ITS
Institut
Teknologi
Sepuluh Nopember

TUGAS AKHIR – TL 141584

ANALISIS PENGARUH VARIASI TEMPERATUR DAN MEDIA PENDINGIN PROSES *HARDENING* TERHADAP SIFAT MEKANIK DAN STRUKTUR MIKRO HAMMER CRUSHER

PANDU ADITYA
NRP. 02511440000032

Dosen Pembimbing
Ir. Rochman Rochiem, M.Sc.
Dian Mughni Felicia, S.T., M.Sc.

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

`

TUGAS AKHIR – TL141584

ANALISIS PENGARUH VARIASI TEMPERATUR DAN MEDIA PENDINGIN PROSES *HARDENING* TERHADAP SIFAT MEKANIK DAN STRUKTUR MIKRO HAMMER CRUSHER

PANDU ADITYA
NRP. 02511440000032

Dosen Pembimbing :
Ir. Rochman Rochiem, M.Sc.
Dian Mughni Felicia, S.T., M.Sc.

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

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

FINAL PROJECT – TL141584

ANALYSIS ON THE EFFECT OF TEMPERATURE VARIATION AND COOLING MEDIA OF PROCESS HARDENING ON MECHANICAL PROPERTIES AND MICROSTRUCTURE OF HAMMER CRUSHER

PANDU ADITYA
NRP. 02511440000032

Advisor:
Ir. Rochman Rochiem, M.Sc
Dian Mughni Felicia, S.T., M.Sc

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

(This page is left intentionally blank)

ANALISIS PENGARUH VARIASI TEMPERATUR DAN MEDIA PENDINGIN PROSES *HARDENING* TERHADAP SIFAT MEKANIK DAN STRUKTUR MIKRO *HAMMER CRUSHER*

TUGAS AKHIR

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

Oleh :
PANDU ADITYA PUTRA
02511440000032

Disetujui oleh Dosen Pembimbing Tugas Akhir :

1. Ir. Rochman Rochiem., M.Sc .....(Pembimbing 1)
2. Dian Mughni Felicia., S.T, M.Sc .....(Pembimbing 2)

SURABAYA
Januari 2018

Analisi Pengaruh Variasi Temperatur dan Media Pendingin Proses *Hardening* terhadap Sifat Mekanik dan Struktur Mikro *Hammer Crusher*

Nama Mahasiswa	**: Pandu Aditya Putra**
NRP	**: 02511440000032**
Jurusan	**: Teknik Material dan Metalurgi**
Pembimbing	**: Ir. Rochman Rochiem, M.Sc.**
	Dian Mughni F, S.T., M.Sc.

Abstrak

Clinker cooler adalah alat yang berfungsi mentrasportasikan *clinker* menuju *hammer crusher*. Salah satu bagian dari *clinker cooler* adalah *hammer crusher*. *Hammer crusher* merupakan sebuah alat untuk menghancurkan *clinker* yang dihasilkan oleh *rotary kiln*. Alat ini bekerja dengan *rotor* yang berputar dan menghantam *clinker*. Dari proses penggunaannya, *hammer crusher* sering mengalami keausan pada bagian *hammer* nya sehingga mengurangi umur pakai dari *hammer crusher*. Dalam penelitian ini, dilakukan analisis kegagalan dari *hammer crusher* dan solusi dari kegegalan tersebut berupa *hardening*. Pengujian yang dilakukan untuk menganalisis material ini adalah uji komposisi, uji metalografi, uji kekerasan, dan uji abrasif. Kegagalan disebabkan material tidak sesuai standar yang tertera pada ASTM A532. Solusi dari kegagalan ini yaitu perlakuan panas yang dapat untuk meningkatkan kekerasan adalah *hardening* dengan temperature 1050^{o}C, 1000^{o}C, dan 950^{o}C dengan waktu tahan 60 menit, yang kemudian di quench dengan media pendingin oli, *brine solution*, dan udara. Kemudian dilakukan uji hardness, metalografi, dan uji keausan untuk membandingkan pada kondisi awalnya. Setelah pengujian dilakukan, didapatkan hasil berupa kekerasan dan ketahanan aus maksimal pada temperatur 1000^{o}C dengan media pendingin *brine* dengan kekerasan 814 HV dan laju keausan sebesar 1,96 mm/jam. Dan kekerasan serta laju keausan yang paling rendah didapatkan adalah

pada temperatur 1050^{o}C dengan kekerasan 586 HV dan laju keausan 5 mm/jam.

Kata kunci: Hammer Crusher, clinker cooler, hardening, keausan, ASTM A532

ANALYSIS ON THE EFFECT OF TEMPERATURE VARIATION AND COOLING MEDIA PROCESS HARDENING ON MECHANICAL PROPERTIES AND MICROSTRUCTURE OF HAMMER CRUSHER

Name of Student	**: Pandu Aditya Putra**
NRP	**: 02511440000032**
Major	**: Material Engineering**
Advisor	**: Ir. Rochman Rochiem, M.Sc.**
	Dian Mughni F, S.T., M.Sc.

Abstract

Clinker cooler is a part of clinker cooler that use to make the clinker becoming smaller size. One part of the clinker cooler is the hammer crusher. Hammer crusher is an part engine to destroy clinker produced by rotary kiln. This tool works with rotating rotor and will hit the clinker. From the process of its use, hammer crusher often experience wear on the part of his hammer thus reducing the life of the hammer crusher. In this study, performed a failure analysis of the hammer crusher and the solution of the hardening in the form of hardening. Tests conducted to analyze the mechanical properties of wear and hardness using metallography and hardness test. Failure due to material is not fulfilled the ASTM A532 Standard. The solution of this failure was heat treatment which can increase the hardness with temperature of hardening are 1050ºC, 1000ºC, and 950ºC and holding time of 60 minutes, and then it quenched with oil coolant, brine solution, and air. Then it tested with hardness test, metallography, and wear test to compare with the initial condition. After the test, the results obtained were hardness and maximum wear resistance was at 1000ºC with brine cooling medium with hardness of 814 HV and wear rate of 1.96 mm / hour. And the lowest hardness and wear rate is obtained at 1050°C with hardness of 586 HV and wear rate of 5 mm / hour.

Keywords: Hammer Crusher, clinker cooler, hardening, wear, ASTM A532

(This page is left intentionally blank)

KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan kehadirat Allah SWT yang telah memberikan rahmat, anugerah, serta karunia-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir serta menyusun laporan Tugas Akhir dengan judul **"Analisis Pengaruh Variasi Temperatur dan Media Pendingin Proses *Hardening* terhadap Sifat Mekanik dan Struktur Mikro *Hammer Crusher*"**. Laporan tugas akhir ini dibuat untuk melengkapi Mata Kuliah Tugas Akhir yang menjadi salah satu syarat kelulusan mahasiswa di Departemen Teknik Material Fakultas Teknologi Industri Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya.

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 memperikan dukungan, bimbingan, dan kesempatan kepada penulis hingga laporan tugas akhir ini dapat diselesaikan, diantaranya:

1. Kedua orang tua dan keluarga yang telah memberikan banyak doa, dukungan, semangat, cinta kasih, motivasi, dan inspirasi.
2. Ir. Rochman Rochiem., M.Sc. dan Dian Mughni Felicia ST., M.Sc. selaku dosen pembimbing Tugas Akhir penulis yang telah membimbing dan memberikan banyak ilmu selama pengerjaan tugas akhir ini.
3. Dr. Agung Purniawan, ST., M,Eng selaku Ketua Departemen Teknik Material FTI – ITS.
4. Dr. Eng. Hosta Ardhyananta ST., M.Sc. selaku Koordinator Tugas Akhir Jurusan Teknik Material dan Metalurgi FTI- ITS.
5. Sigit Tri Wicaksono, S.Si., M.Si., PhD. selaku dosen wali yang sangat mengayomi selama penulis menjalani pendidikan di Jurusan Teknik Material dan Metalurgi.

6. Seluruh dosen dan karyawan Jurusan Teknik Material dan Metalurgi FTI-ITS yang telah membimbing penulis hingga terciptanya laporan ini.
7. Rekan-rekan mahasiswa Teknik Material dan Metalurgi.
8. Serta seluruh pihak yang belum bisa dituliskan satu per satu oleh penulis. Terimakasih atas dukungan dan bantuan teman- teman sekalian.

Penulis berharap laporan tugas akhir ini dapat bermanfaat bagi seluruh pihak yang membaca. Penulis juga menyadari masih terdapat banyak kekurangan dalam penulisan laporan tugas akhir ini, sehingga penulis sangat menerima kritik dan saran dari para pembaca yang dapat membangun demi kesempurnaan laporan tugas akhir ini.

Surabaya, 19 Desember 2017
Penulis,

Pandu Aditya
02511440000032

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL ..... **i**
LEMBAR PENGESAHAN ..... **v**
ABSTRAK ..... **vii**
ABSTRACT ..... **ix**
KATA PENGANTAR ..... **xi**
DAFTAR ISI ..... **xiii**
DAFTAR GAMBAR ..... **xvii**
DAFTAR TABEL ..... **xxi**
BAB I PENDAHULUAN
1.1 Latar Belakang 1
1.2 Rumusan Masalah 3
1.3 Tujuan Penelitian 3
1.4 Batasan Masalah 3
1.5 Manfaat Penelitian 4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA
2.1 Clinker Cooler 5
2.2 Pengertian *Hammer Crusher* 7
2.3 Material *Hammer Crusher* 8
2.4 Diagram Fase 10
2.5 Analisa Kegagalan 13
2.6 Besi Tuang 14
2.6.1 Besi Tuang Putih 15
2.6.2 *High Chromium Cast Iron* 16
2.7 Pengertian Keausan 18
2.8 Pengujian Komposisi 21
2.9 *Heat Treatment* 21
2.10 Pengujian Metalografi 27
2.11 Pengujian Kekerasan 28
2.12 Uji Kekerasan Vickers 28
2.13 Uji Abrasif (*Pin On Disc*) 29
2.14 Peneltiian Sebelumnya 31
BAB III METODOLOGI
3.1 Diagram Alir Penelitian 35
3.2 Metode Penelitian 37
3.3 Material yang Digunakan 39

3.4 Peralatan 39
3.5 Tahapan Penelitian 41
3.5.1 Review Dokumen Perusahaan 41
3.5.2 Preparasi Spesimen 41
3.5.3 Uji Komposisi 42
3.5.4 Pengamatan Makroskopik dan Mikroskopik 43
3.5.5 Proses Perlakuan Panas 44
3.5.6 Uji Kekerasan 45
3.5.7 Uji Abrasif 46
BAB IV ANALISIS DATA DAN PEMBAHASAN
4.1 Analisis Data 47
4.1.1 Analisis Data Operasi Material 47
4.1.2 Hasil Pengujian Makroskopik *Hammer Crusher* 48
4.1.3 Hasil Uji Komposisi Kimia *Hammer Crusher* 49
4.1.4 Hasil Proses Heat Treatment *Hammer Crusher* 49
4.1.5 Hasil Pengujian Mikroskopik *Hammer Crusher* 51
4.1.6 Hasil Pengujian Kekerasan *Hammer Crusher* 54
4.1.7 Hasil Pengujian Keausan *Hammer Crusher setelah di* Heat Treatment 56
4.1.8 Hasil Pengujian XRD *Hammer Crusher* setelah di *Heat Treatment* 57
4.2 Pembahasan 59
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN
5.1 Kesimpulan 65
5.2 Saran 65
DAFTAR PUSTAKA xxiii
LAMPIRAN xxv

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Komponen utama *clinker cooler*.....6
Gambar 2.2 *Hammer Crusher* 8
Gambar 2.3 Diagram Fasa Fe-Fe_3C.....11
Gambar 2.4 Diagram Fasa Fe-18% wt Cr-C.....12
Gambar 2.5 Struktur Mikro Besi Tuang Putih.....15
Gambar 2.6 Struktur Mikro *High Chromium Cast Iron* 16
Gambar 2.7 Mekanisme *Abrasive Wear* 19
Gambar 2.8 Proses Perpindahan logam yang diakibatkan oleh *Adhesive Wear*.....19
Gambar 2.9 *Flow wear* oleh aliran gesekan Plastis 20
Gambar 2.10 *Fatigue wear* karena retak di bagian dalam dan merambat.....20
Gambar 2.11 Diagram CCT untuk besi tuang 23
Gambar 2.12 Rentang temperatur austenitisasi pada perlakuan panas 25
Gambar 2.13 Tiga Tahapan pada *quenching* 27
Gambar 2.14 Skema Uji Ketahanan Aus 29
Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian 37
Gambar 3.2 Komponen *hammer crusher*.....39
Gambar 3.3 Kamera *Digital*.....40
Gambar 3.4 Mesin *wire cut*.....42
Gambar 3.5 Mesin uji *Optical Emission Spectroscopy* (OES) 43
Gambar 3.6 Alat Uji mikroskop optik 44
Gambar 3.7 Proses Hardening dengan variasi temperature dan media pendingin 44
Gambar 3.8 Alat uji *Universal Hardness Tester* 45
Gambar 3.9 Alat uji abrasif *Pin On-Disc*.....46
Gambar 4.1 *Hammer crusher assembly*.....47
Gambar 4.2 Gambar teknik material *hammer crusher* 48
Gambar 4.3 Foto makroskopik material *hammer crusher*.....49
Gambar 4.4 Struktur mikro *hammer crusher as-cast* 51
Gambar 4.5 Struktur mikro material *Hammer crusher* setelah proses *hardening*.....53

Gambar 4.6 Pembagian daerah indentasi.....54
Gambar 4.7 Grafik kekerasan material setelah *hardening* dan *quenching.* 56
Gambar 4.8 Grafik laju keausan material *hammer crusher*.....57
Gambar 4.9 Hasil XRD Material *Hammer Crusher*.....58

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Komposisi Kimia pada ASTM A532 8
Tabel 2.2 Kekerasan material pada ASTM A532..... 9
Tabel 2.3 Perbandingan kekerasan fasa yang terbentuk pada besi tuang putih paduan krom tinggi 17
Tabel 3.1 Komposisi kimia *hammer crusher*..... 39
Tabel 4.1 Nama Spesimen Pengujian 50
Tabel 4.2 Perhitungan volume karbida..... 54
Tabel 4.3 Nilai kekerasan material setelah perlakuan panas ... 55
Tabel 4.4 Hasil pengujian laju keausan material setelah perlakuan panas 56
Tabel 4.5 Hasil Uji XRD Material *Hammer Crusher* setelah Perlakuan panas..... 58

(*Halaman ini sengaja dikosongkan*)

BAB I
PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

PT. Semen Indonesia merupakan produsen semen terbesar di Indonesia. Pada awal tahun 2013 perseroan memiliki kapasitas terpasang sebesar 30 ton/tahun dan telah menjadi perusahaan semen terbesar di Asia Tengggara berdasarkan kapasitas terpasang dan menguasai sekitar 42% pangsa pasar semen domestik. PT. Semen Indonesia memiliki 4 anak perusahaan yaitu PT. Semen Gresik, PT. Semen Padang, PT. Semen Tonasa, dan Thang Long Cement. Untuk PT. Semen Indonesia sendiri memiliki 4 pabrik dengan kapasitas terpasang 8,5 juta ton semen per tahun yang berlokasi di Desa Sumberarum, Kec. Kerek, Tuban, Jawa Timur.

Proses produksi semen di PT. Semen Indonesia dimulai dari proses pengambilan bahan baku, dilanjutkan dengan proses pembuatan terak semen (*clinker*), proses penggilingan semen (*milling*), proses penyimpanan dan pengemasan semen (*packing*). Dimana pada proses pembuatan terak semen (*clinker*) dimulai dengan pemanasan awal, pengeringan dalam *rotary kiln,* dan proses pendinginan (*cooling*). Proses *packing* yaitu memasukan semen kedalam kemasan dan menyimpang kedalam gudang.

Pabrik Semen sendiri memiliki banyak komponen penunjang salah satunya yang berperan penting yaitu *Clinker Cooler*. *Cooler* berfungsi sebagai pendingin material yang keluar dari *kiln* yang biasa disebut dengan *clinker* (terak) sehingga fungsinya sangat penting untuk kelangsungan produksi *clinker* di Pabrik PT. Semen Indonesia. Pada industri semen, *clinker* yang sudah diproses dari awal sampai dipanaskan pada *rotary kiln* dengan temperatur ±1800^{o}C selanjutnya akan diturunkan dari temperatur ±1450^{o}C sampai *clinker* memiliki temperatur ±90 – 100^{o}C untuk selanjutnya akan dipecahkan dengan *hammer crusher*. (Khairil Anwar, 2011). Kemudian *clinker* yang masih

berada pada temperatur ± 100 – 250ºC akan dibawa menggunakan *pan conveyor* menuju *silo*.

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

Pada proses *overhaul* di *rotary kiln* dan *clinker cooler* di Tuban 1 untuk proses *maintenance*. Terdapat proses penggantian pada *hammer crusher* yang mengalami keausan, dimana pemakaian ideal pada *hammer crusher* Tuban 1 adalah 6 bulan, namun hanya bertahan kurang dari 3 bulan. Dari kasus tersebut dilakukan analisa kegagalan dengan menguji komposisi dan kekerasan material *hammer crusher* yang ada di PT. Semen Indonesia (Persero) Tbk. Diperoleh komposisi yang tidak sesuai dengan standar material *hammer crusher* dan kekerasan yang rendah serta jauh dari standar. Disamping itu, *hammer crusher* baru harus diganti secara keseluruhan. Sehingga membutuhkan biaya yang tidak sedikit dan juga menghambat proses produksi PT. Semen Indonesia. Material *hammer crusher* ini mengalami keausan dikarenakan adanya beban yang terus menumbuk pada material yang menyebabkan hilangnya sebagian material *hammer crusher*. Untuk mengurangi tingkat keausan yang dialami pada *hammer crusher* maka dibutuhkan peningkatan sifat kekerasan dan ketangguhan pada material tersebut. Untuk meningkatkan sifat-sifat tersebut, maka material *hammer crusher* akan diberi perlakuan *hardening*. Proses *hardening*, akan dipanaskan pada suhu 950ºC, 1000ºC, dan 1050ºC lalu material akan di quenching dengan 3 media pendingin berbeda. Temperatur yang digunakan sebagai variabel adalah temperatur diatas A1 dimana Austenit

dapat terbentuk. Setelah diberi perlakuan *hardening*, akan dilakukan uji kekerasan, uji struktur mikro menggunakan mikroskop stereo. Dari penelitian ini diharapkan dapat mengetahui hasil proses *hardening* sebagai solusi permasalahan kegagalan komponen *hammer crusher* pada *clinker cooler*.

1.2 Rumusan Masalah

Rumusan masalah dalam penelitian ini adalah:

1. Bagaimana pengaruh temperatur *hardening* pada sifat mekanik dan struktur mikro material *hammer crusher* sebagai solusi kegagalan ?
2. Bagaimana pengaruh media pendingin pada sifat mekanik dan struktur mikro material *hammer crusher* sebagai solusi kegagalan?

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan penelitian ini adalah:

1. Menganalisa pengaruh proses *perlakuan* dengan variasi temperatur *hardening* terhadap sifat mekanik dan struktur mikro komponen *hammer crusher* pada *clinker cooler* sebagai solusi kegagalan
2. Menganalisa pengaruh proses *perlakuan* dengan variasi media pendingin terhadap sifat mekanik dan struktur mikro sebagai solusi kegagalan yang terjadi pada komponen *hammer crusher* pada *clinker cooler.*

1.4 Batasan Masalah

1. Desain *hammer crusher* memenuhi standar operasional
2. Material dianggap homogen di semua sisi
3. Diasumsikan tidak ada penurunan temperatur saat material uji keluar dari dapur pemanas
4. Lama waktu pemindahan spesimen uji dari dapur ke media pendingin diasumsikan konstan pada semua spesimen uji.

1.5 Manfaat Penelitian

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

1. Masukan untuk hal-hal yang dapat dilakukan agar kegagalan pada *hammer crusher* dapat ditanggulangi
2. Referensi pemilihan bahan serta *maintenance* pada *hammer crusher*.
3. Referensi perlakuan panas pada *hammer crusher*.

BAB II
TINJAUAN PUSTAKA

2.1 *Clinker Cooler*

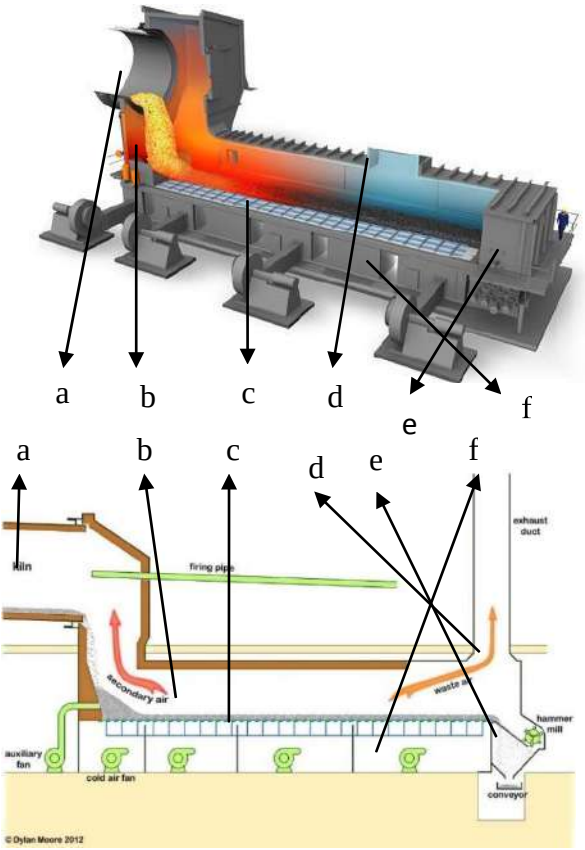
Dalam proses pembuatan semen, setelah dilakukan proses pembakaran (*burning process)*, tahap selanjutnya adalah proses pendinginan material yang dilakukan pada *clinker cooler*.

Pada industri semen, *clinker* yang sudah diproses dari awal sampai dipanaskan pada *rotary kiln* dengan temperatur ±1800°C selanjutnya diturunkan dari temperatur ±1450°C sampai clinker dengan temperatur ±100 - 250°C untuk selanjutnya dihancurkan oleh *hammer crusher*. Untuk keperluan pendinginan tersebut digunakan alat yang disebut *crossbar*.

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

Pada *clinker cooler* proses pendinginan *clinker* dilakukan dengan mengalirkan udara dari sejumlah fan, yang selanjutnya dihembuskan melalui celah – celah landasan (*crossbar*) yang bergerak mengantarkan *clinker* menuju ke *hammer*. Untuk keperluan pendinginan tersebut digunakan alat yang disebut *grate cooler*. Pada *grate cooler* proses pendinginan terak *(clinker)* dilakukan dengan mengalirkan udara dari sejumlah *fan*, yang selanjutnya dihembuskan melalui celah – celah landasan *(grate)* yang bergerak mengantarkan terak *(clinker)* menuju ke *crusher* untuk proses selanjutnya. (Anwar, 2011) Kapasitas desain *clinker cooler* adalah 7800 ton / hari sedangkan luas permukaan efektifnya adalah 160.6 m^2, *clinker cooler* terdiri dari 3 bagian utama, diantaranya adalah *inlet*, *existing*, dan *extended*.

(Firdaus, 2007). Proses *cooling* dari terak semen (*clinker)* pada *clinker cooler* adalah proses yang perlu menjadi perhatian bagi produksi semen, hal ini disebabkan proses *cooling* ini merupakan salah satu faktor dalam menghasilkan *clinker* yang berkualitas dan sesuai dengan yang diinginkan. (Silika *ratio*:2.44, Alumina *ratio*:1.54, *Lime saturation*: 96.2). (Anwar, 2011)



Gambar 2.1 Komponen *Clinker cooler (FLsmitdh, 2016)*

2.2 Pengertian *Hammer Crusher*

Hammer Crusher merupakan sebuah alat untung menghancurkan *clinker* yang dihasilkan oleh *rotary kiln*. Alat ini bekerja dengan *rotor* yang berputar dan akan menghantam *clinker*. Alat ini adalah sebuah alat penggiling yang mempunyai *rotor* yang dapat berputar dan mempunyai alat pemecah berbentuk palu dimana palu-palu tersebut digantung pada suatu rotor/piringan/silinder yang dapat berputar dengan cepat. Gambar 2.2 menunjukkan komponen *hammer crusher*, (a) *rotor* yang berfungsi menggerakan (b) *hammer crusher* dan (c) *hammer die* yang berfungsi sebagai pemisah antara *hammer* satu dengan yang lainnya. Cara Kerja dari *hammer crusher* ini yaitu dengan cara *hammer crusher* bergerak dengan putaran tertentu dan bertubrukan dengan *clinker* yang di transportasikan dari *rotary kiln* oleh *crossbar*. Kontak yang terjadi adalah diujung *hammer crusher* dan *clinker* yang bergerak. Hal ini terjadi terus menerus sehingga komponen *hammer crusher* ini mengalami keausan pada bagian ujung komponen. Hal ini menyebabkan proses produksi terganggu karena ukuran dari *clinker* yang dihasilkan dari *hammer crusher* yang mengalami keausan menjadi lebih besar dan mempersulit proses setelah di *crusher*. Oleh karena itu, untuk mendukung proses produksi semen, maka dibutuhkan pemeriksaan dan perawatan baling-baling *hammer*/palu sangat penting dan rutin, dan juga berhubungan dengan mengubah baling-baling yang mempercepat tingkat putaran dan bergantung pada keras lunaknya obyek yang akan di giling. (Edahwati, 2009)

Gambar 2.2 *Hammer Crusher* (FLSmidth, 2016)

2.3 Material *Hammer Crusher*

Standar yang digunakan dalam material *hammer crusher* sesuai dengan ASTM A532 adalah besi tuang putih (*white cast iron).* Dalam standar ini, material *white cast iron* di dalam ASTM A532 adalah untuk aplikasi yang meliputi *grinding, milling, manufacturing industries,* dan *earth handling.* Spesifikasi fasa yang terbentuk pada besi cor putih antara lain perlit, ledeburit dan sementit. Tabel 2.1 menunjukkan komposisi kimia besi cor putih pada ASTM A532 antara lain sebagai berikut :

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

Nama	C (%)	Mn (%)	Si (%)	Ni (%)	Cr(%)	Mo (%)	S (%)	P (%)
I A	2.8 - 3.6	2	0.8	3.3 - 5.0	1.4 - 4.0	1.0	0.15	0.3
I B	2.4 - 3.0	2	0.8	3.3 - 5.0	1.4 - 4.0	1.0	0.15	0.3
I C	2.5 - 3.7	2	0.8	4.0	1.0 - 2.5	1.0	0.15	0.3
I D	2.0 -	2	2	4.5-	7.0 - 11.0	1.5	0.15	0.1

Nama	C (%)	Mn (%)	Si (%)	Ni (%)	Cr(%)	Mo (%)	S (%)	P (%)
	3.3			7.0				
II A	2.0 - 3.3	2	1.5	2.5	11.0 - 14.0	3.0	0.06	0.1
II B	2.0 - 3.3	2	1.5	2.5	14.0 - 18.0	3.0	0.06	0.1
II D	2.0 - 3.3	2	1.0-2.2	2.5	18.0 - 23.0	3.0	0.06	0.1
III A	2.0 - 3.3	2	1.5	2.5	23.0 - 30.0	3.0	0.06	0.1

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

Tabel 2.2 Kekerasan material pada ASTM A532 (ASTM A532, 1999)

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

Sifat mekanik dari ASTM A532 juga bermacam-macam,

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

2.4 Diagram Fasa

2.4.1 Fe – Fe_3C

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

Diagram fase besi-besi karbida merupakan diagram yang cukup kompleks, tetapi penggunaannya dalam dunia teknik hanya digunakan sampai unsur karbon sebesar 6,67%. Dan juga bagian bagian seperti besi murni sampai senyawa *interstitial*-nya dan karbida besi Fe3C.

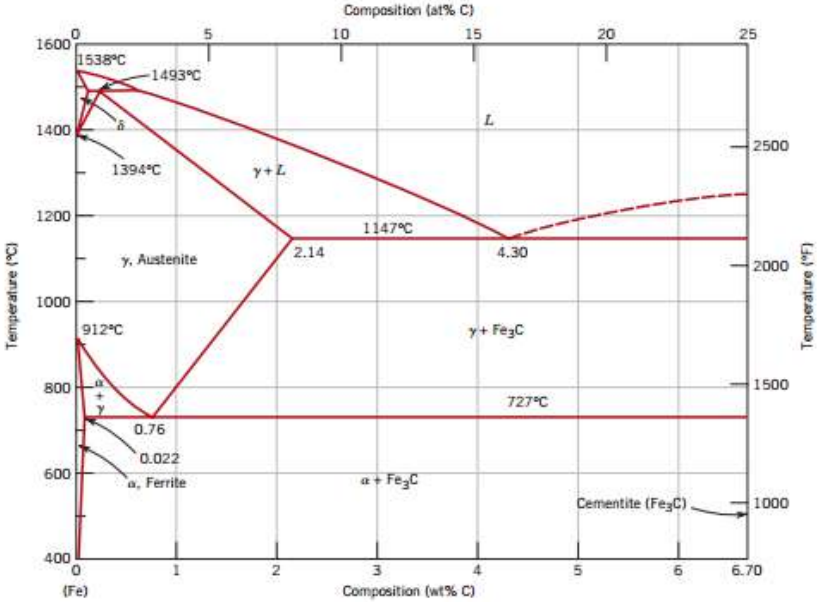
Pada keadaan yang betul – betul ekuilibrium karbon akan berupa karbon bebas (grafit), sehingga akan diperoleh diagram kesetimbangan besi - grafit. Perubahan – perubahan dalam keadaan ekuilibrium berlangsung terlalu lama. Seharusnya karbida besi akan terjadi pada temperatur kamar (pada temperatur sekitar 700^{o}C pun perubahan ini akan makan waktu bertahun – tahun). Dalam hal ini karbida besi dikatakan sebagai suatu struktur yang metastabil. Diagram fase besi – karbida dapat dilihat pada Gambar 2.3.

Dari Gambar 2.3 tampak bahwa diagram fase ini memiliki tiga garis mendatar yang menandakan adanya reaksi yang berlangsung secara *ishotermal*, yaitu:

- Pada 1496^{o}C, kadar karbon antara 0.10 – 0.50 %, berlangsung reaksi peritektik. L + δ -> γ (daerah ini tidak begitu penting untuk dunia teknik)
- Pada 1130^{o}C, kadar karbon antara 2,0 – 6,67 %,

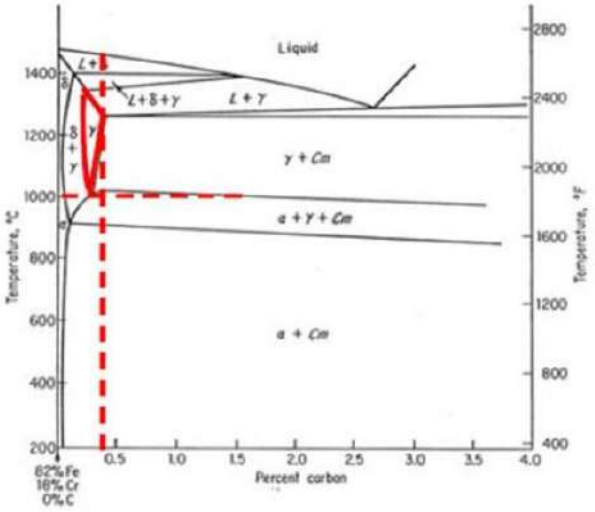
berlangsung reaksi eutektik. Liquid berubah menjadi austenit dan sementit.

- Pada 723^{O}C, kadar karbon antara 0.025 – 6.67 %, berlangsung reaksi *eutectoid*. Austenit berubah menjadi alpha ferit dan sementit.



Gambar 2.3 Diagram Fasa Fe – Fe_3C (Callister, 1997)

2.4.2 Fe – 18% wt Cr – C



Gambar 2.4 Diagram Fasa Fe – 18%wt Cr – C (Callister, 1997)

Dari Gambar 2.4 diagram Fe – 18%wt Cr – C yang tertera diatas, garis putus-putus merah merupakan batas baja dapat dikategorikan sebagai baja. Disebelah kanan dari garis merah sudah dapat dikategorikan sebagai besi tuang (*cast iron*). Oleh sebab itu, dari hasil uji komposisi didapatkan bahwa kadar C pada *hammer crusher* sebesar 1,7% maka sudah dapat dikategorikan sebagai *cast iron.* Ini disebabkan karena tingginya paduan chromium pada material yang mampu menggeser titik eutektoid kearah kiri atas sehingga cast iron bisa didapatkan dengan unsur carbon yang lebih sedikit.

2.5 Analisa Kegagalan

Analisa kegagalan adalah pemeriksaan terhadap komponen atau struktur yang bekerja tidak sebagaimana harusnya atau mengalami degradasi atau kerusakan pada dan mencari kondisi yang menyebabkan kegagalan tersebut bisa terjadi. Tujuan utama dari analisa kegagalan adalah mengetahui *root cause of failure* atau penyebab utama terjadinya kegagalan, mengetahui mekanisme terjadinya kegagalan, dan memberikan solusi untuk menyelesaikan masalah tersebut. Analisa kegagalan dilakukan untuk menghubungkan analisa yang dilakukan terhadap bukti pemahaman secara kuantitatif, latar belakang kegagalan, informasi pada tahap perancangan, proses manufaktur, dan data operasi atau sejarah penggunaan terhadap produk atau sistem yang gagal. (Duddy,2016)

Analisa kegagalan dilakukan dengan mengamati komponen-komponen atau struktur yang rusak. Oleh sebab itu maka pengamatan secara makroskopis dan mikroskopis perlu dilakukan secara bertahap. Pengujian mekanik juga diperlukan untuk mengetahui kegagalan yang disebabkan oleh gaya-gaya yang bekerja dari lingkungan kerja komponen.

Umumnya, komponen dapat dikategorikan mengalami kegagalan jika komponen tidak berfungsi sesuai dengan desain atau fungsinya secara efisien. Bentuk umum kegagalan mekanik adalah sebagai berikut:

1. *Yielding* komponen akibat pembebanan statis. *Yielding* yang terjadi mengakibatkan deformasi plasitis yang disebabkan oleh kondisi *misalignment* atau terjadinya gangguan pada pergerakan mekanik
2. *Creep failure*, terjadi saat *creep strain* melebihi toleransi yang diijinkan dan menyebabkan interferensi antar komponen. Pada kasus ekstrim, kegagalan terjadi melalui *rupture* yang terjadi pada komponen yang mengalami *creep.*
3. *Wear failure*, terjadi pada komponen yang mengalami gerakan relatif satu sama lainnya. Keausan dapat

mengakibatkan kelonggaran bantalan di luar toleransi yang diijinkan dan gerakan yang dilakukan menjadi tidak teliti. Jenis keausan yang paling umum adalah *galling* dan *seizure* pada komponen.

4. *Fracture failure*, diakibatkan pembenana statis yang berlebih. Kegagalan ini dapat dikategorikan sebagai tingkat akhir dari *yielding failure.* Kegagalan ini dapat terjadi pada material ulet dan getas.
5. *Fatigue fracture* akibat tegangan berlebih, cacat pada material, atau tegangan yang melebihi batas. Biasanya kegagalan jenis ini terjadi secara tiba-tiba tanpa adanya gejala visual yang terlihat.

2.6 Besi Tuang

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

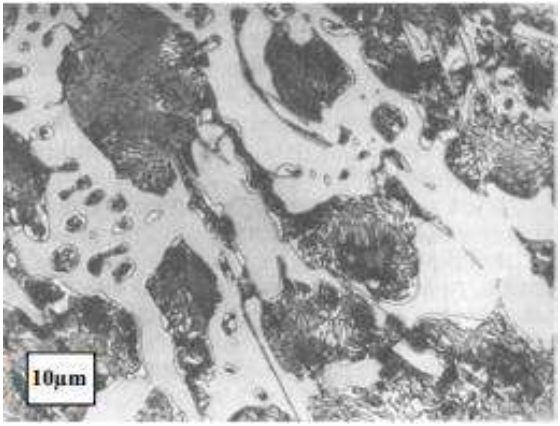
Menurut Sidney H. Avner (1997) secara umum besi tuang dikelompokkan menjadi:

a. Besi tuang putih *(white cast iron)*, di mana seluruh karbon berupa sementit.
b. Besi tuang mampu tempa *(malleable cast iron)*, di mana karbonnya berupa *temper* karbon, dengan matriks perlitik atau ferritik.
c. Besi tuang kelabu *(grey cast iron)*, di mana karbonnya berupa grafit berbentuk *flake* (serpih) dengan matriks ferritik atau perlitik.
d. Besi tuang nodular *(nodular cast iron)*, di mana

karbonnya berupa grafit nodular dengan matriks ferritik atau perlitik

2.6.1 Besi Tuang Putih (*White Cast Iron*)

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



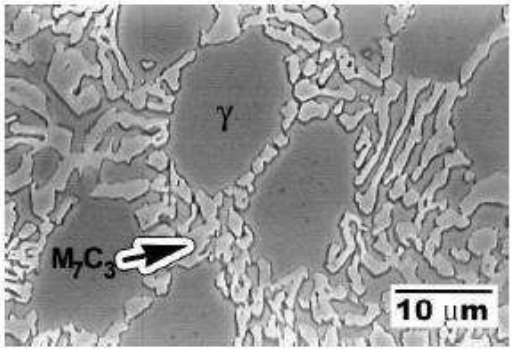
Gambar 2.5 Struktur Mikro Besi Tuang Putih perbesaran 500x (Smallman & Bishop)

2.6.2 *High Chromium Cast Iron*

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

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

Salah satu sifat mekanik yang dipengaruhi oleh fasa yang terbentuk pada *high chromium white cast irons* adalah kekerasan. Tabel 2.3 berikut menunjukkan perbandingan kekerasan dari setiap fasa pada *high chromium white cast irons* .



Gambar 2.6 Struktur Mikro *high chromium cast iron* (Bedolla, et al, 2013)

Tabel 2.3 Perbandingan Kekerasan Fasa yang Terbentuk pada *High Chromium White Cast Iron* (Kopycinski, 2014; Wiengmoon, 2011)

Fasa	Struktur Kristal	Nilai Kekerasan (HV)
Austenit	FCC	210
Perlit	-	265
Martensit	Tetragonal	940
Bainit	-	660
M_3C	Ortorombik	800-1100
M_6C	FCC	1200-1800
M_7C_3	Hexagonal	1000-1800
$M_{23}C_6$	FCC	1000

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

Karbida pada krom yang terbentuk pada paduan dengan kadar krom 10-25% adalah karbida rumus senyawa M_7C_3 dan untuk karbida krom dengan senyawa berupa $M_{23}C_6$ adalah untuk paduan dengan kadar krom lebih dari 30% (Wiengmoon,2011)

Sifat mekanik yang dimiliki *white cast iron* yaitu kekuatan tarik dan ketangguhan. Pada Tabel 2.3 menunjukkan kekuatan trasversal, defleksi serta ketangguhan dari berbagai jenis *white cast iron*. (*ASM Handbook Vol.1, 1991).*

Pada penelitian yang dilakukan oleh Karantzalis pada tahun 2009, didapatkan struktur mikro dari material *white cast iron* yang telah dikenakan perlakuan panas, fasa yang terbentuk adalah karbida krom yang berbentuk *network* atau saling

berhubungan satu sama lain dengan warna terang, dan dikelilingi oleh fasa austenit dan juga martensit yang berada diantara karbida krom dengan warna martensit yang lebih gelap jika dibandingkan dengan fasa austenit nya. (Karantzalis, 2009)

2.7 Pengertian Keausan

Keausan adalah perubahan dimensi material yang disebabkan perpindahan permukaan material akibat pengikisan sebagai hasil dari aksi mekanik (Hamzah, 2008). Keausan umumnya didefinisikan sebagai kehilangan material secara progresif akibat adanya gesekan (friksi) antar permukaan padatan atau pemindahan sejumlah material dari suatu permukaan sebagai suatu hasil pergerakan relatif antara permukaan tersebut dan permukaan lainnya (Yuwono, 2008). Keausan biasa terjadi pada setiap material yang mengalami gesekan dengan material lain. Keausan bukan merupakan sifat dasar material, melainkan respons material terhadap sistem luar (kontak permukaan). Mekanisme keausan dikelompokkan menjadi dua kelompok, yaitu keausan yang penyebabnya didominasi oleh perilaku mekanis dari bahan dan keausan yang penyebabnya didominasi oleh perilaku kimia dari bahan (Zum Gahr, 1987) sedangkan menurut Koji Kato, tipe keausan terdiri dari tiga macam, yaitu *mechanical*, *chemical* dan *thermal wear* (Hokkirigawa and Kato K, 1989).

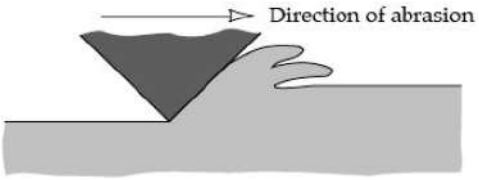
a. Keausan Karena Perilaku Mekanis (*Mechanical Wear*)

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

a. *Abrasive wear*.

Keausan ini terjadi jika partikel keras atau permukaan keras yang kasar menggerus dan memotong permukaan sehingga mengakibatkan hilangnya material yang ada dipermukaan tersebut

(*earth moving equipment*) Contoh: Proses permesinan seperti *cutting*



Gambar 2.7 Mekanisme *abravise wear* akibat proses *cutting* (Stachowiak, 2000)

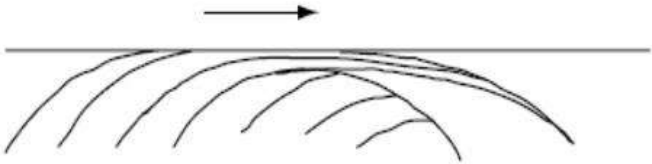
b. *Adhesive wear*.

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

Gambar 2.8 Proses Perpindahan Logam karena *Adhesive Wear* (Stachowiak, 2000)

c. *Flow wear*.

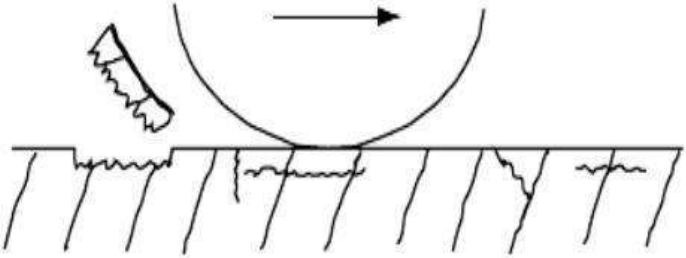
Keausan ini terjadi jika partikel permukaan yang lebih lunak mengalir seperti meleleh dan tergeser plastis akibat kontak dengan lain



Gambar 2.9 *Flow wear* oleh penumpukan aliran geseran plastis (Stachowiak, 2000)

d. *Fatigue wear*.

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



Gambar 2.10 *Fatigue wear* karena retak di bagian dalam dan merambat (Stachowiak, 2000)

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

2.8 Pengujian Komposisi

Pengujian komposisi kimia merupakan suatu pengujian untuk mengetahui kandungan unsur kimia yang terdapat pada suatu logam benda uji. Komposisi kimia dari logam sangat penting untuk menghasilkan sifat logam yang baik. *Spectrometer* adalah alat yang mampu menganalisa unsur-unsur logam induk dan campurannya dengan akurat, cepat dan mudah dioperasikan.

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

2.9 *Heat Treatment*

Perlakuan panas adalah kombinasi operasi pemanasan dan pendinginan terhadap logam atau paduan dalam keadaan padat dengan waktu tertentu, dimaksudkan untuk memperoleh sifat tertentu (Rochman Rochiem, 2009). Secara umum heat treatment dibagi dalam tiga tahap, yaitu:

1. Pemanasan sampai suhu tertentu sesuai dengan proses heat treatment dan dengan kecepatan tertentu tergantung 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)

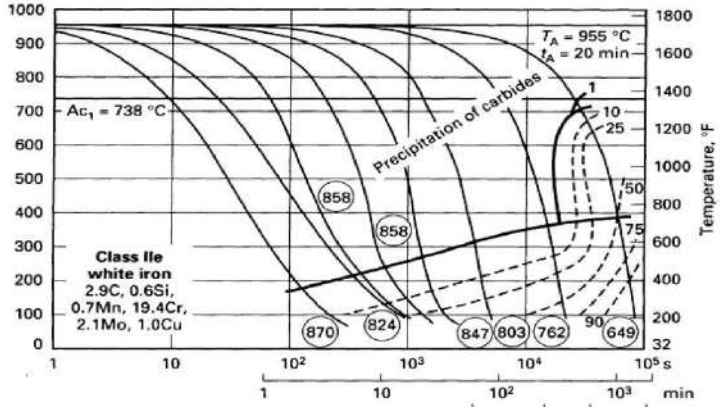
Temperatur austenisasi dari material besi tuang putih paduan krom tinggi dimulai dari temperatur 800^{o}C hingga maksimum pada temperatur 1000^{o}C. Jika temperatur *hardening* yang digunakan melebihi batas tersebut, maka butir austenit saat pemanasan akan bertambah besar dan namun kromium yang berikatan dengan karbon tidak maksimum. Dan semakin besarnya ukuran butir menyebabkan penurunan tegangan dalam butir dan kekerasan yang didapat juga akan menurun. (Wiengmoon, 2011)

2.9.1 *Hardening*

Baja dikeraskan dengan austenitisasi, pendinginan cepat *(quenching)*, dan kemudian tempering untuk mencapai kekerasan akhir. Baja memiliki komposisi yang berbeda-beda maka dari itu penting untuk memahami ketebalan maksimum yang dapat dikeraskan pada suatu media pendingin yang spesifik, misalnya air atau media oli, dan memperkirakan variasi kekuatan akhir dan keuletan yang dapat diperoleh pada temperatur *tempering* yang berbeda-beda. Prosedur untuk quenching dan *tempering* seperti pada Gambar 2.12 *Tempering* tidak digunakan untuk mengeraskan baja. Baja dikeraskan dengan austenitisasi dan *quenching*. *Tempering* dilakukan untuk mengembalikan keuletan yang hilang saat dikeraskan dan biasanya penghalusan *(softening)* diperoleh

dengan *tempering*.

Kandungan karbon sangat penting terhadap kemampuan suatu baja untuk dikeraskan. Keuletan berkurang dengan meningkatnya kandungan karbon, kandungan karbon pada umumnya dijaga sekitar 0,45% pada baja teknik. Penambahan unsur paduan akan menggeser diagram ke kanan, sehingga mempermudah benda kerja yang tebal untuk dikeraskan.



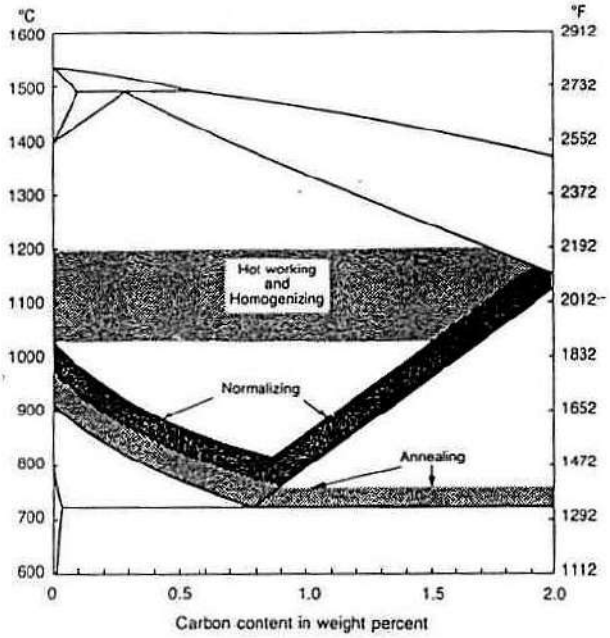
Gambar 2.11 Diagram CCT untuk besi tuang (ASM,2001)

Fasa yang diharapkan didapat pada proses *hardening* adalah martensit. Martensit merupakan fasa metastabil yang memiliki tegangan yang cukup tinggi pada butirnya dan memiliki akan menaikkan kekerasan dari material yang memiliki fasa martensit ini.

2.9.2 *Austenitisizing*

Pada proses austenitisasi, baja dipanaskan sampai daerah austenit (ɣ) dan ditahan selama beberapa waktu tertentu untuk melarutkan karbida sampai menjadi larutan padat austenit. Temperatur yang dibutuhkan untuk melakukan austenitisasi pada kadar karbon tertentu seperti pada Gambar 2.13

Peningkatan kadar karbon, temperatur berkurang sepanjang garis A3 sampai mencapai minimum pada A1, komposisi eutektoid (0,8%), dan kemudian meningkat sepanjang garis Acm . 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 austenitisasi perlu dijaga serendah mungkin untuk mengurangi retak dan distorsi, mengurangi oksidasi dan dekarburisasi, dan mengurangi pertumbuhan butir (Campbell, 2008). Temperatur yang dibutuhkan untuk mencapai 100% austenit padaa baja *hypereutektoid* 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.



Gambar 2.12 Rentang temperature austenitisasi pada perlakuan panas (Campbell, 2008)

2.9.3 *Cooling*

Proses perlakuan panas *hardening* dilakukan dengan memanaskan baja hingga mencapai temperatur austenitisasi, ditahan beberapa waktu tertentu pada temperatur tersebut, lalu didinginkan dengan cepat *(quenching)*, sehingga diperoleh martensit. Pada suatu benda kerja yang dikeraskan maka kekerasan yang terjadi akan tergantung pada seberapa banyak martensit yang terbentuk dan kekerasan martensit itu sendiri. Banyaknya martensit yang akan terjadi tergantung pada seberapa banyak austenit yang terjadi 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 austenitisasi *(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 cukup. Pendinginan dengan air menghasilkan laju pendinginan tercepat juga menghasilkan tegangan sisa yang paling tinggi sehingga dapat menghasilkan distorsi dan retak. Terdapat tiga tahapan hilangnya panas selama *quenching* pada media *liquid*, seperti pada Gambar 2.14, 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 inti *(nucleate boiling)* dari *quenchant* pada logam. Panas secara cepat dilepas dari permukaan akibat kontak cairan pendingin 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 2.13 Tiga Tahapan pada *quenching* (Campbell, 2008)

2.10 Pengujian Metalografi

Pengujian metalografi atau mikrostruktur bertujuan untuk mengetahui fasa, bentuk, dan ukuran dari struktur mikro pada material. Selain itu juga untuk memprediksi mikrostruktur yang akan terbentuk setelah adanya proses *hardening.* Pengujian ini menggunakan standar ASTM E3 dengan tahapan yang dilakukan adalah sebagai berikut:

1. Tahap Persiapan
    - *Cutting*: Mereduksi ukuran spesimen yang akan diuji menggunakan gergaji mesin/manual.
    - *Mounting*: Membuat pegangan untuk mempermudah pemegangan spesimen saat melakukan proses *grinding*.
    - *Grinding*: Menggosok spesimen dengan amplas silikon karbida (SiC) yang dimulai dari grade 80 hingga grade 2000. Sehingga akan diperoleh permukaan yang halus.
    - *Polishing*: Memoles spesimen menggunakan pasta alumina dengan tujuan untuk memastikan tidak ada goresan pada permukaan yang akan diujikan.

- *Etching*: Mencelupkan permukaan spesimen uji kedalam larutan etsa. Larutan etsa yang digunakan tergantung dari material yang akan diujikan.

2. Tahap Pengamatan
   Tahap ini dilakukan untuk mengamati struktur mikro yang terdapat dalam material yang diujikan menggunakan mikroskop optik. Pengamatan ini dilakukan dengan beberapa kali perbesaran.

2.11 Pengujian Kekerasan

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

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

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

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

2.12.Uji Kekerasan Vickers

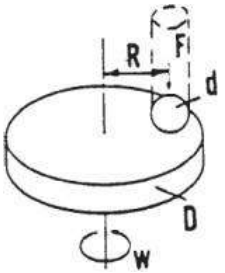
Uji kekerasan *Vickers* menggunakan penumbuk piramida intan yang dasarnya berbentuk bujur sangkar. Besarnya sudut antara permukaan-permukaan pIramida yang saling berhadapan adalah 136^0 . Sudut ini dipilih karena nilai tersebut mendekati sebagian besar nilai perbandingan yang diinginkan antara

diameter lekukan dan diameter bola penumbuk pada uji kekerasan *brinell*. Angka kekerasan piramida intan *(DPH*), atau angka kekerasan *Vickers* (*VHN* atau *VPH*), didefinisikan sebagai beban dibagi luas permukaan lekukan (Dieter, 1987). Pada prakteknya luas ini dihitung dari pengukuran mikroskopik panjang diagonal jejak. VHN dapat ditentukan dari persamaan (2.1) berikut :

$$VHN = \frac{2P \sin\left(\frac{\theta}{2}\right)}{L^2} = \frac{1{,}845P}{L^2} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (2.1)$$

2.13 Uji Abrasif (*Pin On Disc*)

Pengujian ini mengacu pada ASTM G99 mengenai metode pengujian standar untuk keausan dengan peralatan *pin on disk.* Pengujian ini mencakup prosedur laboratorium untuk menentukan dan memperkirakan keausan material akibat gesekan. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada gambar berikut.



Gambar 2.14 Skema pengujian ketahanan aus dengan metode *pin on disk* (ASTM G99, 2003)

Gambar 2.15 menunjukkan gambar skema dari pengujian ketahanan aus menggunakan sistem *pin-on-disc*. Ada beberapa sistem yang biasa digunakan untuk sistem *pin-on-disc*, antara lain sistem terdiri dari poros yang bergerak dan penjepit untuk menahan *disk* yang berputar, tuas untuk menahan pin dan alat tambahan untuk menempatkan beban yang diberikan pada pin.

Pengujian ini dapat diaplikasikan pada berbagai jenis material, salah satu ketentuan yang dibutuhkan adalah spesimen memiliki dimensi tertentu yang dapat di persiapkan 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 *disk* antara 30-100 mm, serta memiliki ketebalan dari 2-10 mm.

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

Dalam melakukan pengujian, ada beberapa prosedur yang harus dilakukan. Di antaranya yaitu pertama, mempersiapkan spesimen dan membersihkannya dari berbagai pengotor yang ada pada permukaan. Setelah itu, melakukan pengukuran dimensi (sampai ketelitian 2.5µm) dan menimbang berat (sampai ketelitian 0,001 g). Selanjutnya memasukkan *disk* ke *holding device* dan *pin* ke *holder*. Lalu memberikan pembebanan yang sesuai untuk *pin* terhadap *disk* dan menetapkan rpm yang dibutuhkan (harus konstan). Setelah persiapan selesai, maka pengujian dapat dilakukan.

Setelah melakukan pengujian, apabila dalam alat pengujian tidak terdapat suatu pencatat otomatis yang dapat langsung mengeluarkan hasil dari *volume loss* yang dihasilkan selama pengujian, maka harus dilakukan perhitungan untuk menentukan *volume loss.* Hasil dari pengujian ini disarankan dalam bentuk *volume loss* dalam mm^3 berdasarkan prosedur yang spesifik. Hasil yang didapat dari pengujian adalah *mass loss* berdasarkan perhitungan selisih antara massa awal dan massa akhir. Perhitungan laju keausan dapat dihitung dengan rumus dibawah ini:

$$Laju\ Keausan = Ketebalan\ awal - Ketebalan\ Akhir \text{.....(2.2)}$$

$$Volume\ Keausan = \frac{Berat\ Keausan\ (gram)}{Berat\ jenis\ (\frac{gram}{mm^3})} \text{ .....(2.3)}$$

$$Faktor\ Keausan = \frac{volume\ keausan\ (mm^3)}{Beban\ (N) x\ jarak\ tempuh\ (m)} \text{..... (2.4)}$$

$$Konversi\ \left(\frac{mm}{jam}\right) = \frac{Laju\ Keausan\ (mm)}{menit} x\ 60\ \frac{menit}{jam} \text{.....(2.5)}$$

2.14 Penelitian Sebelumnya

Dari penelitian "Karakterisasi struktur mikro dan sifat mekanik besi tuang putih paduan krom tinggi hasil *thermal hardening* aplikasi *grinding ball*" yang diteliti oleh Nurjaman padah tahun 2012, meneliti tentang struktur mikro yang dihasilkan dari material besi tuang putih paduan krom tinggi setelah diberi perlakuan *thermal hardening*.

Variasi yang digunakan dalam *thermal hardening* penelitian ini adalah dengan variasi perlakuan panas, temperatur tempering, dan media pendingin yang digunakan. Perlakuan panas yang digunakan adalah *quenching* dan *tempering*, dengan temperatur *tempering* yang digunakan adalah 250℃, 300℃, dan 350℃.

Hasil dari penelitian ini, didapatkan struktur mikro dari temperatur *tempering* 300℃ memiliki karbida krom yang lebih halus jika dibandingkan dengan temperatur *tempering* 250℃ dan 350℃. Dimana Struktur karbida krom kasar cenderung akan berdampak negatif terhadap sifat mekanik material logam. Pada besi tuang putih paduan krom tinggi, struktur karbida halus dalam matriks akan memberikan kombinasi yang sangat baik antara kekerasan dan ketangguhan jika dibandingkan dengan struktur karbida kasar (Nurjaman, 2012)

Pada penelitian tentang pengaruh viskositas media celup

terhadap kekerasan dan struktur mikro *martensitic white cast iron* yang dilakukan oleh Subardi pada tahun 2011, meneliti variasi kekentalan media celup terhadap kekerasan struktur mikro dari *martensitic white cast iron*. Spesimen uji yang digunakan dalam penelitian adalah *martensitic white cast iron* dengan kandungan kromium sebesar 12%, 17%, dan 21%. Dan media pendingin yang digunakan adalah oli dengan kekentalan SAE 10, SAE 30, dan SAE 50.

Dari penelitian yang dilakukan, didapatkan hasil kekerasan paling tinggi dari *martensitic white cast iron* ini adalah spesimen Cr 12 yang dicelup kedalam SAE 10 dengan nilai kekerasan Vickers sebesar 1017,5 Kg/mm^2 , SAE 30 dengan nilai kekerasan Vickers 993,7 Kg/mm^2, dan spesimen Cr 12 yang dicelup kedalam SAE 50 dengan nilai kekerasan Vickers 946,1 Kg/mm^2. Semakin tinggi viskositas maka laju pendinginan semakin lambat, sehingga struktur martensit yang terbentuk semakin berkurang dan bentuknya semakin tidak lancip.

Besi tuang putih martensitik ASTM A532 pada proses *heat treatment* dengan *quenching* viskositas oli SAE 10, pada struktur mikro besi tuang putih terlihat lebih dominan martensit tersebar merata di antara perlit dan karbida Cr lebih sedikit, Besi tuang putih dengan viskositas oli SAE 30, struktur mikro besi terlihat lebih banyak struktur martensit tersebar merata di antara perlit dan karbida Cr lebih sedikit, besi tuang putih dengan viskositas oli SAE 50 pada gambar struktur mikro besi tuang putih martensitik terlihat dominan, martensit tersebar merata dan struktur perlit dan carbida Cr lebih sedikit. (Subardi, 2011)

Pada penelitian yang dilakukan Diajeng pada tahun 2015 yang meneliti tentang kegagalan pada *hammer crusher*. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis penyebab kegagalan pada material *hammer crusher* pada *clinker cooler* di PT. Semen Indonesia (Tbk). Ketika dilakukan inspeksi secara berkala pada *hammer crusher*, ditemukan keausan yang tidak wajar pada permukaan material. *Hammer crusher* yang pada awalnya

memiliki ukuran panjang 320 mm, panjangnya menjadi 277 mm. Padahal *life time* desain dari *hammer crusher* ini adalah 1 tahun, namun dalam waktu 6 bulan telah terjadi keausan.

Setelah dilakukan beberapa pengujian pada material *hammer crusher* di *clinker cooler*, didapatkan bahwa kegagalan pada material disebabkan karena beberapa faktor, yaitu komposisi material, dan nilai ketangguhan material. Berdasarkan ASTM A532, Material standar yang seharusnya digunakan untuk adalah besi tuang putih martensitik yang memiliki sifat ketahanan aus dan kekerasan yang tinggi. Namun, material yang digunakan pada *hammer crusher* di PT. Semen Indonesia tidak sesuai dengan standar, karena itulah terdapat perbedaan kekerasan dan kekuatan. Hasil pengujian impak menujukkan jika dibandingkan dengan besi tuang putih martensitik, maka nilai ketangguhan material hammer crusher ini sangat getas.

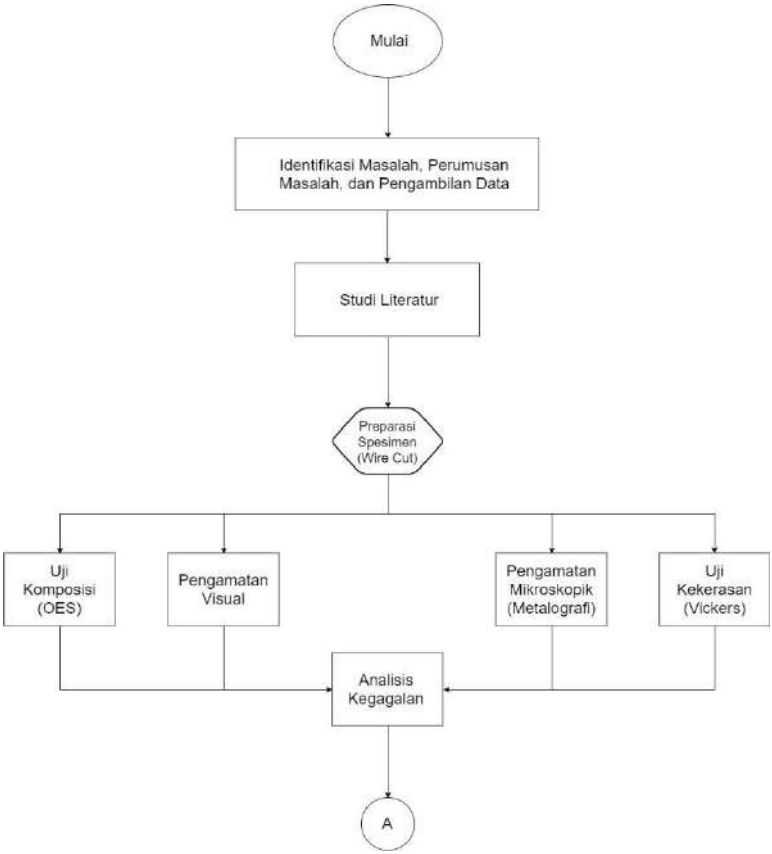
Sehingga dapat disimpulkan bahwa kegagalan disebabkan keausan yang terjadi akibat ketidaksesuaian pada unsur bahan utama, salah satunya karena kurangnya kadar karbon. Penyebab lain dikaenakan perubahan sifat mekanik pada material, dimana nilai kekerasan material *hammer crusher* naik namun menurunkan keuletan serta nilai energi impak material jauh dibawah standar. Hal tersebut dapat disebabkan karena proses operasional yang mengakibatkan gesekan secara terus menerus sehingga ketangguan material menjadi lebih rendah dan kekerasan material meningkat karena terjai strain hardening namun menjadikan material menjadi lebih getas. (Diajeng, 2017)

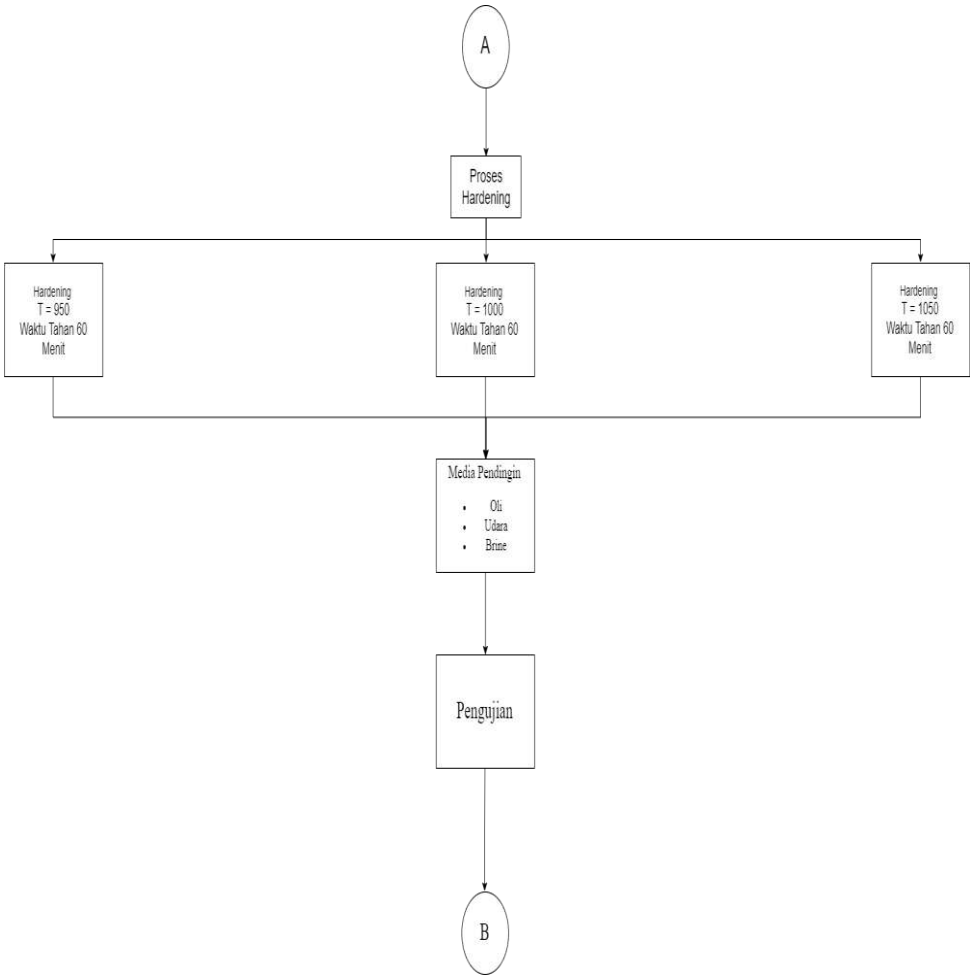
(*Halaman ini sengaja dikosongkan)*

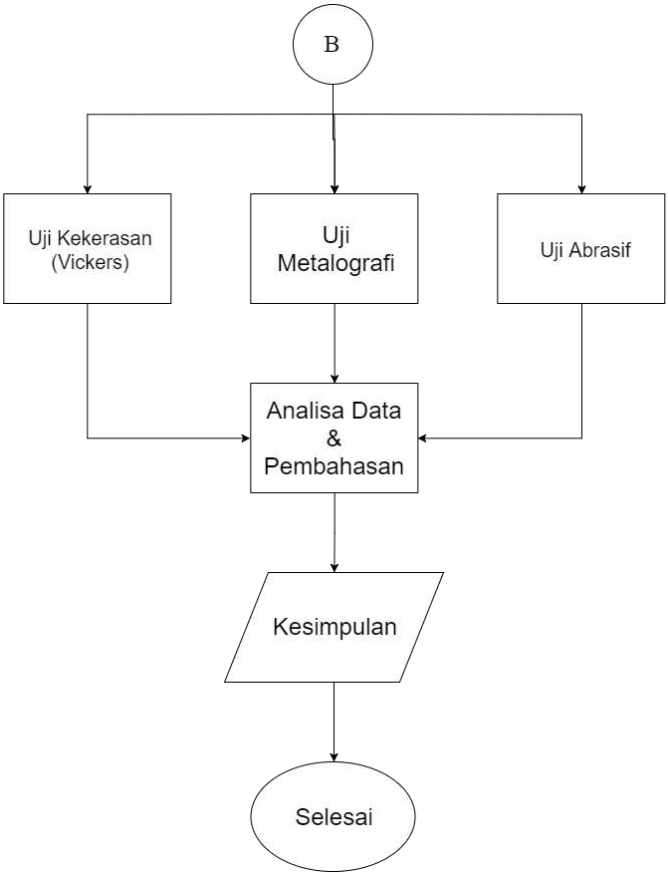
BAB III
METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Diagram Alir Penelitian

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




A
Proses Hardening
Hardening T = 950 Waktu Tahan 60 Menit
Hardening T = 1000 Waktu Tahan 60 Menit
Hardening T = 1050 Waktu Tahan 60 Menit
Media Pendingin
Oli
Udara
Brine
Pengujian
B



Gambar 3.1 Diagram alir penelitian

3.2 Metode Penelitian

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

1. Studi lapangan

Metode ini mengacu pada pencarian informasi tentang komponen yang akan diteliti beserta informasi

tentang kegagalan yang terjadi pada komponennya dengan cara terjun langsung ke lapangan yaitu PT. Semen Indonesia, Tbk, dan berdiskusi dengan dosen mata kuliah, dosen pembimbing, dan pihak PT. Semen Indonesia, Tbk yang ahli di bidangnya.

2. Studi Literatur

Metode studi literatur mengacu pada buku-buku, jurnal-jurnal penelitian, dan situs industri yang mempelajari tentang permasalahan analisa kegagalan khususnya keausan pada *Hammer Crusher.*

3. Pengujian

Metode ini dilakukan dengan pengujian langsung sesuai dengan prosedur dan metode yang ada. Adapun pengujian yang diperlukan dalam eksperimen ini yaitu: mengkaji *record* dari *hammer crusher* yang ada pada PT. Semen Indonesia (Persero) Tbk, pengamatan makro dengan menggunakan kamera, pengamatan mikro dengan mikroskopik optik, uji komposisi dengan menggunakan spektrometer, uji kekerasan dan uji keausan pada material *hammer crusher*.

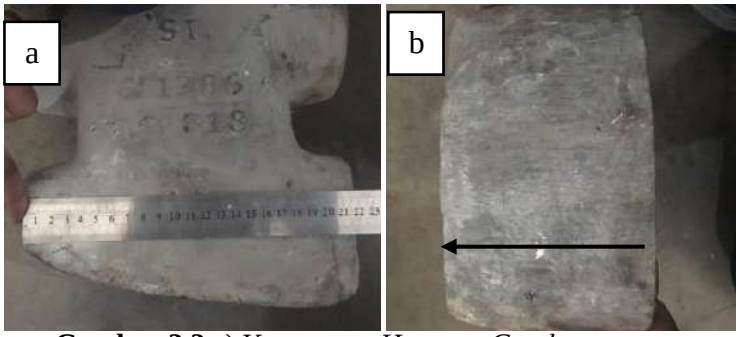
4. Penelitian

Metode ini dilakukan dengan meneliti perlakuan – perlakuan yang dapat diterapkan pada material sebagai solusi kegagalan. Metode ini meliputi eksperimen, studi literatur, dan pengujian material – material yang telah diberikan perlakuan.

3.3 Material yang digunakan

1. Material

Pada tanggal 13 Mei 2017, *Hammer crusher* pada *Clinker Cooler* Pabrik Tuban 1 mengalami keausan seperti yang terlihat pada Gambar 3.2 :



Gambar 3.2 a) Komponen *Hammer Crusher* yang mengalami aus, b) Komponen *Hammer Crusher* yang belum digunakan

Material yang digunakan di *Clinker Cooler* Pabrik Tuban 1 PT. Semen Indonesia adalah material *high chromium white cast iron* dengan komposisi kimia yang ditunjukan Tabel 3.1 sebagai berikut:

Tabel 3.1 Komposisi Kimia *Hammer Crusher*

Unsur	C	Mn	P	Si	Cr	W	Nb	Ni	S	Mo
%	1.7	0.677	0.036	0.745	16.8	.1.4	0.791	0.485	0.0119	0.811

3.4 Peralatan

Peralatan yang digunakan dalam penelitian ini antara lain:

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

3. Kamera Digital
   Digunakan untuk mendokumentasikan informasi kegagalan di lapangan

Gambar 3.3 Kamera Digital

4. Mesin OES (*Optical Emission Spectroscopy*)
   Digunakan untuk mengetahui komposisi spesimen uji
5. Alat Uji Kekerasan
   Digunakan untuk mengukur kekerasan dari spesimen uji
6. Alat Uji Abrasif
   Digunakan untuk mengukur laju keausan dari spesimen uji
7. Amplas grade 80 hingga 2000
   Digunakan untuk preparasi spesimen dalam pengujian metalografi
8. Mesin Polish
   Digunakan untuk preparasi spesimen dalam pengujian metalografi
9. Larutan Etsa

Digunakan untuk preparasi spesimen dalam pengujian metalografi
Larutan Etsa yang digunakan dalam penelitian ini adalah:

- 74a terdiri dari 1-5 mL HNO3 + 100 mL *ethanol* (95%) atau *methanol* (95%)

10. Mikroskop Optik
    Digunakan untuk mendapatkan struktur mikro atau fasa dari spesimen uji

3.5 Tahapan Penelitian

3.5.1 Review Dokumen Perusahaan

Review dokumen ini bertujuan untuk mendapatkan informasi dan data-data perusahaan yang berkaitan dengan *Hammer Crusher* yang mampu mendukung hasil penelitian. Berikut data-data yang perlu diambil, yaitu:

1. Desain *Hammer Crusher*
2. Data Operasi
3. Spesifikasi Material
4. *Maintenance Record*

3.5.2 Preparasi Spesimen

Tahap persiapan ini diperlukan sebelum melakukan pengujian untuk menentukan penyebab kegagalan material *Hammer Crusher* PT. Semen Indonesia. Persiapan ini berupa proses *cutting*, menggunakan *wire cut* seperti yang ditunjukkan oleh Gambar 3.4

Proses pemotongan dilakukan pada bagian ujung *Hammer Crusher* yang terindikasi terjadinya kegagalan. Spesimen terindikasi beban siklik akan dibandingkan dengan spesimen yang jauh dari titik keausan sebagai pembanding antara material baru dan material uji yang mengalami keausan.

Gambar 3.4 Mesin *Wire Cut*

3.5.3 Uji Komposisi

Pengujian komposisi kimia adalah untuk mengetahui komposisi kimia yang terdapat pada material yang mengalami kegagalan. Pada identifikasi komposisi kimia menggunakan alat *Optical Emission Spectroscopy (OES)* seperti pada Gambar 3.5, di Laboratorium Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya (PPNS), menggunakan material dengan ukuran 20x20x20 mm, untuk mengetahui komposisi yang ada pada *Hammer Crusher*.

Gambar 3.5 Mesin uji OES (*Optical Electromission Spectroscopy*)

3.5.4 Pengamatan Makroskopik dan Mikroskopik

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

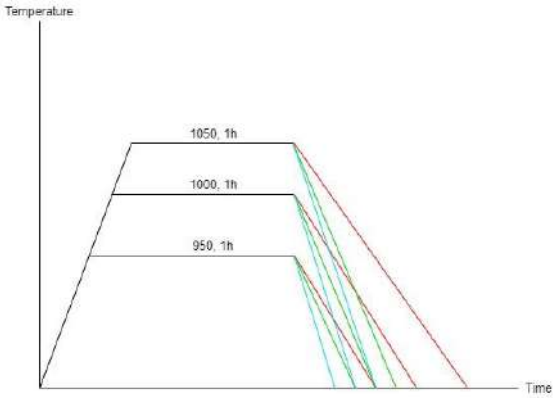
Adapun perlakuan terhadap sampel material sebagai berikut:

1. Melakukan pengambilan fotografi dengan kamera digital untuk mendapatkan informasi bentuk dari kegagalan secara makro.
2. Pengamatan melalui *optical microscope* seperti pada Gambar 3.6 terhadap sampel material dengan beberapa kali perbesaran untuk mendapatkan struktur mikronya.

Gambar 3.6 Alat Uji Mikroskop Optik, *Olympus BX51 Optical Microscope*.

3.5.5 Proses Perlakuan Panas

Proses perlakuan panas yang dilakukan adalah proses *hardening* dengan temperature 950℃, 1000℃, dan 1050℃ dengan waktu tahan 60 menit. Setelah proses pemanasan, spesimen kemudian di *quenching* dengan media pendingin oli, *brine solution*, dan udara. Dengan ilustrasi seperti Gambar 3.7



Gambar 3.7 Proses Hardening dengan variasi Temperatur dan Media Pendingin

Keterangan:
= *Quenching* dengan media Udara
= *Quenching* dengan media Oli
= *Quenching* dengan media *Brine*

3.5.6 Uji Kekerasan

Pengujian kekerasan dilakukan untuk mengetahui distribusi kekerasan dengan melakukan indentasi di beberapa titik pada sampel material. Pengujian ini dilakukan dengan metode Vickers dimana dalam pengujiannya memakai indentor piramida intan, pembebanan sebesar 100 kg dan waktu indentasi selama 10 detik. Pengujian ini menggunakan *Universal Hardness Tester* di Laboratorium Metalurgi, Jurusan Teknik Material dan Metalurgi, ITS yang terlihat pada Gambar 3.8 di bawah ini:

Gambar 3.8 Alat Uji *Universal Hardness Tester HBRV* 187,5 A

3.5.7 Uji Abrasif

Pengujian abrasif dilakukan untuk mengetahui laju ketahanan abrasi dari material dengan melakukan pengujian berupa *pin on-disc*. Pengujian ini dilakukan dengan meletakkan material pada benda berputar dengan permukaan yang kasar sebanyak 1000 putaran dengan diberi beban penekanan sebesar 1kg atau 4,5 kg. Dan dilakukan perhitungan berupa perubahan ketebalan sebelum dan sesudah pengujian abrasif dilakukan. Pengujian ini dilakukan di Laboratorium Metalurgi, Jurusan Teknik Material dan Metalurgi, ITS yang terlihat seperti Gambar 3.9 dibawah ini:

Gambar 3.9 Alat Uji Abrasif *Pin On-Disc*

BAB IV
ANALISIS DATA DAN PEMBAHASAN

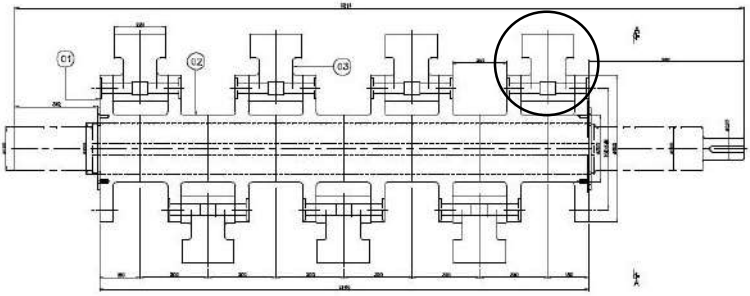
4.1 Analisis Data

4.1.1 Analisis Data Operasi Material

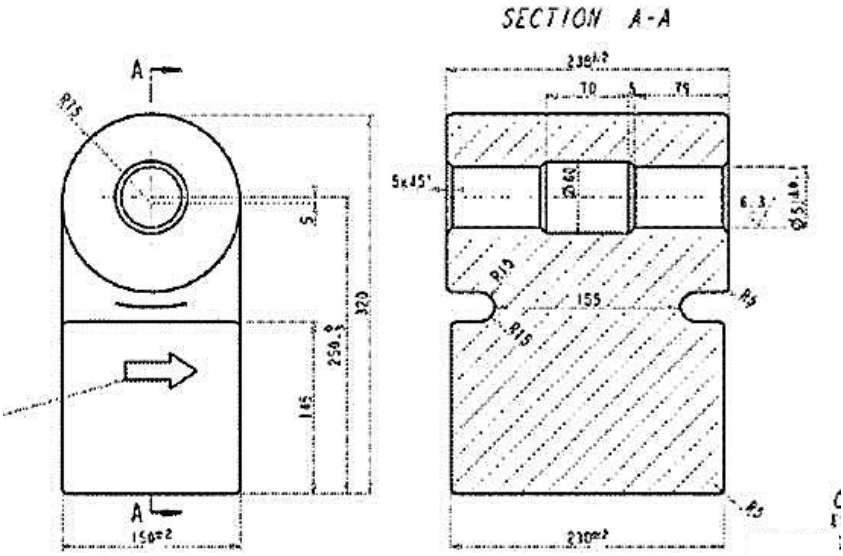
Pada *maintenance* yang dilakukan oleh PT. Semen Indonesia (Persero) Tbk. yang dilakukan pada 13 Mei 2017, ditemukan bahwa *hammer crusher* pada *clinker cooler* plant Tuban 1 mengalami keausan (wear) yang tidak sesuai dengan umur desain nya. Hal ini ditunjukkan dengan terdapat perubahan dimensi dari *hammer crusher* yang cukup signifikan. Menurut *engineer* dari PT. Semen Indonesia (Persero) Tbk, umur pakai dari komponen *hammer* ini selama 1 tahun. Namun realitanya setelah 6 bulan pemakaian, komponen telah mengalami kerusakan yang signifikan.

Berikut ini adalah data-data dari hammer crusher mencakup penggunaan dan kondisi linkungan kerja. Dengan gambar teknik dapat dilihat pada Gambar 4.1 dan Gambar 4.2

- Temperatur = 150-200°C
- Kapasitas = 300-350 *tons*/hour
- *Running time* = 20 *hours*/day
- Lifetime = 1 tahun



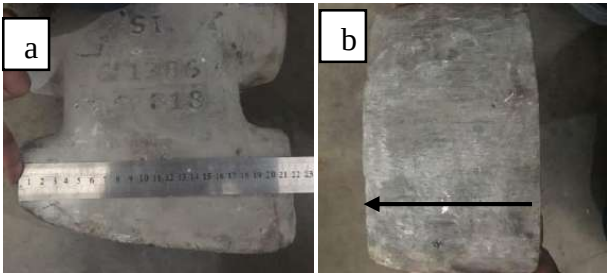
Gambar 4.1 *Hammer Crusher Assembly*



Gambar 4.2 Gambar teknik material *hammer crusher.*

4.1.2 Hasil Pengujian Makroskopik *Hammer Crusher*

Berdasarkan pengamatan visual yang dilakukan menggunakan kamera pada daerah komponen *hammer crusher* yang mengalami keausan, terlihat pada Gambar 4.3 terjadi keausan pada hammer crusher yang ditandai dengan adanya perubahan bentuk dari awal desain gambar teknik yang terdapat pada Gambar 4.2 dibandingkan dengan Gambar 4.3 dimana keausan telah terjadi seperti yang ditunjukkan oleh gambar dibawah ini:



Gambar 4.3 Foto Makroskopik material *hammer crusher* yang mengalami keausan (a) tampak depan (b) tampak atas.

4.1.3 Hasil Uji Komposisi Kimia Hammer Crusher

Pengujian komposisi kimia pada komponen hammer crusher menggunakan alat OES (Optimical Emission Spectroscopy). Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui komposisi kimia pada komponen hammer crusher. Hasil pengujian komposisi kimia ditunjukkan pada Tabel 3.2

4.1.4 Proses Heat Treatment *Hammer Crusher*

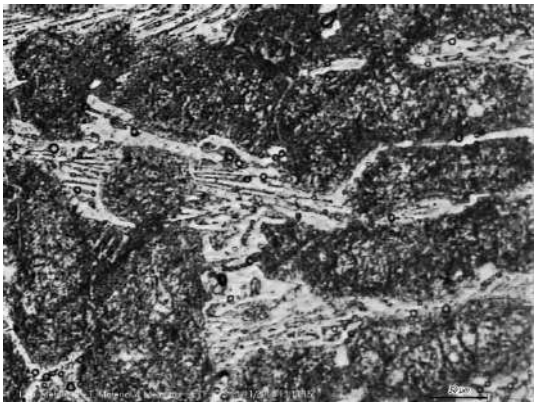
Berdasarkan penelitian penyebab keausan melalui pengujian komposisi, pengamatan makroskopik, dan pengamatan mikroskopik, material pada komponen hammer crusher tidak sesuai dengan ASTM A532 class IIA, IIB, dan IIIA. Karena itulah komponen tersebut mengalami kegagalan. Untuk mengatasi permasalahan tersebut, pada penelitian ini dilakukan upaya pengerasan melalui heat treatment, untuk memperbaiki sifat kekerasan dari komponen tersebut, agar mendekati standar yang seharusnya. Proses hardening, dapat dilihat pada Tabel 4.3, dilakukan pada temperatur 950^{o}C, 1000^{o}C, dan 1050^{o}C dengan waktu tahan 60 menit, kepada 9 spesimen pengujian, dimana 3 spesimen didinginkan pada media air, 3 spesimen didinginkan pada media oli, dan 3 spesimen didinginkan pada media udara.

Tabel 4.1 Nama Spesimen Pengujian

Kode spesimen	**Jenis perlakuan**
HCCI	Material komponen hammer crusher
HCCI H950-OQ	HCCI dengan pemanasan pada temperatur 950°C + oil quench
HCCI H950-AQ	HCCI dengan pemanasan pada temperatur 950°C + air quench
HCCI H950-BQ	HCCI dengan pemanasan pada temperatur 950°C + brine quench
HCCI H1000-OQ	HCCI dengan pemanasan pada temperatur 1000°C + oil quench
HCCI H1000-AQ	HCCI dengan pemanasan pada temperatur 1000°C + air quench
HCCI H1000-BQ	HCCI dengan pemanasan pada temperatur 1000°C + brine quench
HCCI H1050-OQ	HCCI dengan pemanasan pada temperatur 1050°C + oil quench
HCCI H1050-AQ	HCCI dengan pemanasan pada temperatur 1050°C + air quench
HCCI H1050-BQ	HCCI dengan pemanasan pada temperatur 1050°C + brine quench

4.1.5 Hasil Pengujian Mikroskopik *Hammer Crusher*

Pengujian struktur mikro metalografi pada material *hammer crusher* yang telah aus digunakan untuk mengetahui struktur awal dari material sebelum diberikan perlakuan panas, dan mengetahui struktur mikro material ketika mengalami *wear*. Pengamatan dilakukan dengan mikroskop optik dengan perbesaran 200x. Struktur mikro material *hammer crusher* akan dibandingkan dengan struktur mikro standar dari *high chromium white cast iron* yang merupakan material standar dalam penggunaan *hammer crusher*, ditunjukkan pada Gambar 4.4.

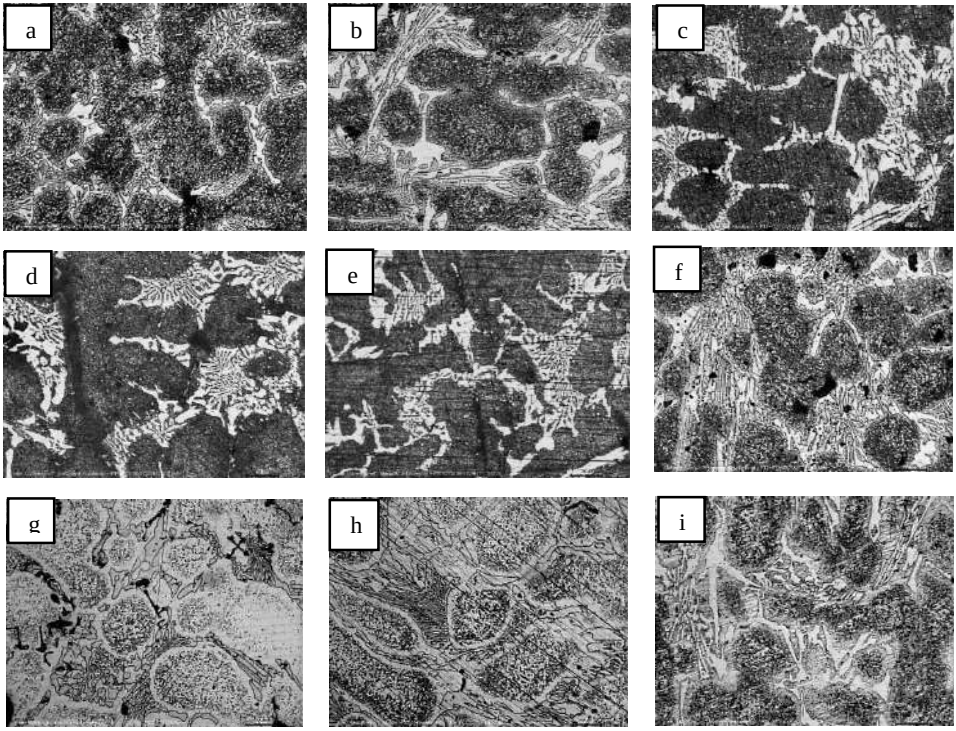


Gambar 4.4 Struktur mikro pada Hammer Crusher sebelum perlakuan panas dengan menggunakan etsa Nital 74A. Perbesaran 200x.

Pada pengujian struktur mikro dari material *hammer crusher* sebelum dikenai perlakuan panas, didapatkan fase yang terbentuk adalah karbida krom, martensit, dan juga austenite seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4.4. Fasa karbida krom ditunjukkan dengan daerah putih yang cukup luas dan networking satu sama lain, lalu fasa martensit dan austenit yang berada pada matriks austenit ditunjukkan dengan area gelap pada gambar, dan austenit ditunjukkan dengan area terang pada matriks austenit.

Pengujian struktur mikro dari material *hammer crusher* dilakukan untuk mengetahui struktur mikro yang terbentuk setelah material *hammer crusher* melalui proses *hardening* dengan variasi pada temperatur *hardening* dan *quenching* dengan media pendingin udara, oli, dan *brine solution*. Dan selanjutnya digunakan untuk membandingkan dan mengetahui perbedaan yang terjadi dari struktur mikro material *hammer crusher* sebelum diberi perlakuan dan setelah mendapatkan perlakuan *hardening.*

Pada Gambar 4.5 terdapat hasil struktur mikro dari material *hammer crusher* yang telah dilakukan proses *hardening.* Pada gambar dapat dilihat bahwa fasa pada struktur mikro material *hammer crusher* yang telah dilakukan proses *hardening* adalah matriks austenit yang berwarna terang, martensit yang berwarna gelap yang terdapat pada matriks austenit, kemudian karbida krom yang berwarna paling terang serta lamelar atau *networking* antara austenit.



Gambar 4.5 Struktur mikro material *Hammer Crusher* setelah *hardening* 950^{o} C dengan *quenching* media pendingin (a) udara (b) oli (c) *brine*. Struktur mikro material *Hammer Crusher* setelah hardening 1000^{o}C dengan media pendingin (d) udara (e) oli (f) brine dan setelah temperatur 1050^{o}C dengan media pendingin (g) udara (h) oli (i) brine. Etsa Nital 74A dengan perbesaran 200x. Dengan fase yang terbentuk adalah karbida krom yang *networking* satu dengan yang lain, matriks austenit yang berwarna putih dan martensit yang terdapat pada matriks austenite dengan warna gelap.

Untuk menghitung volume karbida yang terdapat dalam mikrostruktur yang telah didapatkan dari material, digunakan

aplikasi ImageJ yang menghitung area dari karbida yang dibagi dengan area total pada gambar dengan hasil perhitungan tertera pada Tabel 4.2 berikut:

Tabel 4.2 Perhitungan volume karbida

Spesimen	Volume Karbida (%)
H950-AQ	34.69
H950-OQ	36.23
H950-BQ	37.93
H1000-AQ	41.28
H1000-OQ	42.36
H1000-BQ	45.03
H1050-AQ	22.65
H1050-OQ	23.31
H1050-BQ	23.74

4.1.6 Hasil Pengujian Kekerasan *Hammer Crusher*

Pengujian kekerasan digunakan untuk mendapatkan nilai kekerasan dari komponen *hammer crusher* yang telah mengalami keausan atau *failure*. Pengujian kekerasan ini menggunakan *Universal Hardness Tester HBRV* 187.5A, dengan metode pengujian *Vickers.* Beban yang digunakan sebesar 100 kgf dengan waktu indentasi 10 detik. Pengujian ini berdasarkan ASTM E92 tentang pengujian kekerasan Vickers. Pengujian dilakukan di 5 titik seperti Gambar 4.6

Gambar 4.6 Pembagian daerah indentasi

Setelah pengujian kekerasan dilakukan, didapatkan nilai kekerasan rata-rata dengan nilai 623 HV. Nilai kekerasan yang sesuai dengan standar ASTM A532 untuk material *hammer crusher* adalah minimal 660 HV. Nilai ini didapatkan dari Tabel 2.2. Berdasarkan tabel tersebut, dapat dilihat bahwa nilai kekerasan minimal yang seharusnya pada material adalah sebesar 660 HV, sedangkan kekerasan material yang digunakan masih berada di sekitar 623 HV. Oleh sebab itu maka diperlukan peningkatan nilai kekerasan dari material *hammer crusher* dengan cara memberikan perlakuan panas.

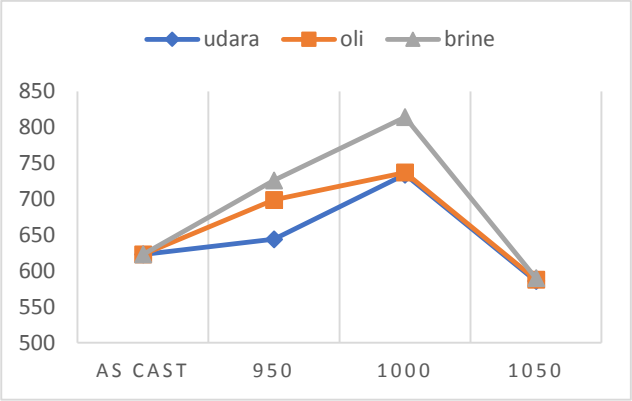
Setelah perlakuan panas, pengujian kekerasan dilakukan pada permukaan spesimen as cast, dan spesimen pada setiap variasi perlakuan heat treatment dan media pendingin. Pengujian kekerasan menggunakan metode vickers dengan indentasi sebanyak 5 titik. Pembagian daerah indentasi dapat dilihat pada Gambar 4.2.

Hasil pengujian kekerasan dapat dilihat pada Tabel 4.4 serta grafik distribusi kekerasan ditunjukkan pada Gambar 4.7

Tabel 4.3 Nilai Kekerasan Material *High Chromium Cast Iron* setelah perlakuan panas

Kode Spesimen	**Kekerasan (HV)**
HCCI *wear*	623 ± 15.1
HCCI H950-OQ	699 ± 50.4
HCCI H950-AQ	644 ± 12.6
HCCI H950-BQ	726 ± 48.1
HCCI H1000-OQ	737 ± 52.5
HCCI H1000-AQ	734 ± 16.2
HCCI H1000-BQ	814 ± 19.6
HCCI H1050-OQ	588 ± 26.7

Kode Spesimen	Kekerasan (HV)
HCCI H1050-AQ	586 ± 17.2
HCCI H1050-BQ	590 ± 17.9



Gambar 4.7 Grafik kekerasan material setelah perlakuan panas dengan variasi temperatur dan media pendingin

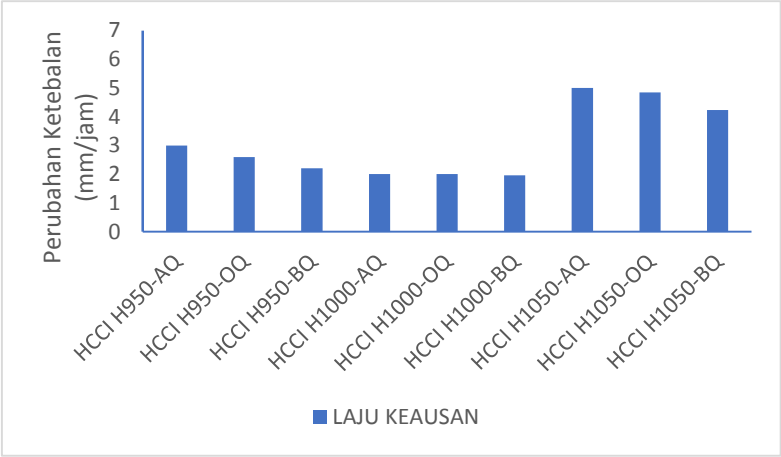
4.1.7 Hasil Pengujian Keausan Hammer Crusher Setelah di Heat Treatment

Pengujian ketahanan aus dilakukan pada permukaan spesimen material *hammer crusher* pada setiap variasi temperatur *hardening* dan media pendingin. Data yang diperoleh dari pengujian keausan ini berupa selisih ketebalan antara material dari *hammer crusher* sebelum dan sesudah dilakukan pengujian. Data hasil pengujian ketahanan aus disajikan pada Tabel 4.4

Tabel 4.4 Rata-rata hasil pengujian ketahanan aus pada material *hammer crusher* yang telah di *hardening*.

Nama Spesimen	Laju Pengausan (mm/hour)	Nilai Kekerasan (HV)
HCCI *pre-treatment*	3.67	623 ± 15.1

Nama Spesimen	Laju Pengausan (mm/hour)	Nilai Kekerasan (HV)
HCCI H950-AQ	3	644 ± 12.6
HCCI H950-OQ	2.6	699 ± 50.4
HCCI H950-BQ	2.2	726 ± 48.1
HCCI H1000-AQ	2	734 ± 16.2
HCCI H1000-OQ	2	737 ± 52.5
HCCI H1000-BQ	1.96	814 ± 19.6
HCCI H1050-AQ	5	586 ± 17.2
HCCI H1050-OQ	4.85	588 ± 26.7
HCCI H1050-BQ	4.23	590 ± 17.9

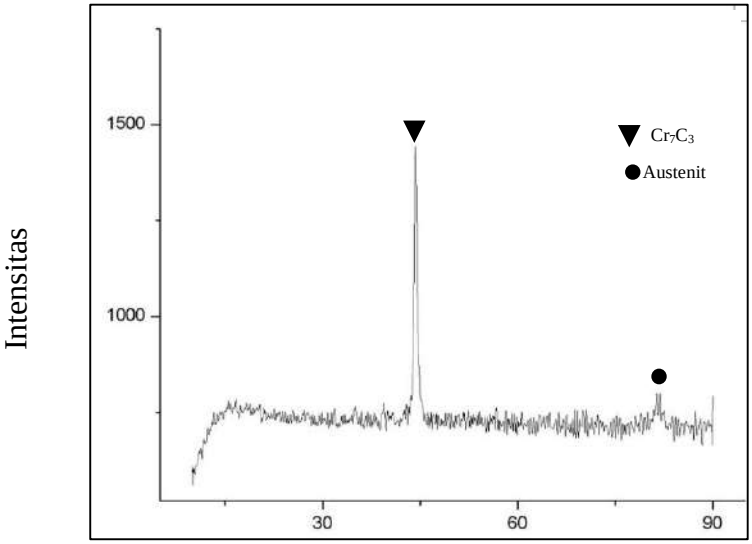


Gambar 4.8 Grafik laju keausan material *hammer crusher*

4.1.8 Hasil Pengujian XRD *Hammer Crusher* Setelah di Heat Treatment

Pengujian XRD pada material *hammer crusher* setelah dilakukan *heat treatment* adalah untuk membuktikan fasa dan

juga senyawa yang terbentuk pada material besi tuang putih paduan krom tinggi. Dimana senyawa yang terbentuk disajikan pada Gambar 4.9



Gambar 4.9 Hasil XRD Material *Hammer Crusher* setelah perlakuan panas

Tabel 4.5 Hasil Uji XRD Material *Hammer Crusher* setelah perlakuan panas

Spesimen	2theta	Fasa	ICCD Card	Peak Heights
H1000-OQ	81,52	Austenit	96-901-3478	29
	44,24	Cr_7C_3	96-100-9020	595,15

4.2 Pembahasan

Material *hammer crusher* yang digunakan pada PT. Semen Indonesia memiliki lifetime pemakaian selama 1 tahun namun pada pemakaian bulan ke 6 telah mengalami keausan yang ditunjukkan dengan perubahan dimensi dari *hammer crusher* sehingga tidak mampu bekerja dengan baik pada plant Tuban 1. Terjadinya perubahan dimensi dapat dilihat dari hasil pengamatan secara makro¸yang menunjukkan bahwa terjadi pengurangan dimensi dari lebar permukaan yang awalnya 320 mm menjadi 242 mm. Hal ini terjadi karena permukaan dari material *hammer crusher* bergesekan dan bertumbukan dengan *clinker* yang telah dingin secara kontinu dalam penggunaannya sedangkan kekerasan minimal yang dimiliki sesuai yang tertera dalam ASTM A532 belum tercapai oleh material *hammer crusher*.

Menurut ASTM A532, material yang cocok untuk digunakan pada komponen crusher adalah besi tuang putih, dikarenakan besi tuang putih mempunyai ketahanan aus yang tinggi dan dapat memperpanjang umur mesin. Besi tuang putih cocok sebagai aplikasi *grinding, milling, earth-handling,* dan *manufacturing industries.* Komposisi kimia untuk material hammer crusher yang semestinya ditunjukkan pada Tabel 2.1

Berdasarkan hasil pengujian, jenis material yang digunakan pada komponen hammer crusher adalah besi tuang putih paduan krom tinggi dengan komposisi standar ASTM A532. Namun dalam standar ASTM A532, minimal unsur karbon 2% tetapi pada material yang digunakan dalam aplikasi *hammer crusher* hanya sebesar 1.7% karbon. Dimana unsur karbon berpengaruh terhadap kekerasan material, dimana kekerasan merupakan hal yang berkaitan erat dengan keausan.

Hasil pengujian yang telah dilakukan selama penelitian berlangsung, beberapa faktor yang menjadi penyebab dari keausan material *hammer crusher* adalah terdapat kesalahan komposisi dalam pemilihan material yang digunakan untuk *hammer crusher.* Material standar yang digunakan adalah yang sesuai dengan yang tertera dalam ASTM A532 Class II karena

komposisi dari material *hammer crusher* yang telah diuji memiliki kadar krom lebih dari 12% Cr dengan kadar krom dalam material *hammer crusher* yang digunakan pada plant Tuban 1 adalah sebanyak 16.9% Cr yang pada ASTM A532 mendekati Class B yang memiliki minimal kadar krom sebanyak 15% Cr. Namun penyebab keausan ada pada kurangnya kadar karbon dalam material *hammer crusher* yang digunakan, dalam ASTM A532 minimal karbon yang digunakan adalah 2% yang menunjukkan bahwa material ASTM A532 adalah kategori besi tuang. Namun hasil pengujian *Optical Emission Spectroscopy* menunjukkan bahwa hasil kadar karbon yang terkandung dalam material *hammer crusher* sebesar 1.7%.

Unsur karbon pada baja merupakan unsur utama yang terdapat dalam besi sehingga dapat disebut baja. Unsur karbon dapat membuat baja bersifat keras dan getas, dimana semakin tinggi unsur karbon yang terkandung dalam baja maka akan semakin kuat dan keras, dan semakin rendah komposisi karbon yang terkandung maka sifat baja yang didapatkan akan semakin lunak dan elastis. Nilai kekerasan standar yang tertera dalam ASTM A532 minimal bernilai 660 HV jika material ingin digunakan dalam penggunaan yang membutuhkan ketahanan abrasif, namun kekerasan yang dimiliki oleh material *hammer crusher* terpasang di PT. Semen Indonesia adalah 623 HV. Oleh sebab itu maka dibutuhkan peningkatan kekerasan dari material *hammer crusher* dengan perlakuan panas berupa *hardening*.

Dari hasil pengujian, fase yang didapatkan pada sebelum pengujian adalah fase martensit dan austenite, dan juga fase karbida krom. Fase ini sesuai dengan *as-cast martensitic* yang terdapat dalam ASM Handbook vol.4. Fase martensit dan karbida krom memang sudah terbentuk, namun dikarenakan komposisi karbon yang belum tercapai maka kekerasan maksimum yang bisa tercapai tidak bisa sesuai dengan standar. Maka untuk mencapai kekerasan sesuai ASTM A532, diperlukan proses tambahan berupa proses *hardening*.

Proses *hardening* yang digunakan pada perlakuan panas dalam pengujian ini adalah pada temperatur diantara 950^{o}C sampai dengan 1050^{o}C. Temperatur ini dipilih dikarenakan adanya pengaruh unsur paduan kromium yang merupakan unsur pembentuk dan penstabil ferrit, dengan adanya kromium dalam paduan maka dapat menaikkan temperatur austenitisasi karena kromium adalah unsur pembentuk karbida dan penstabil ferrit yang akan memperkecil area austenit. Temperatur ini juga sesuai dengan hasil penelitian Wiengmoon yang menyebutkan bahwa temperatur austenisasi dari besi tuang putih paduan krom tinggi adalah dari 850^{o}C sampai dengan 1000^{o}C Dan ditinjau dari komposisi kromium tersebut untuk perlakuan panas dibutuhkan temperature austenitisasi lebih tinggi dari temperature A1 untuk menghasilkan kekerasan maksimal. int

Setelah material *hammer crusher* diberi perlakuan panas dengan variasi temperature austenitisasi dan di *quench* dengan media pendingin yang berbeda-beda, diperoleh struktur mikro berupa fasa karbida krom (Cr_7C_3), fasa martensit, dan fasa austenite. Selanjutnya, untuk material yang memiliki nilai kekerasan paling tinggi adalah spesimen H1000-BQ dengan nilai kekerasan 814 HV setelah dikenakan proses *hardening*. Kenaikan kekerasan dari material *hammer crusher* setelah perlakuan panas dengan temperatur 1000^{o}C dan di *quench* dengan *brine solution* ini adalah karena munculnya fasa martensit yang ditunjukkan pada struktur mikro hasil pengujian dan ditambah dengan tingginya unsur kromium dalam material sehingga fasa karbida krom akan meningkat setelah proses *hardening*. Fasa martensit tebentuk dari hasil transformasi fasa austenite yang didinginkan cepat sehingga karbon terperangkap dalam fasa martensit dan menaikkan tegangan dalam butir dan menghasilkan sifat keras dan getas. Proses pembentukan martensit tidak tergantung pada waktu pertumbuhannya, tetapi dilihat dari penurunan temperatur, namun dalam perubahannya terdapat austenit yang tidak berubah menjadi fasa martensit dan disebut sebagai austenit sisa (*retained austenite*). Untuk melihat bagaimana transformasi dari martensit

terjadi, kita dapat melihat dari diagram *continuous cooling transformation* dari material yang diujikan, jika laju pendinginan mencapai garis martensit finish, maka akan diperoleh fasa martensit full, akan tetapi jika melewati garis martensit start namun tidak mencapai martensit finish, ini akan menyebabkan munculnya austenit sisa pada mikrostrukturnya. Lalu pada proses austenisasi merupakan salah satu mekanisme pembentukan karbida pada material besi tuang putih paduan krom tinggi. Ketika proses austenisasi berlangsung, kromium yang terdapat dalam material akan bereaksi dengan karbon membentuk senyawa karbida dalam matriks sehingga karbon dalam matriks akan berkurang dikarenakan berikatan dengan krom. Dan semakin tinggi temperatur austenisasi, karbon dalam austenit cenderung akan berikatan dengan kromium. Peran unsur krom pada material *high chromium white cast iron* adalah untuk membentuk karbida yang stabil dan juga keras, yaitu M_7C_3 atau (Fe,Cr). Karbida M_7C_3 ini terbentuk pada rentang kadar krom antara 10-25%. Hal ini sesuai dengan pengujian struktur mikro yang dilakukan, bahwa dengan persebaran dari karbida primer Cr_7C_3 yang semakin luas, menyebabkan kenaikan kekerasan dari material *hammer crusher* meningkat. Peningkatan kekerasan pada yang terjadi pada spesimen H1000-BQ dikarenakan unsur krom yang tinggi di material ini menyebabkan karbon cenderung berkaitan dengan krom membentuk karbida krom Cr_7C_3. Dimana nilai kekerasan dari karbida ini lebih tinggi jika dibandingkan dengan karbida Fe_3C (sementit) pada besi tuang putih dan lebih stabil.

Namun pada spesimen dengan temperatur *hardening* 1050^{o}C yang mengalami penurunan kekerasan, hal ini disebabkan oleh rentang terbentuknya karbida krom sekunder berada di temperatur austenisasi 850^{o}C sampai dengan 1000^{o}C dengan kadar kromium minimal 15%. Sedangkan pada temperatur 1050^{o}C sudah melewati temperatur austenisasi sehingga menyebabkan matriks austenit membesar, ukuran butir yang membesar menyebabkan penuruan tegangan dalam butir sehingga kekerasan yang didapatkan menurun.

Pada Tabel 4.4 menunjukkan laju keausan pada material *hammer crusher* semakin berkurang dengan meningkatnya kekerasan dari hasil proses *hardening.* Kemudian pada variasi media pendingin, penggunaan media pendingin *brine solution* menghasilkan laju keausan paling rendah saat dibandingkan dengan media pendingin oli dan udara. Kemudian material *hammer crusher* dengan laju keausan paling tinggi terdapat pada material *hammer crusher* saat di temperatur *hardening* 1050^{o}C dengan media pendingin udara dengan laju keausan 25 mm/jam. Sedangkan material *hammer crusher* dengan laju keausan paling rendah terdapat pada material *hammer crusher* saat temperatur *hardening* 1000 ^{o}C dengan media pendingin *brine solution* dengan laju keausan 1.96 mm/jam. Hasil ini berkesesuaian dengan teori bahwa semakin tinggi kekerasan dari material, maka ketahanan aus dari material tersebut juga akan semakin tinggi. Dapat dilihat bahwa dengan kekerasan material *hammer crusher* 814 HV, didapatkan laju keausan 1.96 mm/jam. Sedangkan pada kekerasan material bernilai 586 HV, didapatkan nilai laju keausan sebesar 5 mm/jam. *Resistant abrasive wear* sangat berkaitan erat dengan meningkatnya kekerasan dikarenakan ketahanan material tersebut menahan goresan. Makin keras material tersebut, makin sulit media *abrasive* untuk melakukan penetrasi dan menggores material tersebut. Berhubungan dengan mikrostruktur dimana jika terdapat karbida krom pada mikrostruktur dapat memberikan peningkatan signifikan terhadap nilai kekerasan yang akan linier dengan ketahanan gesek.

Fasa yang terbentuk pada material *hammer crusher* yang telah dikenakan perlakuan panas akan terbentuk fasa karbida krom dengan senyawa berupa Cr_7C_3 yang seperti yang ditunjukkan pada hasil pengujian XRD pada Gambar 4.9 dan Tabel 4.5. Karbida krom ini terbentuk pada rentang kadar krom 10-25% dan sesuai dengan yang tertera pada ASM Handbook vol.4, dimana dengan adanya karbida krom ini membuat kekerasan dari material *hammer crusher* akan menjadi lebih keras

dikarenakan sifat karbida yang juga keras dan akan meningkatkan ketahanan aus.

BAB V
KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan pengujian yang telah dilakukan, terdapat beberapa kesimpulan:

1. Temperatur *hardening* yang paling optimal terdapat pada temperatur 1000^{o}C dengan fasa yang dihasilkan berupa karbida krom (Cr_7C_3), lalu fasa martensit, dan fasa austenit. Dengan diikuti naiknya nilai kekerasan dan juga ketahanan aus dari material dengan nilai maksimum yang didapat pada temperatur 1000^{o}C adalah 814 HV dan ketahanan aus sebesar 1.96 mm/jam. Namun pada temperatur 1050^{o}C terdapat penurunan kekerasan dan ketahanan aus dikarenakan temperatur *hardening* yang sudah melewati batas temperatur austenisasi dari material besi tuang putih paduan krom tinggi.
2. Media pendingin yang paling baik adalah dengan menggunakan *brine solution* karena menghasilkan kekerasan dan ketahanan aus maksimum pada tiap temperatur *hardening* dengan nilai kekerasan pada temperatur 950^{o}C sebesar 737 HV dan pada temperatur 1000^{o}C sebesar 814 HV.

5.2 Saran

1. Menggunakan produk lain yang sesuai dengan standar *hammer crusher* yang tertera pada ASTM A532.
2. Jika tetap menggunakan material yang sama, melakukan proses *heat treatment* sebelum pemasangan material *hammer crusher* agar nilai kekerasan yang didapat sesuai dengan standar ASTM A532.

3. Pada proses perlakuan *heat treatment* yang dilakukan, sebaiknya menggunakan temperatur *hardening* hingga 1000^{o}C dan menggunakan media pendingin udara dikarenakan media pendingin mudah didapat dan kekerasan standar sudah tercapai sesuai dengan ASTM A532.

DAFTAR PUSTAKA

_____. 1999. ASTM A532. ***Standard Specification for Abrasion-Resistant Cast Irons***. USA: ASM International.

_____.1999, ASTM A681. ***Standard Specification for Tool Steels Alloy***. USA: ASM International

_____. 2005. **ASM Handbook Volume 1: *Properties and Selection: Irons, Steels, and High Performance Alloys***. ASM International Handbook Committee.

_____. 2004. **ASM Handbook Volume 9: *Metallography and Microstructures***. ASM International Handbook Committee

_____. 2004. **ASM Handbook Volume 4: *Heat Treatments***. ASM International Handbook Committee

_____.2017. **FLSmidth Cross Bar Cooler**. <URL: http://www.flsmidth.com/en-US/Industries/Categories/Products/Pyroprocessing/FLSmidth+Cross-Bar+Cooler/FLSmidth+Cross-Bar+Cooler>

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.

Bedolla-Jacuinde, A., Arias, L., and Hernadez, B. 2003. ***Kinetics of Secondary Carbides Precipitation in a High-Chromium White Irons***. Journal of Materials Engineering and Performance.

Blau, P.0 J. 2001. ***The significance and the use of friction coefficient***. Tribology International

Callister, William. 2007. ***Material Science and Engineering An Introduction***. New York: JohnWiley & Sons, Inc.

Campbell, F.C. 2008. *Elements of Metallurgy and Engineering.*New York: ASM International.

Dieter, George E. 1987. ***Metalurgi Mekanik***. Jakarta: Erlangga.

Edahwati, Luluk. 2009. ***Alat Industri Kimia***. Surabaya: UPN Press

Firdaus, Apriyadi. 2007. ***Proses Pembuatan Semen Pada PT. Holcim Indonesia Tbk***. Banten: Jurusan Teknik Kimia Fakultas Teknik Universitas Sultan Ageng Tirtayasa.

Karantzalis,A.E. 2008. ***Effect of Destabilization Heat Treatments on the Microstructure of High Chromium Cast Iron: A Microscopy Examination Approach***. University of Ioannina, Greece.

Karantzalis,A.E. 2008. ***Microstructural Modifications of As-Cast High Chromium White Cast Iron by Heat Treatment***. University of Ioannina, Greece.

Nurjaman, Fajar. 2012. ***Pembuatan Grinding Ball dari Material White Cast Iron dengan Penambahan Chromium, Molybdenum, Vanadium, dan Boron Sebagai Unsur Paduan Pembentuk Karbida***. Lampung: UPT Balai Pengolahan Mineral Lampung, LIPI.

Riansyah, Wali. 2012. ***Pengaruh Temperatur Destabilisasi 850^{o}C, 950^{o}C, dan 1050^{o}C Dengan Perlakuan Sub Zero Terhadap Kekuatan Mekanik Besi Tuang Putih***

Untuk Aplikasi Grinding Ball. Depok: Universitas Indonesia

Rusmardi. 2008. ***Analisa Persentase Kandungan Karbon Pada Logam Baja.*** Padang: Politeknik Negeri Padang.

Shofi, Achmad. Dkk. 2013. ***Karakteristik Struktur Mikro dan Sifat Mekanik Besi Tuang Putih Paduan Krom Tinggi Hasil Thermal Hardening Untuk Aplikasi Grinding Ball***. Lampung: UPT Balai Pengolahan Mineral Lampung

Smallman, R.E. dan Bishop, R.J. 1995. ***Sixth Edition : Modern Physical Metallurgy and Materials Engineering. Science, process, applications***. Butterworth-Heinemann. Oxford Auckland Boston Johannesburg Melbourne New Delhi

Stachowiak,G.W. 2005. ***Wear–Materials, Mechanisms And Practice***. England: John Wiley & Sons, Ltd.

Wiengmoon,A. 2011. ***Carbides in High Chromium Cast Iron.*** Naresuan University, Thailand.

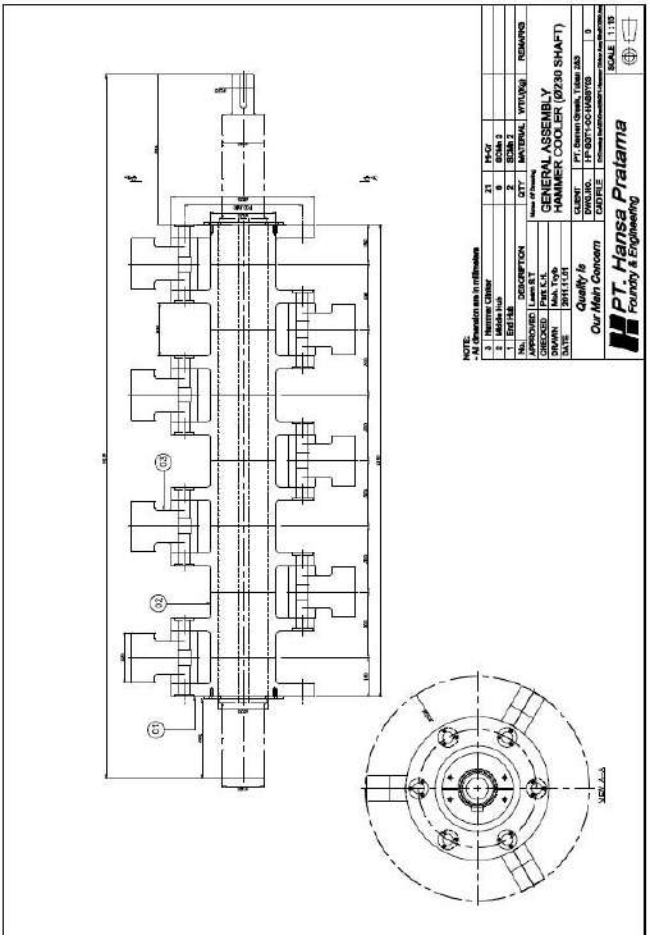
Yogantoro, Anom. 2010. ***Penelitian Pengaruh Variasi Temperatur Pemanasan Low Tempering, Medium Tempering, dan High Tempering pada Medium Carbon Steel Produksi Pengecoran Batur-Klater Terhadap Struktur Mikro, Kekerasan dan Ketangguhan (Toughness)***. Surakarta: Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Surakarta

Zum Gahr, K.H. 1987.***Microstructure and Wear of Materials***.Amsterdam: Tribology Series

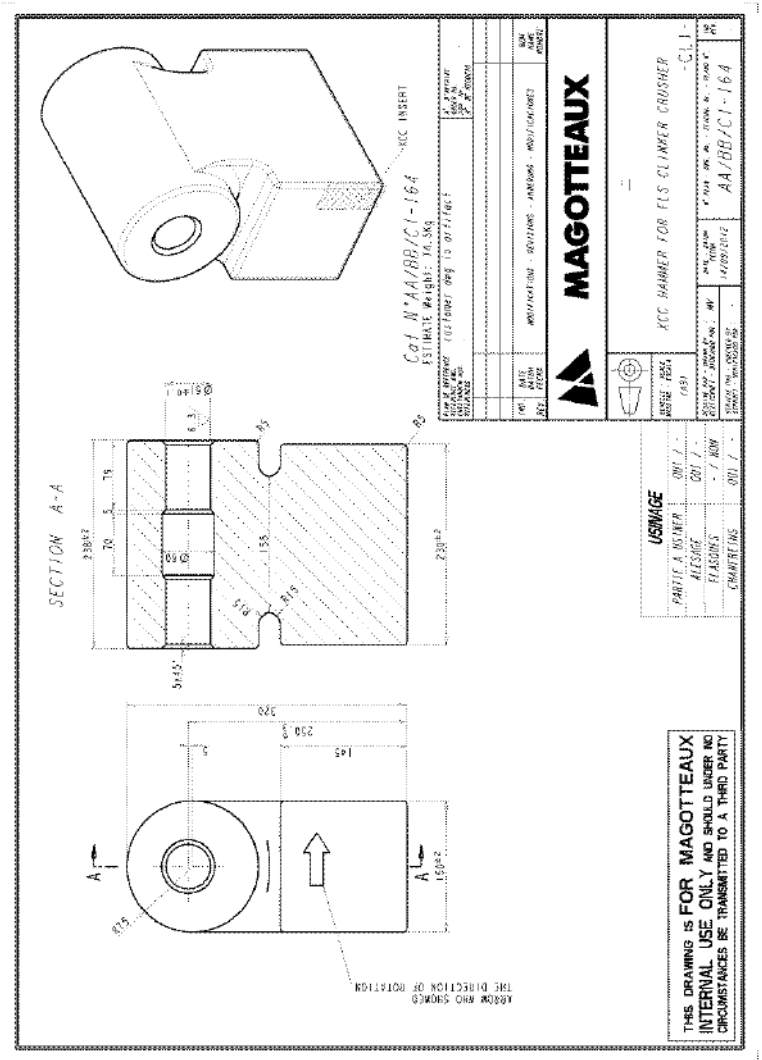
(*Halaman ini sengaja dikosongkan)*

LAMPIRAN

1. Design Hammer Crusher Assembly



2. Gambar Dimensi Hammer Crusher



3. Analisa OES Komposisi Kimia Hammer Crusher

POLITEKNIK PERKAPALAN NEGERI SURABAYA
LABORATORIUM DT NDT

OES Chemical Results

Sample ID :	A	Material :	CARBON STEEL
Customer :	ZAHRA LUTHFIAH S / ITS	Dimension :	20X20X20 mm
Lab-no. :	LAB. UJI BAHAN	Heat-no. :	-
Operator :	AGUS	Ka. Laboratorium :	M. THORIQ W.
Date:	9/12/2017		

Spektralanalyse Foundry-MASTER Grade :

	Fe	C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo
1	76.1	1.71	0.868	0.674	0.0350	0.0101	16.7	0.811
2	75.9	1.69	0.837	0.688	0.0375	0.0176	16.9	0.813
3	76.0	1.68	0.817	0.667	0.0372	0.0080	16.9	0.810
Ave	76.0	1.70	0.847	0.677	0.0366	0.0119	16.8	0.811

	Ni	Al	Co	Cu	Nb	Ti	V	W
1	0.483	< 0.0005	0.0391	0.0902	0.793	0.0030	0.0308	1.48
2	0.494	< 0.0005	0.0389	0.0975	0.772	0.0021	0.0341	1.46
3	0.497	< 0.0005	0.0383	0.0975	0.809	0.0035	0.0319	1.48
Ave	0.485	< 0.0005	0.0388	0.0951	0.791	0.0029	0.0323	1.47

	Sn
1	0.0087
2	0.0108
3	0.0066
Ave	0.0087

Kampus ITS Sukolilo
Jl. Teknik Kimia

4. Standar ASTM A532

TABLE 1 Chemical Requirements, Weight %

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

5. Standar Kekerasan ASTM A532

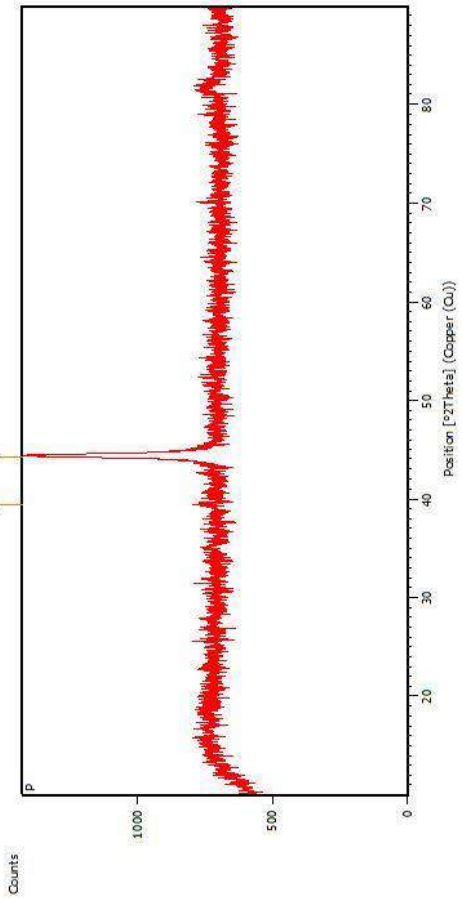
TABLE 2 Hardness Requirements

Class	Type	Designation	Hardness Values-HB																
			Sand Cast, min[A]																
			As Cast or As Cast and Stress Relieved			Hardened or Hardened and Stress Relieved							Chill Cast, min[B]			Softened, max			Typical Section Thickness
						Level 1			Level 2										
			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-HiCr	500	50	540	600	56	660	650	59	715	550	53	600	...	...	...	...
II	A	12 % Cr	600	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	...

6. Tabel Pengujian Kekerasan Hammer Crusher

Spesimen	Kekerasan (HV)					Rata-rata	Standar Deviasi
	i	ii	iii	iv	v		
H950-AQ	**663**	**633**	**643**	**650**	**633**	**644**	**12.6**
H950-OQ	**788**	**665**	**680**	**694**	**672**	**699**	**50.4**
H950-BQ	**772**	**773**	**660**	**702**	**724**	**726**	**48.1**
H1000-AQ	**727**	**760**	**733**	**736**	**716**	**734**	**16.2**
H1000-OQ	**696**	**696**	**721**	**751**	**822**	**737**	**52.5**
H1000-BQ	**801**	**839**	**798**	**801**	**832**	**814**	**19.6**
H1050-AQ	**585**	**606**	**567**	**573**	**602**	**586**	**17.2**
H1050-OQ	**545**	**598**	**581**	**600**	**615**	**588**	**26.7**
H1050-BQ	**590**	**600**	**610**	**588**	**562**	**590**	**17.9**

6. Hasil Uji XRD



Peak List: (Bookmark 3)

Pos. [°2Th.]	Height [cts]	FWHM Left [°2Th.]	d-spacing [Å]	Rel. Int. [%]
39.3355	38.68	0.4015	2.29060	6.50
44.2448	595.15	0.2342	2.04717	100.00

UCAPAN TERIMA KASIH

Pada pengerjaan tugas akhir ini penulis banyak mendapat bantuan dari berbagai pihak, pada kesempatan ini penulis mengucapkan banyak terima kasih kepada:

1. Allah SWT karena dengan rahmat dan kuasa-Nya penulis dapat menyelesaikan laporan Tugas Akhir ini dengan baik dan tepat waktu.
2. Ayah dan Ibu, serta seluruh keluarga yang telah memberikan banyak doa, dukungan, semangat, cinta kasih, motivasi, dan inspirasi, serta dukungan dana dalam mengerjakan tugas akhir dan selama berkuliah di JTMM FTI-ITS.
3. Ir. Rochman Rochiem., M.Sc. dan Dian Mughni Felicia ST., M.Sc., selaku dosen pembimbing Tugas Akhir penulis yang telah membimbing dan memberikan banyak ilmu selama pengerjaan tugas akhir ini.
4. Dr. Agung Purniawan, ST., M,Eng selaku Ketua Jurusan Teknik Material dan Metalurgi FTI – ITS.
5. Dr. Eng. Hosta Ardhyananta ST., M.Sc. selaku Koordinator Tugas Akhir Jurusan Teknik Material dan Metalurgi FTI- ITS.
6. Sigit Tri Wicaksono S.Si., M.Si., Ph.D, selaku dosen wali yang sangat mengayomi selama penulis menjalani pendidikan di Jurusan Teknik Material dan Metalurgi.
7. Seluruh dosen dan karyawan Jurusan Teknik Material dan Metalurgi FTI-ITS yang telah membimbing penulis hingga terciptanya laporan ini.
8. Prita Meilyvia Devalini dan Argyabrata yang telah memberikan semangat, support, dan selalu ada saat tangis, canda, tawa, suka dan duka.

9. Sahabat terbaik penulis yaitu Para Toidi yang beranggotakan Reza Fauzan, Taufik Ramadhanu, Rifki Lufthansa, Afiq Ihsan, Irfan Bibra, Feisha Fadila, Argyabrata, Dwiki Pratama, Emral Arsyanjani, Ikhwan Rahman, Nur Iskandar, Sipartogi Silalahi, dan Pandu Aditya yang telah memberikan semangat dan energi positif selama penulis menjadi mahasiswa di JTMM FTI-ITS.
10. Zahra Luthfiah, Rifki Lufthansa, Aziza Choirul Adnan, Redy Rizky Santoso, Argyabrata, yang telah menjadi partner dalam pengerjaan TA terbaik selama penulisan TA ini
11. Luly Anggraini, Diana Setianing Asih, Cut Aini N, Revo Fakhyori, dan Ahmad Fajar Satrio. Yang mendukung penulis tiada henti dari jauh.
12. Teman-teman Samsusin, yang beranggotakan Chyko Birendra, Bayu Putra Munggaran, Rezki Fauziansyah, Aditya Kusuma, Maria Sibuea, Andy Suprayogi, Brian Coco, yang merupakan teman seperantauan penulis dan tiada hentinya menghibur penulis.
13. Thalyta Rizkha Pradipta yang menjadi tempat curhat penulis dan tiada hentinya memberi saran saran dalam kehidupan untuk penulis.
14. Teman – teman MT 16 DotA Player yang telah menyita waktu saya mengerjakan TA.
15. Teman-teman seperjuangan MT16 yang memberikan banyak cerita dalam kehidupan penulis.
16. Dan Seluruh pihak yang telah memberikan partisipasi dalam Tugas Akhir ini.
17. Serta seluruh pihak yang belum bisa dituliskan satu per satu oleh penulis. Terimakasih atas dukungan dan bantuan teman- teman sekalian.

(*Halaman ini sengaja dikosongkan)*

BIODATA PENULIS

Pandu Aditya Putra, Lahir di Tangerang pada tanggal 8 November 1996. Penulis menempuh pendidikan dasar di SD Islamic Village. Kemudian dilanjutkan ke jenjang pertama di SMPN 2 Kota Tangerang. Selanjutnya dilanjutkan ke jenjang atas di SMAN 2 Kota Tangerang. Lalu penulis melanjutkan pendidikan ke perguruan tinggi negeri yaitu di Departemen Teknik Material FTI-ITS.

Selama menempuh perkuliahan penulis juga tercatat aktif di acara departemen maupun institusi. Penulis pernah menjadi panitia di acara yg diadakan fakultas maupun institusi seperti Wisuda 113 HMMT FTI-ITS 2015 dan Dies Natalis HMMT ke-15, juga kepanitiaan Internasional seperti International Conference on Material and Metallurgical Engineering (ICOMMET) 2015 dan 2017. Penulis juga tercatat sebagai Pendiri & Kepala Departemen Internal NACE SC-ITS 2016/2017. Selain itu penulis juga pernah menjadi Staff Ahli Departemen Dalam Negeri HMMT FTI-ITS 2016/2017

Penulis memiliki pengalaman kerja praktek di PT. GMF AeroAsia Tangerang, Banten pada bulan Juni-Juli 2017 dan memiliki topik selama kerja praktek dengan judul "Studi Proses *Repair Welding Air Oil Separator* komponen *Engine CFM56-7B* di PT. GMF AeroAsia".

Tugas akhir yang diambil penulis yaitu dala bidang Korosi dan Analisis Kegagalan dengan judul "Analisis Pengaruh Variasi Temperatur dan Media Pendingin Proses *Hardening* Terhadap Sifat Mekanik dan Struktur Mikro *Hammer*".

(Halaman ini sengaja dikosongkan)