



ITS
Institut
Teknologi
Sepuluh Nopember

TUGAS AKHIR - 141584

**ANALISIS PENGARUH TEMPERATUR DAN MEDIA
PENDINGIN PADA PROSES *HARDENING* MATERIAL
AISI 8655 TERHADAP SIFAT MEKANIK
KEKERASAN DAN STRUKTUR MIKRO UNTUK
HAMMER CRUSHER PT. SEMEN INDONESIA**

REZA FAUZAN PERMADI
02511440000126

Dosen Pembimbing
Ir. Rochman Rochiem, M.Sc
Alvian Toto Wibisono, ST.,MT

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



TUGAS AKHIR - 141584

**ANALISIS PENGARUH TEMPERATUR DAN MEDIA
PENDINGIN PADA PROSES *HARDENING* MATERIAL
AISI 8655 TERHADAP SIFAT MEKANIK
KEKERASAN DAN STRUKTUR MIKRO UNTUK
HAMMER CRUSHER PT. SEMEN INDONESIA**

REZA FAUZAN PERMADI
02511440000126

Dosen Pembimbing
Ir. Rochman Rochiem, M.Sc
Alvian Toto Wibisono, ST., MT

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

(Halaman ini sengaja dikosongkan)



FINAL PROJECT - TL 141584

**ANALYSIS THE EFFECT OF TEMPERATURE
AND COOLING MEDIA IN HARDENING PROCESS
OF AISI 8655 ON HARDNESS PROPERTIES AND
MICRO STRUCTURE OF HAMMER CRUSHER PT.
SEMEN INDONESIA**

REZA FAUZAN PERMADI
02511440000126

Advisor
Ir. Rochman Rochiem, M.Sc
Alvian Toto Wibisono, ST., MT

MATERIALS ENGINEERING DEPARTMENT
Faculty of Industrial Technology
Sepuluh Nopember Institute of Technology
Surabaya 2018

(This page left intentionally blank)

**ANALISIS PENGARUH TEMPERATUR DAN MEDIA
PENDINGIN PADA PROSES *HARDENING* MATERIAL
AISI 8655 TERHADAP SIFAT MEKANIK KEKERASAN
DAN STRUKTUR MIKRO UNTUK *HAMMER CRUSHER*
PT. SEMEN INDONESIA**

TUGAS AKHIR

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

Oleh :

REZA FAUZAN PERMADI
02511440000126

Disetujui oleh Dosen Pembimbing Tugas Akhir :

1. Ir. Rochman Rochiem, M.Sc. (Pembimbing 1)
2. Alvian Toto Wibisono, S.T.M. (Pembimbing 2)



**ANALISIS PENGARUH TEMPERATUR DAN MEDIA
PENDINGIN PADA PROSES *HARDENING* MATERIAL
AISI 8655 TERHADAP SIFAT MEKANIK KEKERASAN
DAN STRUKTUR MIKRO UNTUK *HAMMER CRUSHER*
PT. SEMEN INDONESIA.**

Nama Mahasiswa : Reza Fauzan Permadi
NRP : 02511440000126
Jurusan : Material Engineering
Dosen Pembimbing : Ir. Rochman Roechim, M.Sc.
Alvian Toto Wibisono ST., MT.

Abstrak

Clinker cooler adalah alat yang digunakan setelah material keluar dari mesin *kiln* yang berfungsi sebagai pembentuk terak (*clinker*). *Clinker cooler* mentransportasikan terak ke *hammer crusher*. *Hammer crusher* merupakan salah satu bagian dari *clinker cooler* yang berfungsi untuk menghancurkan terak (*clinker*) yang dihasilkan oleh *kiln*. *Hammer crusher* bekerja bersamaan dengan *rotor* yang berputar dan menghantam terak (*clinker*) yang ada. *Hammer crusher* digunakan secara terus menerus dan terjadi keausan pada material *hammer crusher*. Hal ini menyebabkan umur *hammer crusher* menjadi berkurang. Dalam penelitian ini, dilakukan analisis kegagalan dari *hammer crusher* dan solusi dari kegagalan tersebut berupa *hardening*. Setelah dilakukan pengujian komposisi, material yang digunakan adalah AISI 8655 dan tidak sesuai dengan standar, yaitu ASTM A532. Solusi yang dilakukan menggunakan perlakuan panas pada material *hammer crusher* agar kekerasannya meningkat adalah dengan dipanaskan hingga temperatur 820°C dan 870°C dengan waktu tahan 2,5 jam, yang kemudian di *quench* dengan media pendingin oli, air, dan udara. Setelah itu spesimen *ditempering* di temperatur 213°C selama 1 jam. Kemudian dilakukan uji metalografi, uji kekerasan, uji impak dan uji abrasif. Setelah pengujian dilakukan, didapatkan hasil berupa kekerasan dan ketahanan aus maksimal pada temperatur 870°C dengan media pendingin *brine* dengan kekerasan 532 HV dan laju keausan sebesar 0.0933 gram. Kekerasan dan ketahanan

aus paling rendah didapatkan pada temperatur 820°C dengan media pendingin oli sebesar 461 HV dan 0.2067 gram.

Kata kunci : *Hammer Crusher, AISI 8655, Clinker Cooler, Kekerasan, Keausan.*

ANALYSIS EFFECT OF TEMPERATURE AND COOLING MEDIA IN HARDENING PROCESS AISI 8655 ON HARDNESS PROPERTIES AND MICRO STRUCTURE OF HAMMER CRUSHER PT. SEMEN INDONESIA

Name of Student : Reza Fauzan Permadi
NRP : 02511440000126
Major : Material Engineering
Advisor : Ir. Rochman Roechim, M.Sc.
Alvian Toto Wibisono ST., MT.

Abstract

Clinker cooler is a tool that use after material going out from klin machine which made clinker. Clinker cooler transport clinker to hammer crusher. Hammer crusher is a part of clinker cooler that use to make clinker smaller. Hammer crusher work together with rotating rotor and hit the clinker. Hammer crusher work continously and became wear. This thing made hammer crusher's life time reduced. In this study, performed a failure analysis of the hammer crusher and the solution of failure with hardening. After composition test, the failure is found because using material AISI 8655 which not as a standard, ASTM A532. The solution did with heat treatment of hammer crusher for increasing the hardness is with hardening until temperature 820°C and 870°C and holding time 2,5 hours then quench with cooling media oil, water, and brine. After that the specimen tempered in temperature 213°C for 1 hour. Then doing metallography test, hardness test, impact test, and wear test. After doing the test, the maximal hardness and wear rate is at 870°C with brine cooling media for 532 HV and 0.0933 gram. The minimum hardness and wear rate is at 820°C with oil cooling media for 461 HV and 0.2067 gram.

Keywords : Hammer Crusher, AISI 8655, Clinker Cooler, Hardness, Wear.

(This page left intentionally blank)

KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis ucapkan kehadiran Allah SWT yang telah memberikan rahmat dan karunia-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir serta menyusun laporan Tugas akhir dengan judul “**Analisis Pengaruh Variasi Temperatur dan Media Pendingin pada Proses *Hardening* Baja AISI 8655 terhadap Sifat Kekerasan dan Struktur Mikro untuk Aplikasi *Hammer Crusher***”. Laporan ini dibuat untuk melengkapi Mata Kuliah Tugas Akhir yang menjadi salah satu syarat kelulusan mahasiswa Departemen Teknik Material Fakultas Teknologi Industri Institut Teknologi Sepuluh Nopember.

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 pihak yang telah memberikan bimbingan, dukungan, dan kesempatan kepada penulis hingga laporan tugas akhir ini dapat diselesaikan, diantaranya:

1. Kedua orang tua dan keluarga yang telah mendoakan, memberi dukungan, semangat, materiil, dan motivasi.
2. Dr. Agung Purniawan S.T, M.Eng., selaku Ketua Departemen Teknik Material FTI-ITS.
3. Ir. Rochman Roechim, M.Sc selaku dosen pembimbing Tugas Akhir yang telah membimbing penulis dan memberi bekal yang sangat bermanfaat.
4. Alvian Toto Wibisono, S.T, M.T selaku dosen pembimbing Tugas Akhir yang telah memberikan banyak ilmu yang bermanfaat.
5. Dr. Eng. Hosta Ardhyanta S.T., M.Sc selaku Koordinator Tugas Akhir Departemen Teknik Material FTI-ITS.
6. Seluruh dosen dan karyawan Departemen Teknik Material FTI-ITS.
7. Teman-teman MT 16 yang selalu menemani dan memberikan banyak kenangan serta dukungan.

8. Dan seluruh pihak yang telah membantu penulis dalam penulisan Tugas Akhir ini.

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

Surabaya, 2018
Penulis,

Reza Fauzan Permadi
02511440000126

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
LEMBAR PENGESAHAN.....	v
ABSTRAK	vii
ABSTRACT	ix
KATA PENGANTAR.....	xi
DAFTAR ISI.....	xiii
DAFTAR GAMBAR.....	xvii
DAFTAR TABEL	xix
BAB I PENDAHULUAN	
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Batasan Masalah.....	2
1.4 Tujuan Penelitian.....	2
1.5 Manfaat Penelitian.....	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	
2.1 <i>Clinker Cooler</i>	5
2.2 <i>Hammer Crusher</i>	7
2.3 Material <i>Hammer Crusher</i> (ASTM A532).....	8
2.4 Material <i>Hammer Crusher</i> yang Mengalami Kegagalan.....	9
2.5 Diagram Fase	11
2.5.1 Diagram Fase Fe-Fe ₃ C	11
2.6 Baja	13
2.6.1 Baja Paduan	13
2.6.2 Baja Karbon Menengah	13
2.7 Keausan	14
2.8 <i>Heat Treatment</i>	16
2.8.1 <i>Hardening</i>	17
2.8.2 Austenisasi	17
2.8.3 Temperatur Austenisasi	19
2.8.4 <i>Holding Time Hardening</i>	20
2.8.5 <i>Quenching</i>	20
2.8.6 <i>Tempering</i>	24
2.9 Kekerasan <i>Jominy</i>	25

2.10 Pengujian Kekerasan	26
2.11 Pengujian Kekerasan <i>Vickers</i>	27
2.12 Pengujian Ketahanan Aus.....	27
2.13 Pengujian Impak	29
2.14 Penelitian Sebelumnya	30
2.14.1 Pengaruh Viskositas Media Celup Terhadap Kekerasan dan Struktur Mikro <i>Martensitic White Cast Iron ASTM A532</i>	31
.....	
2.14.2 Analisis Pengaruh Variasi Waktu Tahan dan Media Pendingin Proses <i>Hardening</i> pada Sifat Kekerasan Baja AISI 8655 Sebagai Solusi Kegagalan pada <i>Hammer Crusher</i>	30
2.14.3 Analisis Pengaruh Media Pendingin dan Temperatur Pada Proses Pengerasan Baja AISI 1035 Terhadap Sifat Kekerasan dan Struktur Mikro Untuk Aplikasi <i>Hammer Crusher</i>	33
BAB III METODE PENGUJIAN	
3.1 Diagram Alir	35
3.2 Metodologi Penelitian	37
3.3 Material yang digunakan	37
3.4 Peralatan	38
3.5 Tahapan Penelitian	42
3.5.1 Preparasi Spesimen.....	42
3.5.2 Uji Komposisi	42
3.5.3 Perlakuan Panas.....	43
3.5.4 Pengamatan Mikroskopik	43
3.5.5 Uji Kekerasan.....	43
3.5.6 Uji Impak	44
3.5.7 Uji Keausan.....	44
3.6 Rancangan Penelitian	44
BAB IV ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN	
4.1 Analisa Data	45
4.1.1 Perlakuan <i>Hardening</i> pada AISI 8655.....	45
4.1.2 Hasil Pengujian Struktur Mikro	46
4.1.3 Hasil Pengujian Kekerasan <i>Vickers</i>	50

4.1.4 Hasil Pengujian Impak.....	53
4.1.5 Hasil Pengujian Ketahanan Aus	55
4.2 Pembahasan	57
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	
5.1 Kesimpulan.....	61
5.2 Saran.....	61
DAFTAR PUSTAKA.....	xxi
LAMPIRAN.....	xxv
UCAPAN TERIMAKASIH.....	xxxiii
BIODATA PENULIS.....	xxxv

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 <i>Clinker Cooler</i>	6
Gambar 2.2 <i>Hammer Crusher</i>	7
Gambar 2.3 Gambar Teknik Material <i>Hammer Crusher</i> yang gagal.....	10
Gambar 2.4 Diagram Fasa Fe-Fe ₃ C.....	13
Gambar 2.5 Mekanisme <i>abrasive wear</i>	15
Gambar 2.6 Mekanisme <i>adhesive wear</i>	15
Gambar 2.7 <i>Flow wear</i>	15
Gambar 2.8 <i>Fatigue wear</i>	16
Gambar 2.9 <i>Hardening</i>	17
Gambar 2.10 Rentang Temperatur Austenisasi.....	18
Gambar 2.11 <i>Holding Time Hardening</i>	20
Gambar 2.12 Tiga Tahapan <i>Quenching</i>	22
Gambar 2.13 Mekanisme Terbentuknya Bainit	23
Gambar 2.14 Struktur Mikro Martensit 0,54-0,67 % C.....	24
Gambar 2.15 Kesetaraan suatu titik yang di quench	25
Gambar 2.16 Skema Uji Ketahanan Aus	28
Gambar 2.17 Pembebanan Metode <i>Charpy</i> dan <i>Izod</i>	30
Gambar 2.18 Perbandingan Nilai Kekerasan	33
Gambar 2.19 Perbandingan Nilai Kekerasan.....	34
Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian.....	36
Gambar 3.2 Komponen <i>Hammer Crusher</i>	37
Gambar 3.3 Mesin <i>Wire Cut</i>	38
Gambar 3.4 Mesin OES.....	39
Gambar 3.5 <i>Universal Hardness Tester HBRV 187.5 A</i>	39
Gambar 3.6 Alat Uji Ketahanan Aus.....	40
Gambar 3.7 Alat Uji Impak	40
Gambar 3.8 <i>Dielectric Furnace</i>	41
Gambar 3.9 Mesin Polish	41
Gambar 3.10 Mikroskop Optik	42
Gambar 3.11 Proses Perlakuan Panas.....	43

Gambar 4.1 Struktur Mikro Baja AISI 8655 Tanpa Perlakuan.....	46
Gambar 4.2 Struktur Mikro (a) AISI 8655 820°C – OQ. (b) AISI 8655 820°C – WQ, (c) AISI 8655 820°C – BQ.....	48
Gambar 4.3 Struktur Mikro (a) AISI 8655 870°C – OQ. (b) AISI 8655 870°C – WQ. (c) AISI 8655 870°C – BQ.....	50
Gambar 4.4 Titik Indentasi Pengujian Kekerasan.....	51
Gambar 4.5 Grafik Hasil Pengujian Kekerasan AISI 8655	52
Gambar 4.6 Grafik Hasil Pengujian Impak AISI 8655.....	54
Gambar 4.7 Grafik Hasil Pengujian Ketahanan Aus AISI 8655	56

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Komposisi kimia material pada ASTM A532	8
Tabel 2.2 Sifat kekerasan material pada ASTM A532	9
Tabel 2.3 Komposisi kimia baja AISI 8655	10
Tabel 2.4 Data Operasional <i>Hammer Crusher</i>	11
Tabel 2.5 Koefesien kekuatan pendinginan H dari beberapa media pendingin.....	26
Tabel 3.1 Komposisi kimia <i>hammer crusher</i>	38
Tabel 3.2 Rancangan penelitian	44
Tabel 4.1 Kode spesimen dan jenis <i>hardening</i> AISI 8655	45
Tabel 4.2 Hasil pengujian kekerasan spesimen	51
Tabel 4.3 Hasil pengujian impak spesimen	53
Tabel 4.4 Hasil pengujian ketahanan aus spesimen	55

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Proses pembuatan semen secara garis besar melalui lima proses, yaitu proses pengambilan bahan baku, proses pembuatan terak (*clinker*), proses penggilingan semen (*milling*), penyimpanan dalam *silo*, dan pengemasan semen atau biasa disebut *packaging*. Proses pengambilan bahan baku meliputi penambangan awal dan pengiriman dengan menggunakan *belt conveyor*. Proses pembuatan terak (*clinker*) meliputi pemanasan awal, pengeringan dalam *rotary kiln*, dan pendinginan (*cooling*). Proses penggilingan meliputi pencampuran bahan baku dengan aditif, penggerusan, dan pembentukan *powder*. Proses *packaging* adalah memasukan semen ke dalam kemasan dan menyimpan ke dalam gudang. (Ibrahim, 2004)

Clinker cooler adalah alat yang digunakan setelah material keluar dari mesin *kiln* yang berfungsi sebagai pembentuk terak (*clinker*). Prinsip kerja *clinker cooler* adalah dengan menghembuskan udara dari *cooling fan*. *Clinker* meninggalkan mesin *kiln* di temperatur 1200°C, dimana terak (*clinker*) harus didinginkan dengan *clinker cooler* agar dapat membentuk terak yang baik dan dapat di lakukan penggilingan dengan *hammer crusher*.

Pada bulan Juli 2016, *hammer crusher* di PT Semen Indonesia mengalami keausan yang tidak wajar. *Hammer crusher* ini bertahan hanya delapan bulan dimana seharusnya dapat bertahan selama dua tahun. Dari sini dilakukan analisis kegagalan dengan dilakukan uji komposisi. Setelah dilakukan pengujian didapatkan komposisi yang tidak sesuai dengan standar *hammer crusher*. Selain uji komposisi, uji kekerasan juga dilakukan dan didapatkan kekerasannya masih dibawah standar ada yang ada. Oleh karena itu dibutuhkan penelitian ini agar *hammer crusher* tersebut bisa sesuai standar dan dapat bertahan sesuai dengan umurnya dengan memberikan perlakuan panas. Perlakuan panas yang akan



diberikan pada pengujian kali ini adalah *hardening* di temperatur 820°C dan 870°C lalu material di *holding* selama 2,5 jam. Setelah di *hardening*, material akan di *quench* di media oli, air, dan udara. Material selanjutnya di *tempering* di temperatur 213°C selama 1 jam.

1.2 Rumusan Masalah

Rumusan masalah dalam penelitian ini adalah :

1. Bagaimana pengaruh variasi temperatur pada proses *hardening* terhadap sifat kekerasan dan struktur mikro pada baja AISI 8655?
2. Bagaimana pengaruh variasi media pendingin pada proses *hardening* terhadap sifat kekerasan dan struktur mikro pada baja AISI 8655?

1.3 Batasan Masalah

Agar penelitian ini menjadi terarah, tidak keluar dari pembahasan, dan memberikan kejelasan analisis permasalahan, maka dilakukan pembatasan masalah sebagai berikut :

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

1.4 Tujuan Penelitian

Tujuan penelitian ini adalah :

1. Menganalisis pengaruh variasi temperatur pada proses *hardening* terhadap sifat kekerasan dan struktur mikro pada baja AISI 8655.
2. Menganalisis pengaruh variasi media pendingin pada proses *hardening* terhadap sifat kekerasan dan struktur mikro pada baja AISI 8655.



1.5 Manfaat Penelitian

Manfaat penelitian ini adalah untuk lebih memahami fungsi dari perlakuan panas sebagai solusi dari kegagalan material.



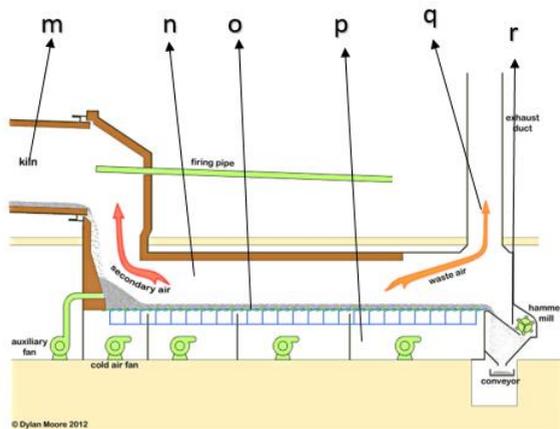
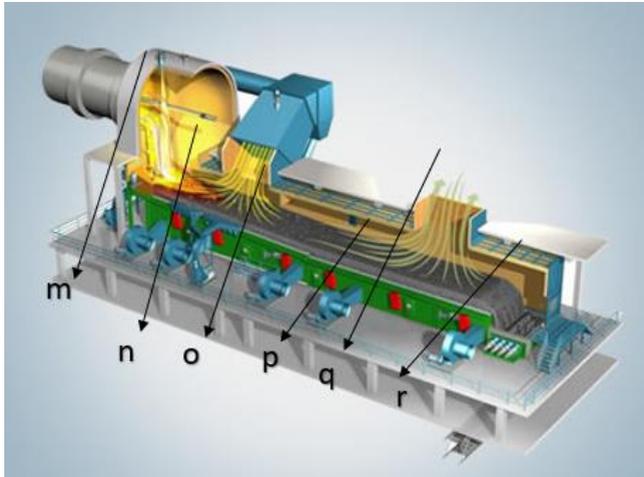
(This page left intentionally blank)

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 *Clinker Cooler*

Pada proses pembuatan semen bagian pembakaran di *rotary kiln*, material dipanaskan hingga 1800°C. Setelah itu material keluar dari *rotary kiln* dan dilakukan proses selanjutnya yaitu proses pendinginan di *clinker cooler*. Material di turunkan temperaturnya hingga menjadi $\pm 100^\circ\text{C}$. Komponen utama *clinker cooler* ditunjukkan oleh Gambar 2.1. Proses pendinginan dimulai ketika (n) terak (*clinker*) yang keluar dari (m) *rotary kiln* kemudian dibawa oleh (o) *crossbar* menuju (r) *hammer crusher*. Di dalam *chamber*, terdapat (p) *fan* yang berada di bawah *crossbar* untuk mendinginkan *clinker* dengan cara meniupkan angin. Disamping itu, udara panas di dalam *clinker cooler* keluar melalui (q) *exhaust duct*, lalu terak (*clinker*) dihancurkan oleh *hammer crusher* menjadi ukuran yang lebih kecil.

Pada *clinker cooler*, *clinker* diantarkan menuju *hammer* oleh angin yang berasal dari *fan* dihembuskan melalui celah-celah landasan (*crossbar*). Untuk mendinginkan *clinker*, digunakan alat bernama *grate cooler*. Pada *grate cooler* proses pendinginan terak (*clinker*) dilakukan dengan mengalirkan udara dari sejumlah *fan*, yang selanjutnya dihembuskan melalui celah landasan (*grate*) yang bergerak mengantarkan terak (*clinker*) menuju ke *crusher* untuk proses selanjutnya. (Anwar, 2011). Luas permukaan efektif dari *clinker cooler* adalah 160.6 m² dan berkapasitas 7800 ton / hari. Pada *clinker cooler* terdapat 3 bagian yaitu *inlet*, *existing*, dan *extended*. (Firdaus, 2007). Proses pendinginan terak (*clinker*) di dalam *clinker cooler* merupakan salah satu proses yang penting pada pembuatan semen, hal ini dikarenakan proses *cooling* merupakan salah satu faktor untuk menghasilkan *clinker* yang berkualitas dan sesuai dengan yang diinginkan. (Anwar, 2011).



Gambar 2.1 *Clinker Cooler*

Keterangan:

- | | |
|------------------------|-----------------------|
| 1. m = rotary kiln | 4. p = fan |
| 2. n = terak (clinker) | 5. q = exhaust duct |
| 3. o = crossbar | 6. r = hammer crusher |

BAB II TINJAUAN PUSTAKA



2.2 Hammer Crusher

Hammer crusher adalah sebuah alat yang digunakan untuk memecah *clinker* yang berasal dari *rotary kiln*. *Hammer crusher* berbentuk seperti penggiling yang mempunyai rotor yang berputar dan mempunyai alat pemecah yang berbentuk palu. Gambar 2.2 menunjukan komponen *hammer crusher*, (a) rotor yang berfungsi menggerakkan (b) *hammer crusher* dan (c) *hammer die*. Cara kerja dari *hammer crusher* adalah *hammer crusher* bergerak pada kecepatan tertentu kemudian menghancurkan *clinker* yang dibawa dari *rotary kiln*. Kontak antara *hammer crusher* dan *clinker* terjadi pada ujung *hammer crusher*. Kontak ini terjadi terus menerus dan dapat menyebabkan material *hammer crusher* mengalami keausan. Pemeriksaan dan perawatan *hammer*/palu sangat penting, karena berhubungan dengan mengubah palu yang mempercepat tingkat putaran dan bergantung pada keras lunaknya obyek yang akan digiling. (Edahwati, 2009)



Gambar 2.2 *Hammer Crusher* (FLSimdth, 2016)

Keterangan:

1. a = rotor
2. b = *hammer crusher*
3. c = *hammer die*



2.3 Material *Hammer Crusher* (ASTM A532)

Standar yang digunakan untuk pemakaian material *hammer crusher* adalah ASTM A532. Material yang terdapat pada ASTM A532 ini adalah besi tuang putih (*white cast iron*). Pada aplikasinya di ASTM A532, material *white cast iron* ini untuk *grinding, milling, manufacturing industries, dan earth handling*. Spesifikasi struktur mikro yang terbentuk pada *white cast iron* antara lain perlit, ledeburit, dan sementit. Tabel 2.1 menunjukkan komposisi kimia *white cast iron* pada ASTM A532 antara lain sebagai berikut.

Tabel 2.1 Komposisi kimia material pada STM A532 (ASTM, 1999)

Class	Type	Designation	C	Mn	Si	Ni	Cr	Mo	Cu	P	S
I	A	Ni-Cr-HiC	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-LoC	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 ma x	1.5 ma x	2.5 ma x	23. 0- 30. 0	3.0 ma x	1.2 ma x	0.1 0 ma x	0.0 6 ma x
-----	---	--------	-----------------	----------------	----------------	----------------	-----------------------	----------------	----------------	---------------------	---------------------

Pada ASTM A532 terdapat juga beberapa sifat mekanik yang berbeda dari komposisi material yang berbeda. Salah satu sifat mekanik yang dapat dilihat di ASTM A532 adalah sifat kekerasan. Tabel 2.2 menunjukan macam-macam nilai kekerasan pada ASTM A532. (ASTM A532, 1999).

Tabel 2.2 Sifat kekerasan material pada ASTM A532 (ASTM A532, 1999)

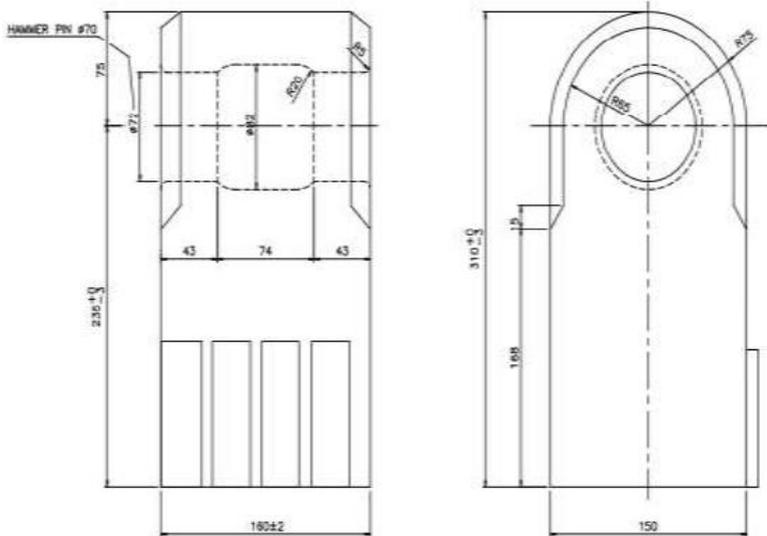
Class	Type	Designation	As-cast or as cast and Stress Relieved		
			HB	HR C	HV
I	A	Ni-Cr-HiC	550	53	600
I	B	Ni-Cr-LoC	550	53	600
I	C	Ni-Cr-GB	550	53	600
I	D	Ni-HiCr	500	50	540
II	A	12% Cr	550	53	600
II	B	15% Cr-Mo	450	46	485
II	D	20% Cr-Mo	450	46	485
III	A	25% Cr	450	46	485

2.4 Material *Hammer Crusher* yang Mengalami Kegagalan (AISI 8655)

Dari uji komposisi kimia terhadap material yang digunakan pada *hammer crusher*, ditemukan bahwa materialnya adalah AISI 8655 yang merupakan baja paduan dengan kandungan karbon menengah dan tidak sesuai dengan standar *hammer crusher* ASTM A532. AISI 8655 memiliki paduan *chromium*, *nickel*, dan



molybdenum. Pada Gambar 2.3 diberikan gambar teknik dari material *hammer crusher* yang mengalami kegagalan.



Gambar 2.3 Gambar Teknik Material *Hammer Crusher* yang Gagal.

Tabel 2.3 dibawah ini menunjukkan komposisi kimia pada baja AISI 8655 antara lain sebagai berikut:

Tabel 2.3 Komposisi Kimia Baja AISI 8655 (Chandler, 1995)

Unsur	%
C	0.51-0.59
Si	0.15-0.35
Mn	0.75-1.00
P	0.035max
S	0.040max
Cr	0.40-0.60
Ni	0.40-0.70
Mo	0.15-0.25



Baja AISI 8655 juga memiliki sifat mekanik dan sifat fisik seperti baja-baja yang lainnya, pada Tabel 2.4 menunjukkan data operasional pada *hammer crusher* yang digunakan.

Tabel 2.4 Data Operasional *Hammer Crusher* AISI 8655

Kecepatan Rotasi	370 RPM
Waktu Pemakaian	24 jam/hari
<i>Linear Speed</i>	19.36 m/s
Usia Rancangan	24 bulan
Usia Aktual	8 bulan
Temperatur Kerja	100-250°C
Kekerasan	254 HV

Aplikasi untuk baja AISI 8655 biasanya digunakan pada kapal, mesin, pesawat terbang, misil, senjata, rel kereta api, jembatan, bejana tekanan, *machine tools*, *gear*, *gear shaft*, *valve rods*, *bolts*, *nuts*, dan part-part lainnya dalam mesin. (Chandler, 1995)

2.5 Diagram Fase

2.5.1 Diagram Fase Fe-Fe₃C

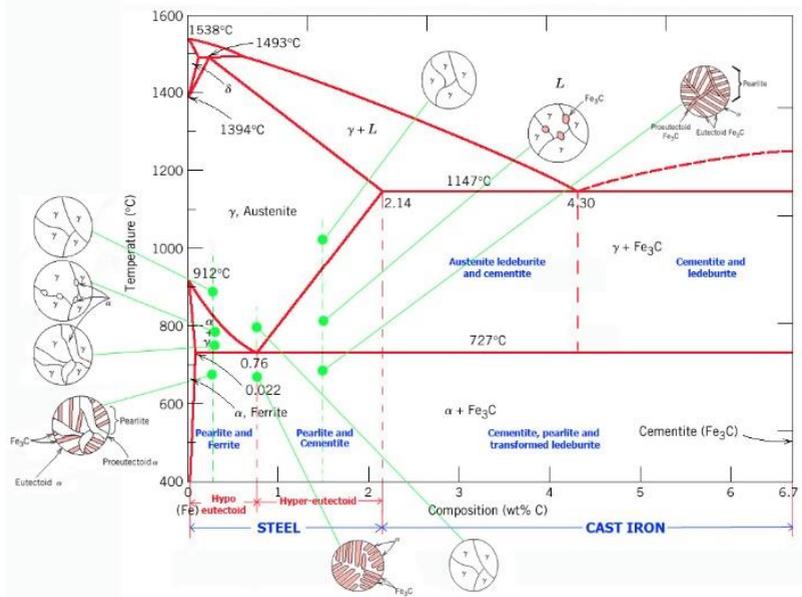
Dalam besi cair karbon dapat larut, tetapi dalam keadaan padat kelarutan karbon dalam besi akan terbatas. Selain sebagai larutan padat, besi dan karbon juga dapat membentuk senyawa *interstitial* (*interstitial compound*), eutektik dan juga eutektoid, atau mungkin juga karbon akan terpisah sebagai grafit. Karena itu diagram fasa besi-karbon ada 2 macam, diagram fasa besi-besi karbida dan diagram fasa besi-grafit. Diagram keseimbangan besi-karbon cukup kompleks, tetapi hanya sebagian saja yang penting bagi dunia teknik, yaitu bagian antara besi murni sampai senyawa *interstitialnya*, karbida besi Fe₃C, yang mengandung 6,67% C dan diagram fasa yang banyak digunakan adalah diagram fasa besi-karbida besi, diagram Fe-Fe₃C. Pada keadaan yang benar-benar ekuilibrium karbon berupa bebas (grafit), sehingga akan diperoleh kesetimbangan besi-grafit. Perubahan-perubahan dalam keadaan



ekuilibrum berlangsung terlalu lama. Seharusnya karbida besi akan terjadi pada temperatur kamar (pada temperatur sekitar 700°C pun perubahan ini akan makan waktu bertahun-tahun). Dalam hal ini karbida besi dikatakan sebagai suatu struktur yang metastabil. Diagram fasa Fe-Fe₃C 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°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°C , kadar karbon antara 2,0 – 6,67 %, berlangsung reaksi eutektik. Liquid berubah menjadi austenit dan sementit.
- Pada 723°C , kadar karbon antara 0.025 – 6.67 %, berlangsung reaksi *eutectoid*. Austenit berubah menjadi α ferrit dan sementit.



Gambar 2.4 Diagram Fasa Fe-Fe₃C (Callister,1997)

2.6 Baja

2.6.1 Baja Paduan

Baja adalah logam paduan dengan besi sebagai unsur dasar dan karbon sebagai unsur paduan utamanya. Pengaruh utama dari kandungan karbon dalam baja adalah pada kekuatan, kekerasan, dan sifat mudah dibentuk. Unsur paduan yang biasa ditambahkan selain karbon adalah mangan (*manganese*), krom (*chromium*), vanadium, dan nikel. (Davis, 1982).

Selain itu baja juga dapat dikelompokkan berdasarkan kandungan unsur paduannya. Unsur paduan ditambahkan untuk tujuan tertentu dengan konsentrasi tertentu. (Callister, 2007)

2.6.2 Baja Karbon Menengah

Baja karbon menengah memiliki kadar karbon antara 0,25 sampai 0,55 wt%. Biasanya baja karbon menengah digunakan di kondisi *hardened* dan *tempered*. Material ini dapat membentuk



sifat mekanik yang diinginkan dengan menggunakan media pendingin dan temperatur saat pemanasan maupun pemanasan kembali. Baja karbon menengah juga biasanya di *normalized* atau *annealed* sebelum di *hardening* untuk mendapatkan sifat yang paling baik setelah di *hardening* dan *tempering*. Biasanya material ini digunakan sebagai *crankshaft*, *couplings*, *tie rods*, dan *machinery parts* lainnya. (Avner, 1974)

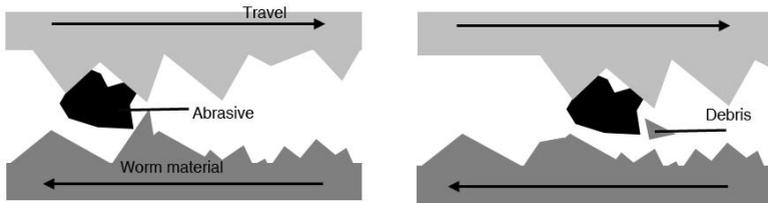
2.7 Keausan

Definisi keausan adalah 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 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 dari material itu sendiri.

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 atas 3 macam, yaitu *mechanical*, *chemical*, dan *thermal wear* (Hokkirigawa and Kato K, 1989)

1. Keausan Karena Perilaku Mekanis (*Mechanical*)
Digolongkan menjadi *abrasive*, *adhesive*, *flow*, dan *fatigue wear*.
 - a. *Abrasive wear*.

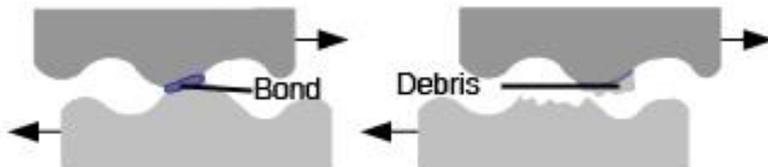
Keausan ini terjadi jika partikel keras atau permukaan keras yang kasar menggerus dan memotong permukaan sehingga mengakibatkan hilangnya material yang ada dipermukaan tersebut. Contoh : proses permesinan seperti *cutting*.



Gambar 2.5 Mekanisme *abrasive wear*

b. *Adhesive wear*.

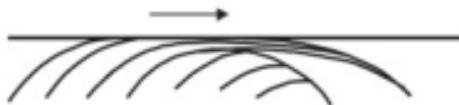
Keausan ini terjadi jika partikel permukaan yang lebih lunak menempel atau melekat pada lawan kontak yang lebih keras.



Gambar 2.6 Proses Perpindahan Logam karena *Adhesive Wear*

c. *Flow wear*

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

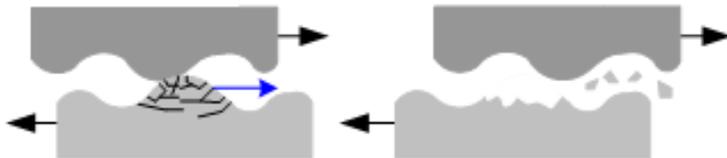


Gambar 2.7 *Flow Wear* oleh Penumpukan Aliran Geseran Plastis (Stachowiak,2000)



d. *Fatigue wear*

Fenomena keausan ini didominasi akibat kondisi beban yang berulang. Ciri cirinya perambatan retak lelah biasanya tegak lurus pada permukaan tanpa deformasi plastis yang besar.



Gambar 2.8 *Fatigue Wear* karena retak di bagian dalam dan merambat

2.8 *Heat Treatment*

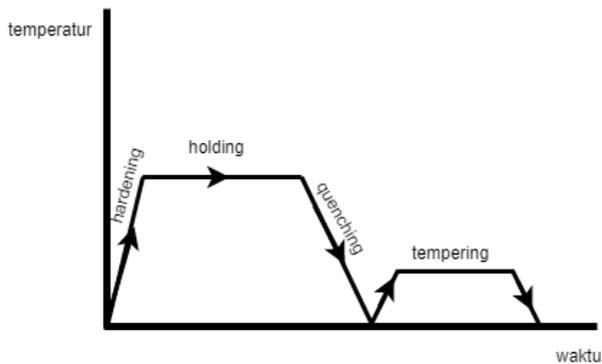
Sifat mekanik tidak hanya tergantung pada komposisi kimia suatu paduan, tetapi juga tergantung pada struktur mikronya. Suatu paduan dengan komposisi kimia yang sama dapat memiliki struktur mikro yang berbeda sehingga sifat mekaniknya juga akan berbeda. Struktur mikro tergantung pada proses pengerjaan yang dialami material. Proses perlakuan panas (*heat treatment*) adalah kombinasi dari operasi pemanasan dan pendinginan dengan kecepatan tertentu yang dilakukan terhadap logam atau paduan dalam keadaan padat, untuk memperoleh sifat-sifat yang diinginkan (ASM Metals Handbook, 1998). Secara umum *heat treatment* dibagi dalam di tahap, yaitu:

1. Pemanasan sampai suhu tertentu sesuai dengan proses *heat treatment* dan dengan kecepatan tertentu dari dimensi dan konduktifitas perpindahan panas benda kerja.
2. Mempertahankan suhu untuk waktu tertentu, sehingga temperaturnya merata pada seluruh bagian benda kerja.
3. Pendinginan dengan media pendingin yang bergantung pada proses *heat treatment* dan benda kerja. Pada baja karbon rendah dan sedang biasanya digunakan air sebagai media pendingin, karena laju pendinginannya cukup cepat sehingga terbentuk martensit. Sedangkan pada baja karbon

tinggi dan baja paduan digunakan minyak sebagai media pendingin dengan laju pendinginan yang lebih lambat (Rina Dwi Yani, 2008).

2.8.1 Hardening

Baja dipanaskan sampai temperatur austenit, ditahan sampai waktu tertentu, kemudian dilakukan pendinginan cepat (*quenching*) pada media pendingin tertentu. Baja memiliki komposisi yang berbeda-beda maka dari itu penting untuk memahami ketebalan maksimum yang dapat dikeraskan pada suatu media pendingin oli atau air, dan memperkirakan variasi kekerasan akhir dan keuletan yang diperoleh pada temperatur *tempering* yang berbeda-beda.



Gambar 2.9 Diagram Hardening dan Tempering

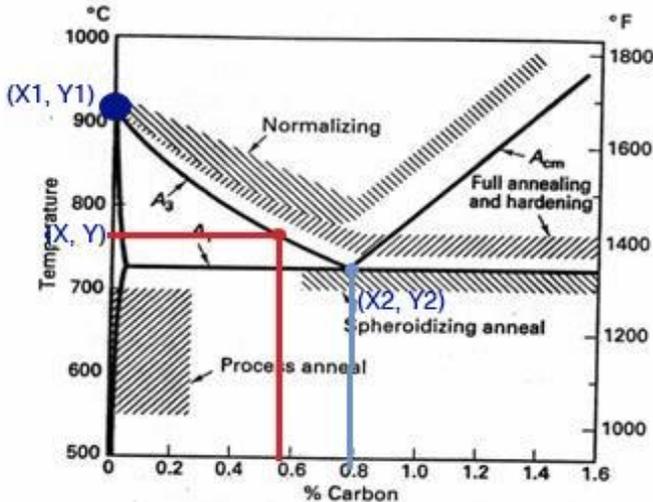
Tujuan proses *hardening* adalah untuk mendapatkan struktur mikro martensit. Martensit adalah struktur mikro yang harus dimiliki baja agar memperoleh kenaikan kekerasan yang besar.

2.8.2 Austenisasi

Pada austenisasi, baja dipanaskan sampai daerah austenit (γ) dan ditahan selama beberapa waktu tertentu untuk melarutkan karbida sampai menjadi larutan padat. Temperatur yang



dibutuhkan untuk melakukan austenisasi pada kadar karbon tertentu seperti pada Gambar 2.10



Gambar 2.10 Rentang Temperatur Austenisasi (Campbell, 2008)

Peningkatan kadar karbon, temperatur austenisasi berkurang sepanjang garis A_3 sampai mencapai minimum pada A_1 , komposisi eutektoid (0,8%), dan kemudian meningkat sepanjang garis A_{cm} . Tahap pertama pada pembentukan austenit adalah nukleasi dan pertumbuhan austenit dari perlit (ferit + Fe_3C). Pembentukan austenit yang homogen dapat dipercepat dengan meningkatkan temperatur dan meningkatkan kehalusan partikel karbida mula-mula. Meskipun begitu, temperatur austenisasi perlu dijaga serendah mungkin untuk mengurangi retak, mengurangi oksidasi, dan mengurangi pertumbuhan butir.

Temperatur yang dibutuhkan untuk mencapai 100% austenit pada baja hipereutektoid cukup tinggi, meskipun begitu austenit untuk pengerasan pada baja dapat diperoleh pada temperatur sekitar 770°C. Karbida yang tidak terlarut dalam jumlah kecil memiliki pengaruh yang kecil pada sifat mekanik akhir baja (Campbell, 2008).



2.8.3 Temperatur Austenisasi

Untuk mencari temperatur austenisasi dapat dihitung sesuai dengan kadar karbon material yang akan diberi perlakuan panas. Tujuannya adalah untuk menjadi acuan saat ingin melakukan proses austenisasi. Lebih baik saat proses austenisasi juga ditambahkan temperaturnya berkisar 30-50°C. Berikut adalah rumus interpolasi untuk mencari temperatur austenisasi :

$$\frac{Y-Y_1}{Y_2-Y_1} = \frac{X-X_1}{X_2-X_1} \quad \dots(2.1)$$

Keterangan:

1. Y = Temperatur austenisasi yang dicari
2. Y1 = Temperatur austenisasi di kadar karbon 0 %
3. Y2 = Temperatur austenisasi di kadar karbon 0,8 %
4. X = Kadar karbon material
5. X1 = Kadar karbon 0 %
6. X2 = Kadar karbon 0,8 %

Perhitungan untung baja AISI 8655 dengan kadar karbon 0,59% berdasarkan rumus yang ada dan sudah diberi keterangan pada Gambar 2.10, maka :

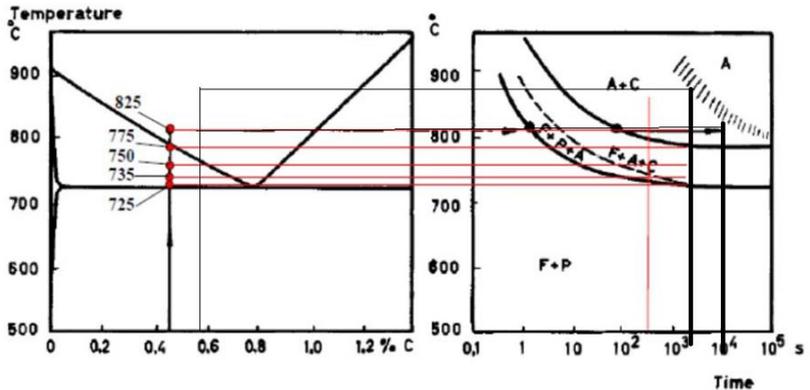
- a. $(Y - 910) (0,8 - 0) = (0,59 - 0) (723 - 910)$
- b. $(Y - 910) (0,8) = (0,59) (-187)$
- c. $(Y - 910) (0,8) = (-110,33)$
- d. $Y - 910 = (-137,9)$
- e. $Y = 772 \text{ } ^\circ\text{C}$

Jadi, untuk temperatur austenisasi untuk baja AISI 8655 adalah 770°C (dibulatkan) + 50°C menjadi 820°C. Temperatur *hardening* ini juga divariasikan dengan 870°C.



2.8.4 Holding Time

Agar proses austenisasi dapat sempurna, maka dilakukan *holding* pada saat pemanasan. Untuk mencari waktu *holding* adalah dengan melihat Gambar 2.11 di bawah ini



Gambar 2.11 *Holding Time Hardening*

Berdasarkan diagram diatas, dapat diketahui untuk *hardening* di 820°C, *holding time hardening* yang dibutuhkan untuk mencapai keadaan 100% austenit adalah 10000 detik atau sekitar 2,7 jam. Sementara itu untuk *hardening* di 870°C, waktu *holding hardening* yang dibutuhkan untuk mencapai keadaan 100% austenit adalah sekitar 5000 detik yang setara dengan 1,3 jam.

2.8.5 Quenching

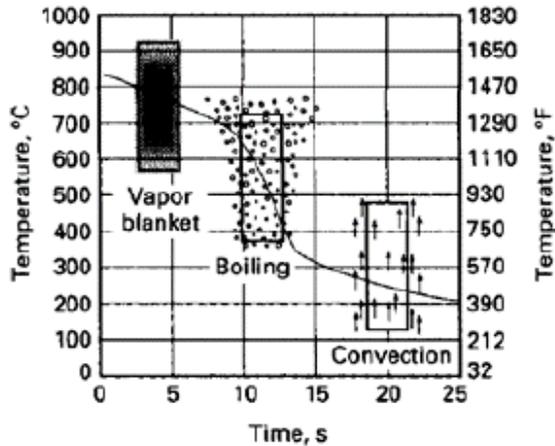
Proses perlakuan panas *hardening* dilakukan dengan memanaskan baja hingga mencapai temperatur austenisasi, ditahan beberapa waktu tertentu pada temperatur tersebut, lalu didinginkan dengan cepat (*quenching*), sehingga diperoleh martensit. Pada baja yang dikeraskan maka kekerasan yang terjadi tergantung pada seberapa banyak martensi yang terbentuk dan kekerasan martensit itu sendiri. Banyaknya martensit yang akan terjadi tergantung pada seberapa banyak austenit yang terbentuk pada saat pemanasan dan



seberapa cepat pendinginannya sedangkan kekerasan martensit tergantung pada kadar karbon dalam baja yang terlarut dalam austenit.

Pada saat baja didinginkan secara cepat dari temperatur austenisasi (*quench*), karbon tidak memiliki waktu untuk berdifusi dari struktur mikro austenit ketika struktur ini bertransformasi menjadi BCT (*Body Centered Tetragonal*), struktur ini disebut martensit. Proses *quenching* merupakan proses mendinginkan pada laju pendinginan tertentu untuk membentuk martensit. Distorsi struktur BCT menghasilkan kekuatan dan kekerasan yang tinggi pada baja yang di *quench*. Beberapa baja di *quench* dengan air atau oli untuk menghasilkan laju pendinginan yang cepat. Pendinginan dengan air menghasilkan laju pendinginan tercepat juga menghasilkan tegangan sisa yang paling tinggi sehingga dapat menghasilkan distorsi atau retak.

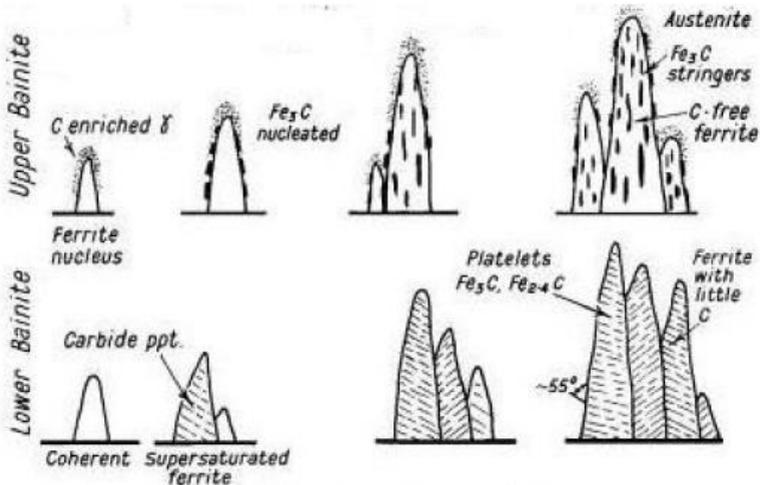
Terdapat tiga tahapan hilangnya panas selama *quenching* pada media *liquid*, seperti pada Gambar 2.12, yaitu *vapor blanket*, *nucleate boiling*, dan *liquid cooling*. Tahap *vapor blanket* memiliki karakteristik dengan uap air menyelimuti benda kerja. Hal ini terjadi karena suplai panas dari bagian dalam benda kerja yang menuju permukaan melebihi jumlah panas yang dibutuhkan untuk menguapkan *quenchant* dan menghasilkan fasa uap air. Laju pendinginan tertinggi terjadi pada tahap *nucleate boiling*. Selama periode ini uap air terlepas dan laju ekstraksi panas yang dihasilkan berhubungan dengan pendidihan ini (*nucleate boiling*) dari *quenchant* pada logam. Panas secara cepat dilepas dari permukaan akibat kontak cairan pendinginan pada logam dan kemudian menguap. Tahap *liquid cooling* dimulai ketika temperatur permukaan logam berkurang sampai dibawah titik didih cairan *quenching*. Dibawah temperatur ini, pendinginan terjadi dengan mekanisme konduksi dan konveksi pada *quenchant*.



Gambar 2.12 Tiga Tahapan Quenching (ASM Handbook, Vol 04, Heat Treatment, 1998)

A. Mekanisme Terbentuknya Bainit

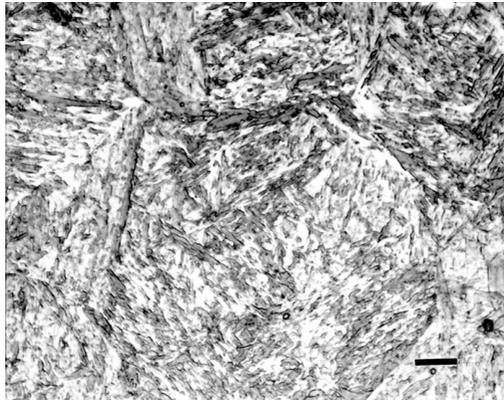
Pada temperatur dibawah hidung, suatu konstituen lain mulai terjadi yaitu bainit. Pada temperatur yang rendah ini austenit sudah berada jauh di bawah temperatur stabilnya, ia akan mengalami driving force yang besar untuk berubah dari FCC menjadi BCC. Karena driving force itu atom-atomnya akan tergeser menjadi BCC, terbentuk ferit. Karena sebelumnya terdapat banyak karbon sedangkan ferit tidak mampu melarutkan karbon maka karbon akan berdifusi keluar dari ferit sebagai karbida. Sementara itu austenit di sekitar ferit juga menjadi ferit, lalu karbon berdifusi keluar sehingga akhirnya akan diperoleh suatu struktur berupa bilah-bilah ferit yang di dalamnya terdapat platelet sementit dengan arah hampir sejajar dengan sumbu pertumbuhannya yang dinamakan bainit atas. Bainit bawah mempunyai ciri-ciri halus, berbentuk jarum-jarum, dan platelet sementitnya tidak mempunyai arah yang sejajar dengan sumbu tetapi membentuk sudut 55°. Gambar 2.13 menunjukkan mekanisme terbentuknya bainit.



Gambar 2.13 Mekanisme Terbentuknya Bainit

B. Mekanisme Terbentuknya Martensit

Bila austenit didinginkan dengan cepat dan dapat mencapai temperatur M_s sebelum menjadi struktur lain maka pada saat itu mulai terbentuk martensit. Pada temperatur yang sangat rendah ini austenit mengalami *driving force* yang sangat besar untuk berubah dari FCC menjadi BCC, yang menimbulkan *shear force* terhadap atom-atom. Ini menyebabkan atom-atomnya sedikit tergeser untuk menuju bentuk BCC, tetapi karena masih terdapat banyak karbon yang belum sempat keluar, karbon tidak dapat berdifusi keluar karena temperatur sudah terlalu rendah. Maka hal ini yang menyebabkan struktur BCC tidak tercapai. Salah satu rusuk sel satuannya lebih panjang daripada yang lain dan menjadi BCT (Body Centered Tetragonal), martensit. Martensit digambarkan seperti jarum-jarum.



Gambar 2.14 Struktur mikro martensit baja 0,54 – 0,67 % C.

2.8.6 Tempering

Tempering didefinisikan sebagai proses pemanasan logam setelah dikeraskan pada temperatur *hardening*, yang dilanjutkan dengan proses pendinginan. Baja yang dikeraskan akan melunak bila dipanaskan kembali (*tempering*). Semakin tinggi temperatur *tempering* maka akan semakin banyak penurunan kekerasan yang terjadi. Adanya unsur paduan akan menghambat laju penurunan kekerasan karena *tempering*, karenanya baja paduan akan membutuhkan temperatur *tempering* yang lebih tinggi. *Tempering* merupakan perlakuan untuk menghilangkan tegangan dalam dan menguatkan baja dari kerapuhan. Untuk mencari temperatur *tempering*, dapat dilakukan dengan rumus sebagai berikut :

$$T_c = 16,67 (H_c - H_a) - 17,8 \quad \dots(2.2)$$

Dimana:

T_c = Temperatur *tempering*

H_c = Kekerasan maksimal

H_a = Kekerasan yang diinginkan

Rumus ini berlaku untuk waktu *temper* 4 jam.



Jika ingin menggunakan waktu *temper* selain 4 jam, maka rumus yang digunakan adalah :

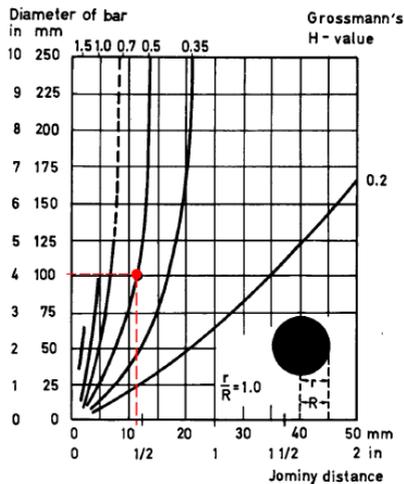
$$P = T (k + \log t) \quad \dots\dots(2.3)$$

Dimana:

- P = Parameter *temper*
- T = Temperatur *temper*
- K = Konstanta (20)
- t = waktu *temper* (jam)

2.9 Kekerasan *Jominy*

Untuk mengetahui kekerasan suatu material dapat dilakukan perhitungan dengan metode *jominy*.



Gambar 2.15 Kesetaraan suatu titik di permukaan yang di *quench*

Sumbu X adalah jarak titik jominy sedangkan sumbu Y adalah diameter dari spesimen. H menunjukkan nilai koefisien dari tiap media pendingin (Avner, 1974). Metode *jominy* juga dapat



menghitung kekerasan yang ada, berikut persamaan kekerasan jika jarak jominy diantara 0-6 mm :

$$J_o = 60 \times (\sqrt{C}) + 20 \text{ HRC} \quad \dots\dots(2.4)$$

Koefisien H pada kurva jominy didapat dari Grossman's H dapat dilihat pada Tabel 2.5 dibawah ini.

Tabel 2.5 Koefisien kekuatan pendinginan H dari beberapa media pendingin

Agitasi	Media	Oil	Water	Brine
	None	0.25 – 0.30	0.9 – 1.0	2.0
	Mild	0.30 – 0.35	1.0 – 1.1	2.0 – 2.2
	Moderate	0.35 – 0.40	1.2 – 1.3	
	Good	0.40 – 0.50	1.4 – 1.5	
	Strong	0.50 – 0.80	1.6 – 2.0	
	Violent	0.80 – 1.10	4.0	5.0

2.10 Pengujian Kekerasan

Pada umumnya, kekerasan menyatakan ketahanan terhadap indentasi dan merupakan ukuran ketahanan logam deformasi plastik atau deformasi permanen (Dieter, 1987). Hal ini sering diartikan sebagai ukuran kekerasan suatu material.

Pada pengujian kekerasan terdapat tiga metode uji kekerasan, hal ini tergantung pada cara melakukan pengujian, yaitu :

- a. Kekerasan goresan (*scratch hardness*)
- b. Kekerasan lekukan (*indentation hardness*)
- c. Kekerasan pantulan (*rebound*)

Pengujian yang sering dilakukan pada logam adalah dengan metode indentasi. Pada model ini kekerasan suatu material diukur terhadap tahanan plastis dari permukaan suatu material komponen konstruksi mesin dengan spesimen standar terhadap



indentor. Terdapat berbagai macam uji kekerasan indentasi yaitu, *Brinell*, *Vickers*, *Rockwell*, dan *Knopp*.

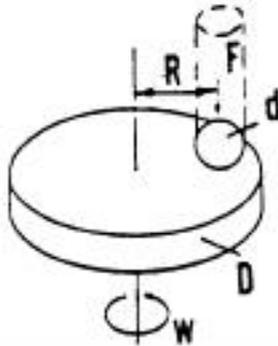
2.11 Pengujian Kekerasan Vickers

Uji kekerasan *Vickers* menggunakan indentor piramida intan yang dasarnya berbentuk bujur sangkar. Besar sudut antara permukaan piramida saling berhadapan adalah 136° . 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, atau kekerasan *Vickers* (*VHN* atau *VPH*), didefinisikan sebagai beban dibagi luas permukaan lekukan (Dieter, 1987). Pada praktek luas ini dihitung dari pengukuran mikroskopik panjang diagonal jejak. *VHN* dapat ditentukan dari persamaan berikut :

$$VHN = \frac{2P \sin\left(\frac{\theta}{2}\right)}{L^2} = \frac{1,845P}{L^2} \quad \dots(2.5)$$

2.12 Pengujian Ketahanan Aus

Pengujian ini mengacu pada ASTM G99 mengenai metode pengujian standar untuk keausan dengan peralatan metode *pin on disc*. Pengujian ini mencakup prosedur laboratorium untuk menentukan dan memprediksi keausan suatu material akibat gesekan. Skema pengujian dapat lebih jelas dilihat pada Gambar 2.16 berikut.



Gambar 2.16 Skema Uji Ketahanan Aus (ASTM G99, 2003)

Gambar 2.16 menunjukkan gambar skema pengujian dari ketahanan aus menggunakan metode *pin on disc*. Ada beberapa ketentuan yang biasa digunakan pada sistem *pin on disc*, antara lain terdiri dari poros yang bergerak dan menjepit untuk menahan *disc* yang berputar, tuas untuk menahan *pin* dan alat tambahan untuk menempatkan beban yang diberikan pada *pin*.

Pengujian ini dapat diaplikasikan pada beberapa jenis material, salah satu ketentuannya yaitu dimensi material tertentu dan dapat menahan tekanan yang diberikan selama pengujian tanpa mengalami kegagalan. Bentuk *pin* secara khusus berbentuk silinder atau bola, dengan diameter antara 2-10 mm dan ukuran *disc* antara 30-100 mm, serta memiliki ketebalan 2-10 mm.

Ada beberapa parameter dalam pengujian ini. Yang pertama adalah *load* atau nilai dari gaya yang diberikan pada *pin* terhadap *disc* dalam satuan newton. *Speed*, yaitu kecepatan pergeseran dari permukaan dari *pin* dan *disc* yang bersentuhan dalam meter per detik. *Distance*, merupakan jarak yang ditempuh selama pengujian berlangsung dalam meter. Temperatur, yang spesifik pada lokasi dekat persentuhan antara *pin* dengan *disc*. Dan lingkungan yang dapat mempengaruhi pengujian ini.

Dalam melakukan pengujian, ada beberapa prosedur yang harus dilakukan. Pertama, membersihkan spesimen dari pengotor yang terdapat pada permukaan. Setelah itu melakukan pengukuran

BAB II TINJAUAN PUSTAKA



dimensi material yang akan diuji dan menimbang berat material tersebut. Selanjutnya memasukkan *disc* ke *holding device* dan *pin* ke *holder*. Lalu memberikan beban yang sesuai dan menetapkan rpm yang dibutuhkan untuk pengujian. Setelah itu pengujian ketahanan aus dapat dilakukan.

Setelah melakukan pengujian, dilakukan perhitungan untuk menetapkan *volume loss* dalam mm^3 ataupun reduksi ketebalan material uji tersebut. Persamaan untuk melakukan perhitungan dapat dilihat dibawah ini :

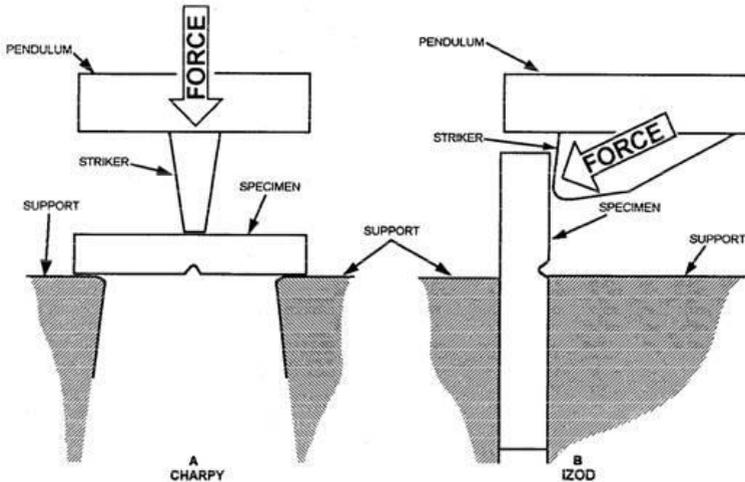
$$\text{Berat keausan} = \text{berat awal} - \text{berat akhir} \quad \dots(2.6)$$

$$\text{Vol. Keausan} = \frac{\text{Berat keausan (gram)}}{\text{Berat jenis } \left(\frac{\text{gram}}{\text{mm}^3}\right)} \quad \dots(2.7)$$

(ASTM G99, 2003)

2.13 Pengujian Impak

Pengujian impak digunakan untuk menentukan ketangguhan suatu material (Dieter, 1998). Ada 2 metode dalam pengujian impak, yaitu metode *charpy* dan *izod*. Metode *charpy* banyak digunakan di Amerika Serikat, sementara itu *izod* banyak digunakan di Eropa. Batang uji metode *charpy* memiliki spesifikasi luas penampang 10 mm x 10mm, takik berbentuk V dengan sudut 45° dengan kedalaman takik 2mm.



Gambar 2.17 Pembebanan Metode *Charpy* dan *Izod*

Pengujian impak dilakukan dengan cara pembebanan secara tiba-tiba pada spesimen uji, dimana pada benda uji dibuat terlebih dahulu sesuai dengan ukuran standar ASTM E23.

2.14 Penelitian Sebelumnya

2.14.1 Pengaruh Viskositas Media Celup Terhadap Kekerasan dan Struktur Mikro *Martensitic White Cast Iron ASTM A532*

Penelitian ini dilakukan oleh Subardi pada tahun 2011 yang bertujuan untuk mengetahui pengaruh viskositas pada media celup terhadap kekerasan dan struktur mikro besi tuang putih martensitik A532. Spesimen besi tuang putih martensitik ASTM A532 merk Cr 12, Cr 17, Cr 21 dengan ukuran 15 mm x 10 mm x 10 mm, selanjutnya dilakukan proses uji komposisi, *heat treatment* dengan suhu 900°C ditahan 30 menit, lalu dicelupkan media oli dengan viskositas SAE 10, SAE 30, SAE 50. Pengujian meliputi uji kekerasan *vickers* dan pengamatan struktur mikro. Hasil pengujian struktur mikro menunjukkan bahwa struktur ASTM A532 Cr 12, Cr 17, dan Cr 21 terdiri dari martensit, perlit, dan karbida Cr. Struktur martensit pada besi tuang putih Cr 12 tanpa



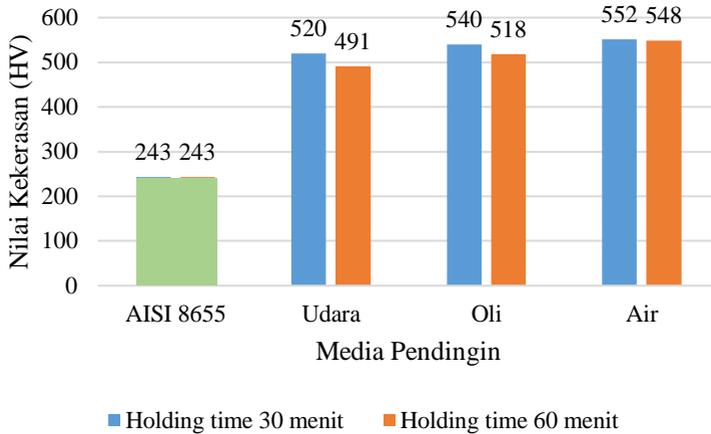
proses *heat treatment* didapatkan paling sedikit martensit, struktur perlit dan karbida Cr lebih banyak merata. Struktur mikro besi tuang putih Cr 17 tanpa proses *heat treatment* paling sedikit martensit dan struktur perlit dan karbida Cr lebih banyak dan merata. Struktur mikro pada besi tuang putih Cr 21 tanpa proses *heat treatment* tersebut terlihat lebih sedikit struktur martensit, perlit sebaliknya karbida Cr lebih banyak dan merata. Hasil uji kekerasan didapatkan ASTM A532 dengan kode Cr 12 adalah spesimen yang mempunyai nilai kekerasan paling tinggi dibandingkan dengan jenis Cr 17 dan Cr 21, yaitu senilai 1017.5 Kg/mm², kekerasan tersebut didapat pada saat spesimen diquench dengan media oli viskositas SAE 10, kemudian setelah dicelupkan oli SAE 50 kekerasan menurun sampai dengan 946.1 Kg/mm².

2.14.2 Analisis Pengaruh Variasi Waktu Tahan dan Media Pendingin Proses *Hardening* pada Sifat Kekerasan Baja AISI 8655 Sebagai Solusi Kegagalan pada *Hammer Crusher*

Penelitian ini dilakukan oleh Yudha Prakarsa Ramadhan pada tahun 2017 yang bertujuan untuk menganalisis faktor penyebab terjadinya kegagalan pada komponen *hammer crusher* dan menganalisis proses *hardening* dengan variasi waktu tahan dan media pendingin sebagai solusi kegagalan. Material *hammer crusher* yang digunakan mengalami keausan yang tidak wajar, padahal umur pakainya selama 2 tahun namun hanya mampu bertahan selama 8 bulan. Uji komposisi dengan OES menunjukkan bahwa material *hammer crusher* yang digunakan merupakan baja AISI 8655. Berdasarkan pengujian kekerasan *Brinell*, didapati bahwa pada daerah yang jauh dari gigi diperoleh nilai sebesar 243 BHN, didapatkan energi *impact* sebesar 2,6 joule. Selanjutnya dilakukan pengujian struktur mikro pada material *hammer crusher* sebelum dilakukan perlakuan panas dan struktur awal dimana material mengalami keausan. Pengamatan struktur mikro menunjukkan fasa perlit dan ferit. Hasil analisis kegagalan menunjukkan bahwa spesifikasi material pada komponen *hammer crusher* tidak sesuai dengan standar ASTM A532. Pada penilitan



ini dilakukan upaya *hardening* untuk memperbaiki sifat kekerasan. *Hardening* dilakukan pada temperatur 850°C dengan waktu tahan 30 dan 60 menit menggunakan media pendingin udara, oli, dan air. Setelah dikeraskan, fasa yang terdapat pada material *hammer crusher* adalah *acicular bainite* (bainit bilah) yang lebih banyak dari *lath martensite*. Struktur mikro yang terbentuk pada perlakuan *holding time* selama 30 menit dengan pendinginan udara adalah *lath martensit* bentuk jarum yang pendek-pendek, dengan nilai kekerasan sebesar 520 BHN dan energi *impact* sebesar 2,5 joule. Sedangkan pada spesimen dengan *holding time* 30 menit dan pendinginan oli, fasa yang terbentuk yaitu *acicular bainite* yang lebih sedikit, dan *lath martensite* yang bentuknya lebih panjang dan *continous*, dan nilai kekerasan sebesar 540 BHN dan energi *impact* sebesar 2,1 joule. Pada spesimen dengan perlakuan *holding time* 30 menit dan pendinginan air, struktur mikronya menunjukkan *acicular bainite* dan *lath martensite* ditunjukkan dengan warna hitam yang berbentuk seperti bilah, dan nilai kekerasan sebesar 552 BHN dan energi *impact* sebesar 2 joule. Pada material dengan perlakuan *holding time* 60 menit dan pendinginan udara, fasa yang didapat adalah *acicular bainite* dan *lath martensite* dengan nilai kekerasan 491 BHN dan energi *impact* sebesar 7,5 joule. Pada spesimen dengan perlakuan *holding time* 60 menit dan pendinginan oli, fasa yang didapat adalah *acicular bainite* yang lebih sedikit dan *lath martensite* yang lebih panjang dan terlihat *continius*, dengan nilai kekerasan 518 BHN dan energi *impact* sebesar 3,8 joule. Pada spesimen dengan perlakuan *holding time* 60 menit dan pendinginan air fasa yang terbentuk adalah *acicular bainite* yang sangat sedikit, serta *lath martensite* yang lebih tegang dan *continius*, dan nilai kekerasan sebesar 548 BHN dan energi *impact* sebesar 2,8 joule. Hasil nilai uji kekerasan pada pengujian ini dapat dilihat pada Gambar 2.18.



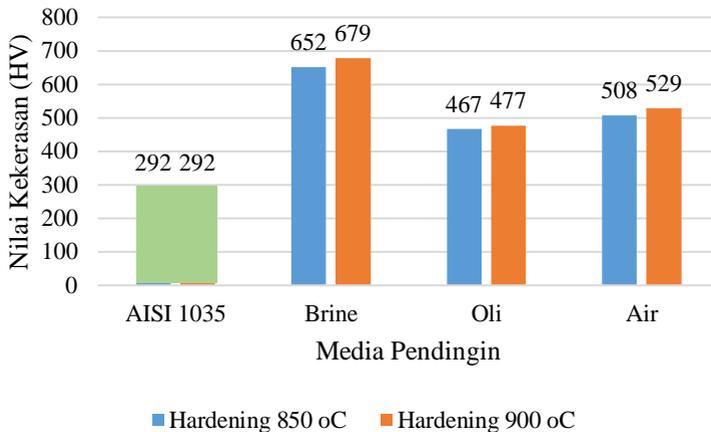
Gambar 2.18 Perbandingan Nilai Kekerasan

2.14.3 Analisis Pengaruh Media Pendingin dan Temperatur Pada Proses Pengerasan Baja AISI 1035 Terhadap Sifat Kekerasan dan Struktur Mikro Untuk Aplikasi *Hammer Crusher*

Pengujian ini dilakukan oleh Muhammad Rifki Lufthansa pada tahun 2017 yang bertujuan untuk menganalisis pengaruh temperatur dan media pendingin pada proses pengerasan baja AISI 1035 terhadap sifat kekerasan dari material. Material yang digunakan adalah material dari *hammer crusher* yang tidak sesuai dengan standar *hammer crusher*, dimana standarnya adalah ASTM A532. Kekerasan sebelum pengujian pada material yang gagal adalah 292 HV. Sementara itu pada standar ASTM A532 kekerasan minimal adalah 485 HV. Pada material yang gagal, diberikan perlakuan berupa *hardening*. *Hardening* yang diberikan pada material yang gagal adalah dengan memanaskannya pada beberapa temperatur, yaitu 850°C dan 900°C yang di *holding* selama 30 menit lalu didinginkan dengan media oli, air, dan *brine*. Hasil yang didapatkan adalah nilai kekerasan meningkat seiring dengan tingginya temperatur pemanasan. Media pendingin juga



berpengaruh terhadap nilai kekerasan, semakin besar nilai H (*severity of quench*) maka kekerasan akan semakin besar. Pada material dengan pemanasan 850°C dan media pendingin *brine*, kekerasan yang didapat adalah 652,8 HV. Pada temperatur 900°C dan media pendingin *brine* didapatkan kekerasan sebesar 679,4 HV. Pada material dengan pemanasan 850°C dan media pendingin oli kekerasan yang didapat adalah 467 HV. Pada temperatur 900°C dan media pendingin oli kekerasan yang didapatkan adalah 477,6 HV. Untuk material dengan pemanasan 850°C dan media pendingin air kekerasan yang didapat adalah 508 HV. Pada temperatur 900°C dan media pendingin air kekerasan yang didapatkan adalah 529,4 HV. Struktur mikro berubah dari ferit dan perlit sebelum perlakuan dan yang terbentuk setelah *hardening* adalah *lath* martensit dan bainit. Perbandingan nilai kekerasan pada penelitian ini dapat dilihat pada Gambar 2.19

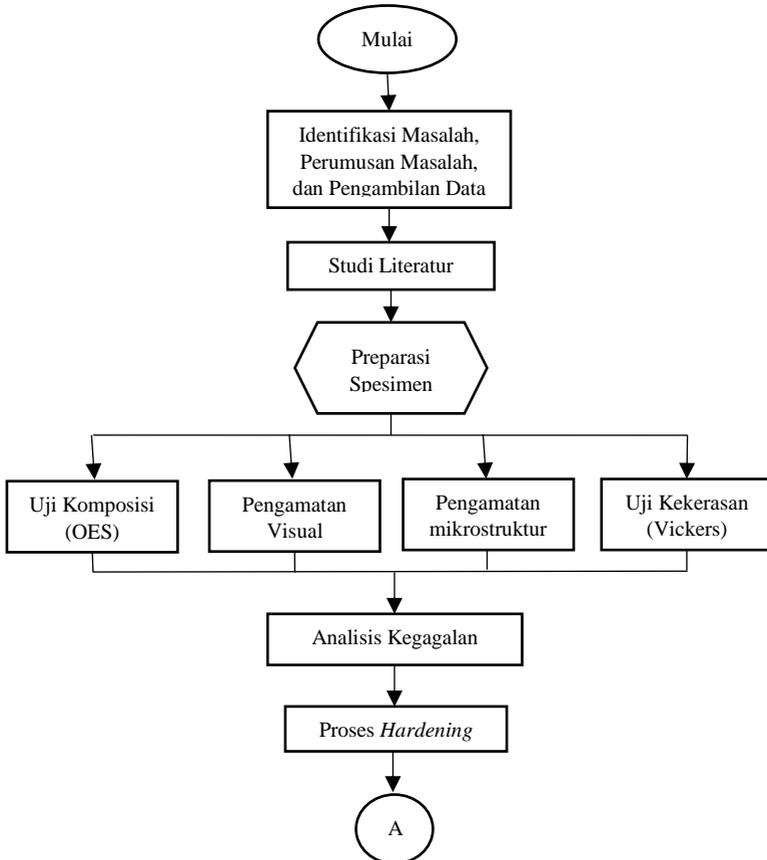


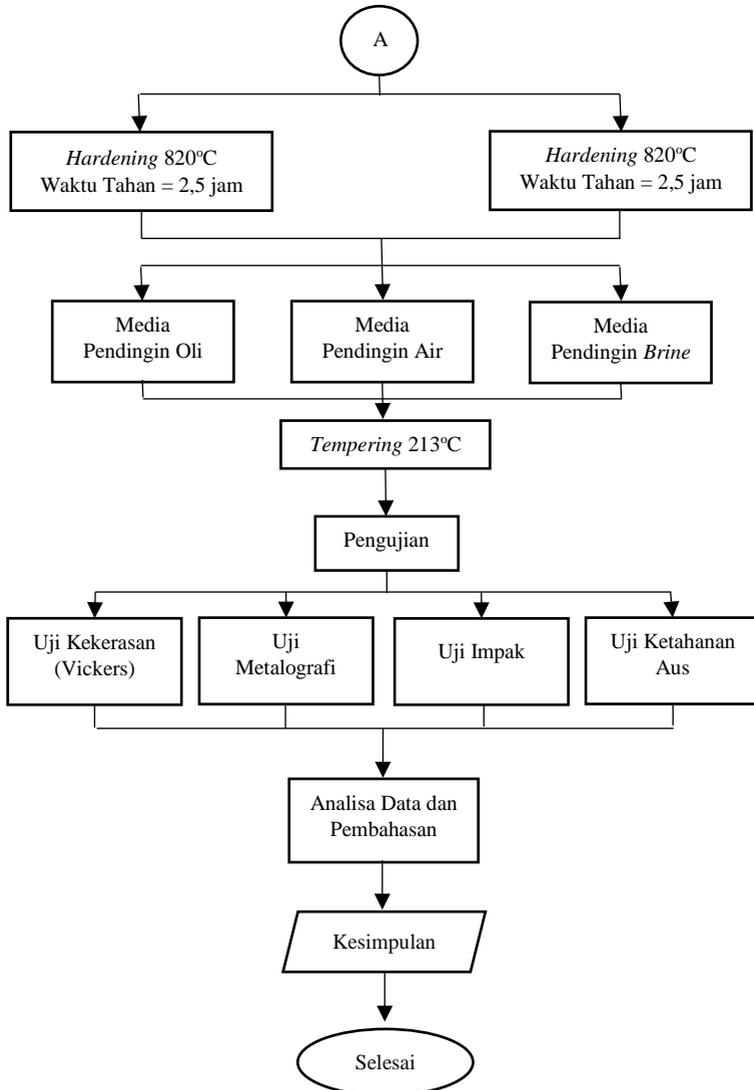
Gambar 2.19 Perbandingan Nilai Kekerasan

BAB III METODE PENGUJIAN

3.1 Diagram Alir

Pelaksanaan penelitian dilakukan beberapa pengujian seperti ditunjukkan dalam Gambar 3.1 di bawah ini



**Gambar 3.1** Diagram Alir Penelitian



3.2 Metodologi Penelitian

Metode Penelitian yang digunakan dalam penelitian kali ini antara lain adalah :

1. 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*.

2. Pengujian

Metode ini dilakukan dengan pengujian langsung sesuai dengan prosedur dan metode yang ada. Adapun pengujian yang diperlukan dalam eksperimen ini yaitu *record* dari *hammer crusher* yang digunakan, pengamatan makro dengan menggunakan kamera, uji komposisi dengan menggunakan spektrometer, uji kekerasan dan uji kekerasan pada material *hammer crusher*.

3.3 Material yang digunakan

Material yang digunakan pada penelitian ini adalah :

1. Material

Pada tanggal 21 Juli 2016 ditemukan *hammer crusher* pada *clinker cooler* PT Semen Indonesia Pabrik Tuban 3 mengalami keausan yang diperlihatkan pada Gambar 3.2



Gambar 3.2 Komponen *Hammer Crusher* yang aus



Material yang digunakan oleh PT. Semen Indonesia Tbk merupakan material *hammer crusher* yang memiliki komposisi kimia seperti yang ditunjukkan oleh Tabel 3.1

Tabel 3.1 Komposisi Kimia *Hammer Crusher*

Unsur	C	Si	Mn	P	S	Cu	Ni	Cr	Mo	Al
%	0.5 96	0.3 73	0.7 75	0.0 19	0.0 06	0.0 37	0.3 99	1.9 14	0.2 29	0.0 55

3.4 Peralatan

Peralatan yang digunakan dalam penelitian ini antara lain :

1. Penggaris
Digunakan untuk mengukur dimensi spesimen.
2. Mesin *wire cut*
Digunakan untuk memotong spesimen.



Gambar 3.3 Mesin *Wire Cut*

3. Kamera Digital
Digunakan untuk mendapatkan informasi kegagalan secara makro.
4. Mesin OES (*Optical Emission Spectroscopy*)
Digunakan untuk mengetahui komposisi material uji.



Gambar 3.4 Mesin OES

5. Alat Uji Kekerasan
Digunakan untuk mengetahui nilai kekerasan dari material uji.



Gambar 3.5 Universal Hardness Tester HBRV 187.5 A



6. Alat Uji Ketahanan Aus
Digunakan untuk mengukur laju keausan dari spesimen uji.



Gambar 3.6 Alat Uji Ketahanan Aus

7. Alat Uji Impak
Digunakan untuk menguji ketangguhan material.



Gambar 3.7 Alat Uji Impak.



8. *Furnace*
Digunakan untuk melakukan perlakuan panas.
Menggunakan *dielectric heating furnace*.



Gambar 3.8 *Dielectric Furnace*

9. Amplas grade 80 hingga 2000
Digunakan untuk preparasi pengujian mikroskop optik.
10. Mesin Polish
Digunakan untuk preparasi pengujian mikroskop optik.

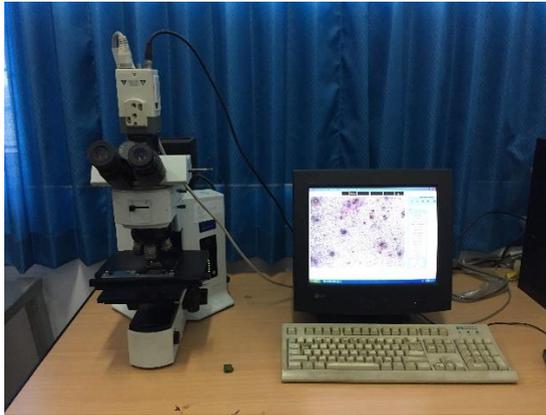


Gambar 3.9 Mesin Polish



11. Mikroskop Optik

Digunakan untuk mendapatkan informasi struktur mikro/fasa yang terdapat pada material uji.



Gambar 3.10 Mikroskop Optik

12. Larutan Etsa 74a

Digunakan untuk preparasi pengujian metalografi. Larutan etsa 74a terdiri dari 1-5 mL HNO_3 + 100 ml *ethanol* (95%) atau *methanol* (95%).

3.5 Tahapan Penelitian

3.5.1 Preparasi Spesimen

Tahap preparasi ini diperlukan sebelum melakukan pengujian untuk menentukan penyebab keausan *hammer crusher*. Persiapan ini berupa proses *cutting*, identifikasi komposisi material dan uji kekerasan. Proses pemotongan dilakukan pada bagian ujung *hammer crusher* yang terindikasi adanya beban berulang/kejut yang menyebabkan material tersebut menjadi aus.

3.5.2 Uji Komposisi

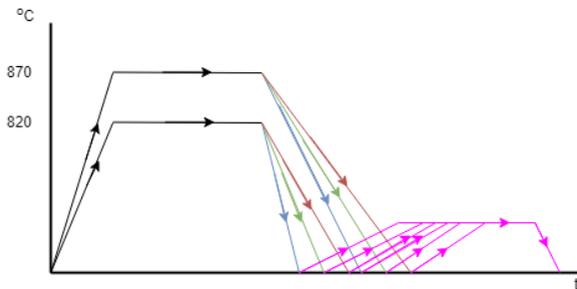
Pengujian komposisi kimia adalah untuk mengetahui komposisi kimia yang terdapat pada komponen yang mengalami kegagalan. Pada identifikasi komposisi kimia menggunakan alat



Optical Emission Spectroscopy (OES) di Labotarium Balai Riset Standarisasi Surabaya (Baristan) untuk mengetahui komposisi yang ada pada *hammer crusher*.

3.5.3 Perlakuan Panas

Perlakuan panas yang dilakukan adalah dengan proses *hardening*, material dipanaskan di dua temperatur yang berbeda yaitu 820°C dan 870°C. Sampel ditahan selama 60 menit di dalam furnace dengan temperatur yang konstan. Setelah itu didinginkan dengan media pendingin yang berbeda yaitu oli, udara, dan air.



Gambar 3.11 Proses Perlakuan Panas

3.5.4 Pengamatan Mikroskopik

Pengamatan mikro dilakukan untuk mengetahui struktur mikro yang terbentuk setelah diberikan perlakuan panas. Pengamatan mikro menggunakan mikroskop optik.

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 intan, pembebanan sebesar 100 kgf dan waktu indentasi selama 10 detik. Pengujian ini menggunakan *Universal Hardness Tester HBRV 187.5 A* di Laboratorium Metalurgi, Departemen Teknik Material.



3.5.6 Uji Impak

Uji impak dilakukan untuk mengetahui nilai ketangguhan dari material. Jenis pengujian impak yang digunakan adalah *charpy V-notch*. Pengujian ini dilakukan di Laboratorium Kekuatan Teknik Perkapalan ITS.

3.5.7 Uji Keausan

Uji keausan dilakukan untuk mengetahui tingkat ketahanan aus dari spesimen uji. Pengujian ini dilakukan dengan metode *pin on disc*, dimana dalam pengujiannya spesimen uji yang diberi beban seberat 1kg diletakkan pada piringan *disc* yang berputar. Pengujian ini mengacu pada ASTM G99 dengan metode *pin on disc*.

3.6 Rancangan Penelitian

Tabel 3.2 berikut adalah rancangan penelitian kali ini

Tabel 3.2 Rancangan Penelitian

Material	Temperatur (°C)	Media PENDINGIN	Pengujian komposisi	Pengujian kekerasan	Pengujian Impak	Pengujian abrasif	Pengujian metalografi
A	-	-	✓	✓	✓	✓	✓
B	820	Air	✓	✓	✓	✓	✓
C	820	Oli	✓	✓	✓	✓	✓
D	820	Udara	✓	✓	✓	✓	✓
E	870	Air	✓	✓	✓	✓	✓
F	870	Oli	✓	✓	✓	✓	✓
G	870	Udara	✓	✓	✓	✓	✓

BAB IV ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN

4.1 Analisa Data

4.1.1 Perlakuan *Hardening* pada AISI 8655

Untuk mencapai spesifikasi *hammer crusher* yang sesuai dengan standar, maka material diberi perlakuan panas. Jenis perlakuan yang diterapkan pada material *hammer crusher* pada penelitian kali ini dapat dilihat pada Tabel 4.1

Tabel 4.1 Kode Spesimen dan Jenis Perlakuan pada AISI 8655

Kode Spesimen	Jenis Perlakuan
AISI 8655	Tanpa perlakuan
AISI 8655 820°C - OQ	AISI 8655 dengan pemanasan temperatur 820°C + <i>oil quench</i> + <i>tempering</i> 213°C
AISI 8655 820°C - WQ	AISI 8655 dengan pemanasan temperatur 820°C + <i>water quench</i> + <i>tempering</i> 213°C
AISI 8655 820°C - BQ	AISI 8655 dengan pemanasan temperatur 820°C + <i>brine quench</i> + <i>tempering</i> 213°C
AISI 8655 870°C - OQ	AISI 8655 dengan pemanasan temperatur 870°C + <i>oil quench</i> + <i>tempering</i> 213°C
AISI 8655 870°C - WQ	AISI 8655 dengan pemanasan temperatur 870°C + <i>water quench</i> + <i>tempering</i> 213°C
AISI 8655 870°C - BQ	AISI 8655 dengan pemanasan temperatur 870°C + <i>brine quench</i> + <i>tempering</i> 213°C

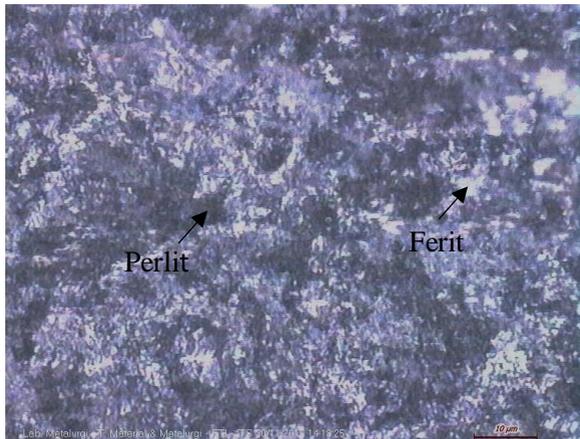
Perlakuan yang diberikan adalah pemanasan dengan temperatur 820°C dan 870°C selama 2,5 jam dengan media



pendingin oli, air dan *brine*. Lalu material *ditempering* pada temperatur 213°C selama 1 jam.

4.1.2 Hasil Pengujian Struktur Mikro pada Material *Hammer Crusher*

Pengujian struktur mikro dilakukan bertujuan untuk mengetahui struktur mikro awal pada material *hammer crusher* sebelum dilakukan *hardening* pada material. Pengamatan yang dilakukan menggunakan mikroskop optik dengan perbesaran 1000x. Struktur mikro pada baja AISI 8655 yang terlihat pada Gambar 4.1 merupakan struktur awal dari material *hammer crusher* yang digunakan oleh PT. Semen Indonesia



Gambar 4.1 Struktur Mikro Baja AISI 8655 Tanpa Perlakuan dengan perbesaran 1000x

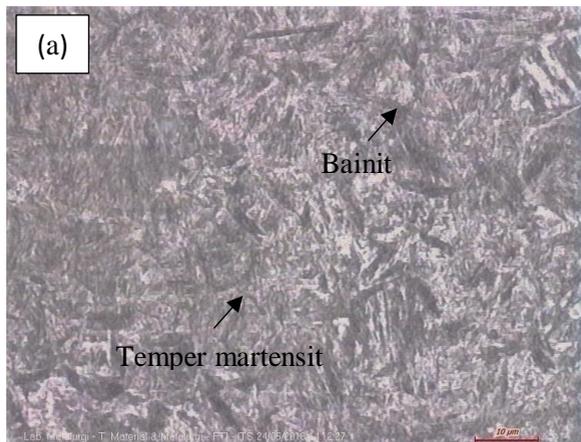
Gambar diatas menunjukkan struktur mikro material *hammer crusher* yaitu berupa perlit dan ferit. Perlit berwarna hitam atau lebih gelap, sementara ferit berwarna putih atau lebih terang dibandingkan perlit.

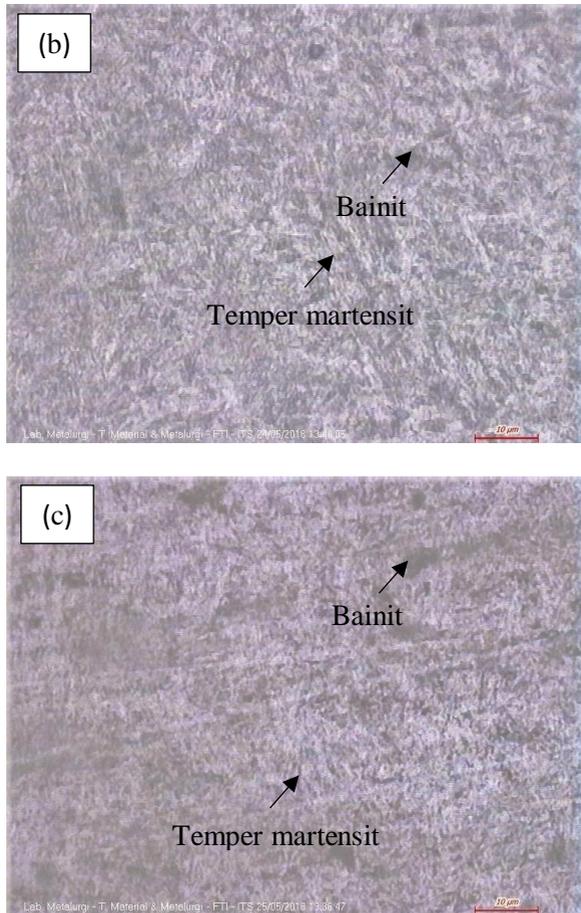
Setelah dilakukan proses *heat treatment*, struktur mikro kembali dilihat untuk mengetahui struktur akhir yang terbentuk



pada material *hammer crusher*. Pengujian ini dilakukan dengan menggunakan mikroskop optik dengan perbesaran 1000x.

Pada Gambar 4.2 ditunjukkan hasil struktur mikro dari material *hammer crusher* setelah proses *heat treatment* berupa *hardening* dan *tempering*. Gambar 4.2 (a) merupakan struktur mikro dari AISI 8655 820°C – OQ. Material ini adalah material dengan pemanasan pada temperatur 820°C dan menggunakan media pendingin oli lalu di *tempering* pada 213°C. Fasa yang terbentuk adalah *temper martensit* dan bainit. Gambar 4.2 (b) merupakan struktur mikro dari AISI 8655 820°C – WQ. Material ini adalah material dengan pemanasan pada temperatur 820°C dan menggunakan media pendingin air lalu di *tempering* pada 213°C. Fasa yang terbentuk adalah *temper martensit* dan bainit. Gambar 4.2 (c) merupakan struktur mikro dari AISI 8655 820°C – BQ. Material ini adalah material dengan pemanasan pada temperatur 820°C dan menggunakan media pendingin *brine* lalu di *tempering* pada 213°C. Fasa yang didapat pada material ini adalah *temper martensit* dan bainit.



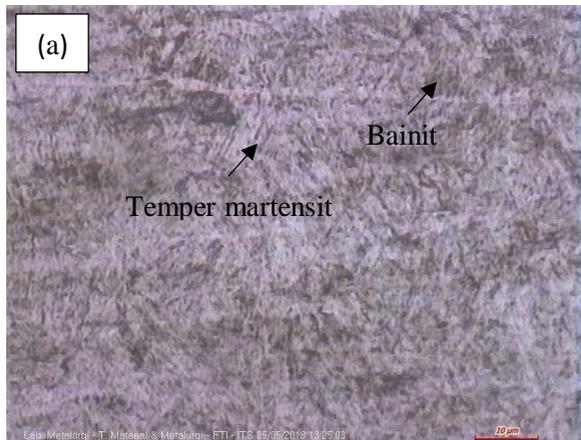


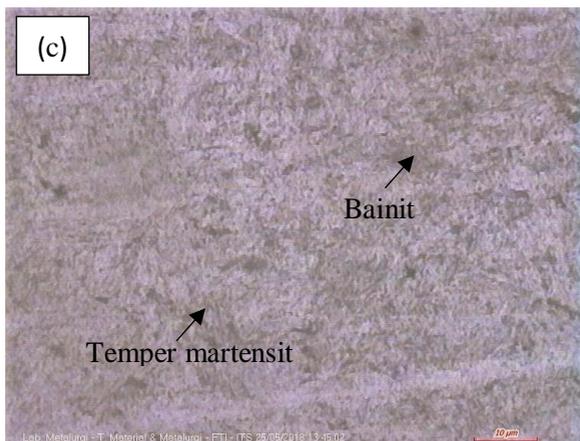
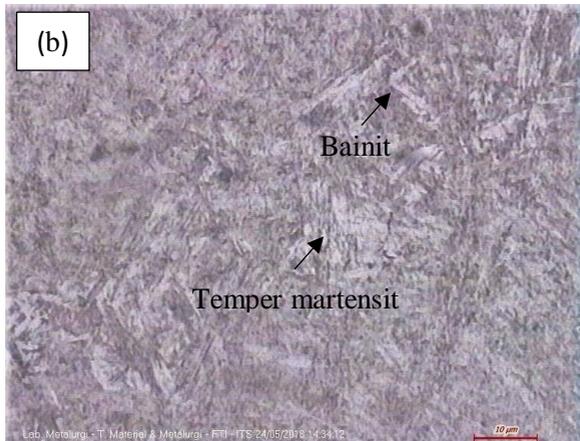
Gambar 4.2 Struktur Mikro (a) AISI 8655 820°C – OQ. (b) AISI 8655 820°C – WQ. (c) AISI 8655 820°C – BQ dengan perbesaran 1000x.

Pada Gambar 4.3 ditunjukkan hasil struktur mikro dari material *hammer crusher* setelah proses *heat treatment* berupa *hardening* dan *tempering*. Gambar 4.3 (a) merupakan struktur mikro dari AISI 8655 870°C – OQ. Material ini adalah material



dengan pemanasan pada temperatur 870°C dan menggunakan media pendingin oli lalu di *tempering* pada 213°C. Fasa yang terbentuk adalah *temper* martensit dan bainit. Gambar 4.3 (b) merupakan struktur mikro dari AISI 8655 870°C – WQ. Material ini adalah material dengan pemanasan pada temperatur 870°C dan menggunakan media pendingin air lalu di *tempering* pada 213°C. Fasa yang terbentuk adalah *temper* martensit dan bainit. Gambar 4.3 (c) merupakan struktur mikro dari AISI 8655 870°C – BQ. Material ini adalah material dengan pemanasan pada temperatur 820°C dan menggunakan media pendingin *brine* lalu di *tempering* pada 213°C. Fasa yang didapat pada material ini adalah *temper* martensit dan bainit.



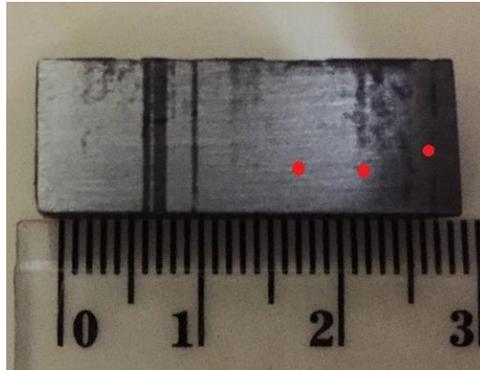


Gambar 4.3 Struktur Mikro (a) AISI 8655 870°C – OQ. (b) AISI 8655 870°C – WQ. (c) AISI 8655 870°C – BQ dengan perbesaran 1000x.

4.1.3 Hasil Pengujian Kekerasan *Vickers* pada Material *Hammer Crusher*

Pengujian kekerasan dilakukan pada masing-masing permukaan spesimen untuk mengetahui distribusi kekerasan pada

hammer crusher yang mengalami keausan dan yang dilakukan *hardening*. Pengujian ini menggunakan indentasi sebanyak 3 titik, dengan menggunakan beban sebesar 100kgf. Pembagian daerah indentasi dapat dilihat pada Gambar 4.4.



Gambar 4.4 Titik Indentasi Pengujian Kekerasan

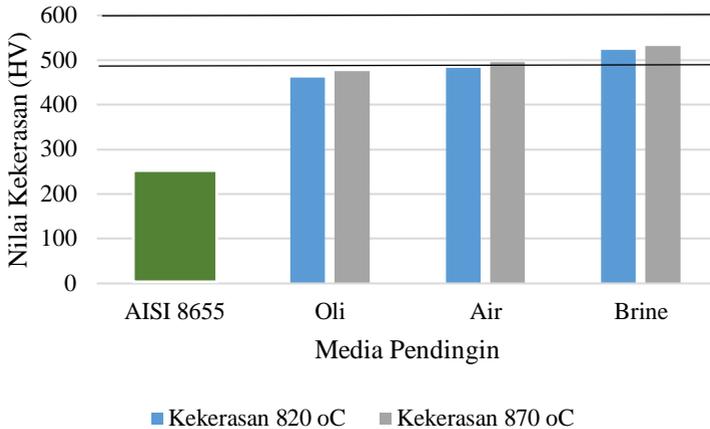
Tabel 4.2 Hasil Pengujian Kekerasan Spesimen

Jenis Spesimen	Kekerasan (HV)
AISI 8655	254
AISI 8655 820°C – OQ	461
AISI 8655 820°C – WQ	482
AISI 8655 820°C – BQ	523
AISI 8655 870°C – OQ	475
AISI 8655 870°C – WQ	495
AISI 8655 870°C – BQ	532

Tabel 4.2 merupakan grafik nilai kekerasan pada baja AISI 8655 dengan perlakuan *hardening* temperatur pemanasan dan media pendingin yang berbeda. Kekerasan paling rendah setelah diberikan *hardening* didapatkan pada material dengan temperatur 820°C serta media pendingin oli sebesar 461 HV dan yang paling tinggi adalah material dengan *hardening* pada temperatur 870°C dengan media pendingin *brine* sebesar 532 HV. Nilai kekerasan



dapat dibandingkan dengan melihat Gambar 4.5 yaitu grafik nilai kekerasan material *hammer crusher*.



Gambar 4.5 Grafik Hasil Pengujian Kekerasan AISI 8655

Gambar 4.5 menunjukkan hasil uji kekerasan baja AISI 8655 sebelum dan setelah proses *hardening*. Baja AISI 8655 sebelum *hardening* memiliki kekerasan sebesar 254 HV. Proses *hardening* pada spesimen dengan temperatur 820°C kemudian dilakukan pendinginan dengan media pendingin oli lalu di *tempering* pada 213°C (AISI 8655 820°C – OQ) meningkatkan kekerasan menjadi 461 HV. Penambahan temperatur menjadi 870°C dengan menggunakan media pendingin yang sama lalu di *tempering* pada 213°C (AISI 8655 820°C – OQ) meningkatkan kekerasan menjadi 475 HV. Proses pengerasan dengan pada temperatur *hardening* 820°C dengan media pendinginan air lalu di *tempering* pada 213°C (AISI 8655 820°C – WQ) didapatkan kenaikan kekerasan menjadi 482 HV. Penambahan temperatur menjadi 870°C dengan media pendingin air lalu di *tempering* pada 213°C (AISI 8655 870°C – WQ) meningkatkan kekerasan menjadi 495 HV. Untuk pendinginan dengan media *brine* dengan



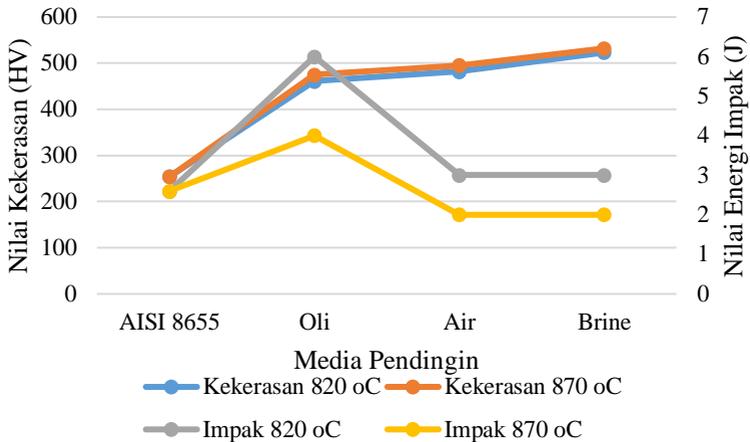
temperatur *hardening* 820°C lalu di *tempering* pada 213°C (AISI 8655 820°C – BQ) meningkatkan kekerasan menjadi 523 HV dan penambahan temperatur *hardening* menjadi 870°C dengan media *brine* lalu di *tempering* pada 213°C (AISI 8655 870°C – BQ) meningkatkan kekerasan menjadi 532 HV. Kekerasan minimum setelah *hardening* didapatkan pada temperatur pemanasan 820°C dengan media pendingin oli sebesar 461 HV. Kekerasan maksimum yang didapatkan setelah *hardening* adalah dengan temperatur 870°C dengan media pendingin *brine* sebesar 532 HV.

4.1.4 Hasil Pengujian Impak pada Material *Hammer Crusher*

Pengujian impak dilakukan pada spesimen material *hammer crusher* pada setiap variasi media pendingin dan temperatur yang berbeda. Data yang diperoleh dinyatakan dengan besar energi yang diperlukan untuk mematahkan spesimen. Energi impak memberi indikasi yang baik pada energi yang diperlukan untuk inisiasi dan penjalaran retak. Pengujian impak ini menggunakan metode *Charpy V-notch*. Tabel 4.3 menunjukan hasil dari pengujian impak pada material *hammer crusher* yang sudah di*hardening*.

Tabel 4.3 Hasil pengujian impak spesimen

Jenis Spesimen	Energi Impak (Joule)
AISI 8655	2,6
AISI 8655 820°C - OQ	6
AISI 8655 820°C - WQ	3
AISI 8655 820°C - BQ	3
AISI 8655 870°C - OQ	4
AISI 8655 870°C - WQ	2
AISI 8655 870°C - BQ	2



Gambar 4.6 Grafik Perbandingan Kekerasan dan Energi Impak

Pada Tabel 4.3 ditunjukkan nilai uji impak pada material *hammer crusher* didapatkan pada baja AISI 8655 tanpa perlakuan memiliki nilai impak sebesar 2,6 Joule. Gambar 4.6 menunjukkan perbandingan antara nilai kekerasan dan nilai energi impak dari material uji. Dari Gambar 4.6 didapatkan bahwa semakin tinggi kekerasan, maka semakin rendah nilai energi impak atau ketangguhannya. Hal ini dibuktikan pada saat kekerasan sebesar 461 HV pada temperatur pemanasan 820°C dengan media pendingin oli didapatkan energi impak sebesar 6 Joule. Peningkatan temperatur pemanasan menjadi 870°C meningkatkan kekerasan menjadi 475 HV dan menurunkan nilai energi impak menjadi 4 Joule. Pada temperatur pemanasan 820°C dengan media pendingin air dengan kekerasan sebesar 482 HV didapatkan nilai energi impak sebesar 3 Joule. Peningkatan temperatur pemanasan menjadi 870°C meningkatkan kekerasan menjadi 495 HV dan menurunkan kekerasan menjadi 2 Joule. Pada temperatur pemanasan 820°C dengan media pendingin *brine* dengan kekerasan sebesar 523 HV didapatkan nilai energi impak sebesar 3 Joule. Peningkatan temperatur pemanasan menjadi 870°C



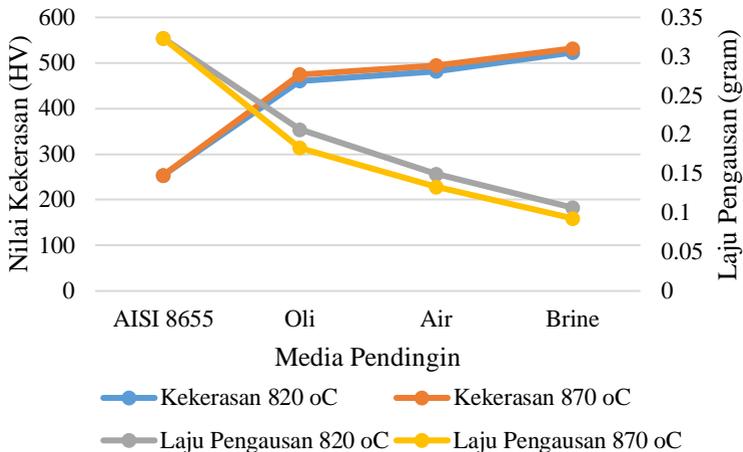
meningkatkan kekerasan menjadi 532 HV dan menurunkan energi impact menjadi 2 Joule. Nilai energi impact maksimum didapatkan pada media pendingin oli dengan temperatur pemanasan 820°C sebesar 6 Joule. Nilai energi impact minimum didapatkan pada media pendingin air dan *brine* dengan temperatur pemanasan 870°C sebesar 2 Joule.

4.1.5 Hasil Pengujian Ketahanan Aus pada Material *Hammer Crusher*

Pengujian ketahanan aus dilakukan bertujuan untuk mengetahui laju keausan pada material *hammer crusher*. Data yang diperoleh dari pengujian ini berupa selisih massa material *hammer crusher* sebelum dan setelah pengujian. Data hasil pengujian ketahanan aus pada material *hammer crusher* dapat dilihat pada Tabel 4.4.

Tabel 4.4 Hasil Pengujian Ketahanan Aus *Hammer Crusher*

Jenis Spesimen	Laju Pengausan gram
AISI 8655	0,3233
AISI 8655 820°C - OQ	0,2067
AISI 8655 820°C - WQ	0,15
AISI 8655 820°C - BQ	0,1067
AISI 8655 870°C - OQ	0,1833
AISI 8655 870°C - WQ	0,1333
AISI 8655 870°C - BQ	0,093



Gambar 4.7 Grafik Perbandingan Laju Pengausan pada Material *Hammer Crusher*

Pada Tabel 4.4 ditunjukkan nilai laju pengausan pada material *hammer crusher* didapatkan pada baja AISI 8655 tanpa perlakuan memiliki sebesar 0,3233 gram. Gambar 4.7 menunjukkan perbandingan antara nilai kekerasan dan nilai laju pengausan dari material uji. Dari Gambar 4.7 didapatkan bahwa semakin tinggi kekerasan, maka semakin rendah nilai laju pengausannya atau semakin tinggi ketahanan ausnya. Hal ini dibuktikan pada saat kekerasan sebesar 461 HV pada temperatur pemanasan 820°C dengan media pendingin oli didapatkan laju pengausannya sebesar 0,2067 gram. Peningkatan temperatur pemanasan menjadi 870°C meningkatkan kekerasan menjadi 475 HV dan menurunkan laju pengausan menjadi 0,1833 gram. Pada temperatur pemanasan 820°C dengan media pendingin air dengan kekerasan sebesar 482 HV didapatkan laju pengausan sebesar 0,15 gram. Peningkatan temperatur pemanasan menjadi 870°C meningkatkan kekerasan menjadi 495 HV dan menurunkan laju pengausan menjadi 0,1333 gram. Pada temperatur pemanasan 820°C dengan media pendingin *brine* dengan kekerasan sebesar 523 HV didapatkan laju pengausan



sebesar 0,1067 gram. Peningkatan temperatur pemanasan menjadi 870°C meningkatkan kekerasan menjadi 532 HV dan menurunkan laju pengausan menjadi 0,0933 gram. Nilai laju pengausan terbesar atau ketahanan aus terendah didapatkan pada media pendingin oli dengan temperatur pemanasan 820°C sebesar 0,2067 gram. Nilai laju pengausan terkecil atau ketahanan aus terbesar didapatkan pada media pendingin *brine* dengan temperatur pemanasan 870°C sebesar 0,0933 gram.

4.2 Pembahasan

Setelah dilakukan pengujian awal komposisi dan kekerasan *hammer crusher*, didapatkan bahwa material ini tidak sesuai dengan standar *hammer crusher*. Material yang seharusnya digunakan sesuai standar adalah material yang memiliki komposisi seperti *martensitic white cast iron* sesuai dengan standar ASTM A532. Sementara itu, material yang digunakan pada *hammer crusher* di PT. Semen Indonesia (Persero) Tbk dari komposisi kimia materialnya sama dengan komposisi baja AISI 8655 yang mana tidak sesuai dengan material standar *hammer crusher* yaitu ASTM A532.

Ditinjau dari standar kekerasan material pada *hammer crusher*, *range* kekerasan yang seharusnya dimiliki oleh material *hammer crusher* sesuai standar ASTM A532 adalah diantara 485 – 600 HV. Sedangkan setelah diuji kekerasan pada material *hammer crusher* yang digunakan oleh PT. Semen Indonesia hanya 254 HV. Hal ini lah yang mengakibatkan *hammer crusher* di PT. Semen Indonesia hanya mampu bertahan 8 bulan dimana *lifetime* yang seharusnya adalah 2 tahun.

Pada pengujian struktur mikro, hasil yang didapatkan pada material *hammer crusher* adalah struktur perlit dan ferit. Perlit terlihat pada gambar dengan warna struktur yang gelap. Sedangkan ferit terlihat pada gambar dengan warna yang lebih terang dibandingkan dengan perlit. Setelah dilakukan *heat treatment* dengan temperatur *hardening* berbeda dan menggunakan 3 media pendingin oli, air, dan *brine*. Untuk material yang di *hardening*



pada 850°C lalu didinginkan dengan media air, oli, dan udara tanpa *tempering* didapatkan fasa martensit dan bainit (Yudha, 2017). Setelah material AISI 8655 820°C – OQ dan AISI 8655 870°C - OQ dilakukan *tempering* dan dilakukan pengujian mikrostruktur didapatkan fasa *temper* martensit dan bainit. Begitu juga pada pendinginan air. Pada material yang paling keras, yaitu AISI 8655 820°C – BQ dan AISI 8655 870°C – BQ didapatkan struktur mikro *temper* martensit dan bainit. Untuk meningkatkan nilai kekerasan pada *hammer crusher* maka dilakukan *hardening* dan juga mengubah struktur mikro yang ada. Struktur mikro untuk meningkatkan kekerasan adalah martensit, yang sifat nya keras. Sebelum dilakukan *tempering*, struktur yang terbentuk adalah *lath* martensit yang ditunjukkan dengan warna hitam yang berbentuk seperti jarum-jarum. Setelah dilakukan *tempering*, *lath* martensit berubah menjadi *temper* martensit yang berukuran lebih pendek namun menjadi lebih lebar. Martensit terbentuk karena saat austenit didinginkan, maka *driving force* nya sangat besar dimana struktur kristal FCC tidak berubah menjadi BCC tetapi menjadi BCT. Hal ini dikarenakan karbon tidak dapat berdifusi keluar atau biasa disebut terjadi *diffusioness*. Karbon tidak dapat keluar karena karbin tidak punya waktu yang cukup untuk berdifusi keluar (Rasyidy, 2017). Bainit terbentuk pada kecepatan sedang. Bainit merupakan agregate dari ferit dan sementit (Fe_3C). Pada pendinginan sedang, material akan mengalami *driving force* yang cukup besar dan membuat struktur krisal FCC menjadi BCC dan terbentuk ferit. Setelah itu karbon tidak dapat larut dan terbentuk plate semenit hingga berulang-ulang dan menjadi bainit. Setelah dilakukan *tempering*, maka kekerasan akan menurun dan menaikkan nilai ketangguhan dari material. Martensit yang diperoleh setelah *tempering* sudah tidak tajam dibandingkan sebelum di *tempering* (Xu, 2017).

Dari segi kekerasan, nilai kekerasan terendah dimiliki oleh spesimen yang diberikan *hardening* pada temperatur 820°C dengan media pendingin oli sebesar 461 HV. Sementara itu, nilai kekerasan tertinggi dimiliki oleh spesimen yang diberikan



hardening pada temperatur 870°C dengan media pendingin brine memiliki nilai kekerasan sebesar 532 HV. Hal ini terjadi dikarenakan pada saat pemanasan, semakin tinggi temperatur, maka ferit akan semakin berubah menjadi austenit hingga seluruhnya austenit. Saat pendinginan cepat austenit tersebut akan berubah menjadi martensit yang mempunyai sifat keras. Nilai kekerasan paling tinggi didapatkan pada media pendingin *brine* dikarenakan *brine* memiliki nilai H paling besar diantara media pendingin lainnya. Nilai H *brine* sebesar 2, oli sebesar 0,3, dan air sebesar 1. Semakin tinggi densitas (cair) media pendingin, maka laju pendinginannya akan semakin cepat dan sebaliknya, semakin kecil massa jenis maka pendinginan akan semakin lambat (Trihutomo, 2015). Hal ini yang membuat media pendingin *brine* lebih cepat pendinginannya dan akan membuat tegangan yang diakibatkan karbon terperangkap kedalam struktur kristal BCT yang membuat material semakin keras karena semakin banyak terbentuk struktur martensit. Semakin keras material, maka jumlah martensit akan semakin banyak dibandingkan fasa yang lainnya.

Hasil uji impak yang telah dilakukan dengan menggunakan metode *charpy V-notch*, didapatkan pada material *hammer crusher* tanpa perlakuan sebesar 2,6 Joule dan memiliki pola patahan yang getas. Setelah dilakukan *hardening* pada material *hammer crusher*, material yang memiliki nilai ketangguhan paling tinggi adalah 6 Joule. Material tersebut merupakan AISI 8655 820°C – OQ yang memiliki kekerasan paling rendah setelah diberikan *hardening* pada material *hammer crusher*. Sedangkan untuk material dengan nilai ketangguhan paling sedikit adalah AISI 8655 870°C – BQ dan AISI 8655 820°C sebesar 2 Joule material ini sangat getas dan merupakan material yang paling tinggi nilai kekerasannya. Material dengan media pendingin oli mempunyai nilai ketangguhan yang lebih tinggi dikarenakan daya serap energi logam dengan oli lebih besar dibandingkan dengan air dan air es (Sumiyanto). Material yang memiliki nilai kekerasan tinggi memiliki nilai ketangguhan yang rendah, begitu juga sebaliknya. Material yang mempunyai nilai



kekerasan yang lebih rendah memiliki nilai ketangguhan yang tinggi. Hal ini dikarenakan material yang mempunyai nilai kekerasan tinggi memiliki struktur martensit yang sifatnya keras. Nilai ketangguhan akan menghasilkan material yang ulet atau getas. Semakin banyak martensit yang terbentuk, maka material akan semakin keras serta sifatnya akan getas yang ditandai dengan nilai energi impak yang kecil. Hal ini menunjukkan jika suatu material memiliki sifat kekerasan yang tinggi, memiliki nilai ketangguhan yang lebih rendah (Adhityo Sarwo Nugroho, 2014).

Keausan terjadi pada material *hammer crusher* dikarenakan material yang digunakan tidak sesuai dengan material standarnya. Setelah dilakukan *hardening*, spesimen yang memiliki nilai kekerasan paling rendah, yaitu AISI 8655 820°C – OQ dengan kekerasan sebesar 461 HV memiliki nilai ketahanan aus yang paling rendah, yaitu sebesar 0,2067 gram. Sementara itu untuk nilai ketahanan aus yang paling tinggi sebesar 0,093 gram pada material AISI 8655 870°C – BQ dengan nilai kekerasan 532 HV. Hasil dari pengujian ketahanan aus menunjukkan hasil yang berbanding lurus dengan nilai kekerasan. Semakin tinggi nilai kekerasan, maka nilai ketahanan aus dari material akan semakin tinggi. Hal ini dikarenakan struktur mikro martensit yang terbentuk pada material setelah proses *hardening* yang telah meningkatkan kekerasan pada material tersebut. Semakin banyak martensit maka material akan semakin keras material tersebut dan material akan semakin sulit untuk aus. Dimana kekerasan adalah sifat yang penting untuk meningkatkan ketahanan aus pada suatu material yang dikarenakan goresan. Makin keras material tersebut, makin sulit bagi media *abrasive* untuk menggores material tersebut (Ratia, 2015).



BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan pengujian yang telah dilakukan, terdapat beberapa kesimpulan:

1. Semakin tinggi temperatur *hardening* maka kekerasan semakin tinggi. Temperatur yang paling optimal terdapat pada temperatur 870°C dengan fasa yang dihasilkan berupa bainit dan martensit. Nilai kekerasan maksimum yang didapat pada temperatur 870°C sebesar 532 HV.
2. Media pendingin yang paling baik diantara oli, air, dan *brine* adalah *brine* karena menghasilkan kekerasan dan ketahanan aus maksimum pada tiap temperatur *hardening*. Semakin tinggi nilai H media pendingin, maka semakin banyak terbentuk martensit. Pada temperatur 820°C nilai kekerasan sebesar 523 HV dan pada temperatur 870°C sebesar 532 HV.

5.2 Saran

1. Menguji komposisi material terlebih dahulu sebelum menggunakannya.
2. Menggunakan material standar sesuai dengan ASTM A532.
3. Melakukan proses *heat treatment* pada komponen *hammer crusher* agar meningkatkan kekerasan *hammer crusher*.



(Halaman ini sengaja dikosongkan)

DAFTAR PUSTAKA

- _____.1999. *ASM Handbook. 1991. ASM Handbook Volume 4 Heat Treatment*. USA: ASM International
- _____.1999. *ASTM A532. 1999. Standard Specification for Abrasion-Resistant Cast Irons*. USA: ASM International.
- _____.1999. *ASTM G99. Standard Test Method for Wear Testing with a Pin-on-Disk Apparatus*. USA: ASM International.
- _____. 2017. **FLSmith Cross Bar Cooler**.
- Askeland, Donald. 2009. *Essential of Materials Science and Engineering*. USA: Cengage Learning.
- ASTM A532. 1999. Standard Specification for Abrasion-Resistant Cast Irons*. USA: ASM International.
- 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.
- Brooks, Charlie and Choudhury, Ashok. 2002. *Failure Analysis of Engineering Materials*. New York: McGraw-Hill.
- Callister, William. 2007. *Material Science and Engineering An Introduction*. New York: John Wiley & Sons, Inc.
- Campbell, F.C. 2008. *Elements of Metallurgy and Engineering*. New York: ASM International.
- Chandler, Harry. 1995. *Heat Treater's Guide: Practices and Procedures for Irons and Steels*. USA: ASM International.
- Dieter, George E. 1987. *Metalurgi Mekanik*. Jakarta: Erlangga.
- Edahwati, Luluk. 2009. *Alat Industri Kimia*. Surabaya: UPN Press
- Firdaus, Habibi. 2010. *Karakterisasi Sifat Fisis dan Mekanis Grinding Ball Impor Diameter 40 mm yang Digunakan di PT. Indocement Tunggal Prakarsa, TBK*. 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
- Ismanhadi, Mohammad. 2013. *Pengaruh Media Pendingin Pada Proses Hardening Terhadap Struktur Mikro Baja Mangan Hadfield AISI 3401 PT Semen Gresik*. Surabaya : Jurusan Teknik Material dan Metalurgi Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- Nugroho, Adhityo Sarwo. 2014. *Pengaruh Proses Normalizing Terhadap Nilai Kekerasan dan Struktur Mikro pada Sambungan Las Thermite Baja NP-42*. Semarang: Jurusan Teknik Mesin Universitas Diponegoro.
- Rhamadan, Yudha Prakarsa. 2017. *Analisis Pengaruh Variasi Waktu Tahan dan Media Pendingin Proses Hardening pada Sifat Kekerasan Baja AISI 8655 Sebagai Solusi Kegagalan Hammer Crusher*. Surabaya: Jurusan Teknik Material dan Metalurgi Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- Rasyidy, Kharisma Yuko. 2017. *Pengaruh Temperatur Austenisasi dan Proses Pendinginan Terhadap Struktur Mikro dan Sifat Mekanik Baja Paduan 05 CcrMnSi*. Surabaya: Jurusan Teknik Mesin Intsitut Teknologi Sepuluh Nopember.
- Ratia, Vilma. 2015. *Behavior of Martensitic Wear Resistance Steels in Abrasion and Impact Wear Testing Conditions*. Finland : Tampere University of Technology.
- Rina Dwi Yani, Tri Pratomo, Hendro Cahyono. 2008. *Pengaruh Perlakuan Panas Terhadap Struktur Mikro Logam ST 60*. Pontianak: Jurusan Teknik Mesin Politeknik Negeri Pontianak.
- Stachowiak, G.W. 2005. *Wear Materials, Mechanisms and Practice*. England: John Wiley & Sons, Ltd.
- Sumiyanto. *Pengaruh Proses Hardening dan Tempering Terhadap Kekerasan dan Struktur Mikro pada Baja*

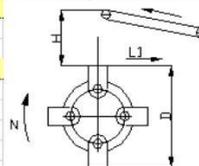
- Karbon Sedang Jenis SNCM 447*. Jakarta : Jurusan Teknik Mesin Institut Sains dan Teknologi Nasional.
- Trihutomo. 2015. *Analisa Kekerasan pada Pisau Berbahan Baja Karbon Menengah Hasil Proses Hardening Dengan Media Pendingin Yang Berbeda*. Malang: Universitas Negri Malang.
- Winataputra, Didin S. 1998. *Perubahan Mikrostruktur Baja 12% Cr Selama Creep*. Jakarta: BATAN.
- Xu, Zhi-bao. 2017. *Mechanical Properties of a Microalloyed Bainitic Steel After Hot Forging and Tempering*. Beijing: Beijing Jiaotong University.
- Yogantoro. 2010. *Penelitian Pengaruh Variasi Temperatur Pemanasan Low Tempering, dan High Tempering pada Medium Carbon Steel Produksi Pengecoran Batur-Klater Terhadap Struktur Mikro, Kekerasan, dan Ketangguhan (Toughness)*. Surakarta: Jurusan Teknik Mesin Universitas Muhamadiyah Surakarta.
- Yuwono. 2009. *Pengaruh Variasi Temperatur Sintering Terhadap Ketahanan Aus Bahan Rem Sepatu Gresik*. Surakarta: Jurusan Teknik Mesin Universitas Muhammadiyah Surakarta.
- Zum Gahr, K.H. 1987. *Microstructure and Wear of Materials*. Amsterdam: Tribology Series.

(This page left intentionally blank)

LAMPIRAN

A. Technical Data Hammer Crusher

 TECHNICAL DATA OF HAMMER CRUSHER			
COUNTRY :		INDONESIA	DATE : 12.04.2016
CUSTOMER			
Company:	SEMEN INDONESIA (Persero)	Works:	
Contact Person:		Annual Capacity:	3,000,000 T
CRUSHER			
Manufacturer	PT.HANSA PRATAMA	Serial No.:	
Type:	<input checked="" type="checkbox"/> Monorotor <input type="checkbox"/> Birotor		
Crushing stage:	<input type="checkbox"/> Primary <input type="checkbox"/> Secondary <input checked="" type="checkbox"/> Clinker <input type="checkbox"/> Other		
Year of construction:	2015		
Quantity of hammers per set	63		
External rotor diameter: D=	1,000.0 m		
Rotation speed N=	370 rpm		
Linear speed: $(\pi \times D \times N) / 60 =$	19,360.0 m/s		
Are the hammers free to turn around their shaft (360°):		<input checked="" type="checkbox"/> Yes <input type="checkbox"/> No	
Height of material fall: H=		m	
Nb of hammer rings per rotor:	12		
Nb of hammers per ring:	6		
MATERIAL TO BE CRUSHED			
<input type="checkbox"/> Limestone <input type="checkbox"/> Shale <input type="checkbox"/> Clay <input type="checkbox"/> Lime			
<input type="checkbox"/> Lignite <input type="checkbox"/> Coal <input type="checkbox"/> Other			
<input checked="" type="checkbox"/> Clinker > average temperature of clinker at outlet of cooler	400 °C		
Red river on the cooler	<input type="checkbox"/> Never <input checked="" type="checkbox"/> Sometimes	Frequency	
Maximum size at inlet (mm):	Max. at outlet (mm)	100	Output/hou 354 t/hr
Running time of the crusher	24 hr/day	Days/week	7
Crushed material composition:	% combined silica:	% free silica:	
Metal pieces coming inside the crusher:	<input type="checkbox"/> Never <input checked="" type="checkbox"/> Sometimes	Frequency	
HAMMER			
Unit weight at the new st:kg	Present alloy (t)	Hardness:	
Lifetime : hr 14,400	Lifetime (month) 24	Lifetime (crushed tonnage/set) :	
	Gross wear (gr/T):		
Turning of hammers: <input type="checkbox"/> yes <input type="checkbox"/> no	Hardfacing of hammers: <input checked="" type="checkbox"/> yes <input type="checkbox"/> no	How many times?	
Current supplier:	PT.HANSA PRATAMA	Unit price :	
Machining of the boring: <input type="checkbox"/> yes <input type="checkbox"/> no			
Machining of the flanges: <input type="checkbox"/> yes <input type="checkbox"/> no			
Particular problems encountered and comments:			
- clogging up with sticky material <input checked="" type="checkbox"/>			
- irregular wear according to the position on the rotor :			
	No <input type="checkbox"/>	if yes: <input checked="" type="checkbox"/> Quick wear on the center	
- breakage on the hammer shaft <input type="checkbox"/>			
- breakage on the hammer head <input checked="" type="checkbox"/>			
- oval shape of hammer hole <input checked="" type="checkbox"/>			
- others <input checked="" type="checkbox"/> hammer disc width decrease (wear indication)			
- Handling system of the hammer (to be specified):			



B. Analisis OES (*Optical Emission Spectroscopy*) Komposisi Kimia



Kementerian
Perindustrian
REPUBLIK INDONESIA

BADAN PENELITIAN DAN PENGEMBANGAN INDUSTRI
BALAI RISET DAN STANDARDISASI INDUSTRI SURABAYA
LABORATORIUM PENGUJIAN DAN KALIBRASI
BARISTAND INDUSTRI SURABAYA

Jl. Jagir Wonokromo No. 360 Surabaya (60244), Telp. (031) 8410054, Fax. (031) 8410480
<http://baristandsurabaya.kemenperin.go.id/>

Nomor Analisa : P 5576 s/d P 5578
Jenis Sampel : Besi Tuang
Kode : A, B, C

No	Parameter Uji Komposisi Kimia Logam	Satuan	Hasil Uji			Methoda uji
			P 5576 (A)	P 5577 (B)	P 5578 (C)	
1	Si	%	0,37379	2,4849	0,61983	JIS G 1253 : 2002 Cara uji komposisi Kimia
2	Mn	%	0,77582	0,93132	2,0322	
3	P	%	0,01988	0,06462	0,05978	
4	S	%	0,00606	0,02336	0,01116	
5	Cu	%	0,03701	0,56583	0,15008	
6	Ni	%	0,39966	3,5939	7,6548	
7	Cr	%	1,9148	16,344	13,387	
8	Mo	%	0,22922	0,33403	0,22436	
9	Al	%	0,05568	0,10638	0,01166	
10	Carbon	%	0,59650	1,1742	0,02916	

Catatan :

- Sampel diuji sesuai permintaan.
- Sampel diuji dengan alat Optical Emission Spectrometer



Surabaya, 03 Oktober 2016
Laboratorium Fisika

Fany Aditama
NIP. 197601102002121005

C. Standar AISI 8655

MATERIAL TECHNICAL DATA SHEET - AISI/SAE 8655

MATERIAL CATEGORY: SAE, AISI, UNS system alloy structural steel

MATERIAL SPECIFICATIONS: SAE J1249 -2000

OFFICIAL TEST CERTIFICATE: issued by **TUV - SGS - BV**

CHEMICAL COMPOSITION (WEIGHT %)

C (%): 0.51~0.59

Si (%): 0.15~0.35

Mn (%): 0.75~1.00

P (%): ≤ 0.035

S (%): ≤ 0.040

Cr (%): 0.40~0.60

Ni (%): 0.40~0.70

Mo (%): 0.15~0.25

MECHANICAL PROPERTIES AND HOT WORKING

Mechanical property $\geq \sigma_b$ /MPa: -

Mechanical property $\geq \sigma_s$ /MPa: -

Mechanical property $\geq \delta_5$ (%): -

Mechanical property $\geq \psi$ (%): -

Hardness /annealed COND: 187 ~ 248

Hot working temperature /°C: 1100~850

Quantity	Value	Unit
Young's modulus	200000 - 200000	MPa
Tensile strength	650 - 880	MPa
Elongation	8 - 25	%
Fatigue	275 - 275	MPa
Yield strength	350 - 550	MPa

Physical Properties

Quantity	Value	Unit
Thermal expansion	10 - 10	e-6/K
Thermal conductivity	25 - 25	W/m.K
Specific heat	460 - 460	J/kg.K
Melting temperature	1450 - 1510	°C
Density	7700 - 7700	kg/m ³
Resistivity	0.55 - 0.55	Ohm.mm ² /m

Heat Treatment:

Annealing	Quenching	Tempering	Normalizing	Q & T
√	√	√	√	√

D. Standar ASTM A532 (Komposisi dan Kekerasan)

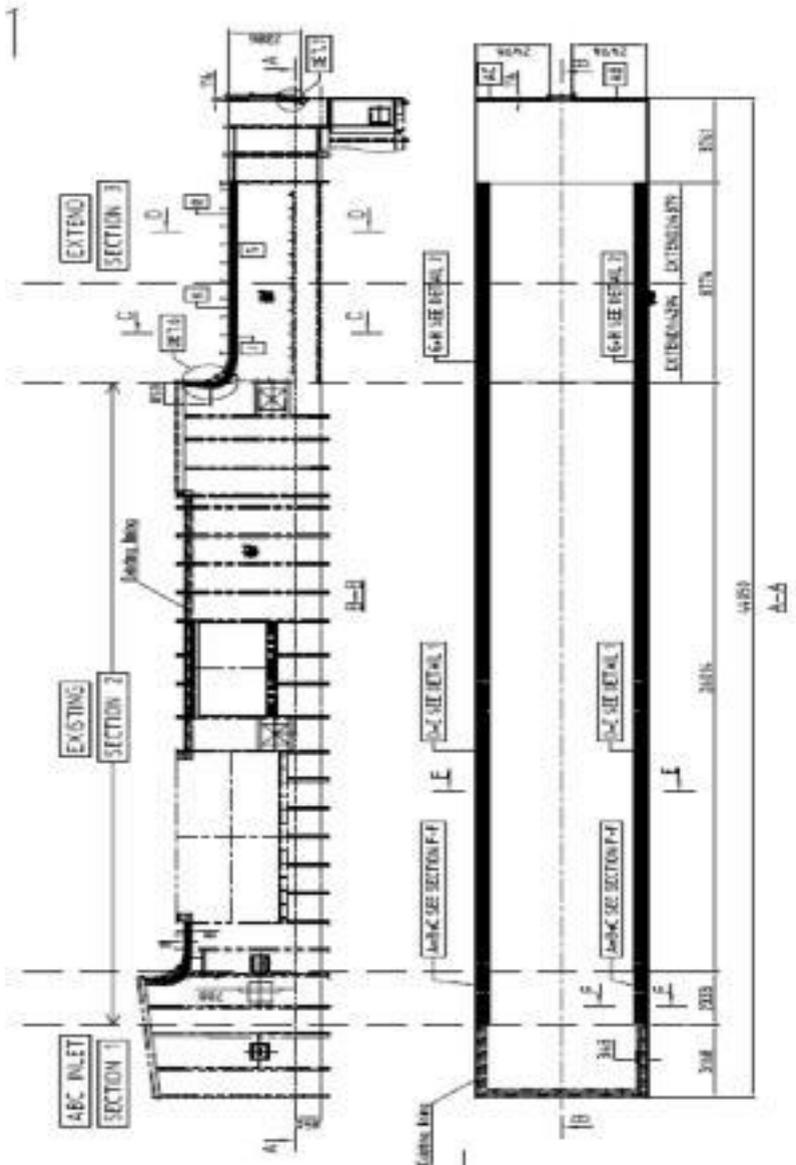
TABLE 1 Chemical Requirements, Weight %

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-HCr	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

TABLE 2 Hardness Requirements

Class	Type	Designation	Hardness Value-HB												Typical Section Thickness			
			As Cast or As Cast and Stress Relieved						Hardened or Hardened and Stress Relieved									
			Sand Cast, min ^a		Sand Cast, min ^a		Sand Cast, min ^a		Chill Cast, min ^b		Chill Cast, min ^b		Chill Cast, min ^b					
			HB	HRC	HV	HB	HRC	HV	HB	HRC	HV	HB	HRC	HV	HB	HRC	HV	
I	A	Ni-Cr-Hc	550	53	600	600	56	660	650	59	715	600	56	660	...	...	...	...
I	B	Ni-Cr-Lc	550	53	600	600	56	660	650	59	715	600	56	660	...	...	...	...
I	C	Ni-Cr-GB	550	53	600	600	56	660	650	59	715	600	56	660	400	41	430	...
I	D	Ni-HCr	500	50	540	600	56	660	650	56	715	550	53	600	...	...	...	...
II	A	12 % Cr	550	53	600	600	56	660	650	59	715	550	53	600	400	41	430	...
II	B	15 % Cr-Mo	450	46	485	600	56	660	650	59	715	...	...	...	400	41	430	...
II	D	20 % Cr-Mo	450	46	485	600	56	660	650	59	715	...	...	...	400	41	430	...
III	A	25 % Cr	450	46	485	600	56	660	650	59	715	...	...	...	400	41	430	...

F. Gambar Desain (*Clinker Cooler*)



G. Nilai Kekerasan Spesimen AISI 8655 setelah diHardening

Spesimen	Kekerasan (HV)			Rata-rata
	1	2	3	
AISI 8655	254	254	254	254
AISI 8655 820°C - OQ	460	450	473	461
AISI 8655 820°C - WQ	488	477	480	481,6667
AISI 8655 820°C - BQ	522	512	534	522,6667
AISI 8655 870°C - OQ	481	475	470	475,3333
AISI 8655 870°C - WQ	497	488	499	494,6667
AISI 8655 870°C - BQ	530	522	545	532,3333

F. Nilai Ketahanan Aus Spesimen AISI 8655 setelah diHardening

Spesimen	Selisih massa (m)			Rata-rata
	1	2	3	
AISI 8655	0,32	0,33	0,32	0,323333
AISI 8655 820°C - OQ	0,21	0,21	0,2	0,206667
AISI 8655 820°C - WQ	0,15	0,16	0,14	0,15
AISI 8655 820°C - BQ	0,08	0,13	0,11	0,106667
AISI 8655 870°C - OQ	0,13	0,17	0,25	0,183333
AISI 8655 870°C - WQ	0,13	0,1	0,17	0,133333
AISI 8655 870°C - BQ	0,12	0,08	0,08	0,093333

(This page left intentionally blank)

UCAPAN TERIMAKASIH

Pada pengerjaan tugas akhir ini penulis banyak mendapat bantuan dari berbagai pihak, maka dari itu pada kesempatan ini penulis mengucapkan banyak terimakasih kepada:

1. Allah SWT yang telah memberikan nikmat iman dan sehat. Berkat rahmat dan kuasa-Nya penulis masih dapat menulis Tugas Akhir dan menjadi manusia yang bermanfaat.
2. Kedua orang tua, Mamah dan Ayah, serta Kakak yang selalu mendukung dalam bentuk doa untuk sehat, keselamatan, menjadi yang baik, kata-kata, dan materiil. Tanpa doa dan dukungan Mamah, Ayah, dan Kakak penulis akan kesulitan untuk menyelesaikan tugas akhir.
3. Dr. Agung Purniawan S.T, M.Eng., selaku Ketua Departemen Teknik Material FTI-ITS.
4. Ir. Rochman Roechim M.Sc selaku dosen pembimbing Tugas Akhir yang telah membimbing saya dari awal dan membantu serta memberikan penulis banyak ilmu dalam pengerjaan Laporan Tugas Akhir.
5. Alvian Toto Wibisono, S.T., M.T selaku dosen pembimbing Tugas Akhir yang telah membimbing penulis dalam pengerjaan Tugas Akhir maupun dalam kepribadian.
6. Dr. Eng. Hosta Ardhyanta S.T., M.Sc. selaku Koordinator Tugas Akhir Departemen Teknik Material FTI-ITS.
7. Rindang Fajarin, S.Si., M.Si dan Budi Agung Kurniawan, S.T., M.Sc selaku dosen wali selama menjalani pendidikan di Departemen Teknik Material FTI-ITS.
8. Seluruh dosen dan karyawan Departemen Teknik Material FTI-ITS.
9. Silviana Jeahan yang telah mewarnai masa perkuliahan penulis dan selalu menyemangati penulis kapan pun dan dimana pun.

10. Teman dari maba, Rifki, Ogi, Afiq, Ical, Rama, Ibe, Dwiki, Noer, Pijul, Pandu, Icod, Emral, Adnan, Argya yang telah menemani masa-masa perkuliahan selama kurang lebih 4 tahun.
11. Teman-teman seperjuangan Tugas Akhir, Ogi, Jourdy, Ninur, dan Este yang telah membantu dan mengingatkan penulis dalam pengerjaan Tugas Akhir.
12. Teman-teman yang lulus 3.5 tahun, Pandu, Argya, Redy, Sasa, dan Rifki yang telah berbaik hati menjawab pertanyaan seputar Laporan Tugas Akhir penulis.
13. Keluarga MT 16 yang penulis sayangi, telah memberikan penulis banyak sekali kenangan. Keluarga penulis selama masa perkuliahan.
14. Teman-teman yang selalu ada disamping saya pada saat maba, Alip, Zulfikar, Imam Prasetyo, dan Jeremy. Terimakasih sudah berada di sisi saya selama maba.
15. Serta seluruh pihak yang tidak bisa disebutkan namanya satu persatu. Terimakasih atas dukungan dan bantuan teman-teman sekalian.

BIODATA PENULIS



Reza Fauzan Permadi, lahir di Tangerang, 15 Desember 1996. Penulis menempuh pendidikan dasar di SDI Al-Azhar 5 Kemandoran. Dilanjutkan ke jenjang pertama di SMPN 19 Jakarta. Selanjutnya menempuh pendidikan di SMAN 3 Jakarta. Lalu penulis melanjutkan pendidikan ke perguruan tinggi negeri di Departemen Teknik Material dan Metalurgi Institut Teknologi Sepuluh Nopember.

Selama menempuh perkuliahan, penulis juga aktif di acara departemen maupun institusi. Penulis pernah menjadi panitia acara yang diadakan fakultas maupun insitusi seperti PETROLIDA 2016. Penulis juga tercatat pernah menjadi Ketua Matrice Futsal Club tahun 2016 dan 2017. Selain itu penulis juga pernah menjadi staff LDJ Ash-Haabul Kahfi Departemen Teknik Material pada tahun 2015-2016.

Penulis memiliki pengalaman kerja praktek di PT. Holcim Cilacap, Tbk. pada bulan Juli-Agustus 2017 dan memiliki topik selama kerja praktek dengan jujul “Analisa Kegagalan *Seal Oil Roller* Besar pada Mesin *Raw Mill Loesche* LM 59.42 PT. Holcim Tbk.”

Tugas akhir yang diambil penulis yaitu pada bidang Korosi dan Analisis Kegagalan dengan judul “Analisis Pengaruh Temperatur dan Media Pendingin pada Proses *Hardening* Material AISI 8655 Terhadap Sifat Mekanik Kekerasan dan Struktur Mikro Untuk *Hammer Crusher* PT. Semen Indonesia.”

(This page left intentionally blank)