	0.60	1.00	0.25 V11	
GS-40CrMo4	17225		0.42	0.30	0.80	1.00	0.20 V1	
GS-40CrMo4	17225		0.42	0.30	0.80	1.00	0.20 V11	
GS-40CrMo4	16582		0.33	0.30	0.80	1.50	1.50 0.25 V1	
GS-30CrNiMo6	16582		0.33	0.30	0.80	1.50	1.50 0.25 V11	
CAST STEEL FOR WELDED CONSTRUCTIONS DIN 17102								
GS-20Mn5	11120		0.20	0.45	1.20	≤ 0.30	≤ 0.40 ≤ 0.15 V	
GS-20MnMo55	-		0.20	0.30	1.40		0.25 V	
GS-21MnCrMo5	-		0.22	0.30	1.00	1.00	0.25 V	

Material designator	Material no.	Material/DINEN reference	Generalised mechanical properties				
			Yield strength ^a	Tensile strength ^a	Elongation ^a	Charpy ^a impact energy ^b	Brinell hardness ^c
PLAIN CARBON STRUCTURAL STEEL DIN 1681							
GS-38	10420		380-480	35	35	110-150	
GS-45	10446		490-560	22	27	135-175	
GS-52	10552		510-650	18	22	155-200	
GS-60	10558		600-730	15	20	180-220	
GS-70	10554		690-820	12	15	200-250	
CAST STEEL FOR CASE HARDENING EN 10284							
GS-CK 15	11141		390-490	25	50		
GS-20MnCr4	17221		780-1080	10	20		
GS-17CrNiMo6	16587		980-1180	8	12		
TEMPERING CAST STEEL^c EN 10283							
GS-50CrMo4	17118		600-750	18	50	180-220	
GS-50CrMo4	17218		750-900	10	35	220-270	
GS-50CrMo4	17220		750-900	14	35	220-270	
GS-50CrMo4	17220		850-1000	10	37	270-320	
GS-40CrMo4	17225		780-930	14	35	230-280	
GS-40CrMo4	17225		900-1100	10	37	270-320	
GS-40CrMo4	16582		850-1000	12	45	260-320	
GS-30CrNiMo6	16582		900-1100	10	35	270-320	
CAST STEEL FOR WELDED CONSTRUCTIONS DIN 17102							
GS-20Mn5	11120		500-650	24	50	150-200	
GS-20MnMo55	-		560-690	18	50	165-210	
GS-21MnCrMo5	-		830-1030	14	33	240-315	

General properties and examples of usage

Economical, frequently used steels.
No pre-hardening is needed to yield GS 38 and GS 45 steels.

The values for the mechanical properties apply to tempered with a wall thickness of approx. 40 mm.

Low-alloy steels are mainly suitable for heavy-duty and load constructions because the mechanical properties are practically remain constant across the whole cross-section of the material. Quenching with water or oil means that, more complex parts with large differences in cross-section can be heat-treated.

GS-20Mn5 is an economical steel for cross-sections with a diameter of up to 30 mm. GS-21MnCrMo5 is a steel for cross-sections with a diameter of up to 100 mm.





(Halaman ini sengaja dikosongkan)



BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

1. Kesimpulan

Berdasarkan serangkaian percobaan yang telah dilakukan ada beberapa kesimpulan mengenai kegagalan *rocker arm* pada *vertical roller mill* antara lain sebagai berikut :

1. Faktor yang menyebabkan terjadinya kegagalan komponen *rocker arm* pada *vertical roller mill* yaitu *fatigue brittle failure*.
2. Mekanisme kegagalan komponen *rocker arm* ini terjadinya dikarenakan pemasangan *dowell* di dalam *rocker arm* yang tidak pas , tingginya tegangan dan juga tidak adanya pelumas pada daerah kegagalan sehingga komponen tersebut patah pada *rocker arm*
3. Untuk mengatasi kegagalan yaitu memberikan pelumas pada lubang komponen *rocker arm* dan pemasangan *dowell* yang sesuai dan pas agar dapat meningkatkan ketahanan terhadap beban siklik.

2. Saran

1. Pada saat proses maintenance *rocker arm* pemasangan *dowell* harus dilakukan hati-hati agar tidak terjadi pergesekan yang menyebabkan *inisiasi crack*.
2. Inspeksi berkala pada komponen *rocker arm* dan *dowell* untuk mengurangi jumlah *rocker arm* yang patah.
3. Memperhatikan selalu proses pelumasan *rocker arm* agar kondisinya tidak kering



(Halaman ini sengaja dikosongkan)



DAFTAR PUSTAKA

- _____. 2002. **ASM Handbook Vol.9 Metallographic and Microstructure**. Material Park. Ohio. USA. ASM International.
- _____. 2002. **ASM Handbook Vol.12 Fractography**. Material Park. Ohio. USA. ASM International.
- _____. 2002. **ASM Handbook Vol.19 Fatigue and Fracture**. Material Park. Ohio. USA. ASM International.
- _____. 2002. **ASM Handbook Vol.15 Casting** . Material Park. Ohio. USA. ASM International.
- _____. 1995. **Steel Casting Handbook 6th Edition**. Material Park. Ohio. USA. ASM International.
- _____. 2002. **ASTM E140-02 Standard Hardness Conversion Tables for Metals Relationship Among Brinell Hardness, Vickers Hardness, Rockwell Hardness, Superficial Hardness, Knoop Hardness, and Scleroscope Hardness**. USA. ASTM International.
- _____. 2002. **ASTM E10-10 Standard Test Method For Brinell Hardness Of Metallic Materials**. USA. ASTM International.
- Cheng, Kun. 2011.**Finite Element Analysis For Rocker Arms Of Vertical Roller Mill On The ANSYS Workbench**. China : College Of Manufacturing Science



and Engineering, Southwest University Of Science and Technology, Mianyang.

- Avner, Sidney H. 1974. **Introduction To Physical Metallurgy**. Singapore : McGraw-Hill Book Co.
- Bradburry E. J. 1991. **Dasar Metalurgi Untuk Rekayasawan**. Indonesia : PT Gramedia Pustaka Utama.
- Wang, QianHong dkk. 2012. **Design and Realization Of Roller Mill Control System**. China : University Of Jinan
- Jensen, R.D Lucas dkk. 2011. **Wear Mechanism Of Abrasion Resistant Wear Parts In Raw Vertical Roller Mills**. Denmark : Technical University Of Denmark
- Calister, William. 2007. **Material Science and Engineering An Introduction**. New York : John Wiley & Sons, Inc.
- Colgelo, V.J. 1989. **Analysis of Metallurgical Failures Second Edition**. Singapore : John Wiley & Sons, Inc.
- Cortney, Thomas H. 1990. **Mechanical Behavior Of Materials**. Singapore : McGraw-Hill Book Co.
- Diter, George E. 1987. **Metalurgi Mekanik**. Jakarta : Erlangga.



Gede, U. W. 1995. **Polymer in Chemical Sensors and Arrays.** Germany : University of Regensburg.

Kroschwitz, J. 1990. **Polymer Characterization and Analysis.** Canada : John Wiley and Sons Inc.

Nishida, Shin-ichi.1992. **Failure Analysis in Engineering Application.** Jordan Hill. Oxford. Butterworth-Heinemann Ltd.

R. rooks, Charlie and Choudhury, Ashok. 2002. **Failure Analysis of Engineering Materials.** New York : McGraw-Hill.

Smllman, R. E. and Bishop R.J. 1999. **Metalurgi Fisik Modern dan rekayasa Material.** Indonesia : Erlangga.



(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BIODATA PENULIS



Penulis bernama lengkap Azhar Basyir Baharuddin yang dilahirkan di Makassar pada tanggal 6 Agustus 1994. Penulis pernah menjalankan pendidikan formal di SDN 002 Balikpapan Utara, SMPN 3 Margahayu Kab Bandung, dan SMAN 22 Bandung. Penulis merupakan mahasiswa aktif Jurusan Teknik Material dan Metalurgi FTI-ITS tahun masuk 2012.

Selama menjalankan pendidikan di kampus ITS Surabaya, penulis berpartisipasi aktif dalam organisasi mahasiswa himpunan mahasiswa teknik material dan etalurgi (HMMT) FTI -ITS sebagai staff departemen media dan informasi pada tahun 2013-2014 dan kepala biro multimedia departemen media dan informasi pada tahun 2014-2015. Selain itu penulis juga aktif dalam aktifitas akademik sebagai asisten laboratorium korosi dan kegagalan material

Alamat penulis saat ini adalah komplek sarie bunga bakung Blok E 102 A cijawura, margacinta Kota Bandung. Nomor telepon yang dapat dihubungi adalah 087822110446 atau alamat email basyir.azhar94@gmail.com.