



**ITS**  
Institut  
Teknologi  
Sepuluh Nopember

**TUGAS AKHIR - TL 141584**

# **ANALISIS KEGAGALAN PADA HAMMER CRUSHER DI CLINKER COOLER TUBAN 1, PT. SEMEN INDONESIA**

**NOVIA DIAJENG ARUMSARI**  
NRP. 2713 100 012

**Dosen Pembimbing**  
Lukman Noerochiem, S.T., M.Sc.Eng., PhD  
Budi Agung Kurniawan, S.T., M.Sc.

**DEPARTEMEN TEKNIK MATERIAL**  
Fakultas Teknologi Industri  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
Surabaya  
2017



**TUGAS AKHIR - TL141584**

# **ANALISIS KEGAGALAN PADA HAMMER CRUSHER DI CLINKER COOLER TUBAN 1, PT. SEMEN INDONESIA**

**NOVIA DIAJENG ARUMSARI**  
NRP. 2713 100 012

Dosen Pembimbing :  
Lukman Noerochiem, S.T., M.Sc.Eng., PhD  
Budi Agung Kurniawan, S.T.,M.Sc.

DEPARTEMEN TEKNIK MATERIAL  
Fakultas Teknologi Industri  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
Surabaya  
2017

*(halaman ini sengaja dikosongkan)*



**FINAL PROJECT - TL141584**

# **FAILURE ANALYSIS OF HAMMER CRUSHER AT CLINKER COOLER PLANT TUBAN 1 PT. SEMEN INDONESIA**

**NOVIA DIAJENG ARUMSARI  
NRP. 2713 100 012**

**Advisor:**

**Lukman Noerochiem, S.T., M.Sc.Eng., PhD  
Budi Agung Kurniawan, S.T., M.Sc.**

**MATERIALS ENGINEERING DEPARTMENT  
Faculty of Industrial Technology  
Sepuluh Nopember Institute of Technology  
Surabaya  
2017**

*(this page is left intentionally blank)*

# **ANALISIS KEGAGALAN PADA HAMMER CRUSHER DI CLINKER COOLER TUBAN 1, PT. SEMEN INDONESIA**

## **TUGAS AKHIR**

**Diajukan untuk Memenuhi Salah Satu Syarat  
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik**

**pada**

**Bidang Studi Teknik Korosi dan Analisa Kegagalan  
Program Studi S-1 Departemen Teknik Material  
Fakultas Teknologi Industri  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember**

**Oleh :**

**Novia Diajeng Arumsari  
NRP. 2713100012**

**Disetujui oleh Tim Penguji Tugas Akhir :**

1. Dr. Lukman Noerochiem, S.T., M.Sc.  (Pembimbing 1)

2. Budi Agung Kurniawan, S.T., M.Sc.  (Pembimbing 2)



*(halaman ini sengaja dikosongkan)*

# ANALISIS KEGAGALAN PADA HAMMER CRUSHER DI CLINKER COOLER TUBAN 1, PT. SEMEN INDONESIA

Nama Mahasiswa : Novia Diajeng Arumsari  
NRP : 2713100012  
Departemen : Teknik Material  
Dosen Pembimbing : Lukman Noerochiem, S.T., M.Sc.Eng. PhD  
Co-Pembimbing : Budi Agung Kurniawan, S.T., M.Sc.

## Abstrak

*Hammer Crusher merupakan salah satu komponen utama di dalam clinker cooler. Hammer Crusher adalah alat untuk menghancurkan terak (clinker) yang telah mendingin, dengan tujuan untuk mereduksi ukuran dari terak tersebut. Hammer crusher mengalami keausan yang menyebabkan umur pakainya tidak sesuai dengan pemakaian idealnya. Dalam penelitian ini dilakukan analisa kegagalan penyebab terjadinya kegagalan pada hammer crusher. Pengujian yang dilakukan untuk menganalisa material hammer crusher ini adalah pengujian komposisi yang dilakukan dengan alat OES, pengujian kekerasan dengan metode vickers, pengujian dampak dengan menggunakan metode charpy, dan metalografi yang diamati dibawah mikroskop optik. Berdasarkan pengujian komposisi, material hammer crusher tidak sesuai dengan standar. Kemudian dari uji kekerasan diperoleh nilai rata-rata sebesar 569.8 HVN pada bagian aus hammer dan 481.2 HVN pada bagian jauh dari aus. Dari pengujian dampak diperoleh nilai energy dampak rata-rata pada bagian aus sebesar 1.917 Joule dengan kekuatan dampak rata-rata sebesar 0.023 Joule/mm<sup>2</sup>, pada daerah jauh dari aus nilai dampak rata-rata sebesar 1.733 Joule dengan kekuatan dampak rata-rata sebesar 0.021 Joule/mm<sup>2</sup>.*

**Kata Kunci : Hammer crusher, Clinker Cooler, Hardness, Impact.**

*(halaman ini sengaja dikosongkan)*

# FAILURE ANALYSIS OF HAMMER CRUSHER AT CLINKER COOLER PLANT TUBAN 1, PT. SEMEN INDONESIA

**Name** : Novia Diajeng Arumsari  
**NRP** : 2713100012  
**Department** : Materials Engineering  
**Advisor** : Lukman Noerochim, S.T., M.Sc. Eng., PhD  
**Co-Advisor** : Budi Agung Kurniawan, S.T., M.Sc.

## **Abstract**

*Hammer Crusher is one of the main components in the clinker cooler. Hammer Crusher is a tool to destroy the slag (clinker) which has cooled, in order to reduce the size of the slag. Hammer crusher suffers wear which causes the lifetime is not with the ideal use. In this research to analyze the causes of failure in the hammer crusher. Test that used to analyze this materials are composition test using OES, hardness test with vickers method, impact test with charpy method, metallographies observed under an optical microscope. Based on composition testing, hammer crusher material does not conform to the standard. From the hardness test obtained an average value is 569.8 HVN on the upper part of the hammer and 481.2 HVN in area far from failure. From the impact test obtained an average value of the impact energy on the upper part of the hammer is 1.917 Joule with an average impact strength is 0.023 Joule/mm<sup>2</sup>, in areas far from failure the impact energy is 1.733 Joule with average impact strength is 0.021 Joule/mm<sup>2</sup>*

**Keywords** : Hammer Crusher, Clinker Cooler, Hardness, Impact

*(this page is left intentionally blank)*

## KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan kehadirat Allah SWT yang telah memberikan rahmat, anugerah, serta karunia-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan penyusunan laporan Tugas Akhir. Tugas Akhir ditunjukkan untuk memenuhi mata kuliah wajib yang harus diambil oleh mahasiswa Departemen Teknik Material Fakultas Teknologi Industri Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS), penulis telah menyelesaikan tugas akhir dengan judul **“Analisis Kegagalan pada Hammer Crusher di Clinker Cooler Tuban 1, PT. Semen Indonesia”**

Penulis menyadari bahwa tanpa bantuan dan dukungan dari berbagai pihak, laporan tugas akhir ini tidak dapat terselesaikan dengan baik. Oleh karena itu, penulis ingin mengucapkan terimakasih kepada:

1. Kedua orang tua, dan kakak penulis yang telah mendoakan, memberikan semangat dan mendukung secara moril maupun materiil.
2. Dr. Agung Purniawan, S.T, M.Eng., selaku Ketua Jurusan Teknik Material dan Metalurgi FTI-ITS.
3. Dr. Eng. Hosta Ardhyanta ST., M.Sc. selaku Koordinator Tugas Akhir Jurusan Teknik Material dan Metalurgi FTI-ITS.
4. Dr. Lukman Noerochiem, S.T., M.Sc., dan Budi Agung Kurniawan, S.T., M.Sc., selaku dosen pembimbing tugas akhir yang telah membimbing dan memberikan banyak ilmu yang sangat bermanfaat selama pengerjaan tugas akhir ini.
5. Wikan Jatimurti S.T., M.Sc., selaku dosen wali yang telah menjadi orang tua kedua selama penulis menjalani pendidikan di Jurusan Teknik Material dan Metalurgi.
6. Bapak Didik Isdarmadi, selaku pembimbing di PT. Semen Indonesia (Persero) Tbk yang telah membimbing dan memberikan banyak ilmu selama pengerjaan tugas akhir ini.
7. Keluarga MT 15 yang banyak memberikan saya pengalaman selama masa perkuliahan di Jurusan Teknik Material dan Metalurgi.

8. Serta seluruh pihak yang belum dituliskan satu per satu oleh penulis, yang telah memberikan partisipasi dalam Tugas Akhir ini.

Penulis menyadari bahwa dalam pembuatan laporan ini masih terdapat kekurangan. Oleh karena itu, penulis mengharapkan kritik yang membangun dari pembaca demi perbaikan dan kemajuan bersama. Penulis berharap laporan tugas akhir ini dapat bermanfaat dan dimanfaatkan dengan sebaik-baiknya

Surabaya, Juli 2017

Penulis,

## DAFTAR ISI

<b>HALAMAN JUDUL</b> .....	<b>i</b>
<b>HALAMAN PENGESAHAN</b> .....	<b>v</b>
<b>ABSTRAK</b> .....	<b>vii</b>
<b>ABSTRACT</b> .....	<b>ix</b>
<b>KATA PENGANTAR</b> .....	<b>xi</b>
<b>DAFTAR ISI</b> .....	<b>xiii</b>
<b>DAFTAR GAMBAR</b> .....	<b>xvii</b>
<b>DAFTAR TABEL</b> .....	<b>xxi</b>
<b>BAB I PENDAHULUAN</b>	
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah.....	3
1.3 Batasan Masalah .....	3
1.4 Tujuan Penelitian .....	3
1.5 Manfaat Penelitian.....	4
<b>BAB II TINJAUAN PUSTAKA</b>	
2.1 Pengertian <i>Clinker Cooler</i> .....	5
2.2 Pengertian <i>Hammer Crusher</i> .....	7
2.3 Material <i>Hammer Crusher</i> .....	7
2.3.1 Material Standar (ASTM A532) .....	7
2.3.2 Material ASTM A681 Tipe D2 .....	9
2.4 Baja.....	10
2.5 Besi Tuang ( <i>Cast Iron</i> ) .....	12
2.5.1 Besi Tuang Putih ( <i>White Cast Iron</i> ) .....	13
2.5.2 <i>High Chromium White Cast Iron</i> .....	13
2.6 Analisa Kegagalan.....	17
2.7 Prosedur Dalam Analisa Kegagalan .....	19
2.8 Pengertian Keausan .....	20
2.8.1 Keausan Karena Perilaku Mekanis ( <i>Mechanical</i> ) .....	21
2.8.2 Keausan Karena Perilaku Kimia ( <i>Chemical</i> ).....	24
2.8.3 Keausan Karena Perilaku Panas	

	( <i>Thermal Wear</i> ) .....	24
2.9	Pengujian Komposisi .....	24
2.10	Pengujian Kekerasan .....	25
	2.10.1 Uji Kekerasan <i>Vickers</i> .....	26
2.11	Pengujian <i>Impact</i> .....	26
2.12	Penelitian Sebelumnya .....	29
<b>BAB III METODOLOGI</b>		
3.1	Diagram Alir Penelitian .....	37
3.2	Metode Penelitian .....	38
3.3	Material yang digunakan .....	38
3.4	Peralatan .....	39
3.5	Tahapan Penelitian .....	40
	3.5.1 Review Dokumen Perusahaan .....	40
	3.5.2 Preparasi Spesimen .....	40
	3.5.3 Uji Komposisi .....	41
	3.5.4 Pengamatan Makroskopik dan Mikroskopik .....	42
	3.5.5 Uji Kekerasan .....	42
	3.5.6 Uji Impak .....	43
<b>BAB IV ANALISIS DATA DAN PEMBAHASAN</b>		
4.1	Analisis Data .....	45
	4.1.1 Data Analisa Kegagalan .....	45
	4.1.2 Pengamatan Hasil Makro <i>Hammer Crusher</i> yang Mengalami Kegagalan ...	46
	4.1.3 Hasil Pengujian Komposisi Kimia <i>Hammer Crusher</i> .....	47
	4.1.4 Hasil Pengujian Kekerasan <i>Vickers</i> .....	48
	4.1.5 Hasil Pengujian Impak pada <i>Hammer Crusher</i> .....	50
	4.1.6 Hasil Pengujian Metalografi .....	54
4.2	Pembahasan .....	57
<b>BAB V KESIMPULAN DAN SARAN</b>		
5.1	Kesimpulan .....	61
5.2	Saran .....	61
<b>DAFTAR PUSTAKA .....</b>		<b>xxiii</b>

<b>LAMPIRAN.....</b>	<b>xxvii</b>
<b>BIODATA PENULIS.....</b>	<b>xxxvi</b>

*(halaman ini sengaja dikosongkan)*

## DAFTAR GAMBAR

<b>Gambar 2.1</b>	Komponen <i>Clinker Cooler</i> (FLSmith, 2016)....	6
<b>Gambar 2.2</b>	Komponen <i>Hammer Crusher</i> (FLSmith, 2016) .....	7
<b>Gambar 2.3</b>	Struktur mikro baja ASTM A681 tipe D2 (Muslim, 2008).....	10
<b>Gambar 2.4</b>	Diagram fasa Fe-Fe <sub>3</sub> C (Avner, 1974).....	12
<b>Gambar 2.5</b>	Struktur mikro besi tuang putih perbesaran 500x (Smallman dan Bishop, 1995).....	13
<b>Gambar 2.6</b>	Struktur mikro <i>high chromium white cast</i> iron (Bedolla, et al, 2003).....	14
<b>Gambar 2.7</b>	Diagram fasa ekuilibrium <i>high chromium white</i> <i>cast iron</i> dengan kadar Cr 15% (Li, 2009).....	15
<b>Gambar 2.8</b>	Mekanisme <i>abrasive wear</i> akibat proses cutting (Stachowiak, 2000).....	21
<b>Gambar 2.9</b>	Proses perpindahan logam karena <i>abrasive wear</i> (Stachowiak, 2000).....	21
<b>Gambar 2.10</b>	<i>Flow wear</i> oleh penumpukan aliran geseran plastis (Stachowiak, 2000) .....	22
<b>Gambar 2.11</b>	<i>Fatigue wear</i> karena retak di bagian dalam dan merambat (Stachowiak, 2005).....	22
<b>Gambar 2.12</b>	Skema penggambaran proses retak dari awal retak dan merambatnya retak permukaan. (a) Permulaan retak sebagai hasil dari proses fatik. (b) Retak primer merambat sepanjang bidang slip. (c) Retak tambahan dari permulaan retak. (d) Tambahan retak merambat dan terbentuklah partikel keausan (Buckley D.H., 1981) .....	23
<b>Gambar 2.13</b>	Dimensi spesimen metode <i>charpy</i> (Dieter, 1987) .....	27
<b>Gambar 2.14</b>	Dimensi spesimen metode <i>izod</i> (Dieter, 1987) .	27
<b>Gambar 2.15</b>	Pembebanan metode <i>charpy</i> dan metode <i>izod</i> (Handoyo, 2013).....	28

<b>Gambar 2.16</b>	Hasil foto struktur mikro perbesaran 200x lokasi 3 (Habibi, 2010).....	30
<b>Gambar 2.17</b>	Hasil foto struktur mikro perbesaran 200x lokasi 5 (Habibi, 2010) .....	31
<b>Gambar 2.18</b>	Struktur mikro besi tuang putih paduan krom tinggi (ASTM A532 Type II-A) kondisi <i>as-cast</i> (Shofi, 2013) .....	32
<b>Gambar 2.19</b>	Foto mikrostruktur ASTM A532 Type II-A kondisi <i>as-tempered</i> dengan media <i>quench</i> oli; (a) <i>as-quenched</i> , (b) <i>as-tempered</i> 250°C, (c) <i>as-tempered</i> 300°C, (d) <i>as-tempered</i> 350°C. Etsa Nital 3% (Shofi, 2013) .....	34
<b>Gambar 2.20</b>	Foto mikrostruktur ASTM A532 Type IIA kondisi <i>as-tempered</i> dengan media <i>quench</i> udara paksa; (a) <i>as-quenched</i> , (b) <i>as-tempered</i> 250°C, (c) <i>as-tempered</i> 300°C, (d) <i>as-tempered</i> 350°C. Etsa Nital 3% (Shofi, 2013) .....	35
<b>Gambar 3.1</b>	Diagram Alir Penelitian .....	37
<b>Gambar 3.2</b>	a.) Komponen <i>Hammer Crusher</i> yang mengalami aus. b.) Bagian <i>Hammer Crusher</i> yang masih utuh .....	39
<b>Gambar 3.3</b>	Mesin potong <i>Wire Cut</i> .....	41
<b>Gambar 3.4</b>	Mesin uji <i>Optical Emission Spectroscopy</i> (OES).....	41
<b>Gambar 3.5</b>	Alat uji mikroskop optik, <i>Olympus BX51 Optical Microscope</i> .....	42
<b>Gambar 3.6</b>	<i>Universal hardness tester</i> .....	43
<b>Gambar 3.7</b>	Alat uji impak <i>charpy Wolpert PW 15</i> .....	43
<b>Gambar 4.1</b>	Desain <i>hammer crusher</i> pada <i>clinker cooler</i> Tuban 1, PT Semen Indonesia .....	45
<b>Gambar 4.2</b>	Komponen <i>hammer crusher</i> : (a) Sebelum mengalami keausan; (b) Setelah mengalami keausan .....	46
<b>Gambar 4.3</b>	(a) Daerah aus <i>hammer</i> (A, B, C). (b) Daerah jauh dari aus <i>hammer</i> (G, H, I). .....	47

<b>Gambar 4.4</b>	Daerah indentasi uji kekerasan <i>Vickers</i> .....	49
<b>Gambar 4.5</b>	Grafik nilai kekerasan .....	50
<b>Gambar 4.6</b>	Pola patahan material aus <i>hammer</i> ; (a) material A, (b) material B, (c) material C. Pola patahan material jauh dari aus <i>hammer</i> ; (d) material G, (e) material H, (f) material I .....	53
<b>Gambar 4.7</b>	Struktur mikro material jauh dari aus <i>hammer crusher</i> perbesaran 100x .....	54
<b>Gambar 4.8</b>	Struktur mikro material jauh dari aus <i>hammer crusher</i> perbesaran 200x .....	54
<b>Gambar 4.9</b>	Struktur mikro material jauh dari aus <i>hammer crusher</i> perbesaran 500x .....	55
<b>Gambar 4.10</b>	Struktur mikro material aus <i>hammer crusher</i> perbesaran 100x .....	55
<b>Gambar 4.11</b>	Struktur mikro material aus <i>hammer crusher</i> perbesaran 200x .....	56
<b>Gambar 4.12</b>	Struktur mikro material aus <i>hammer crusher</i> perbesaran 500x .....	56

*(halaman ini sengaja dikosongkan)*

## DAFTAR TABEL

<b>Tabel 2.1</b>	Komposisi Kimia pada ASTM A532 (ASTM A532, 1999) ..... 8
<b>Tabel 2.2</b>	Kekerasan pada ASTM A532 (ASTM A532, 1999) ..... 8
<b>Tabel 2.3</b>	Komposisi Kimia Baja ASTM A681 Tipe D2 .... 9
<b>Tabel 2.4</b>	Sifat Mekanik Baja ASTM A681 Tipe D2..... 9
<b>Tabel 2.5</b>	Perbandingan Kekerasan Fasa yang Terbentuk pada <i>High Chromium White Cast Iron</i> (Kopycinski, 2014; Wiengmoon, 2011) ..... 16
<b>Tabel 2.6</b>	Nilai ketangguhan besi tuang putih (ASM Vol. 1, 2005) ..... 17
<b>Tabel 2.7</b>	Permasalahan dalam kegagalan komponen mesin (Brooks, 2002) ..... 18
<b>Tabel 2.8</b>	Kasus kegagalan material akibat perawatan komponen mesin (Brooks, 2002) ..... 18
<b>Tabel 2.9</b>	Penyebab kegagalan dalam komponen mesin (Brooks, 2002) ..... 19
<b>Tabel 2.10</b>	Nilai Kekerasan Besi Tuang Putih Paduan Krom Tinggi pada Berbagai Media <i>Quench</i> dan Variasi Temperatur <i>Tempering</i> (Shofi, 2013) ... 33
<b>Tabel 3.1</b>	Komposisi Kimia <i>Hammer Crusher</i> ..... 39
<b>Tabel 4.1</b>	Spesifikasi Komponen <i>Hammer Crusher</i> ..... 46
<b>Tabel 4.2</b>	Hasil Uji Komposisi Kimia ..... 47
<b>Tabel 4.3</b>	Data Hasil Pengujian Kekerasan ..... 49
<b>Tabel 4.4</b>	Nilai Kekerasan <i>Hammer Crusher</i> sesuai ASTM A532..... 50
<b>Tabel 4.5</b>	Nilai Energi Impak pada Spesimen Uji ..... 51
<b>Tabel 4.6</b>	Nilai ketangguhan besi tuang putih (ASM Vol. 1, 2005) ..... 51

*(halaman ini sengaja dikosongkan)*



## BAB I PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

PT. Semen Indonesia merupakan sebuah perusahaan produsen semen terbesar di Indonesia. Pada tahun 1935 ditemukannya deposit batu kapur dan tanah liat sebagai bahan baku semen oleh seorang sarjana Belanda Ir. Van Es di Gresik. Selanjutnya pada tahun 1950, wakil presiden RI yang pertama, Moh Hatta menghimbau kepada pemerintah untuk mendirikan pabrik semen di Gresik. Pembangunan pabrik semen ini diresmikan oleh presiden Soekarno tanggal 17 Agustus 1957 dengan kapasitas 250.000 ton/tahun. Kemudian dilakukan perluasan yang pertama diselesaikan tahun 1961 dengan menambah sebuah tanur pembatasan yang berkapasitas 125.000 ton/tahun. Perluasan kedua dilaksanakan pada bulan Desember 1970 dengan bertujuan untuk meningkatkan kapasitas produksi menjadi 500.000 ton/tahun. Pada tahun 1994 pabrik unit 1 di Tuban dengan kapasitas 2,3 juta ton/tahun diresmikan oleh Presiden Soeharto pada tanggal 26 September 1994 sehingga kapasitas total menjadi 4,1 juta ton/tahun.

Secara umum proses pembuatan semen dimulai dari pengambilan dan penghancuran bahan baku, Pada pengambilan bahan baku dimulai dengan menghancurkan, penimbunan, penggilingan bahan baku dan memasukkan ke dalam silo. Dilanjutkan dengan proses pembuatan klinker yaitu pemanasan awal, rotary kiln dan pendinginan (*Cooling*). Diteruskan dengan proses penggilingan semen yaitu pencampuran dengan aditif, grinding dan powdering dan yang terakhir adalah proses packing semen yaitu memasukan semen ke dalam kemasan dan menyimpan ke dalam gudang. (Tansiswo Siagian, 2009)

Pabrik Semen sendiri memiliki banyak komponen penunjang salah satunya yang berperan penting yaitu *Clinker Cooler*. *Cooler* berfungsi sebagai pendingin material yang keluar dari kiln yang biasa disebut dengan *clinker* (terak) sehingga fungsinya sangat

---



penting untuk kelangsungan produksi *clinker* di Pabrik PT. Semen Indonesia. Pada industri semen, *clinker* yang sudah diproses dari awal sampai dipanaskan pada *rotary kiln* dengan temperature  $\pm 1800^{\circ}\text{C}$  selanjutnya akan diturunkan dari temperature  $\pm 1450^{\circ}\text{C}$  sampai *clinker* memiliki temperature  $\pm 90^{\circ} - 100^{\circ}\text{C}$  untuk selanjutnya akan dipecahkan dengan *hammer crusher*. (Khairil Anwar, 2011). Kemudian *clinker* yang masih berada pada temperatur kurang lebih  $100-250^{\circ}\text{C}$  akan dibawa menggunakan *pan conveyor* menuju *silo*.

Kinerja optimal dari *clinker cooler* sangat diperlukan karena apabila dalam operasinya *clinker cooler* ini mengalami gangguan sedikit saja, maka *kiln* harus *stop* atau dapat mengganggu operasi lainnya seperti mengganggu operasi pada daerah *finish mill*. *Clinker cooler* membawa *clinker* dari *kiln* menuju *silo* secara kontinyu, proses ini sejalan dengan produksi *clinker* pada *kiln*, bila *clinker cooler* mati, produksi *clinker* pada *kiln* memiliki kemungkinan untuk dihentikan karena temperatur dari terak yang dihasilkan sangat tinggi, hal ini berpotensi untuk merusak peralatan yang ada pada proses selanjutnya.

Pada tanggal 18 Januari 2017 terjadinya proses *overhaul* pada *rotary kiln* dan *clinker cooler* di Tuban 1 untuk proses *maintance*. Terdapat proses penggantian pada *hammer crusher* yang mengalami keausan, dimana pemakaian ideal pada *hammer crusher* Tuban 1 adalah 1 tahun, namun hanya bertahan kurang dari 6 bulan. Dari kasus tersebut dilakukan analisa kegagalan dengan menguji komposisi dan kekerasan material *hammer crusher* yang ada di PT. Semen Indonesia (Persero) Tbk. Diperoleh komposisi yang tidak sesuai dengan material *hammer crusher* yang standar dan kekerasan yang rendah serta jauh dari standar. Disamping itu, *hammer crusher* baru harus diganti secara keseluruhan. Sehingga membutuhkan biaya yang tidak sedikit sekaligus sangat menghambat proses produksi PT. Semen Indonesia. Material *hammer crusher* ini mengalami keausan dikarenakan adanya beban yang terus menumbuk pada material yang menyebabkan hilangnya sebagian material *hammer crusher*.

---

## BAB I PENDAHULUAN



Di penelitian sebelumnya dilakukan uji impak merupakan salah satu metode yang digunakan untuk mengetahui kekuatan, kekerasan, serta keuletan material. Oleh karena itu uji impak banyak dipakai dalam bidang menguji sifat mekanik yang dimiliki oleh suatu material tersebut. (Majanasastra, 2013). Oleh karena itu perlunya melakukan penelitian ini untuk menganalisa kegagalan yang terjadi dan meminimalisir terjadinya keausan pada material *hammer crusher* yang ada di PT. Semen Indonesia (Persero) Tbk.

## 1.2 Rumusan Masalah

Rumusan masalah dalam penelitian ini adalah :

1. Apa faktor penyebab terjadinya kegagalan pada komponen *hammer crusher* di *clinker cooler* ?
2. Bagaimana mekanisme kegagalan pada komponen *hammer crusher* di *clinker cooler* ?
3. Bagaimana solusi penyelesaian dari kegagalan komponen *hammer crusher* di *clinker cooler*?

## 1.3 Batasan Masalah

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

1. Data operasi seperti temperatur, kecepatan rotasi (rpm) pada *hammer crusher* sudah memenuhi standar operasional.
2. Desain *hammer crusher* memenuhi standart operasional.
3. Material dianggap homogen di semua sisi

## 1.4 Tujuan Penelitian

Rumusan masalah dalam penelitian ini adalah :

1. Menganalisis penyebab terjadinya kegagalan pada komponen *hammer crusher* di *clinker cooler* .
2. Menganalisis mekanisme kegagalan pada komponen *hammer crusher* di *clinker cooler*.



- 
3. Menganalisis solusi penyelesaian dari kegagalan komponen *hammer crusher* di *clinker cooler*.

### **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. Semen Indonesia Tbk sebagai pihak utama yang menyokong penelitian dapat menerapkan hasil penelitian sebagai referensi dalam menangani bila terjadi kegagalan pada *hammer crusher* dikemudian hari dan dasar pengembangan pada penelitian-penelitian berikutnya.



## BAB II TINJAUAN PUSTAKA

### 2.1 Pengertian *Clinker Cooler*

Dalam proses pembuatan semen, setelah dilakukan proses pembakaran (*burning process*), tahap selanjutnya adalah proses pendinginan material yang dilakukan pada *clinker cooler*.

Pada industri semen, *clinker* yang sudah diproses dari awal sampai dipanaskan pada *rotary kiln* dengan temperatur  $\pm 1800^{\circ}\text{C}$  selanjutnya akan diturunkan dari temperatur  $\pm 1450^{\circ}\text{C}$  sampai *clinker* dengan temperatur  $\pm 100 - 250^{\circ}\text{C}$  untuk selanjutnya akan dihancurkan oleh *hammer crusher*. Untuk keperluan pendinginan tersebut digunakan alat yang disebut *crossbar*.

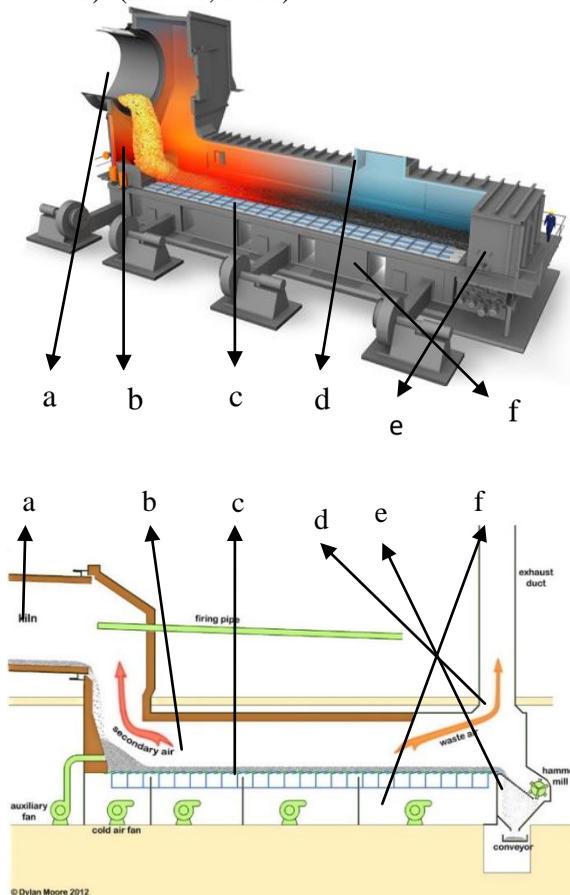
Gambar 2.1 menunjukkan komponen utama *clinker cooler*. Proses pendinginan dimulai ketika (b) terak (*clinker*) keluar dari (a) *rotary kiln* dan diteruskan oleh (c) *crossbar* menuju (e) *hammer crusher* dikecilkan ukuran awal dari terak (*clinker*). Selama perjalanan menuju *hammer crusher*, terak (*clinker*) didinginkan oleh (f) *fan* yang berada di bawah *crossbar* dan udara panas di dalam *clinker cooler* keluar melalui (d) *exhaust duct*, kemudian terak (*clinker*) di hancurkan oleh *hammer crusher* menjadi ukuran yang lebih kecil.

Pada *clinker cooler* proses pendinginan *clinker* dilakukan dengan mengalirkan udara dari sejumlah fan, yang selanjutnya dihembuskan melalui celah – celah landasan (*crossbar*) yang bergerak mengantarkan *clinker* menuju ke *hammer*. Untuk keperluan pendinginan tersebut digunakan alat yang disebut *grate cooler*. Pada *grate cooler* proses pendinginan terak (*clinker*) dilakukan dengan mengalirkan udara dari sejumlah *fan*, yang selanjutnya dihembuskan melalui celah – celah landasan (*grate*) yang bergerak mengantarkan terak (*clinker*) menuju ke *crusher* untuk proses selanjutnya. (Anwar, 2011)

Kapasitas desain *clinker cooler* adalah 7800 ton / hari sedangkan luas permukaan efektifnya adalah  $160.6 \text{ m}^2$ , terdapat 3 *section* pada *clinker cooler* antara lain *inlet*, *existing*, dan



*extended*. (Firdaus, 2007). Proses pendinginan terak (*clinker*) di dalam *clinker cooler* merupakan salah satu proses yang cukup penting mendapat perhatian dalam produksi semen. Hal ini disebabkan karena proses pendinginan terak (*clinker*) setelah melewati pemanasan di dalam *rotary kiln*, merupakan salah satu faktor dalam upaya menghasilkan *clinker* dengan kualitas yang diharapkan (Silika *ratio*:2.44, Alumina *ratio*:1.54, Lime *saturation*: 96.2). (Anwar, 2011)



**Gambar 2.1** Komponen *Clinker Cooler* (FLSmith, 2016)

## BAB II TINJAUAN PUSTAKA



## 2.2 Pengertian *Hammer Crusher*

*Hammer crusher* adalah sebuah alat penggiling yang mempunyai *rotor* yang dapat berputar dan mempunyai alat pemecah berbentuk palu dimana palu-palu tersebut digantung pada suatu rotor/piringan/silinder yang dapat berputar dengan cepat. Gambar 2.2 menunjukkan komponen *hammer crusher*, (a) *rotor* yang berfungsi menggerakkan (b) *hammer crusher* dan (c) *hammer diec* yang berfungsi sebagai pemisah antara *hammer* satu dengan yang lainnya. Alat ini juga dilengkapi dengan kisi-kisi/ ayakan yang juga berfungsi sebagai penutup lubang tempat keluarnya produk. Pemeriksaan dan perawatan baling-baling *hammer*/palu sangat penting karena berhubungan dengan mengubah baling-baling yang mempercepat tingkat putaran dan bergantung pada keras lunaknya obyek yang akan di giling. (Edahwati, 2009)



**Gambar 2.2** Komponen *Hammer Crusher* (FLSmidth, 2016)

## 2.3 Material *Hammer Crusher*

### 2.3.1 Material Standar (ASTM A532)

Material *hammer crusher* yang seharusnya dan sesuai dengan standar yang ada yaitu besi tuang putih (*white cast iron*) yang sesuai dengan ASTM A532. Besi tuang putih cocok sebagai aplikasi *grinding*, *milling*, *earth-handling*, dan *manufacturing industries*. Spesifikasi fasa yang terbentuk pada besi tuang putih



antara lain perlit, ledeburit dan sementit. Tabel 2.1 menunjukkan komposisi kimia besi tuang putih pada ASTM A532 antara lain sebagai berikut :

**Tabel 2. 1** Komposisi Kimia pada ASTM A532 (ASTM A532, 1999)

Class	Type	Designation	Carbon	Manganese	Silicon	Nickel	Chromium	Molybdenum	Copper	Phosphorus	Sulfur
I	A	Ni-Cr-Hc	2.8-3.6	2.0 max	0.8 max	3.3-5.0	1.4-4.0	1.0 max	...	0.3 max	0.15 max
I	B	Ni-Cr-Lc	2.4-3.0	2.0 max	0.8 max	3.3-5.0	1.4-4.0	1.0 max	...	0.3 max	0.15 max
I	C	Ni-Cr-GB	2.5-3.7	2.0 max	0.8 max	4.0 max	1.0-2.5	1.0 max	...	0.3 max	0.15 max
I	D	Ni-HiCr	2.5-3.6	2.0 max	2.0 max	4.5-7.0	7.0-11.0	1.5 max	...	0.10 max	0.15 max
II	A	12% Cr	2.0-3.3	2.0 max	1.5 max	2.5 max	11.0-14.0	3.0 max	1.2 max	0.10 max	0.06 max
II	B	15% Cr-Mo	2.0-3.3	2.0 max	1.5 max	2.5 max	14.0-18.0	3.0 max	1.2 max	0.10 max	0.06 max
II	D	20% Cr-Mo	2.0-3.3	2.0 max	1.0-2.2	2.5 max	18.0-23.0	3.0 max	1.2 max	0.10 max	0.06 max
III	A	25% Cr	2.0-3.3	2.0 max	1.5 max	2.5 max	23.0-30.0	3.0 max	1.2 max	0.10 max	0.06 max

**Tabel 2. 2** Kekerasan pada ASTM A532 (ASTM A532, 1999)

Class	Type	Designation	As cast or as Cast and Stress Relieved		
			HB	HRC	HVN
I	A	Ni-Cr-HiC	550	53	600
I	B	Ni-Cr-LoC	550	53	600
I	C	Ni-Cr-GB	550	53	600
I	D	Ni-HiCr	500	50	540
II	A	12% Cr	550	53	600
II	B	15% Cr-Mo	450	46	485
II	D	20% Cr-Mo	450	46	485
III	A	25% Cr	450	46	485

Sifat mekanik dari ASTM A532 juga bermacam-macam, salah satunya adalah kekerasan pada tiap kelas dan tipe dari material yang berbeda – beda. Tabel 2.2 menunjukkan macam-macam nilai kekerasan pada ASTM A532. (ASTM A532, 1999)

## BAB II TINJAUAN PUSTAKA



### 2.3.2 Material ASTM A681 Tipe D2

Baja ASTM A681 merupakan baja paduan dengan kandungan karbon tinggi dan memiliki paduan *Chromium* yang tinggi. Tabel 2.3 menunjukkan komposisi kimia pada baja ASTM A681 Tipe D2 antara lain sebagai berikut:

**Tabel 2.3** Komposisi Kimia Baja ASTM A681 Tipe D2

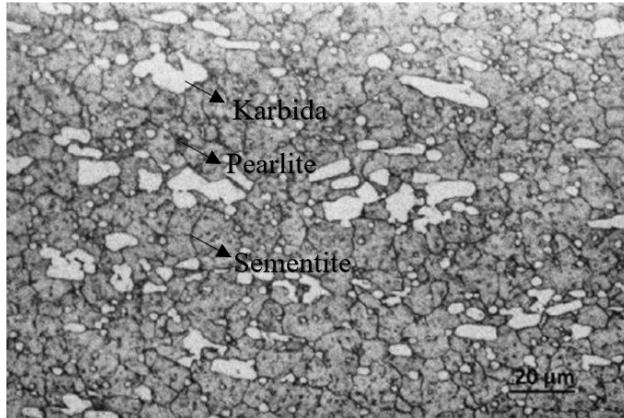
<b>CHEMICAL COMPOSITION</b>	
<b>Unsur</b>	<b>%</b>
Carbon	1.4 – 1.60
Mangan	0.10 – 0.60
Phosphorus	Max 0.030
Sulfur	Max 0.030
Silicon	0.10 – 0.60
Chromium	11 – 13
Vanadium	0.5 – 1.10
Tungsten	-
Molybdenum	0.70-1.20

Sifat mekanik dari ASTM A681 Tipe D2 juga bermacam-macam, salah satunya kekerasan, ketangguhan, dan modulus elastisitas seperti ditunjukkan pada Tabel 2.4 .

**Tabel 2.4** Sifat Mekanik Baja ASTM A681 Tipe D2

<b>Mechanical Properties</b>	<b>Metric</b>	<b>Imperial</b>
Hardness, Rockwell C	62 HRC	62 HRC
Hardness, Brinell	255	
Hardness, Vickers	748 HVN	748 HVN
Izod Impact Unnotched	77.0 Joule	56.8 ft-lb
Elastic Modulus	190-210 Gpa	27557-30457 ksi

Gambar 2.3 menunjukkan struktur mikro dari baja ASTM A681 tipe D2 yang terdiri dari sementit, perlit, dan karbida Cr (Muslim, 2008)



**Gambar 2.3** Struktur mikro baja ASTM A681 tipe D2 (Muslim, 2008)

## 2.4 Baja

Baja adalah paduan besi dan karbon yang mungkin mengandung unsur paduan lainnya; ada banyak jenis paduan yang memiliki komposisi dan perlakuan panas yang berbeda. Sifat mekanik sangat dipengaruhi oleh kandungan karbon, yang biasanya kurang dari 1,0 wt%. Pada umumnya baja diklasifikasikan menurut konsentrasi karbon yaitu karbon rendah, menengah, dan tinggi. Selain itu juga dapat dikelompokkan berdasarkan kandungan unsur paduannya. Baja karbon biasa (*plain carbon steel*) yang hanya berisi konsentrasi karbon dan baja selain itu memiliki sedikit pengotor dan sedikit paduan manganese. Untuk baja paduan, unsur paduan ditambahkan untuk tujuan tertentu dengan konsentrasi tertentu. (Callister, 2007)

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 fase besi-karbon ada 2 macam, diagram fase besi – karbida besi dan diagram fase besi – grafit.

---

## BAB II TINJAUAN PUSTAKA

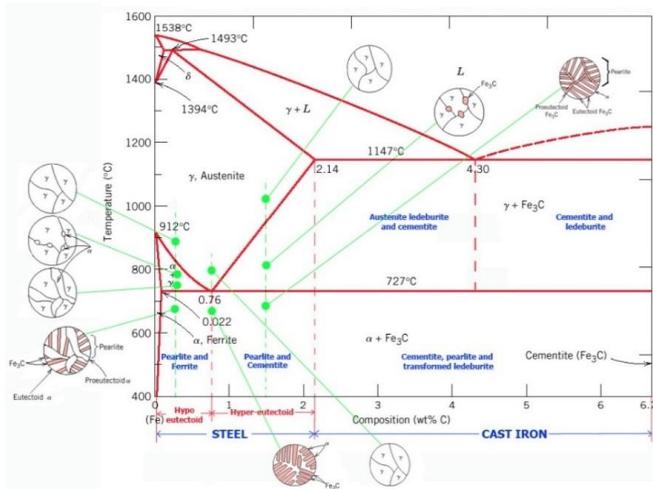


Diagram keseimbangan besi – karbon cukup kompleks, tetapi hanya sebagian saja yang penting bagi dunia teknik, yaitu bagian antara besi murni sampai senyawa *interstitialnya*, karbida besi  $\text{Fe}_3\text{C}$ , yang mengandung 6,67 %C. dan diagram fase yang banyak digunakan adalah diagram fase besi – karbida besi, diagram  $\text{Fe} - \text{Fe}_3\text{C}$ .

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  $700^\circ\text{C}$  pun perubahan ini akan makan waktu bertahun – tahun). Dalam hal ini karbida besi dikatakan sebagai suatu struktur yang metastabil. Diagram fase besi – karbida dapat dilihat pada Gambar 2.4. (Avner, 1974)

Dari Gambar 2.4. tampak bahwa diagram fase ini memiliki tiga garis mendatar yang menandakan adanya reaksi yang berlangsung secara *isothermal*, yaitu :

- Pada  $1496^\circ\text{C}$ , kadar karbon antara 0.10 – 0.50 %, berlangsung reaksi peritektik.  $L + \delta \rightarrow \gamma$  (daerah ini tidak begitu penting untuk dunia teknik)
- Pada  $1130^\circ\text{C}$ , kadar karbon antara 2,0 – 6,67 %, berlangsung reaksi eutektik.  $L \rightarrow \gamma + \text{Fe}_3\text{C}$
- Pada  $723^\circ\text{C}$ , kadar karbon antara 0.025 – 6.67 %, berlangsung reaksi eutektoid.  $\Gamma \rightarrow \alpha + \text{Fe}_3\text{C}$



Gambar 2.4 Diagram fase Fe - Fe<sub>3</sub>C (Avner, 1974)

## 2.5 Besi Tuang (*Cast Iron*)

Secara umum, besi tuang merupakan bagian dari paduan besi (Fe) dengan kadar karbon (C) di atas 2,14%. Sebagian besar besi tuang mengandung antara 3,0-4,5% karbon, dengan tambahan beberapa unsur paduan (Callister, 2010). Besi tuang memiliki keuletan yang rendah, sehingga sulit untuk di-*machining*. Satu-satunya cara pembuatannya adalah dengan penuangan, karena itu disebut besi tuang. Penggunaan besi tuang cukup luas walaupun keuletannya lebih rendah dari baja, karena besi tuang memiliki beberapa sifat khusus yang berguna. Terutama jika dipadukan dengan unsur-unsur yang lain dengan perlakuan panas yang tepat.

Menurut Sidney H. Avner (1974) secara umum besi tuang dikelompokkan menjadi:

- Besi tuang putih (*white cast iron*), di mana seluruh karbon berupa sementit.
- Besi tuang mampu tempa (*malleable cast iron*), di mana karbonnya berupa *temper* karbon, dengan matriks perlitik atau ferritik.

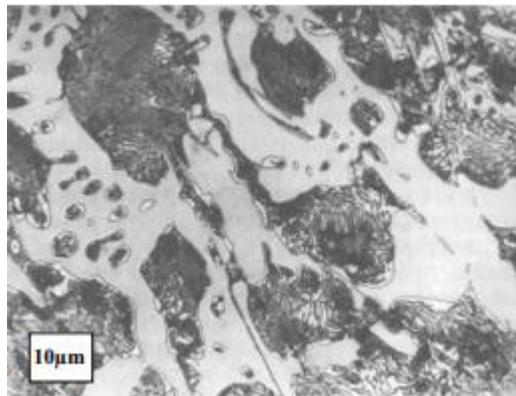
## BAB II TINJAUAN PUSTAKA



- c. Besi tuang kelabu (*grey cast iron*), di mana karbonnya berupa grafit berbentuk *flake* (serpih) dengan matriks ferritik atau perlitik.
- d. Besi tuang nodular (*nodular cast iron*), di mana karbonnya berupa grafit nodular dengan matriks ferritik atau perlitik

### 2.5.1 Besi Tuang Putih (*White Cast Iron*)

Besi tuang putih merupakan paduan hypoeutektik dimana setelah penuangan dan membeku, karbon akan bercampur dengan besi membentuk sementit (Avner, 1974). Besi tuang putih mengandung sejumlah besar sementit sebagai jaringan kerja dalam dendrit yang berkesinambungan menyebabkan besi tuang putih menjadi keras, tahan panas dan aus tetapi sangat rapuh dan sukar dikerjakan dengan mesin (Callister, 1997). Besi tuang putih banyak digunakan pada pembuatan material yang tahan gesekan karena jumlah karbida yang besar. Struktur mikro besi tuang putih ditunjukkan pada Gambar 2.5 pada perbesaran 500x terlihat struktur mikro yang terbentuk terdiri dari karbida berwarna putih dan perlit berwarna hitam



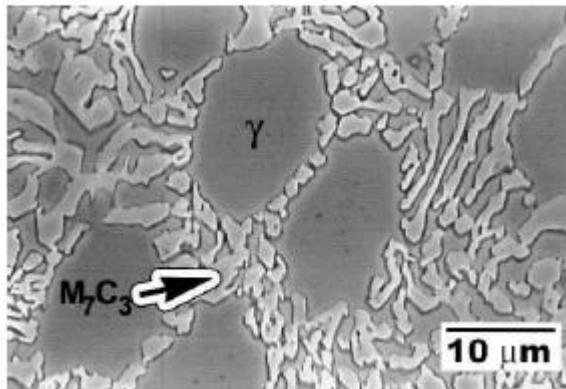
**Gambar 2.5** Struktur mikro besi tuang putih perbesaran 500x (Smallman dan Bishop, 1995)

### 2.5.2 High Chromium White Cast Iron

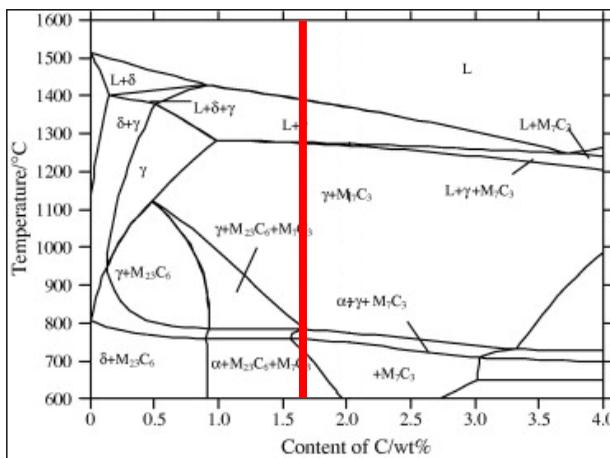


Kandungan karbon yang normal untuk *high chromium white cast iron* adalah mulai 2,2% untuk komposisi eutektik, sekitar 3,5% untuk 15% Cr dan 2,7% untuk 27% Cr (ASM Handbook Vol. 1, 1991). *High chromium white cast iron* biasanya digunakan untuk aplikasi yang membutuhkan ketahanan abrasi. Dalam beberapa aplikasi material ini juga diharapkan mampu menahan beban dampak yang tinggi.

Pada Gambar 2.6 ditunjukkan struktur mikro dari *high chromium white cast iron* terdiri dari karbida Cr,  $M_7C_3$  dengan matriks austenit atau ferrit (dalam kondisi *as-cast*). Kandungan Cr yang tinggi pada material ini menyebabkan karbida  $Fe_3C$  pada besi cor putih menjadi tidak stabil, dan keberadaannya digantikan oleh  $(Fe, Cr)_7C_3$  (karbida primer) dan  $M_{23}C_6$  atau  $(Fe, Cr)_{23}C_6$  (karbida sekunder). (Nurjaman, 2012)



**Gambar 2.6** Struktur mikro *high chromium white cast iron* (Bedolla, et al, 2003)



**Gambar 2.7** Diagram fasa ekuilibrium *high chromium white cast iron* dengan kadar Cr 15% (Li, et al, 2009)

Berdasarkan kandungan karbon dan kromium, maka struktur mikro dari *high chromium white cast iron* dikelompokkan menjadi tiga jenis, yaitu: *eutectic alloys*, *hypoeutectic alloys*, dan *hypereutectic alloys* (Nurjaman, 2012). Material *hammer* yang mengalami kegagalan termasuk dalam kelompok *high chromium white cast iron* dengan kandungan karbon sebanyak 1.73% dan Cr sebanyak 17%, sehingga termasuk dalam kelompok *hypoeutectic alloys*. Struktur *hypoeutectic alloys*, kandungan karbon lebih rendah dari titik eutektik. Proses solidifikasi diawali dengan pembentukan dendrit dari matriks (austenit) pada rentang temperatur solidifikasi tertentu hingga mencapai temperatur eutektik. Kemudian proses berlanjut dengan pembentukan struktur eutektik. (Nurjaman, 2012). Reaksi eutektik yang terjadi ialah  $L \rightarrow \gamma + M_7C_3$ . Walaupun sementit secara otomatis hilang karena tingginya kadar kromium pada *high chromium white cast iron*, sejumlah sementit masih mungkin untuk terbentuk (Cobos, et al, 2015). Dapat dilihat pada Gambar 2.7 yang merupakan gambar diagram fasa yang dihitung dengan menggunakan *Thermo-Calc Software*.



Salah satu sifat mekanik yang dipengaruhi oleh fasa yang terbentuk pada *high chromium white cast irons* adalah kekerasan. Tabel 2.5 berikut menunjukkan perbandingan kekerasan dari setiap fasa pada *high chromium white cast irons*.

**Tabel 2.5** Perbandingan Kekerasan Fasa yang Terbentuk pada  
*High Chromium White Cast Iron* (Kopycinski, 2014;  
 Wiengmoon, 2011)

Fasa	Struktur Kristal	Nilai Kekerasan (HV)
Austenit	FCC	210
Perlit	-	265
Martensit	Tetragonal	940
Bainit	-	660
M <sub>3</sub> C	Ortorombik	800-1100
M <sub>6</sub> C	FCC	1200-1800
M <sub>7</sub> C <sub>3</sub>	Hexagonal	1000-1800
M <sub>23</sub> C <sub>6</sub>	FCC	1000

Karbida pada *high chromium white cast irons* sangat keras, getas, dan memiliki ketahanan aus yang baik. Secara umum ketahanan aus dapat ditingkatkan dengan menambahkan jumlah karbida (menambahkan komposisi karbon), sedangkan ketangguhan dapat ditingkatkan dengan meningkatkan jumlah *metallic matrix* (mengurangi komposisi karbon). (*ASM Handbook Vol. 4, 1991*).

Sifat mekanik yang dimiliki *white cast iron* yaitu kekuatan tarik dan ketangguhan. Pada Tabel 2.6 menunjukkan kekuatan trasversal, defleksi serta ketangguhan dari berbagai jenis *white cast iron*. (*ASM Handbook Vol.1, 1991*).



**Tabel 2.6** Nilai ketangguhan besi tuang putih (ASM Vol.1, 2005)

Data from as-cast 30.5 mm (1.2 in.) diam test bars broken over a 457 mm (18 in.) span

Type of Iron	Basic composition	Transverse strength		Deflection		Toughness <sup>(a)</sup>	
		kg	lb	mm	in.	kg·m	lb·in.
Sand cast pearlitic	3.2–3.5 C, 1–2 Cr	635–815	1400–1800	2.0–2.3	0.080–0.092	1.29–1.87	112–162
Sand cast martensitic	2.8–3.6 C, 1.4–4 Cr, 3.3–5 Ni	1810–2490	4000–5500	2.0–3.0	0.80–0.12	3.68–7.60	320–660
	2.5–3.6 C, 7–11 Cr, 4.5–7 Ni	2270–2720	5000–6000	2.0–2.8	0.08–0.11	4.6–7.60	400–660
	2.8–3.4 C, 12–16 Cr, 2–4 Mo	1015–1370	2235–3015	3.2–3.6	0.125–0.14	3.21–4.93	279–422
	3.5–4.1 C, 12–16 Cr, 2.5–3 Mo	800–1000	1760–2200	2.0–2.8	0.08–0.110	1.60–2.80	140–240
Chill cast martensitic	2.8–3.6 C, 1.4–4 Cr, 3.3–5 Ni	2040–3180	4500–7000	2.0–3.0	0.08–0.12	4.15–9.68	360–840
	2.5–3.6 C, 7–11 Cr, 4.5–7 Ni	2500–3180	5500–7000	2.5–3.8	0.10–0.15	6.34–12.1	550–1050
	3.2–3.4 C, 12–16 Cr, 1.5–3 Mo	1980–2295	4360–5060	5.1–6.5	0.202–0.26	10–15.2	870–1320
	3.5–4.1 C, 12–16 Cr, 2.5–3 Mo	1270–1575	2800–3470	3.6–3.8	0.140–0.15	4.52–6.0	392–520

(a) Relative toughness evaluated as product of transverse strength times deflection

## 2.6 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 industri (Brooks, 2002). Faktor penyebab kegagalan yang sering terjadi di dunia industri dapat di karenakan :

1. Faktor kesalahan pemilihan material



Hasil penelitian mengenai faktor kegagalan material yang dominan yaitu faktor kesalahan dalam memilih material. Tabel 2.7 dibawah ini menunjukkan statistik tentang permasalahan dalam kasus kegagalan material

**Tabel 2.7** Permasalahan dalam kegagalan komponen mesin  
(Brooks, 2002)

<b>Permasalahan</b>	<b>%</b>
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 2.8 menunjukkan data mengenai kasus kegagalan material yang terjadi.

**Tabel 2.8** Kasus kegagalan material akibat perawatan komponen mesin (Brooks, 2002)

<b>Permasalahan</b>	<b>%</b>
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:

---

## **BAB II TINJAUAN PUSTAKA**



1. Kegagalan ulet akibat pembebanan yang melebihi kekuatan material
2. Kegagalan getas akibat beban kejut
3. Kegagalan pada temperatur 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 2.9.

**Tabel 2.9** Penyebab kegagalan dalam komponen mesin (Brooks, 2002)

<b>Penyebab Kegagalan</b>	<b>%</b>
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 lelah, penggetasan hydrogen	6
Pemuluran ( <i>creep</i> )	3
Abrasi, Erosi	3

### 2.7 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

## 2.8 Pengertian Keausan

Definisi paling umum dari keausan yang telah dikenal sekitar 50 tahun lebih yaitu hilangnya bahan dari suatu permukaan atau perpindahan bahan dari permukaannya ke bagian yang lain atau Bergeraknya bahan pada suatu permukaan. (Almen J.O, 1950). Keausan umumnya didefinisikan sebagai kehilangan material secara progresif akibat adanya gesekan (friksi) antar permukaan padatan atau pemindahan sejumlah material dari suatu permukaan sebagai suatu hasil pergerakan relatif antara permukaan tersebut dan permukaan lainnya (Yuwono, 2008). Keausan biasa terjadi pada setiap material yang mengalami gesekan dengan material lain. Keausan bukan merupakan sifat dasar material, melainkan respons material terhadap sistem luar (kontak permukaan).

---

## BAB II TINJAUAN PUSTAKA

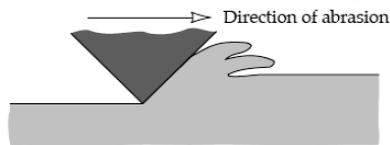
Mekanisme keausan dikelompokkan menjadi dua kelompok, yaitu keausan yang penyebabnya didominasi oleh perilaku mekanis dari bahan dan keausan yang penyebabnya didominasi oleh perilaku kimia dari bahan (Zum Gahr, 1987) sedangkan menurut Koji Kato, tipe keausan terdiri dari tiga macam, yaitu *mechanical*, *chemical* dan *thermal wear* (Hokkirigawa and Kato K, 1989).

### 2.8.1 Keausan Karena Perilaku Mekanis (*Mechanical*)

Digolongkan lagi menjadi *abrasive*, *adhesive*, *flow and fatigue wear*.

#### a. *Abrasive wear*.

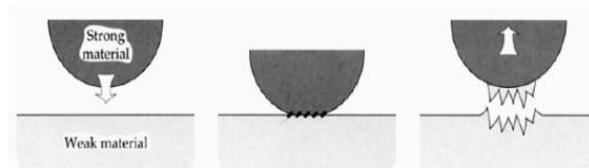
Keausan ini terjadi jika partikel keras atau permukaan keras yang kasar menggerus dan memotong permukaan sehingga mengakibatkan hilangnya material yang ada dipermukaan tersebut (*earth moving equipment*) (Zum Gahr, 1987) (Hokkirigawa and Kato K, 1989). Contoh : Proses permesinan seperti *cutting*



**Gambar 2.8** Mekanisme *abrasive wear* akibat proses *cutting* (Stachowiak, 2000)

#### b. *Adhesive wear*.

Keausan ini terjadi jika partikel permukaan yang lebih lunak menempel atau melekat pada lawan kontak yang lebih keras.

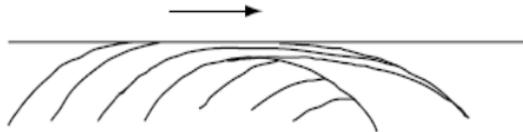


**Gambar 2.9** Proses Perpindahan Logam karena *Adhesive Wear* (Stachowiak, 2000)



c. *Flow wear*.

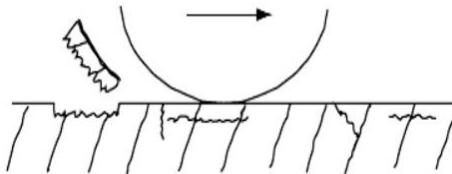
Keausan ini terjadi jika partikel permukaan yang lebih lunak mengalir seperti meleleh dan tergeser plastis akibat kontak dengan lain



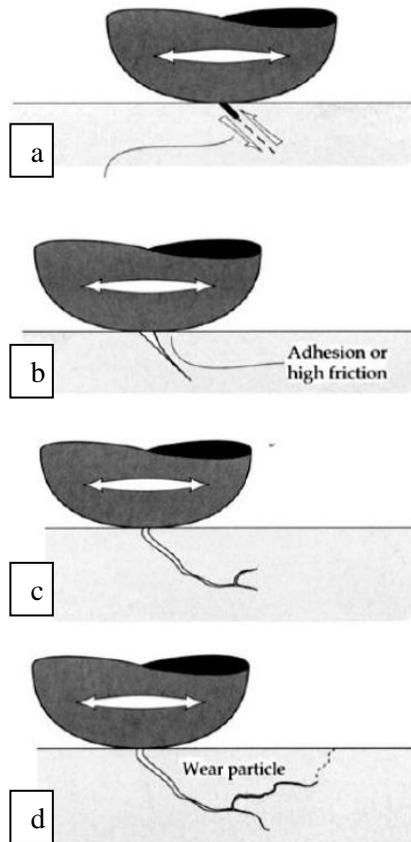
**Gambar 2.10** *Flow wear* oleh penumpukan aliran geseran plastis (Stachowiak, 2000)

d. *Fatigue wear*.

Fenomena keausan ini didominasi akibat kondisi beban yang berulang (*cyclic loading*). Ciri-ciri nya perambatan retak lelah biasanya tegak lurus pada permukaan tanpa deformasi plastis yang besar, seperti: *ball bearings*, *roller bearings* dan lain sebagainya



**Gambar 2.11** *Fatigue wear* karena retak di bagian dalam dan merambat (Stachowiak, 2005)



**Gambar 2.12** Skema penggambaran proses retak dari awal retak dan merambatnya retak permukaan. (a) Permulaan retak sebagai hasil dari proses fatik. (b) Retak primer merambat sepanjang bidang *slip*. (c) Retak tambahan dari permulaan retak. (d) Tambahan retak merambat dan terbentuklah partikel keausan. (Buckley D.H., 1981)



### 2.8.2 Keausan Karena Perilaku Kimia (*Chemical*)

#### 1. *Oxidative wear*

Pada peningkatan kecepatan sliding dan beban rendah, lapisan oksida tipis, tidak lengkap, dan rapuh terbentuk. Pada percepatan yang jauh lebih tinggi, lapisan oksida menjadi berkelanjutan dan lebih tebal, mencakup seluruh permukaan. Contoh: Permukaan luncur di dalam lingkungan yang oksidatif.

#### 2. *Corrosive wear*

Mekanisme ini ditandai oleh batas butir yang korosif dan pembentukan lubang. Misalnya, permukaan *sliding* di dalam lingkungan yang korosif.

### 2.8.3 Keausan Karena Perilaku Panas (*Thermal Wear*)

#### 1. *Melt wear*

Keausan yang terjadi karena panas yang muncul akibat gesekan benda sehingga permukaan aus meleleh.

#### 2. *Diffusive wear*

Terjadi ketika ada pancaran (*diffusion*) elemen yang melintasi bidang kontak misalnya pada perkakas baja kecepatan tinggi.

Dalam banyak situasi keausan, ada banyak mekanisme yang beroperasi secara serempak, akan tetapi biasanya akan ada satu mekanisme penentu tingkat keausan yang harus diteliti dalam hal ini berhubungan dengan masalah keausan. Hubungan antara koefisien gesek dan laju keausan belum ada penjelasan yang tepat, karena hubungan keduanya akan selalu berubah terhadap waktu. (Blau, 2001)

## 2.9 Pengujian Komposisi

Pengujian komposisi kimia merupakan suatu pengujian untuk mengetahui kandungan unsur kimia yang terdapat pada suatu logam benda uji. Komposisi kimia dari logam sangat penting untuk menghasilkan sifat logam yang baik. *Spectrometer*



adalah alat yang mampu menganalisa unsur-unsur logam induk dan campurannya dengan akurat, cepat dan mudah dioperasikan.

Prinsip dasar dari diketahuinya kandungan unsur dan komposisinya pada alat ini adalah apabila suatu logam dikenakan energi listrik atau panas maka kondisi atomnya menjadi tidak stabil. Elektron-elektron yang bergerak pada orbital atomnya akan melompat ke orbital yang lebih tinggi. Apabila energi yang dikenakan dihilangkan maka electron tersebut akan kembali ke orbit semula dan energi yang diterimanya akan dipancarkan kembali dalam bentuk sinar. Sinar yang terpancar memiliki panjang gelombang tertentu sesuai dengan jenis atom unsurnya, sedangkan intensitas sinar terpancar sebanding dengan kadar konsentrasi unsur. Hal ini menjelaskan bahwa suatu unsur dan kadarnya dapat diketahui melalui panjang gelombang dan intensitas sinar yang terpancar. (Yogantoro, 2010)

## 2.10 Pengujian Kekerasan

Pada umumnya, kekerasan menyatakan ketahanan terhadap deformasi dan merupakan ukuran ketahanan logam terhadap deformasi plastik atau deformasi permanen (Dieter, 1987). Hal ini sering diartikan sebagai ukuran kemudahan dan kuantitas khusus yang menunjukkan nilai kekerasan material.

Pada pengujian kekerasan terdapat tiga jenis ukuran kekerasan, hal ini tergantung pada cara melakukan pengujian, yaitu:

1. Kekerasan goresan (*scratch hardness*),
2. Kekerasan lekukan (*indentation hardness*),
3. Kekerasan pantulan (*rebound*)

Pengujian yang sering dilakukan pada logam adalah pengujian kekerasan indentasi. Pada model ini kekerasan suatu material diukur terhadap tahanan plastis dari permukaan suatu material komponen konstruksi mesin dengan spesimen standart terhadap *indenter*. Terdapat berbagai macam uji kekerasan indentasi, antara lain: uji kekerasan *Brinell*, *Vickers*, *Rockwell*, dan *Knoop*.



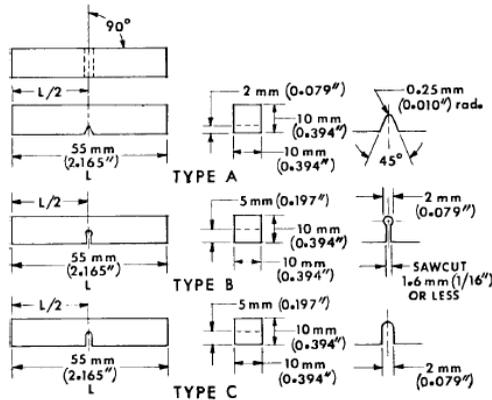
### 2.10.1 Uji Kekerasan Vickers

Uji kekerasan *Vickers* menggunakan penumbuk piramida intan yang dasarnya berbentuk bujur sangkar. Besarnya sudut antara permukaan-permukaan piramida yang saling berhadapan adalah  $136^\circ$ . Sudut ini dipilih karena nilai tersebut mendekati sebagian besar nilai perbandingan yang diinginkan antara diameter lekukan dan diameter bola penumbuk pada uji kekerasan *brinell*. Angka kekerasan piramida intan (*DPH*), atau angka kekerasan *Vickers* (*VHN* atau *VPH*), didefinisikan sebagai beban dibagi luas permukaan lekukan (Dieter, 1987). Pada prakteknya luas ini dihitung dari pengukuran mikroskopik panjang diagonal jejak. *VHN* dapat ditentukan dari persamaan (2.1) berikut :

$$VHN = \frac{2P \sin\left(\frac{\theta}{2}\right)}{L^2} = \frac{1.845P}{L^2} \dots\dots\dots (2.1)$$

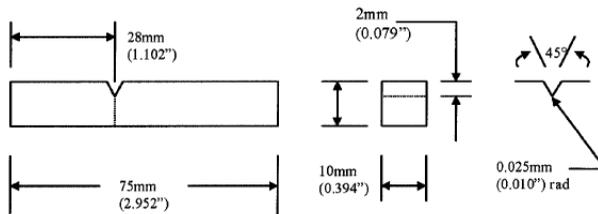
### 2.11 Pengujian *Impact*

Uji impak digunakan dalam menentukan kecenderungan material untuk rapuh atau ulet berdasarkan sifat ketangguhannya. Hasil uji impak juga tidak dapat membaca secara langsung kondisi perpatahan batang uji, sebab tidak dapat mengukur komponen gaya-gaya tegangan tiga dimensi yang terjadi pada batang uji. Hasil yang diperoleh dari pengujian impak ini, juga tidak ada persetujuan secara umum mengenai interpretasi atau pemanfaatannya.



**Gambar 2.13** Dimensi spesimen metode *charpy* (Dieter, 1987)

Sejumlah uji impact batang uji bertakik dengan berbagai desain telah dilakukan dalam menentukan perpatahan rapuh pada logam. Metode yang telah menjadi standar untuk uji impact ini ada 2, yaitu uji impact metode *Charpy* dan metode *Izod*. Metode *charpy* banyak digunakan di Amerika Serikat, sedangkan metode *izod* lebih sering digunakan di sebagian besar dataran Eropa. Batang uji metode *charpy* memiliki spesifikasi, luas penampang 10 mm x 10 mm, takik berbentuk V. Proses pembebanan uji impact pada metode *charpy* dan metode *izod* dengan sudut  $45^\circ$ , kedalaman takik 2 mm dengan radius pusat 0.25 mm, seperti terlihat pada Gambar 2.13 dan Gambar 2.14.

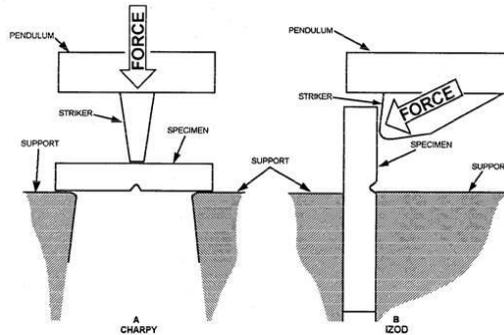


**Gambar 2.14** Dimensi specimen metode *izod* (Dieter, 1987)

Batang uji *charpy* kemudian diletakkan horizontal pada batang penumpu dan diberi beban secara tiba-tiba di belakang sisi



takik oleh pendulum berat berayun (kecepatan pembebanan  $\pm 5$  m/s). Batang uji diberi energi untuk melengkung sampai kemudian patah pada laju regangan yang tinggi hingga orde  $10^3 s^{-1}$ . Dengan dimensi benda uji takik V *charpy* standar, memberikan kondisi yang baik bagi pengujian patah getas (Ismail, 2012). Batang uji *izod*, lebih banyak dipergunakan saat ini, memiliki luas penampang berbeda dan takik berbentuk v yang lebih dekat pada ujung batang. Gambar 2.15 menunjukkan dua metode ini juga memiliki perbedaan pada proses pembebanan. (Dieter, 1987).



**Gambar 2.15** Pembebanan metode *charpy* dan metode *izod*  
(Handoyo, 2013)

Dimana benda uji dibuat takikan terlebih dahulu sesuai dengan standar ASTM E23 05 dan hasil pengujian pada benda uji tersebut akan terjadi perubahan bentuk seperti bengkokan atau patahan sesuai dengan keuletan atau kegetasan terhadap benda uji tersebut. Percobaan uji *impact charpy* dilakukan dengan cara pembebanan secara tiba-tiba terhadap benda uji yang akan diuji secara statik, dimana pada benda uji dibuat terlebih dahulu sesuai dengan ukuran standar ASTM E23 05. (Handoyo, 2013)

Pada pengujian impact, banyaknya energi yang diserap oleh suatu bahan untuk terjadinya perpatahan merupakan ukuran ketahanan impact atau ketangguhan bahan tersebut. Energi yang diserap oleh benda uji biasanya dinyatakan dalam Joule dan dibaca langsung pada skala (*dial*) penunjuk yang telah dikalibrasi

## BAB II TINJAUAN PUSTAKA



yang terdapat pada mesin pengujian. Kekuatan impak ( $I_s$ ) dapat dicari menggunakan persamaan (2.2) untuk mendapatkan nilai energi yang diserap tiap satuan luas penampang lintang spesimen uji.

$$I_s = \frac{E}{A} \dots\dots\dots(2.2)$$

## 2.12 Penelitian Sebelumnya

### 2.12.1 Karakterisasi Sifat Fisis dan Mekanis Grinding Ball Impor Diameter 40mm yang Digunakan di PT. Indocement Tunggal Prakarsa, Tbk.

*Grinding ball* merupakan komponen utama dari mesin cement mill. Mesin ini berfungsi untuk menggiling dan menumbuk campuran *clinker* dengan *gypsum* hingga menghasilkan semen dengan derajat kehalusan mencapai antara 300-320 m<sup>2</sup>/kg. Mesin ini dirancang untuk beroperasi secara terus menerus tanpa kegagalan untuk meningkatkan penggilingan, kecepatan dan efisiensi dalam produksi semen.

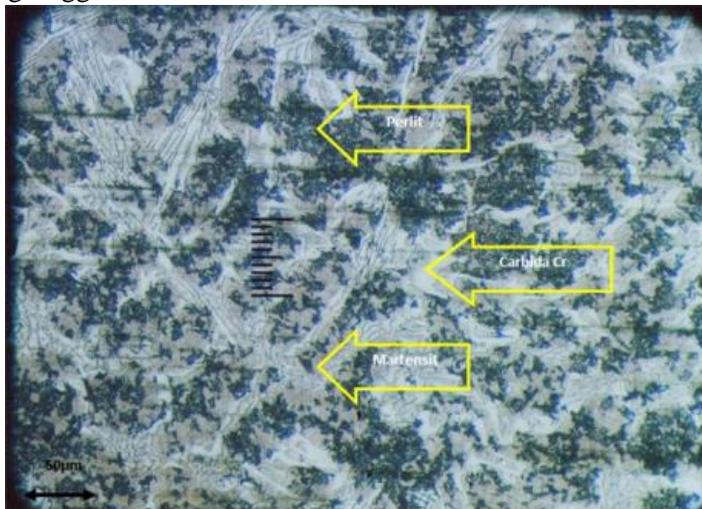
Dari hasil pengujian di dapatkan kandungan unsur karbon(C) mencapai 2,083%Wt, unsur Silikon (Si) mencapai 1,736%Wt, dan Kandungan unsur kromium (Cr) mencapai ± 12 % Wt, maka spesimen uji dapat dapat digolongkan ke dalam klasifikasi besi cor paduan (alloy cast iron)

Berdasarkan standar internasional yang bersumber dari ASTM, material ini digolongkan ke dalam klasifikasi *martensitic white cast iron* standar ASTM A 532 class II type A. Mempunyai karakteristik ketahanan abrasi (ketahanan aus) yang sangat baik. Sehingga material sangat cocok digunakan dalam pembuatan komponen mesin gerinda, kelengkapan penghancur (*grinding*), komponen dapur pemanas (*furnance*) dan lain lain.

Pada Gambar 2.16 struktur martensit lebih dominan. Fasa mertensit berbentuk seperti jarum yang bersifat sangat keras dan getas. Pada gambar ditunjukkan oleh warna putih kecoklatan. Struktur ini terbentuk tanpa melalui proses difusi saat austenit

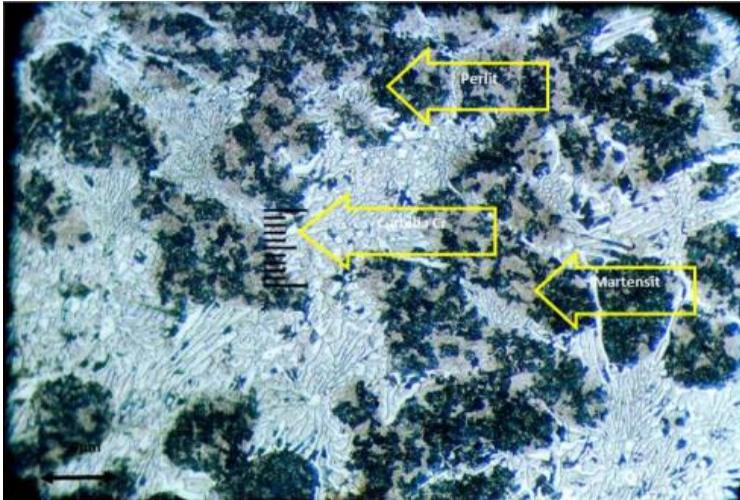


didinginkan secara sangat cepat. Terdapatnya fasa martensit dalam foto struktur mikro maka spesimen grinding ball dapat diklasifikasikan dalam jenis besi cor putih martensitik. Sedangkan stuktur perlit ukurannya semakin mengecil dan lebih sedikit, perlit ditunjukkan dengan warna gelap bercak putih. Perlit merupakan suatu campuran lamellar dari ferrit dan cementit yang terbentuk dari dekomposisi austenit melalui reaksi eutektoid pada keadaan setimbang. Perlit memiliki sifat ulet dan ketahanan aus yang baik, sehingga untuk besi tuang kelas tinggi perlu memiliki matrik perlit. Struktur carbida Cr memiliki bentuk memanjang dengan warna putih terang diantara gumpalan-gumpalan perlit. Adanya unsur paduan kromium yang tinggi mengakibatkan terbentuknya fase carbida Cr yang tersebar merata pada spesimen. Adanya struktur carbida Cr ini berpengaruh untuk meningkatkan keuletan dan ketangguhan sehingga spesimen mempunyai ketahanan abrasi yang tinggi.



**Gambar 2.16** Hasil foto struktur mikro perbesaran 200x lokasi 3  
(Habibi, 2010)

## BAB II TINJAUAN PUSTAKA



**Gambar 2.17** Hasil foto struktur mikro perbesaran 200x lokasi 5 (Habibi, 2010)

Pada Gambar 2.17 terlihat *perlit* dan *martensit* membentuk gumpalan besar. Struktur karbida Cr terlihat dominan dengan bulatan kecil dan lebih banyak dibandingkan lokasi lain. Struktur karbida Cr dapat meningkatkan ketangguhan *grinding ball*.

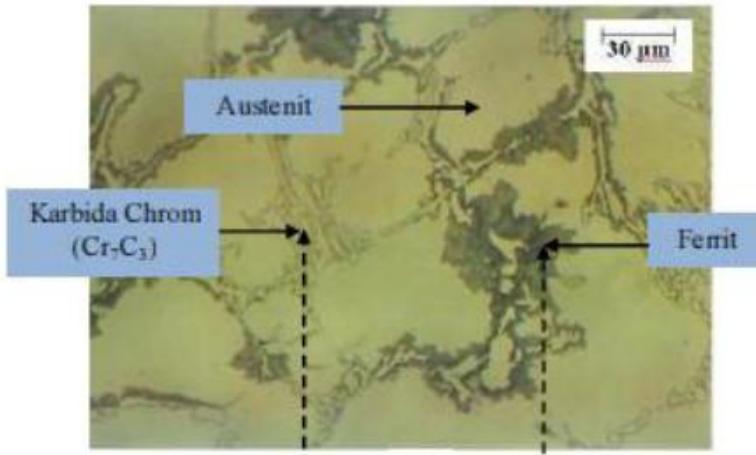
### **2.12.2 Karakterisasi Struktur Mikro dan Sifat Mekanik Besi Tuang Putih Paduan Krom Tinggi Hasil *Thermal Hardening* Aplikasi *Grinding Ball***

Saat ini beberapa penelitian terkait teknologi proses yang menghasilkan paduan logam untuk aplikasi *grinding ball* lebih menitik beratkan pada penambahan unsur paduan pembentuk karbida, seperti penambahan unsur molibdenum, vanadium dan boron pada besi paduan krom tinggi untuk meningkatkan nilai kekerasan dan ketahanan aus *grinding ball*, namun penambahan unsur paduan tersebut akan berdampak pada mahalnya harga jual produk *grinding ball*. Oleh karena itu perlu dikembangkan suatu



metode perlakuan panas *thermal hardening* untuk memperoleh sifat-sifat mekanik yang optimal dari material tersebut tanpa adanya penambahan unsur-unsur paduan pembentuk karbida (molibdenum, vanadium dan boron).

Harga kekerasan material besi tuang putih paduan krom tinggi (ASTM A532 Type II-A) ditunjukkan pada Tabel 2.10, dimana pada kondisi *as-cast* harga kekerasan adalah 410 BHN. Struktur yang terbentuk pada material *as-cast* berupa matriks austenit, ferit, dan karbida krom sepanjang batas butir austenit, seperti tampak pada Gambar 2.18. Tingginya nilai kekerasan material ASTM A532 Type II-A pada kondisi *as-cast* ini diakibatkan oleh adanya struktur karbida krom. Dalam referensi, harga kekerasan karbida krom adalah berkisar 1365-1620 BHN, dimana nilai kekerasan lebih tinggi dibandingkan dengan karbida sementit ( $\text{Fe}_3\text{C}$ ), yaitu 925-1100 BHN pada besi tuang putih tanpa paduan.



**Gambar 2.18** Struktur mikro besi tuang putih paduan krom tinggi (ASTM A532 Type II-A) kondisi *as-cast* (Shofi, 2013)

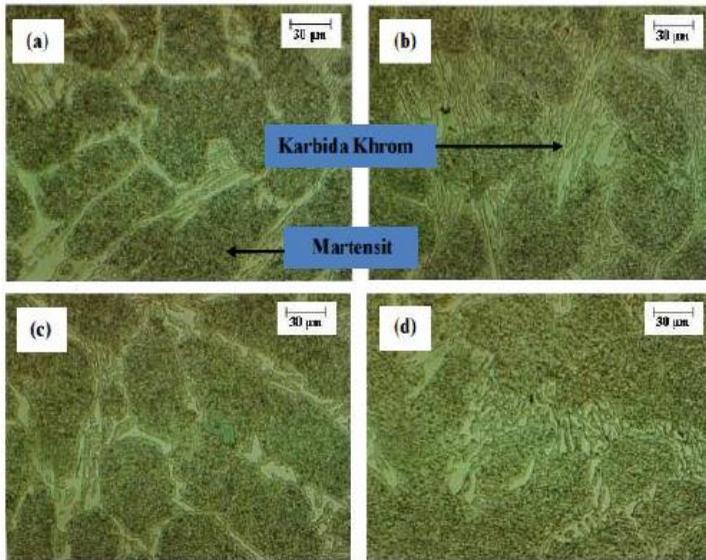


**Tabel 2.10** Nilai Kekerasan Besi Tuang Putih Paduan Krom Tinggi pada Berbagai Media *Quench* dan Variasi Temperatur *Tempering* (Shofi, 2013)

Jenis Perlakuan	Kekerasan Rerata (BHN)	
As-Cast	410	
Media Quenched	Oli	Udara Paksa
As-Quenched	660	619
Tempering, 250 °C	688	642
Tempering, 300 °C	723	603
Tempering, 350 °C	690	566

Pada proses *thermal hardening-temper* dengan berbagai variasi temperature *tempering*, seperti tampak pada Tabel 2.10, bahwa material ASTM A532 Type II-A dengan media *quench oli* memiliki nilai kekerasan optimal sebesar 723 BHN, yang diperoleh pada temperatur *tempering* 300°C.

Pada Gambar 2.19 tampak pada temperatur *tempering* 250°C memiliki struktur karbida krom yang lebih kasar (*coarse*), sedangkan struktur karbida krom pada temperatur *tempering* 300°C memiliki struktur yang lebih halus, jika dibandingkan dengan temperature *tempering* 250°C dan 350 °C. Struktur karbida krom kasar cenderung akan berdampak negatif terhadap sifat mekanik material logam. Pada besi tuang putih paduan krom tinggi, struktur karbida halus dalam matriks akan memberikan kombinasi yang sangat baik antara kekerasan dan ketangguhan jika dibandingkan dengan struktur karbida kasar (Jiyang, 2011).

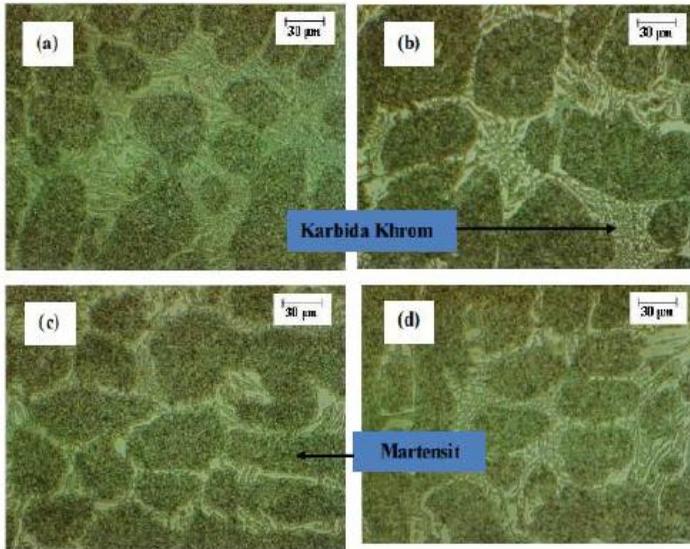


**Gambar 2.19** Foto mikrostruktur ASTM A532 Type II-A kondisi *as-tempered* dengan media *quench* oli; (a) *as-quenched*, (b) *as-tempered* 250°C, (c) *as-tempered* 300°C, (d) *as-tempered* 350°C. Etsa Nital 3% (Shofi, 2013)

Gambar 2.20 menunjukkan struktur mikro dari material besi tuang putih paduan krom tinggi (ASTM A532 Type-IIA) hasil proses *thermal hardening-temper* dengan media *quench* udara paksa pada berbagai temperatur tempering. Dari gambar tersebut, tampak bahwa pada temperature tempering 250 °C (Gambar 2.20 b), karbida krom berukuran kecil/halus membentuk koloni pada daerah batas butir diantara matriks martensit temper. Sedangkan pada temperatur tempering 300 °C (Gambar 2.20 c) dan 350 °C (Gambar 2.20 d), karbida krom yang terbentuk pada daerah batas butir berbentuk *single lamellar* berukuran besar/kasar.

---

## BAB II TINJAUAN PUSTAKA



**Gambar 2.20** Foto mikrostruktur ASTM A532 Type IIA kondisi *as-tempered* dengan media *quench* udara paksa; (a) *as-quenched*, (b) *as-tempered* 250°C, (c) *as-tempered* 300°C, (d) *as-tempered* 350°C. Etsa Nital 3% (Shofi, 2013)



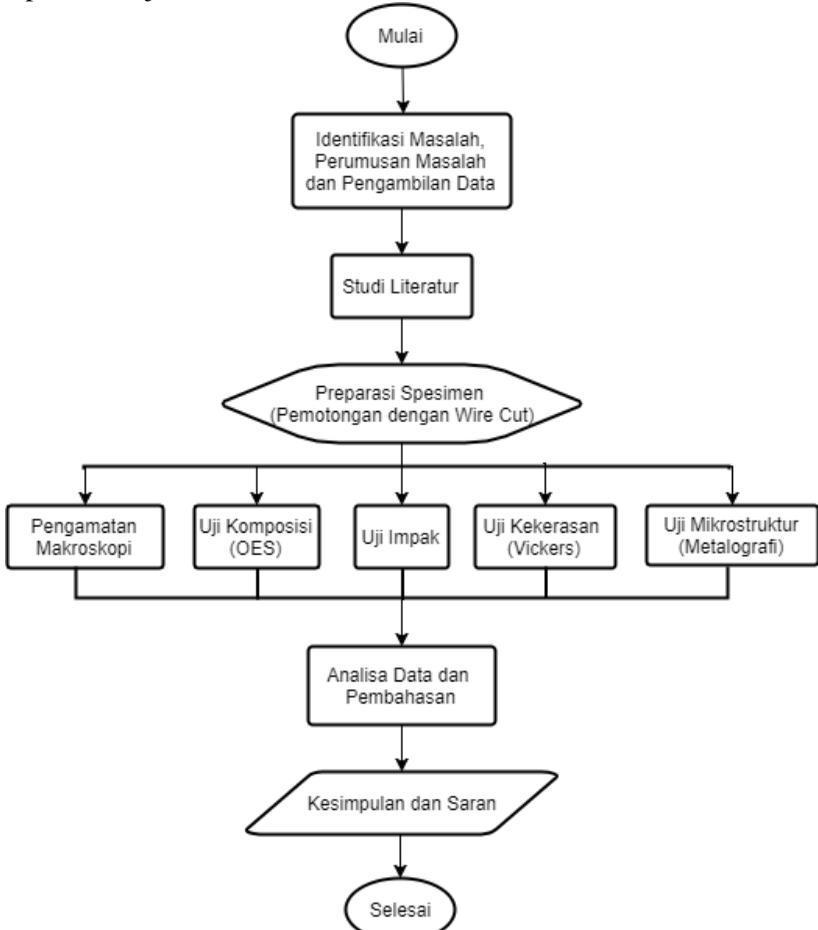
*(halaman ini sengaja dikosongkan)*



### 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 literatur. 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, Tbk, dan berdiskusi dengan dosen mata kuliah, dosen pembimbing, dan pihak PT. Semen Indonesia, 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 keausan pada *Hammer Crusher*.

3. Pengujian

Metode ini dilakukan dengan pengujian langsung sesuai dengan prosedur dan metode yang ada. Adapun pengujian yang diperlukan dalam eksperimen ini yaitu : pengujian komposisi dengan menggunakan spektrometer (OES), uji kekerasan untuk mengetahui nilai kekerasan pada material *Hammer Crusher*, uji *impact* untuk mengetahui kekuatan dan ketangguhan pada material *Hammer Crusher*, dan uji mikrostruktur untuk mengetahui struktur pada material *Hammer Crusher*.

### 3.3 Material yang Digunakan

1. Material

Pada tanggal 19 Januari 2017, *Hammer Crusher* pada *Clinker Cooler* Pabrik Tuban 1 mengalami keausan yang diperlihatkan pada Gambar 3.2.



**Gambar 3.2** a.) Komponen *Hammer Crusher* yang mengalami aus. b.) Bagian *Hammer Crusher* yang masih utuh.

Material yang digunakan oleh PT. Semen Indonesia (Persero) Tbk merupakan baja *high chromium white cast iron* yang memiliki komposisi kimia seperti yang ditunjukkan oleh Tabel 3.1.

**Tabel 3. 1** Komposisi Kimia *Hammer Crusher*

Unsur	C	Mn	P	Si	Cr	W	Nb	Ni	S	Mo
%	1.73	0.674	0.030	0.745	17.5	1.22	0.900	0.418	0.0089	0.893

### 3.4 Peralatan

Peralatan yang digunakan dalam penelitian ini antara lain:

1. Penggaris  
Digunakan untuk mengukur spesimen.
2. Mesin *Wire Cut*  
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. Uji Kekerasan  
Digunakan untuk mengetahui nilai kekerasan dari material uji.
6. Uji Impak



- Digunakan untuk mengetahui nilai beban kejut dari material uji.
7. Resin  
Digunakan untuk preparasi pengujian mikroskop optik.
  8. Amplas grade 80 hingga 2000  
Digunakan untuk preparasi pengujian mikroskop optik.
  9. Mesin Polish  
Digunakan untuk preparasi pengujian mikroskop optik.
  10. Larutan Etsa  
Digunakan untuk preparasi pengujian metalografi.
    - 74a terdiri dari 1-5mL  $\text{HNO}_3$  + 100 mL *ethanol* (95%) atau *methanol* (95%)
  11. Mikroskop Optik  
Digunakan untuk mendapatkan informasi struktur mikro/fasa yang terdapat pada material uji.

### 3.5 Tahapan Penelitian

#### 3.5.1 Review Dokumen Perusahaan

Review dokumen perusahaan dilakukan untuk mendapatkan data-data perusahaan yang berkaitan dengan *Hammer Crusher* sebagai pendukung hasil penelitian, berikut data yang harus diambil, yaitu:

1. Desain *Hammer Crusher*
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 material *Hammer Crusher* pada PT Semen Indonesia. Persiapan ini berupa proses *cutting* menggunakan *wire cut* seperti ditunjukkan pada Gambar 3.3

Proses pemotongan dilakukan pada bagian ujung *Hammer Crusher* yang terindikasi adanya kegagalan. Spesimen terindikasi



adanya beban siklik serta bagian yang jauh dari aus akan diuji sebagai perbandingan antara material yang baru dengan material yang sudah gagal.



**Gambar 3.3** Mesin potong *Wire Cut*

### 3.5.3 Uji Komposisi

Pengujian komposisi kimia adalah untuk mengetahui komposisi kimia yang terdapat pada material yang mengalami kegagalan. Pada identifikasi komposisi kimia menggunakan alat *Optical Emission Spectroscopy (OES)* seperti pada Gambar 3.4, di Laboratorium Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya (PPNS), menggunakan material dengan ukuran 20x20x20 mm, untuk mengetahui komposisi yang ada pada *Hammer Crusher*.



**Gambar 3.4** Mesin uji *Optical Emission Spectroscopy (OES)*



### 3.5.4 Pengamatan Makroskopik dan Mikroskopik

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

Adapun perlakuan terhadap sampel material sebagai berikut:

1. Melakukan pengambilan fotografi dengan kamera digital untuk mendapatkan informasi bentuk dari kegagalan secara makro.
2. Pengamatan melalui *optical microscope* seperti pada Gambar 3.5 terhadap sampel material dengan beberapa kali perbesaran untuk mendapatkan struktur mikronya.



**Gambar 3.5** Alat uji mikroskop optik, *Olympus BX51 Optical Microscope*

### 3.5.5 Uji 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 indenter piramida intan, pembebanan sebesar 100 kg dan waktu indentasi selama 15 detik. Pengujian ini menggunakan *Universal Hardness Tester* di Laboratorium Metalurgi, Jurusan Teknik Material dan Metalurgi, ITS yang terlihat pada Gambar 3.6.



**Gambar 3.6** *Universal hardness tester*

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

### 3.5.6 Uji Impak

Pengujian impact dilakukan untuk mengetahui kekuatan dengan memberikan beban kejut pada material uji. Pengujian ini dilakukan dengan metode *charpy* dimana pengujiannya memberikan beban kejut pada bagian yang berlawanan dengan takikan. Pengujian ini menggunakan metode *charpy* dengan mesin alat uji *impact* di Laboratorium Konstruksi dan Kekuatan Kapal, Jurusan Teknik Perkapalan, ITS yang dapat dilihat pada Gambar 3.7.



**Gambar 3.7** Alat uji impak *charpy* *Wolpert PW 15*



*(halaman ini sengaja dikosongkan)*





**Tabel 4.1** Spesifikasi Komponen *Hammer Crusher*

<b>Data Hammer Crusher</b>	
Kecepatan Rotasi	349.598 rpm
Temperatur Kerja	130°C
<i>Linear Speed</i>	2073.66 mm/s
<i>Lifetime</i>	12 bulan
<i>Product Clinker</i>	335 Ton/Hrs

#### 4.1.2 Pengamatan Hasil Makro *Hammer Crusher* yang Mengalami Kegagalan

Berdasarkan hasil pengamatan visual secara makro pada komponen *hammer crusher* yang mengalami keausan di Gambar 4.2 terlihat keausan pada material *hammer crusher* dan terdapat pengurangan dimensi ukuran dari *hammer crusher* yang awalnya memiliki ukuran panjang 320 mm, menjadi 277 mm.



**Gambar 4.2** Komponen *hammer crusher* : (a) Sebelum mengalami keausan; (b) Setelah mengalami keausan

Setelah dihitung volume keausannya, material mengalami kehilangan material sebanyak  $3,616,764.71 \text{ mm}^3$  atau sebesar  $3,616.765 \text{ cm}^3$ .



#### 4.1.3 Hasil Pengujian Komposisi Kimia *Hammer Crusher*

Pengujian komposisi kimia pada material *hammer crusher* menggunakan alat OES (*Optical Emission Spectroscopy*). Pengujian dilakukan untuk mengetahui komposisi dari material *hammer crusher*. Hasil pengujian komposisi kimia *hammer crusher* yang mengalami keausan dan komposisi standard ditunjukkan pada Tabel 4.2 .

Komponen *hammer crusher* di *clinker cooler* berdasarkan standard yang ada biasanya menggunakan besi tuang putih (*white cast iron*) sesuai standard ASTM A532.

**Tabel 4.2** Hasil Uji Komposisi Kimia

Unsur (%)	Material Uji	ASTM A532 IIA	ASTM A532 IIB	ASTM A532 IID
C	1.73	2.00-3.30	2.00-3.30	2.00-3.30
Mn	0.674	2.00 max	2.00 max	2.00 max
P	0.030	0.10 max	0.10 max	0.10 max
Si	0.745	1.50 max	1.50 max	1.50 max
Cr	17.5	11.0-14.0	14.0-18.0	18.0-23.0
W	1.22	-	-	-
Nb	0.900	-	-	-
Ni	0.418	2.5 max	2.5 max	2.5 max
S	0.0089	0.06 max	0.06 max	0.06 max
Mo	0.893	3.00 max	3.00 max	3.00 max
Fe	Balance	Balance	Balance	Balance

Tabel 4.2 menunjukkan komposisi kimia pada sampel uji dan material standar *hammer crusher*. Berdasarkan hasil pengujian komposisi diatas, material *hammer crusher* tidak sesuai dengan material standar *hammer crusher* yang seharusnya, yaitu ASTM A532. Komposisi standard memiliki kadar karbon lebih dari 2% yang menandakan material besi tuang. Tidak adanya *mill certificate* yang menunjukkan kebenaran dari material yang digunakan, menyebabkan sulitnya dalam menentukan perbandingan komposisi material.



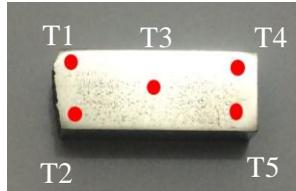
Oleh karena itu, komposisi material *hammer crusher* di *clinker cooler* Tuban 1, PT. Semen Indonesia ini tidak memenuhi standar dan cepat mengalami keausan.

#### 4.1.4 Hasil Pengujian Kekerasan *Vickers*

Pengujian kekerasan (*hardness*) ini digunakan untuk mengetahui distribusi kekerasan pada material *hammer crusher* yang mengalami keausan. Gambar 4.3 (a) merupakan daerah aus *hammer*, dan Gambar 4.3 (b) merupakan daerah yang jauh dari aus *hammer*. Pengujian ini menggunakan indentasi sebanyak 5 titik, dengan beban sebesar 100 kg seperti terlihat pada Gambar 4.4.



**Gambar 4.3** (a) Daerah aus *hammer* (A, B, C). (b) Daerah jauh dari aus *hammer* (G, H, I).



**Gambar 4.4** Daerah indentasi uji kekerasan *Vickers*

Pada Tabel 4.3 ditampilkan nilai kekerasan dari hasil pengujian kekerasan pada *hammer crusher* yang mengalami keausan. Berdasarkan hasil yang telah didapatkan, bahwa pada daerah aus (A, B, C) memiliki nilai kekerasan rata-rata sebesar 569.8 HVN, sedangkan pada daerah jauh dari aus (G, H, I) memiliki nilai kekerasan rata-rata sebesar 481 HVN. Dari sini dapat terlihat bahwa daerah aus *hammer* (A, B, C) memiliki nilai kekerasan yang lebih tinggi, dibandingkan daerah jauh dari aus *hammer* (G, H, I) seperti ditunjukkan pada grafik Gambar 4.5 .

Tabel 4.4 menunjukkan nilai kekerasan yang sesuai dengan material *hammer crusher* adalah *white cast iron* yang memiliki kekerasan sebesar 485 HVN, dimana nilai kekerasan pada material jauh dari aus (G, H, I) memiliki nilai yang sedikit berbeda dari standar, sebesar 481.2 HVN. Dan untuk daerah aus (A, B, C) memiliki nilai kekerasan yang tinggi, sebesar 569.8 HVN dikarenakan adanya *strain hardening*.

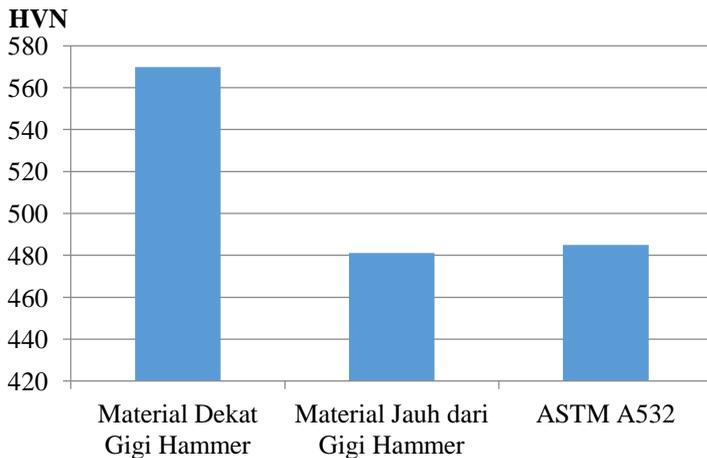
**Tabel 4.3** Data Hasil Pengujian Kekerasan

Material	Nilai Kekerasan (HVN)					Rata-Rata (HVN)	Rata-Rata (HVN)
	t1	t2	t3	t4	t5		
A	515	559	574	479	490	523.4	569.8
B	580	559	571	489	483	536.4	
C	839	686	609	595	519	649.6	
G	476	504	327	422	504	446.6	481.2
H	515	473	511	504	535	507.6	
I	515	493	489	493	448	489.4	



**Tabel 4.4** Nilai Kekerasan *Hammer Crusher* sesuai ASTM A532

Class	Type	Designation	As cast or as Cast and Stress Relieved		
			HB	HRC	HVN
II	A	12% Cr	550	53	600
II	B	15% Cr-Mo	450	46	485
II	D	20% Cr-Mo	450	46	485



**Gambar 4.5** Grafik nilai kekerasan

#### 4.1.5 Hasil Pengujian Impak pada *Hammer Crusher*

Pengujian impak dilakukan untuk mengetahui ketahanan suatu material terhadap beban pukulan atau beban kejut (*impact*), dinyatakan dengan besar energi yang dibutuhkan untuk mematahkan spesimen uji. Metode pengujian impak yang digunakan adalah *Charpy V-notch (CVN)*. Nilai kekuatan impak didapat dari banyaknya energi yang diserap oleh material untuk terjadi perpatahan dalam sekali pukul. Tabel 4.5 menunjukkan nilai energi impak pada spesimen uji.



**Tabel 4.5** Nilai Energi Impak pada Spesimen Uji

Material	Energi Impak (Joule)	Rata-Rata (Joule)	Kekuatan Impak ( $\frac{\text{joule}}{\text{mm}^2}$ )	Rata-Rata ( $\frac{\text{joule}}{\text{mm}^2}$ )
Daerah Aus Hammer	2	1.917	0.024	0.023
	2		0.024	
	1.75		0.022	
Jauh dari Aus	1.6	1.733	0.02	0.021
	1.6		0.019	
	2		0.024	

**Tabel 4.6** Nilai ketangguhan besi tuang putih (ASM Vol 1, 2005)

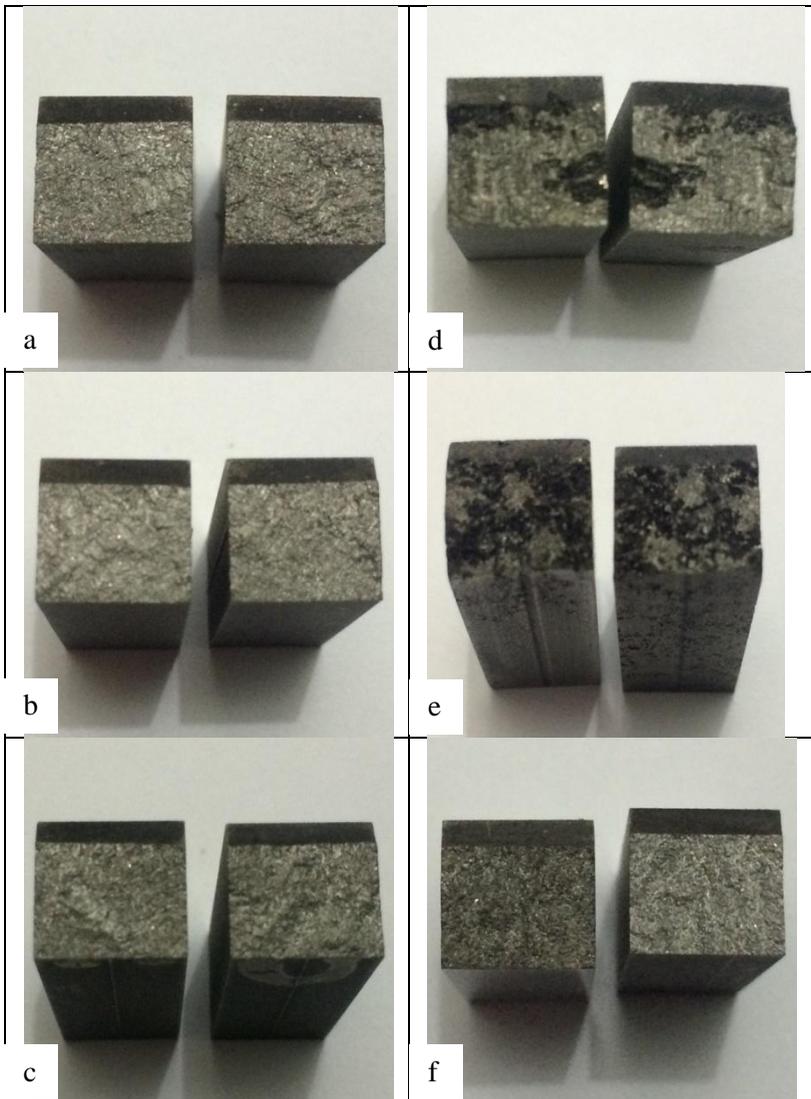
Type of Iron	Basic composition	Transverse strength		Deflection		Toughness(a)	
		kg	lb	mm	in.	kg·m	lb·in.
Sand cast pearlitic	3.2–3.5 C, 1–2 Cr	635–815	1400–1800	2.0–2.3	0.080–0.092	1.29–1.87	112–162
Sand cast martensitic	2.8–3.6 C, 1.4–4 Cr, 3.3–5 Ni	1810–2490	4000–5500	2.0–3.0	0.80–0.12	3.68–7.60	320–660
	2.5–3.6 C, 7–11 Cr, 4.5–7 Ni	2270–2720	5000–6000	2.0–2.8	0.08–0.11	4.6–7.60	400–660
	2.8–3.4 C, 12–16 Cr, 2–4 Mo	1015–1370	2235–3015	3.2–3.6	0.125–0.14	3.21–4.93	279–422
	3.5–4.1 C, 12–16 Cr, 2.5–3 Mo	800–1000	1760–2200	2.0–2.8	0.08–0.110	1.60–2.80	140–240
Chill cast martensitic	2.8–3.6 C, 1.4–4 Cr, 3.3–5 Ni	2040–3180	4500–7000	2.0–3.0	0.08–0.12	4.15–9.68	360–840
	2.5–3.6 C, 7–11 Cr, 4.5–7 Ni	2500–3180	5500–7000	2.5–3.8	0.10–0.15	6.34–12.1	550–1050
	3.2–3.4 C, 12–16 Cr, 1.5–3 Mo	1980–2295	4360–5060	5.1–6.5	0.202–0.26	10–15.2	870–1320
	3.5–4.1 C, 12–16 Cr, 2.5–3 Mo	1270–1575	2800–3470	3.6–3.8	0.140–0.15	4.52–6.0	392–520

Material yang berada pada daerah aus *hammer* memiliki nilai energi impak rata-rata sebesar 1.917 Joule, dan material yang berada pada daerah jauh dari aus *hammer* memiliki nilai energi impak rata-rata sebesar 1.733 Joule. Sedangkan nilai kekuatan impak rata-rata untuk material aus *hammer* sebesar 0.023 joule/mm<sup>2</sup>, dan material yang berada pada daerah jauh dari aus *hammer* memiliki nilai kekuatan impak rata-rata sebesar 0.021 joule/mm<sup>2</sup>. Pola patahan yang terjadi pada daerah aus



*hammer* adalah pola perpatahan getas, seperti ditunjukkan pada Gambar 4.6 (a,b,c) dengan ciri-ciri memiliki permukaan yang rata, berkilat dan memantulkan cahaya. Berbeda dengan daerah jauh aus pada Gambar 4.6 (d,e,f) yang memiliki sedikit keuletan, dengan pola patahan yang memiliki permukaan tidak rata, terdapat garis-garis serabut dan berwarna buram.

Jika dibandingkan dengan ketangguhan untuk besi tuang putih (*white cast iron*), dapat dilihat pada Tabel 4.6, untuk *martensitic white cast iron* berkisar 3.21 – 4.93 Kg-m (31.458 – 48,314 Joule). Sedangkan material *hammer crusher* yang telah dilakukan pengujian memiliki nilai energi dampak jauh lebih kecil yaitu sebesar 1.733 Joule dan 1.917 Joule. Dilihat dari nilai ketangguhan yang dimiliki oleh material *hammer crusher*, dapat disimpulkan material *hammer* sangat getas.

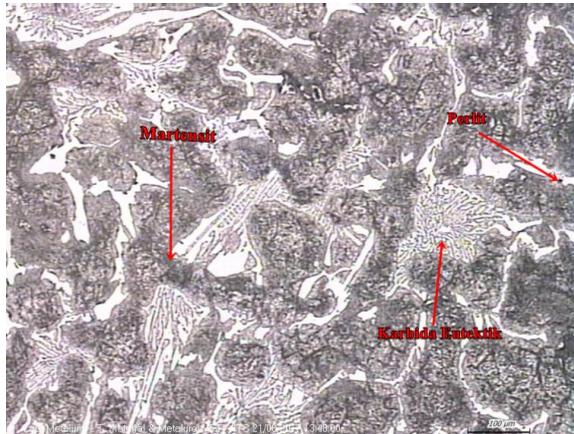


**Gambar 4.6** Pola patahan material aus *hammer*; (a) material A, (b) material B, (c) material C. Pola patahan material jauh dari aus *hammer*; (d) material G, (e) material H, (f) material I

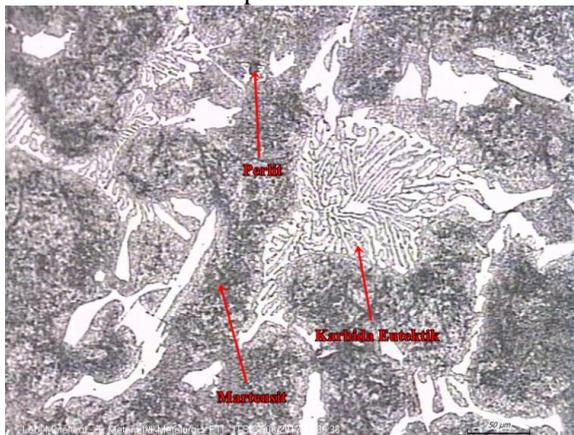


#### 4.1.6 Hasil Pengujian Metalografi

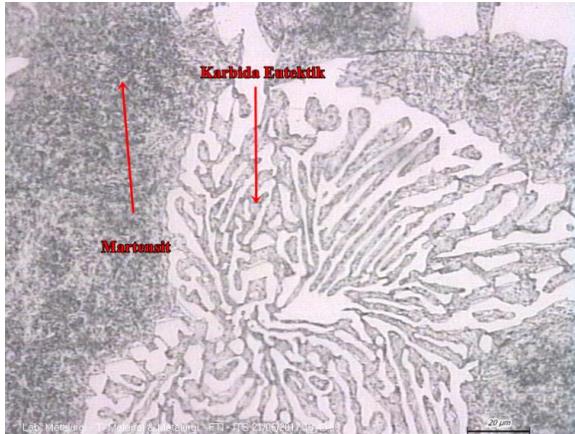
Pengujian metalografi atau struktur mikro dilakukan untuk mengetahui struktur awal yang terbentuk pada material *hammer crusher* yang mengalami keausan. Pengamatan dilakukan dengan menggunakan mikroskop optik pada perbesaran 100x hingga 500x.



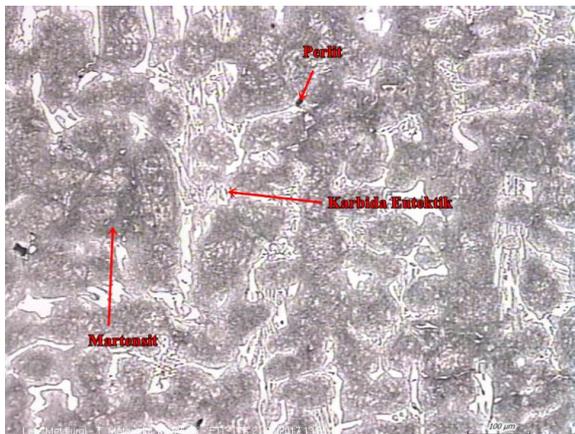
**Gambar 4.7** Struktur mikro material jauh dari aus *hammer crusher* perbesaran 100x



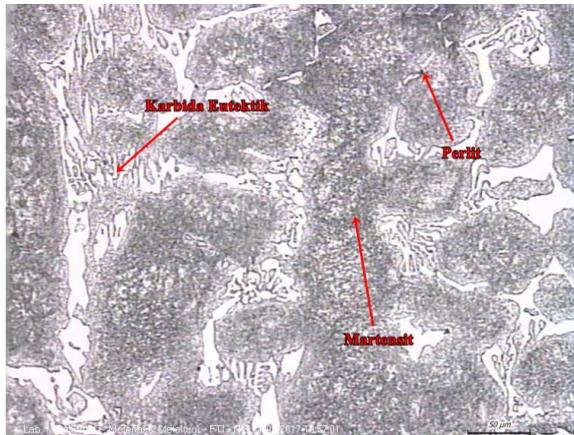
**Gambar 4.8** Struktur mikro material jauh dari aus *hammer crusher* perbesaran 200x



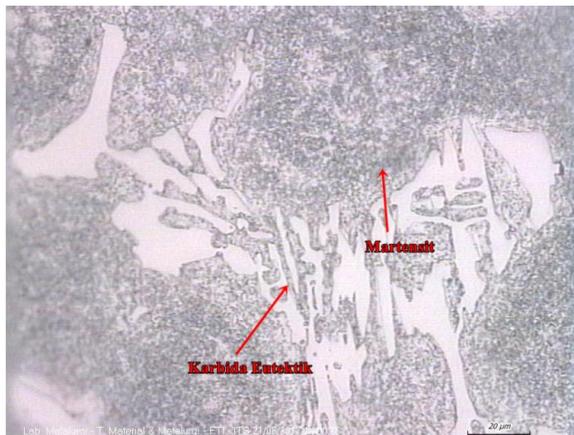
**Gambar 4.9** Struktur mikro material jauh dari aus *hammer crusher* perbesaran 500x



**Gambar 4.10** Struktur mikro material aus *hammer crusher* perbesaran 100x



**Gambar 4.11** Struktur mikro material aus *hammer crusher* perbesaran 200x



**Gambar 4.12** Struktur mikro material aus *hammer crusher* perbesaran 500x

Berdasarkan pengamatan struktur mikro *hammer crusher* diatas, diperoleh perlit, martensit dan karbida krom. Dimana perlit ditunjukkan dengan warna abu-abu bercak putih, karbida krom



ditunjukkan dengan warna putih besar, dan martensit ditunjukkan dengan warna gelap.

Perlit merupakan hasil dari campuran lamellar antara ferrit dan sementit yang terbentuk dari dekomposisi austenite melalui reaksi eutektoid dalam keadaan setimbang (Habibi, 2010). Matrik perlit mempunyai ketahanan abrasif yang rendah tetapi memiliki ketangguhan yang baik. (Elfendri, 2009). Sehingga peran perlit dalam besi tuang kurang diperlukan.

Karbida krom terbentuk karena adanya unsur Cr yang tinggi. Pada pengujian komposisi didapatkan nilai Cr sebesar 17.5% . Unsur Cr pada material *high chromium white cast iron* adalah membentuk karbida yang stabil dan keras yaitu  $M_7C_3$  (Nurjaman, 2012). Hal ini sesuai, dimana  $M_7C_3$  terbentuk pada kandungan Cr sebanyak 15-20%. Terbentuknya karbida krom meningkatkan sifat mampu keras, ketangguhan, dan ketahanan abrasi yang baik pada material.

Martensit memiliki sifat yang sangat keras dan getas, jika semakin banyak kandungan martensit akan menyebabkan semakin tinggi kekerasan pada suatu material. Adanya martensit dalam struktur mikro menyebabkan material *hammer crusher* dapat diklasifikasikan sebagai besi tuang putih martensitik (*martensitic white cast iron*).

Jika dilihat pada Gambar 4.9 material *hammer crusher* yang berada pada daerah jauh dari aus *hammer crusher* memiliki bentuk karbida krom yang lebih halus, dibandingkan pada daerah aus *hammer crusher*. Hal ini kemudian berpengaruh pada kekerasan material di daerah tersebut. Pada besi tuang putih paduan krom tinggi, struktur karbida halus dalam matriks akan memberikan kombinasi yang sangat baik antara kekerasan dan ketangguhan jika dibandingkan dengan struktur karbida kasar (Jiyang, 2009).

## 4.2 Pembahasan

Setelah dilakukan beberapa pengujian pada material *hammer crusher* di *clinker cooler*, didapatkan bahwa kegagalan



pada material disebabkan karena beberapa faktor, yaitu komposisi material, dan nilai ketangguhan material.

Material standar yang seharusnya digunakan untuk material *hammer crusher* adalah besi tuang putih martensitik (*martensitic white cast iron*) dengan standard ASTM A532 yang memiliki sifat ketahanan aus dan kekerasan yang tinggi. Sedangkan material *hammer crusher* yang digunakan pada PT. Semen Indonesia setelah di uji komposisi (OES), memiliki hasil yang tidak sesuai dengan komposisi ASTM A532 class IIA, IIB maupun IID. Jika dilihat dari segi komposisi yang berbeda seperti unsur karbon yang memiliki nilai yang lebih rendah yaitu sebesar 1.73%, sedangkan nilai karbon standar ASTM A532 yaitu 2,00-3.30%. Sehingga menyebabkan material *hammer crusher* memiliki nilai kekerasan dan kekuatan yang lebih rendah dibandingkan material standard. Unsur Cr yang memiliki kelebihan dengan komposisi yang tinggi sebesar 17.6% bila disetarakan dengan ASTM A532 class IIA, namun cocok bila disetakan dengan ATM A532 class IIB dan IID. Adanya unsur Cr menyebabkan terjadinya pembentukan karbida yang memberikan sifat kekerasan yang tinggi dan ketahanan aus yang baik. Kandungan unsur W dan Nb lebih tinggi dari material standar. Kandungan W dan Nb dapat meningkatkan *hardenability* dari material *hammer crusher*. Perbedaan komposisi ini mengakibatkan material *hammer crusher* di PT. Semen Indonesia cepat mengalami keausan dari umur pakai seharusnya 1 tahun, hanya bertahan kurang dari 6 bulan. (ASTM A532, 1999)

Ditinjau dari segi kekerasan, pada material yang berada pada jauh dari aus *hammer crusher* memiliki kekerasan yang sedikit lebih rendah dari standar yaitu sebesar 481.2 HVN, dan pada daerah aus *hammer crusher* memiliki kekerasan yang melebihi standar sebesar 569.8 HVN. Sedangkan standar kekerasan dilihat dari ASTM A532 adalah 485 HVN. Perbedaan kekerasan pada daerah aus *hammer* mengalami kenaikan kekerasan dibandingkan daerah jauh dari aus *hammer* disebabkan



oleh tingginya tegangan yang bekerja pada daerah aus *hammer* yang menumbuk *clinker*. (ASTM A532, 1999)

Hasil pengujian impak dilakukan dengan menggunakan metode *charpy V-notch* (CVN) didapatkan bahwa material aus *hammer* memiliki energi impak rata-rata sebesar 1.917 Joule, kekuatan impak rata-rata sebesar 0.023 Joule/mm<sup>2</sup>, dan memiliki pola patahan semuanya getas. Hal ini menunjukkan bahwa pada daerah ini material memiliki kekerasan yang tinggi sehingga ketangguhannya bernilai kecil. Pada daerah jauh dari aus *hammer* didapatkan nilai energi impak rata-rata sebesar 1.733 Joule, kekuatan impak rata-rata sebesar 0.021 Joule/mm<sup>2</sup>, dan memiliki pola patahan campuran namun masih getas. Dilihat dari pola patahannya material jauh dari aus *hammer* memiliki sedikit perbedaan karena memiliki permukaan yang tidak rata, sedikit berserat dan agak buram, sehingga dikatakan memiliki pola patahan campuran. Dibandingkan dengan ketangguhan standar besi tuang putih martensit (*martensitic white cast iron*) yang memiliki nilai berkisar 3.21 – 4.93 Kg-m (31.458 – 48.314 Joule), nilai ketangguhan material *hammer crusher* ini sangat getas. Kekerasan pada suatu material dapat mempengaruhi ketangguhan material tersebut, semakin keras material tersebut maka ketangguhannya akan semakin menurun. (Bayu Adie Septianto, 2013)

Setelah dilakukan pengujian metalografi pada material *hammer crusher* didapatkan bahwa struktur mikro material terdiri dari martensit, karbida krom dan perlit (Subardi, 2011). Berdasarkan pengamatan material *hammer crusher* yang berada pada daerah jauh dari aus *hammer* memiliki bentuk karbida krom yang lebih halus, dibandingkan pada daerah aus *hammer*. Menyebabkan berpengaruhnya pada sifat kekerasan di daerah tersebut. Pada besi tuang putih paduan krom tinggi, struktur karbida halus dalam matriks akan memberikan kombinasi yang sangat baik antara kekerasan dan ketangguhan jika dibandingkan dengan struktur karbida kasar. Sifat kombinasi antara kekerasan



dan ketangguhan menjadi faktor utama dari material besi tuang putih paduan krom tinggi (Shofi, 2013)

Kegagalan pada *hammer crusher* ini disebabkan karena keausan yang terjadi akibat adanya ketidak sesuaian pada unsur bahan utama, salah satunya kurangnya kadar karbon. Dan terjadinya perubahan sifat mekanik pada material, dimana nilai kekerasan material *hammer crusher* naik namun menurunkan keuletan serta nilai energi impak material jauh dibawah standar. Hal tersebut dapat disebabkan karena proses operasional yang mengakibatkan gesekan secara terus-menerus sehingga ketangguhan yang dimiliki material menjadi lebih rendah dan membuat kekerasan material meningkat karena terjadi *strain hardening* namun menjadikan material menjadi lebih getas.



## BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

### 5.1 Kesimpulan

Berdasarkan serangkaian percobaan yang telah dilakukan, terdapat beberapa kesimpulan mengenai kegagalan pada *hammer crusher* di *clinker cooler* antara lain sebagai berikut :

1. Faktor yang menyebabkan terjadinya kegagalan pada *hammer crusher* di *clinker cooler* yaitu tidak sesuai komposisi material, dan rendahnya nilai ketangguhan dibandingkan dengan standar.
2. Mekanisme kegagalan *hammer crusher* di *clinker cooler* terjadi karena keausan yang diakibatkan adanya perbedaan nilai kekerasan dan terjadi perubahan sifat mekanik pada material.
3. Untuk mengatasi kegagalan yaitu dengan mengganti material sesuai dengan komposisi standar ASTM A532.

### 5.2 Saran

1. Pada saat melakukan pembelian komponen *hammer crusher* harus disertakan sertifikat komposisi kimia dan sifat mekanik yang sesuai dari spesifikasi komponen *hammer crusher* pada umumnya.
2. Menggunakan komponen dengan komposisi lain yang sesuai dengan standard *hammer crusher* dan yang memiliki harga lebih murah serta efisien dalam penggunaannya.
3. Jika *hammer crusher* tidak memungkinkan untuk dengan material lain, maka dapat dilakukan proses perlakuan panas (*heat treatment*) pada komponen



*hammer crusher* sebelum dilakukan pemasangan, untuk meningkatkan kekerasan pada *hammer crusher*.

## DAFTAR PUSTAKA

- \_\_\_\_\_. 1999. ASTM A532. *Standard Specification for Abrasion-Resistant Cast Irons*. USA: ASM International.
- \_\_\_\_\_. 1999. ASTM A681. *Standard Specification for Tool Steels Alloy*. USA: ASM International
- \_\_\_\_\_. 2005. *ASM Handbook Volume 1: Properties and Selection: Irons, Steels, and High Performance Alloys*. ASM International Handbook Committee.
- \_\_\_\_\_. 2004. *ASM Handbook Volume 9: Metallography and Microstructures*. ASM International Handbook Committee
- \_\_\_\_\_. 2017. **FLSmidth Cross Bar Cooler**. <URL: <http://www.flsmidth.com/en-US/Industries/Categories/Products/Pyroprocessing/FLSmidth+Cross-Bar+Cooler/FLSmidth+Cross-Bar+Cooler>>
- Almen, J.O.1950. *Mechanical Wear (ed J.T. Burwell)*, New York: American Society for Metals
- Anwar, Khairil. 2011. *Analisis Perpindahan Panas pada Grate Cooler Industri Semen*. Palu: Majalah Ilmiah Mektek
- Avner, Sidney H. 1974. *Introduction To Physical Metallurgy*. Singapore: McGraw-Hill Book Co.
- Bayu Adie Septianto, dan Yuli Setiyorini. 2013. *Pengaruh Media Pendingin pada Heat Treatment Terhadap Struktur Mikro dan Sifat Mekanik Friction Wedge AISI 1340*. Surabaya: Jurusan Teknik Material dan Metalurgi, Fakultas Teknologi Industri, Institut Tekn olio Sepuluh Nopember.
- Bedolla-Jacuinde, A., Arias, L., and Hernadez, B. 2003. *Kinetics of Secondary Carbides Precipitation in a High-Chromium White Irons*. Journal of Materials Engineering and Performance.
- Blau, P. J. 2001. *The significance and the use of friction coefficient*. Tribology International

- Brooks, Charlie and Choudhury, Ashok. 2002. *Failure Analysis of Engineering Materials*. New York: McGraw-Hill.
- Buckley, D.H. 1981. *Surface effects in adhesion, friction, wear and lubrication*. Amsterdam: Elsevier
- Callister, William. 2007. *Material Science and Engineering An Introduction*. New York: JohnWiley & Sons, Inc.
- Cobos, Oscar Fabian Higuera. 2015. *Improvement of Abrasive Wear Resistance of the High Chromium Cast Iron ASTM A-532 Through Thermal Treatment Cycles*. Colombia:Facultad de Ingeniera
- Dieter, George E. 1987. *Metallurgi Mekanik*. Jakarta: Erlangga.
- Edahwati, Luluk. 2009. *Alat Industri Kimia*. Surabaya: UPN Press
- Elfendri. 2009. *Pengaruh Media Pendingin Terhadap Kekerasan Makro Dan Mikro Ni- Hard IV*. Jurnal Aptek Vol. 1 No. 1
- Firdaus, Apriyadi. 2007. *Proses Pembuatan Semen Pada PT. Holcim Indonesia Tbk*. Banten: Jurusan Teknik Kimia Fakultas Teknik Universitas Sultan Ageng Tirtayasa.
- Handoyo, Yopi. 2013. *Perancangan Alat Uji Impak Metode Charpy Kapasitas 100 Joule*. Bekasi: Program Studi Teknik Mesin Universitas Islam 45 Bekasi.
- Habibi, Firdaus. *Karakterisasi Sifat Fisis dan Mekanis Saat Grinding Ball Import Diameter 40mm yang Digunakan di Imdocement Tunggal Prakarsa*. Surakarta: Universitas Sebelas Maret.
- Hokkirigawa, K. and Kato, K. 1989. *Theoretical Estimation of Abrasive Wear Resistance Based on Microscopic Wear Mechanism*, New York: Wear of Materials (ed K.C. Ludema)
- Ismail, Fajar. 2012. *Rancang Bangun Alat Uji Impak Charpy*. Semarang: Universitas Diponegoro
- Jiyang, Zhou. 2011. Serial Report: *Colour Metallography of Cast Iron*

- Kopycinski, D. dkk. 2014. *Analysis of the High Chromium Cast Iron Microstructure After the Heat Treatment*. Poland: Foundry Commission of the Polish Academy of Sciences.
- Li, Da. dkk. 2009. *Phase Diagram Calculation of High Chromium Cast Irons and Influence of It's Chemical Composition*. Materials & Design
- Majanasatra, R. Bagus Suryasa. 2013. *Analisis Simulasi Uji Impak Baja Karbon Sedang (AISI 1045) dan Baja Karbon Tinggi (AISI D2) Hasil Perlakuan Panas*. Bekasi: Universitas Islam 45 Bekasi
- Murtiono, Arief. 2012. *Pengaruh Quenching dan Tempering Terhadap Kekerasan dan Kekuatan Tarik Serta Struktur Mikro Baja Karbon Sedang Untuk Mata Pisau Pemanen Sawit*. Sumatera: Departemen Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Sumatera Utara.
- Muslim, Khairul. 2008. *Pengaruh Perlakuan Quench Temper dan Spheroidized Anneal Terhadap Sifat Mekanis Baja Perkakas*. Depok : Universitas Indonesia
- Nishida, Shin-ichi. 1992. *Faliure Analysis in Engineering Application*. Oxford: Butterworth-Heinemann.
- Nurjaman, Fajar. 2012. *Pembuatan Grinding Ball dari Material White Cast Iron dengan Penambahan Chromium, Molybdenum, Vanadium, dan Boron Sebagai Unsur Paduan Pembentuk Karbida*. Depok: Universitas Indonesia
- Shofi, Achmad. dkk. *Karakteristik Struktur Mikro dan Sifat Mekanik Besi Tuang Putih Paduan Krom Tinggi Hasil Thermal Hardening Untuk Aplikasi Grinding Ball*. Lampung: UPT Balai Pengolahan Mineral Lampung
- Smallman, R.E. dan Bishop, R.J. 1995. *Sixth Edition : Modern Physical Metallurgy and Materials Engineering. Science, process, applications*. Butterworth-

- Heinemann. Oxford Auckland Boston Johannesburg  
Melbourne New Delhi
- Stachowiak, G.W. 2005. *Wear–Materials, Mechanisms And Practice*. England: John Wiley & Sons, Ltd.
- Subardi, Ratna Kartikasari, Achmad Supiani. 2011. *Pengaruh Viskositas Media Celup Terhadap Kekerasan dan Struktur Mikro Martensitic White Cast Iron ASTM A532*. Yogyakarta: Jurusan Teknik Mesin
- Tansiswo, Siagian. 2014. *Pengaruh Bukaannya Damper Blower Pada Proses Penggilingan Pada Vertical Mill Terhadap Kapasitas Udara Dan Tingkat Kehalusan Semen (Studi Kasus di PT. Tri Arta Aditama, Salatiga, Jawa Tengah)*. Malang: Universitas Brawijaya
- Yogantoro, Anom. 2010. *Penelitian Pengaruh Variasi Temperatur Pemanasan Low Tempering, Medium Tempering, dan High Tempering pada Medium Carbon Steel Produksi Pengecoran Batur-Klaten Terhadap Struktur Mikro, Kekerasan dan Ketangguhan (Toughness)*. Surakarta: Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Surakarta
- Zum Gahr, K.H. 1987. *Microstructure and Wear of Materials*. Amsterdam: Tribology Series

# LAMPIRAN

## A. Analisa OES (Optical Emission Spectrometry) Komposisi kimia

POLITEKNIK PERKAPALAN NEGERI SURABAYA  
LABORATORIUM DT NDT

### OES Chemical Results

Sample ID :	C	Material :	CS
Customer :	Sdr.NOVIA D.A (T.MATERIAL)	Dimension :	-
Lab-no. :	UJI BAHAN	Heat-no. :	-
Operator :	ELHAM	Ka. Laboratorium :	M. Thoriq Wahyudi
Date:	21/02/2017		

### Spektralanalyse Foundry-MASTER Grade :

	Fe	C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo
1	75.3	1.78	0.739	0.667	0.0302	0.0097	17.6	0.912
2	75.4	1.73	0.739	0.675	0.0303	0.0096	17.7	0.884
3	75.8	1.67	0.756	0.678	0.0304	0.0074	17.3	0.884
Ave	75,5	1.73	0.745	0.674	0.0303	0.0089	17.5	0.893
4								
	Ni	Al	Co	Cu	Nb	Ti	V	W
1	0.402	0.0138	0.0376	0.0731	0.949	0.0113	0.0691	1.21
2	0.423	0.0074	0.0377	0.0699	0.960	0.0118	0.0680	1.21
3	0.430	0.0014	0.0376	0.0725	0.890	0.0097	0.0655	1.24
Ave	0.418	0.0075	0.0377	0.0718	0.900	0.0110	0.0675	1.22
	Pb	Sn	B	Ca	N	Se	Sb	Ta
1	< 0.0010	0.0034	0.0018	< 0.0001	0.0417	< 0.0020	< 0.0010	< 0.0046
2	0.0011	0.0056	0.0021	< 0.0001	0.0594	< 0.0020	< 0.0010	< 0.0046
3	< 0.0010	0.0034	0.0020	< 0.0001	0.0414	< 0.0020	0.0019	< 0.0046
Ave	< 0.0010	0.0041	0.0020	< 0.0001	0.0475	< 0.0020	< 0.0010	< 0.0046

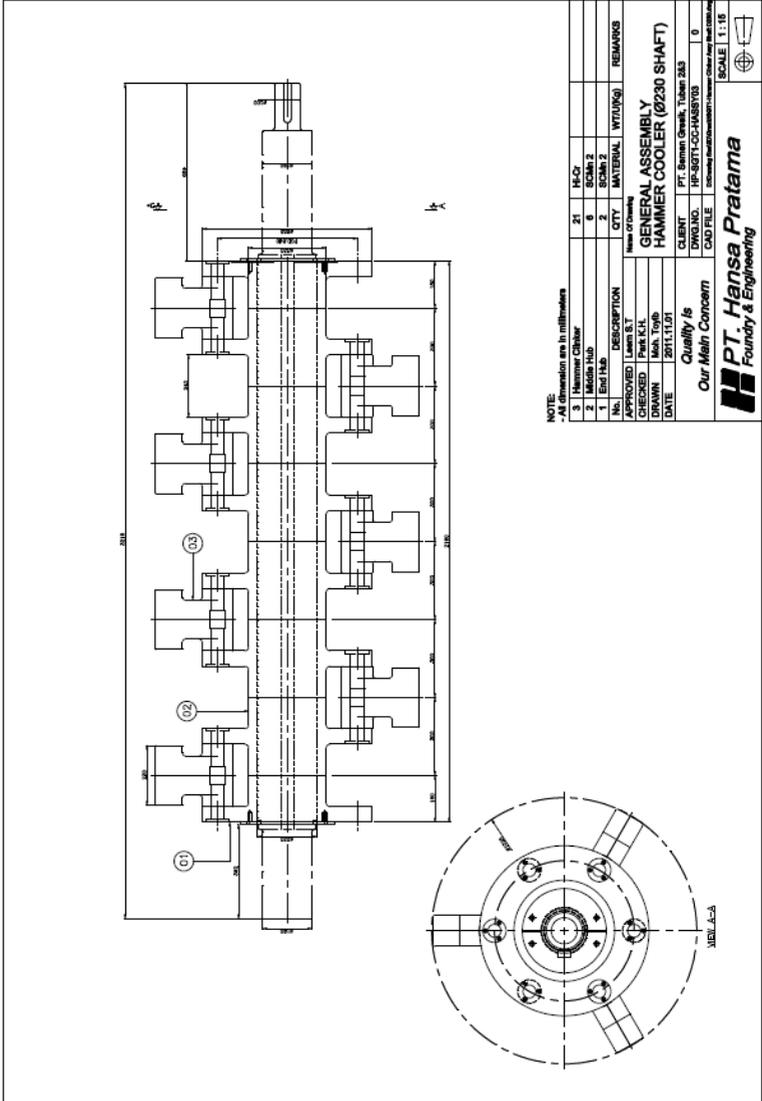
## B. Standar ASTM A532

TABLE 1 Chemical Requirements, Weight %

Class	Type	Designation	Carbon	Manganese	Silicon	Nickel	Chromium	Molybdenum	Copper	Phosphorus	Sulfur
I	A	Ni-Cr-Hc	2.8-3.6	2.0 max	0.8 max	3.3-5.0	1.4-4.0	1.0 max	...	0.3 max	0.15 max
I	B	Ni-Cr-Lc	2.4-3.0	2.0 max	0.8 max	3.3-5.0	1.4-4.0	1.0 max	...	0.3 max	0.15 max
I	C	Ni-Cr-GB	2.5-3.7	2.0 max	0.8 max	4.0 max	1.0-2.5	1.0 max	...	0.3 max	0.15 max
I	D	Ni-HfCr	2.5-3.6	2.0 max	2.0 max	4.5-7.0	7.0-11.0	1.5 max	...	0.10 max	0.15 max
II	A	12 % Cr	2.0-3.3	2.0 max	1.5 max	2.5 max	11.0-14.0	3.0 max	1.2 max	0.10 max	0.06 max
II	B	15 % Cr-Mo	2.0-3.3	2.0 max	1.5 max	2.5 max	14.0-18.0	3.0 max	1.2 max	0.10 max	0.06 max
II	D	20 % Cr-Mo	2.0-3.3	2.0 max	1.0-2.2	2.5 max	18.0-23.0	3.0 max	1.2 max	0.10 max	0.06 max
III	A	25 % Cr	2.0-3.3	2.0 max	1.5 max	2.5 max	23.0-30.0	3.0 max	1.2 max	0.10 max	0.06 max

# C. Lampiran Gambar Desain

## 1. Gambar Desain Sambungan Pada Hammer















### E. Perhitungan Volume Pengausan

$$Volume\ Loss\ (mm^3) = \frac{mass\ loss\ (gr)}{density\ (\frac{gr}{cm^3})} \times 1000$$

Diketahui =

- Densitas besi cor =  $6800-7800\ kg/m^3 = 6.8-7.8\ gr/cm^3$
- Massa awal *hammer* =  $74.5\ kg = 74,500\ gr$
- Massa akhir =  $49.906\ kg = 49,906\ gr$

$$\begin{aligned} \text{Massa yang hilang} &= 74,500\ gr - 49,906\ gr \\ &= 24,594\ gr \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Volume\ Loss &= \frac{24,594}{6.8} \times 1000 \\ &= 3,616,764.71\ mm^3 \\ &= 3,616.765\ cm^3 \end{aligned}$$

## BIODATA PENULIS



Penulis bernama lengkap Novia Diajeng Arumsari. Lahir pada tanggal 11 November 1995, merupakan anak kedua dari 2 bersaudara. Penulis telah menjalankan pendidikan formal di TK Islam Putri Kembar Kota Bekasi, SDIT YPI “45” Kota Bekasi, SMP Negeri 2 Kota Bekasi dan SMA Negeri 1 Kota Bekasi. Setelah lulus dari SMA penulis melanjutkan studi melalui jalur SNMPTN di Jurusan Teknik Material dan Metalurgi, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Sepuluh Nopember pada tahun 2013, terdaftar dengan NRP 2713100012. Di Teknik Material dan Metalurgi penulis memilih bidang Korosi dan Analisa Kegagalan.

Selama menjalankan pendidikan di kampus ITS. Surabaya, penulis berpartisipasi aktif dalam organisasi mahasiswa Himpunan Mahasiswa Teknik Material dan Metalurgi (HMMT) FTI –ITS dan pernah menjabat sebagai staff divisi event Badan Semi Otonom (BSO) Minat dan Bakat pada tahun 2014-2015 dilanjutkan menjabat sebagai Bendahara Umum BSO Minat dan Bakat pada tahun 2015-2016.

Penulis memiliki pengalaman kerja praktek di PT. Pertamina (Persero) Refinery Unit VI di Balongan, Indramayu pada bulan Juli-Agustus 2016. Selama kerja praktek penulis mendalami topik terkait “Analisis Korosi Pada Pipa *Firewater* (API 5L-B) di PT. Pertamina (Persero) RU VI Balongan”

Tugas akhir yang diambil penulis dalam bidang Korosi dan Analisa Kegagalan berjudul “Analisis Kegagalan pada *Hammer Crusher* di *Clinker Cooler* Tuban 1, PT. Semen Indonesia”

*Email : [noviadiajenga@gmail.com](mailto:noviadiajenga@gmail.com)*

*(halaman ini sengaja dikosongkan)*