

**PENGARUH TEMPERATUR AUSTENISASI TERHADAP STRUKTUR
MIKRO DAN NILAI KEKERASAN MATERIAL
14% Cr-3% Ni-2% Mo- 2% C UNTUK APLIKASI BOLA GERUS
(Skripsi)**

Oleh

Imaniar Romaeni



**JURUSAN FISIKA
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG
2017**

ABSTRAK

**PENGARUH TEMPERATUR AUSTENISASI terhadap STRUKTUR
MIKRO dan NILAI KEKERASAN MATERIAL
14% Cr – 3% Ni – 2% Mo – 2% C untuk APLIKASI BOLA GERUS**

Oleh

IMANIAR ROMAENI

Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui pengaruh perlakuan panas berupa sub-kritis, austenisasi, quenching dan tempering terhadap nilai kekerasan dari material besi cor putih sebagai pertimbangan untuk pengujian nilai ketahanan aus dari produk bola gerus lokal dan membandingkannya dengan produk bola gerus luar negeri. Sampel akan diberikan perlakuan sub-kritis pada temperatur 700°C dengan waktu tahan 2 jam dan dilanjutkan dengan variasi temperatur austenisasi yaitu 850, 950 dan 1050°C dengan waktu tahan masing-masing sampel adalah 5 jam. Nilai kekerasan optimum diperoleh pada temperatur austenisasi 950°C yaitu sebesar 68,3 HRC dan mengalami penurunan pada suhu 1050°C hal ini dikarenakan terjadinya kelarutan unsur karbon penyusun pada matrik. Sampel akan di berikan perlakuan panas berupa tempering pada suhu 250°C dengan waktu tahan 2 jam. Nilai kekerasan setelah perlakuan tempering mengalami penurunan tetapi nilai laju keausan menjadi lebih baik yaitu sebesar 0,03 gr bola gerus / kg produk karena kombinasi penyusunnya yaitu kromium, molybdenum dan nikel yang tinggi.

Kata Kunci: Austenisasi, bola gerus, udara paksa.

ABSTRACT

EFFECTS of AUSTENIZATION TEMPERATURE on THE MICROSTRUCTURE and HARDNESS of 14% Cr-3%Ni-2% C-2% Mo for GRINDING BALL APPLICATION

By

IMANIAR ROMAENI

This study was conducted to determine the effect of heat treatment in the form of sub-critical, austenization, quenching and tempering the hardness values of the white cast iron material as consideration for testing wear resistance of local and foreign products as grinding balls. Samples was treated sub-critical at a temperature of 700°C with a hold time of 2 hours and continued with austenization temperature variation of 850, 950 and 1050°C with a hold time of each sample is 5 hours. The optimum hardness value was obtained at a temperature of 950°C austenization in the amount of 68.3 HRC and decreased at a temperature of 1050°C. It is because the solubility of carbon elements making up the matrix. Samples will treated tempering at a temperature of 250 ° C with a hold time of 2 hours. Hardness values after tempering treatment has decreased but the value of wear rate more than it up to 0.03 g ball grinding / kg due to a high combination of chromium, molybdenum and nickel.

Key words. *Austenization, forced air, grinding ball.*

**PENGARUH TEMPERATUR AUSTENISASI TERHADAP STRUKTUR
MIKRO DAN NILAI KEKERASAN MATERIAL
14% Cr – 3% Ni – 2% Mo – 2% C UNTUK APLIKASI BOLA GERUS**

Oleh

IMANIAR ROMAENI

Skripsi

**Sebagai salah satu syarat untuk mencapai gelar
SARJANA SAINS**

Pada

**Jurusan Fisika
Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam
Universitas Lampung**



**JURUSAN FISIKA
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG
2017**

Judul : PENGARUH TEMPERATUR AUSTENISASI
TERHADAP STRUKTUR MIKRO DAN NILAI
KEKERASAN MATERIAL 14% Cr - 3% Ni -
2% Mo - 2% C UNTUK APLIKASI BOLA
GERUS

Nama Mahasiswa : Imaniar Romaeni

Nomor Pokok Mahasiswa : 1217041019

Jurusan : Fisika

KIKK : Fisika Material

Fakultas : Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam



Prof. Drs. Posman Manurung, Ph.D
NIP. 19590308 199103 1 001

Fajar Nurjaman, M.T
NIP. 19800502 200312 1 005

2. Ketua Jurusan Fisika

Arif Surtano, S.Si., M.Si., M.Eng.
NIP. 19710909 200012 1 001

MENGESAHKAN

1. Tim penguji

Ketia

: Prof. Drs. Posman Manurung, Ph.D

Sekretaris

Fajar Nurjaman, M.T

Penguji

Bukan pembimbing

: Suprihatin, S.Si., M.Si

2. Dekan Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam



Prof. Warsito, S.Si., DEA., Ph.D.

NIP. 19710212 1995 12 1 001

Tanggal Lulus Ujian Skripsi : 27 Februari 2017


PERNYATAAN

Dengan ini saya menyatakan bahwa dalam skripsi ini telah dibuat sendiri dengan sebenar-benarnya. Isi karyanya berasal dari hasil penelitian yang dikaitkan dengan literatur tertentu dan bimbingan kelompok penelitian. Sepanjang pengetahuan saya, skripsi ini tidak pernah menyalin suatu pernyataan yang sama dari berbagai sumber karya tulis, kecuali pernyataan tersebut digunakan sebagai bahan kutipan bacaan yang kemudian disebutkan dalam daftar pustaka. Selain itu, saya menyatakan pula bahwa skripsi ini belum pernah dipublikasikan dengan orang lain.

Apabila pernyataan saya tidak benar, maka saya bersedia dikenai sanksi sesuai dengan hukum yang berlaku.

Bandar Lampung, Februari 2017




Imaniar Romaeni
NPM. 1217041019

RIWAYAT HIDUP



Penulis dilahirkan di Bandar Jaya pada tanggal 12 Februari 1994 yang merupakan anak pertama dari tiga bersaudara dari pasangan Bapak Ali Furcon dan Ibu Mukmini. Penulis menyelesaikan pendidikan di SDN 02 Bandar Sakti pada tahun 2006, SMPN 03 Way Pengubuan pada tahun 2009, dan SMAN 01 Terbanggi Besar pada tahun 2012.

Pada tahun 2012 penulis diterima sebagai mahasiswa Jurusan Fisika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam melalui jalur ujian tulis SNMPTN.

Penulis melakukan Praktik Kerja Lapangan di UPT. BPML-LIPI Lampung dengan judul “Pengaruh *Thermal Hardening* dengan Variasi Media *Quenching* dan Temperatur *Tempering* terhadap Struktur Mikro dan Nilai Kekerasan Material Besi Cor Putih Paduan Kromium Tinggi (*High Chromium White Cast Iron*)”. Penulis juga pernah menjadi asisten Praktikum Fisika Dasar I dan Sains Dasar Fisika. Kemudian penulis melakukan penelitian dengan judul “Pengaruh Temperatur Austenisasi terhadap Struktur Mikro dan Nilai Kekerasan Material 14% Cr-3% Ni-2% Mo-2% C untuk Aplikasi Bola Gerus” sebagai tugas akhir di Jurusan Fisika FMIPA Unila.

MOTTO

“Mulailah segala yang baik dengan Bismillah”

“Niat dan Tekat yang Kuat adalah Kunci Kesuksesan”

Dengan Menyebut Nama Allah yang Maha Pengasih lagi Maha Penyayang
Kupersembahkan hasil karya yang sederhana ini kepada:

“Bapak dan Ibu”

Yang telah memberikan dukungan moril serta do'a yang tiada henti
untuk kesuksesanku, karena ku yakin tiada kata seindah do'a yang
terucap dari orang tua untukku.

“Bapak dan Ibu Dosen”

Pembimbing, penguji dan pengajar, yang selama ini telah tulus dan
ikhlas meluangkan waktunya untuk menuntun dan mengarahkanku,
memberikan bimbingan dan pelajaran yang tiada ternilai harganya, agar
diriku menjadi lebih baik.

“Adik-Adikku”

Yang membuatku semangat untuk terus memperbaiki diri menjadi
seorang kakak teladan.

“Sahabat-Sahabatku dan Fisika angkatan 2012”

Terima kasih telah memberikan pelajaran padaku dan membantuku
dalam penyusunan karya sederhana ini.

Universitas Lampung

Almamater Tercinta

KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan kepada Allah SWT atas rahmat dan hidayah-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul “Pengaruh Temperatur Austenisasi terhadap Struktur Mikro dan Nilai Kekerasan Material 14% Cr-3% Ni-2% Mo-2% C untuk Aplikasi Bola Gerus”. Tujuan utama penulisan skripsi ini adalah sebagai salah satu persyaratan untuk mendapatkan gelar S1 dan melatih penulis untuk berfikir logis dan kreatif dalam penulisan karya ilmiah.

Penulis menyadari dalam penulisan skripsi ini banyak terdapat kekurangan. Oleh sebab itu kritik dan saran sangat diperlukan untuk memperbaiki skripsi. Semoga skripsi ini bermanfaat bagi pengetahuan mahasiswa pada khususnya dan masyarakat pada umumnya, Amin.

Bandar Lampung, Februari 2017
Penulis

Imaniar Romaeni

SANWACANA

Puji syukur senantiasa penulis panjatkan kehadirat Allah SWT, atas limpahan rahmat dan hidayah-Nya sehingga skripsi ini dapat diselesaikan. Penulis menyadari bahwa dalam penyusunan skripsi ini tidak terlepas dari dukungan dan bantuan berbagai pihak. Untuk itu penulis mengucapkan terima kasih kepada:

1. Bapak Prof. Drs. Posman Manurung, Ph.D selaku Pembimbing I yang senantiasa membimbing dan memberikan nasehat untuk menyelesaikan skripsi.
2. Bapak Fajar Nurjaman, M.T selaku Pembimbing II yang telah memberikan masukan-masukan dan nasehat untuk menyelesaikan skripsi.
3. Ibu Suprihatin, S.Si., M.Si selaku Penguji yang telah memberikan kritik dan saran selama penulisan skripsi.
4. Kedua Orang Tua tercinta yang menjadi semangat dan selalu memberikan dukungan, motivasi dan do'a yang tak pernah henti untuk penulis.
5. Adik-adikku tersayang Maulida Elviyana Dewi dan M. Aziz Nawawi serta keluarga besar atas dukungan dan do'a serta selalu menjadi motivasi bagi penulis.

Semoga Allah SWT membalas segala kebaikan dan niat baik yang telah diberikan oleh berbagai pihak sehingga skripsi ini dapat selesai dan bermanfaat.

DAFTAR ISI

	Halaman
ABSTRAK	i
ABSTRACT	ii
HALAMAN JUDUL	iii
HALAMAN PERSETUJUAN	iv
HALAMAN PENGESAHAN	v
PERNYATAAN	vi
RIWAYAT HIDUP	vii
MOTTO	viii
PERSEMBAHAN	ix
KATA PENGANTAR	x
SANWACANA	xi
DAFTAR ISI	xii
DAFTAR GAMBAR	xiv
DAFTAR TABEL	xv
I. PENDAHULUAN	
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	4
1.3 Batasan Masalah	5
1.4 Tujuan Penelitian	5
1.5 Manfaat Penelitian	6

II. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Bola Gerus	7
2.2 Besi Cor Putih	8
2.3 Pengaruh Unsur Paduan Kromium	9
2.4 Perlakuan Panas	10
2.5 Media Pendinginan Cepat	12
2.6 Logam Besi/Baja untuk Aplikasi Ketahanan Aus	13
2.7 Kekerasan.....	14
2.8 Spektroskopi Emisi Optik	18
2.9 Mikroskop Optik	20

III. METODE PENELITIAN

3.1 Waktu dan Tempat Penelitian	22
3.2 Alat dan Bahan Penelitian	22
3.3 Prosedur Penelitian	22
3.4 Diagram Alir Penelitian	26

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Karakterisasi Material Sebelum dan Setelah Perlakuan Sub-Kritis	27
4.2 Pengaruh Variasi Temperatur Austenisasi terhadap Nilai Kekerasan dan Struktur Mikro.....	33
4.3 Pengaruh Perlakuan Panas <i>Tempering</i> terhadap Nilai Kekerasan dan Struktur Mikro	36
4.4 Uji Ketahanan Aus Produk Bola Gerus	38

V. KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan	43
5.2 Saran	44

DAFTAR PUSTAKA

LAMPIRAN

DAFTAR GAMBAR

Gambar	Halaman
2.1. Struktur mikro besi cor putih sebelum diberikan perlakuan panas dengan penampakan Fe_3C , perlit dan austenit	9
2.2. Diagram fase Fe-C	10
2.3. Struktur mikro besi cor putih paduan kromium tinggi dengan struktur karbida eutektik (EC), martensit (M)	11
2.4. Skema uji kekerasan dengan menggunakan metode Rockwell	16
2.5. Proses indentasi Brinell	17
2.6. Indentor pyramid intan untuk pengujian Vickers	19
2.7. Spektroskopi emisi optik.....	20
3.1. Skema pengujian ketahanan aus bola gerus pada mesin penggiling bola .	25
3.2. Diagram alir penelitian.....	26
4.1. Struktur mikro besi cor putih paduan kromium tinggi kondisi sebelum dan setelah perlakuan sub-kritis (etsa nital 3%).....	30
4.2. Struktur mikro besi cor putih setelah proses austenisasi yang dilanjutkan dengan pendinginan cepat menggunakan udara paksa	33
4.3. Pengaruh variasi temperatur austenisasi terhadap nilai kekerasan	35
4.4. Struktur mikro besi cor putih setelah tempering	36
4.5. Pengaruh tempering terhadap nilai kekerasna besi cor putih paduan kromium tinggi	36

DAFTAR TABEL

Tabel	Halaman
2.1. Spesifikasi material besi cor putih paduan kromium tinggi	14
3.1. Ukuran jumlah sampel untuk masing-masing perlakuan panas	23
4.1. Hasil pengujian komposisi kimia bola gerus	27
4.2. Perbandingan nilai kekerasan kondisi sebelum dan setelah perlakuan panas sub-kritis	32
4.3. Perbandingan nilai laju keausan produk bola gerus lokal dan luar negeri	40

I. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Banyaknya investasi di industri semen yang ada di Indonesia menyebabkan permintaan semen mengalami kenaikan selama tiga tahun terakhir. Selain itu meningkatnya permintaan tersebut, juga ditunjang oleh pertumbuhan properti serta program pembangunan infrastruktur yang terus didorong pemerintah hingga beberapa tahun ke depan. Oleh karena itu Indonesia harus meningkatkan kapasitas pengadaan produksi pabrik semen untuk memenuhi permintaan semen yang terus naik didalam negeri (Kemenperin, 2016). Bola gerus merupakan komponen yang penting dalam industri semen. Ketergantungan akan bola gerus ini menyebabkan biaya produksi pada industri semen meningkat. Namun, bola gerus di Indonesia saat ini masih belum sebaik kualitas bola gerus dari luar negeri (Kartikasari dkk, 2007; Nurfanani, 2013; Shofi dkk, 2013).

Bola gerus asal luar negeri yang umum digunakan di Indonesia adalah bola gerus asal India dan China dengan nilai kekerasan dan ketahanan aus yang dimiliki oleh produk bola gerus asal India adalah sebesar 616 HBN dan 0,19 gr bola gerus/ kg produk, sedangkan untuk nilai kekerasan yang dimiliki oleh produk asal China dengan nilai kekerasan sebesar 442 HBN dan ketahanan aus yang dimiliki oleh produk bola gerus ini adalah sebesar 1,19 gr bola gerus / kg produk (Nurjaman dkk,

2012). Bola gerus disyaratkan memiliki kekerasan yang tinggi, ketahanan aus, ketahanan korosi, dan ketahanan impact yang tinggi. Maka bahan baku yang sesuai dengan sifat-sifat tersebut adalah logam yang mengandung Fe dengan beberapa unsur paduan.

Besi cor putih banyak digunakan pada pembuatan material untuk aplikasi tahan gesek karena martensit tersebut memiliki struktur karbida yang memiliki nilai kekerasan yang lebih tinggi di bandingkan dengan struktur martensit, austenit, dan ferit pada logam besi/ baja. Unsur karbon akan bercampur dengan besi membentuk karbida sementit (Fe_3C) yang menyebabkan besi cor putih menjadi keras, tahan panas dan tahan aus tetapi sangat rapuh (Avner, 1982). Sifat-sifat mekanik besi cor dapat dimodifikasi dengan cara pengaturan komposisi kimianya, terutama kadar karbon, krom, mangan dan lain-lain (Sumpena, 2014).

Efek dari paduan unsur krom adalah membentuk karbida krom, sehingga kuat dan keras, meningkatkan ketahanan korosi, kekuatan tarik, ketangguhan dan ketahanan abrasi (Sumpena, 2014).

Perlakuan panas berupa austenisasi yang dilanjutkan dengan proses pendinginan cepat akan meningkatkan nilai kekerasan seiring meningkatnya temperatur austenisasi. Struktur mikro didominasi martensit dan austenit sisa, struktur martensit ini merupakan struktur yang sangat keras (Husain *et al.*, 2013). Kehadiran austenit sisa akan menyebabkan nilai kekerasan menurun (Barlow *et al.*, 2012). Semakin tinggi temperatur austenit yang digunakan struktur austenit sisa yang

terbentuk akan semakin banyak namun struktur bainit yang diperoleh semakin sedikit (Lubis, 2010).

Setelah proses tempering / penemperan fase austenit sisa akan meningkatkan ketangguhan dan struktur mikro yang terbentuk akan lebih homogen dibandingkan dengan struktur sebelum diberikan perlakuan panas berupa penemperan (Nurjayanti dkk, 2013). Penemperan didefinisikan sebagai proses pemanasan logam setelah dikeraskan (*quenching*) pada temperatur *tempering* (di bawah temperatur kritis) sehingga diperoleh sifat mudah dibentuk secara tertentu, yang dilanjutkan dengan proses pendinginan (Murtiono, 2012).

Sebelumnya telah dilakukan penelitian terkait oleh Riansyah (2012), pada pembuatan bola gerus dengan bahan baku besi cor putih paduan kromium tinggi, dengan komposisi 2,23% C – 13,3% Cr – 0,66% Mo dengan variasi temperatur pada perlakuan panas berupa austenisasi yaitu 850°C, 950°C, dan 1050°C yang dilanjutkan dengan proses pendinginan sangat cepat yaitu *sub zero treatment* dimana nilai kekerasan meningkat dan optimum pada temperatur austenisasi 950°C, kemudian menurun pada 1050°C.

Tingginya nilai kekerasan pada temperatur 950°C tersebut dikarenakan terbentuknya struktur karbida sekunder dengan jumlah yang lebih tinggi jika dibandingkan dengan material pada temperatur 850°C dan 1050°C. Sedangkan menurun pada temperatur austenisasi 1050°C akibat terjadi pelarutan karbon pada fasa austenit pada temperatur yang terlalu tinggi. Namun nilai kekerasan yang didapatkan terpaut kecil di bawah standar minimum yakni 58,5 HRC sedangkan

nilai kekerasan minimum bola gerus berdasarkan SNI 07-1069-1989 untuk besi cor putih adalah 59 HRC.

Dengan kata lain nilai kekerasan yang disyaratkan sebagai bahan baku pembuatan bola gerus belum tercapai. Oleh karena itu perlu dilakukan penelitian lebih lanjut terkait proses perlakuan panas yang tepat untuk memperoleh bola gerus dengan nilai kekerasan dan ketangguhan yang berimbang, sehingga diperoleh bola gerus yang memenuhi persyaratan SNI.

Oleh karena itu pada penelitian ini akan dilakukan pembuatan bola gerus dari bahan baku besi cor putih dengan komposisi 14,29% Cr – 3,03% Ni – 2,12% Mo – 2,32% C. Bola gerus ini diberikan perlakuan panas berupa austenisasi pada temperatur 850°C, 950°C, dan 1050°C selanjutnya dilakukan pengujian kekerasan, struktur mikro dan ketahanan aus untuk mengetahui pengaruh temperatur austenisasi terhadap produk bola gerus lokal dan membandingkannya dengan produk bola gerus luar negeri. Penelitian ini diharapkan mampu menghasilkan produk bola gerus dengan nilai kekerasan dan ketahanan aus yang lebih baik atau menyerupai kualitas produk bola gerus luar negeri melalui variasi temperatur austenisasi dan komposisi pada produk bola gerus lokal ini.

1.2 Rumusan Masalah

Adapun rumusan masalah dalam penelitian ini adalah:

1. Bagaimana pengaruh perlakuan panas sub-kritis terhadap nilai kekerasan dan struktur mikro produk bola gerus hasil penelitian.

2. Bagaimana pengaruh temperatur austenisasi terhadap nilai kekerasan dan struktur mikro produk bola gerus hasil penelitian.
3. Bagaimana pengaruh perlakuan panas tempering terhadap nilai kekerasan dan struktur mikro produk bola gerus hasil penelitian.
4. Bagaimana perbedaan ketahanan aus bola gerus dari material besi cor putih paduan kromium tinggi lokal dengan bola gerus dari luar negeri.

1.3 Batasan Masalah

Adapun batasan masalah dalam penelitian ini adalah:

1. Menganalisis pengaruh perlakuan panas berupa sub-kritis, variasi temperatur austenisasi yaitu temperatur 850°C, 950°C, dan 1050°C, dan tempering terhadap sifat fisis dan mekanik pada bola gerus dari bahan baku besi cor putih paduan kromium tinggi.
2. Menganalisis nilai ketahanan aus dari produk bola gerus hasil penelitian berdasarkan nilai kekerasan terbaik yang diperoleh setelah perlakuan panas.
3. Pengujian yang dilakukan meliputi pengujian kekerasan, ketahanan aus, dan struktur mikro.

1.4 Tujuan Penelitian

Tujuan dilakukan penelitian ini adalah:

1. Mengetahui pengaruh perlakuan panas sub-kritis terhadap nilai kekerasan dan struktur mikro produk bola gerus hasil penelitian.
2. Mengetahui pengaruh temperatur austenisasi terhadap nilai kekerasan dan struktur mikro produk bola gerus hasil penelitian.

3. Mengetahui pengaruh perlakuan panas tempering terhadap nilai kekerasan dan struktur mikro produk bola gerus hasil penelitian.
4. Mengetahui perbedaan ketahanan aus bola gerus dari material besi cor putih paduan kromium tinggi lokal dengan bola gerus dari luar negeri.

1.5 Manfaat Penelitian

Penelitian ini diharapkan memiliki manfaat sebagai berikut:

1. Memberikan suatu parameter proses perlakuan panas yang tepat untuk produk bola gerus yang terbuat dari material besi cor putih paduan kromium tinggi sehingga di peroleh nilai kekerasan, ketangguhan dan ketahanan aus yang optimal.
2. Membantu industri semen lokal mengurangi ketergantungan akan produk bola gerus luar negeri dan meningkatkan umur pakai produk bola gerus dalam pembuatan semen dengan nilai ketahanan aus yang tinggi pada berbagai industri semen.

II. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Bola Gerus

Bola gerus merupakan salah satu media untuk proses penggerusan batuan mineral. Batuan mineral logam yang digerus umumnya berukuran 15 mm dan direduksi hingga 10 μm -300 μm . Gaya-gaya yang bekerja untuk memecahkan biji logam tersebut merupakan gabungan dari gaya dampak dan gaya abrasi (gesek). Peralatan penggerus yang biasanya dipakai dalam industri adalah mesin penggerus batuan. Peralatan tersebut berbentuk silinder yang berputar pada sumbu dengan posisi horizontal dengan 50% volumenya berisi bola gerus. Biji logam dan air dimasukkan secara kontinu. Air disini berfungsi menjaga fluiditas dan plastisitas biji logam. Bola akan bergerak bebas dan tidak terikat satu sama lain serta berukuran jauh lebih besar dan berat daripada biji logam. Adanya gesekan antara dinding mill dan bola, yang menyebabkan bola akan terangkat hingga suatu titik dimana gaya gravitasi lebih besar dari gaya friksi dan gaya sentrifugal (Wahjudi dkk, 2000).

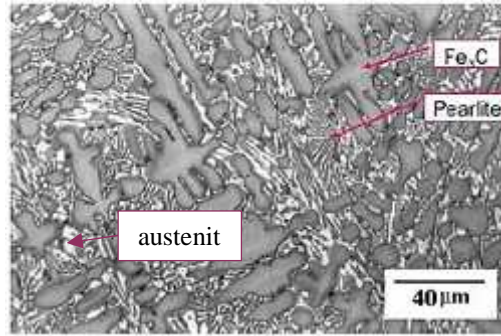
Material yang dipilih sebagai bahan bola gerus biasanya keramik, baja dan besi paduan. Bola gerus tersebut harus mempunyai karakteristik tahan aus, tangguh menerima beban dampak dalam mesin penghancur yang berputar, tahan korosi untuk menanggung beban dan lingkungan selama proses penggilingan batuan.

Permasalahannya bola gerus sering mengalami penyusutan akibat panas pada saat penggilingan, pecah sebelum waktu yang direncanakan dan tidak rata permukaannya sehingga tidak dapat bekerja dengan optimal. Untuk mengatasi permasalahan tersebut dapat dilakukan dengan cara pengecoran ulang bola gerus dan pelapisan permukaan (Darma, 2014).

2.2 Besi Cor Putih

Besi cor adalah paduan besi yang mengandung karbon lebih dari 2%, silisium (1%-3%), fosfor dan belerang (Sordia, 1976). Sifat mekanik pada besi cor sangat dipengaruhi oleh tingginya kadar karbon dalam material tersebut. Ada dua faktor utama yang mengontrol sifat ini: (a) tipe, ukuran, dan distribusi ukuran dari nodul grafit dan (b) tipe dari matrik (Carazo *et al.*, 2013).

Sehingga pada umumnya struktur akhir dari besi cor putih dengan paduan krom (setelah memperoleh perlakuan panas) adalah martensit dan kromium karbida. Pada saat penuangan logam cair dari material besi cor putih dan kemudian membeku maka karbon akan bercampur dengan besi membentuk karbida sementit seperti pada Gambar 2.1 yang menyebabkan besi cor putih menjadi keras, tahan panas dan aus tetapi sangat rapuh dan sukar dikerjakan dengan mesin (Subardi dkk, 2011).



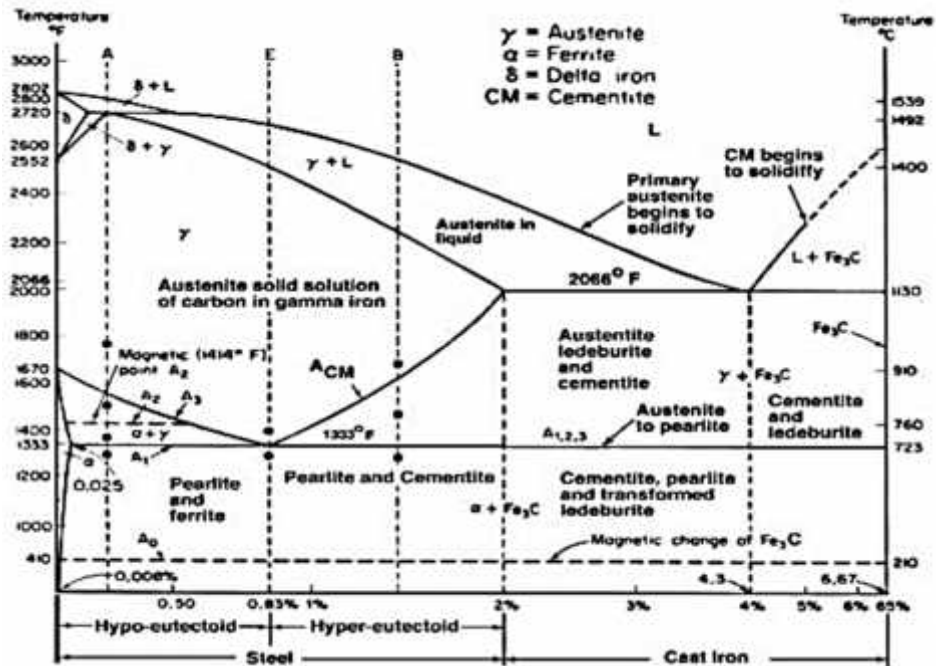
Gambar 2.1 Struktur mikro besi cor putih sebelum diberikan perlakuan panas dengan penampakan Fe_3C , perlit dan austenit (Amanda, 2015).

2.3 Pengaruh Unsur Paduan Kromium

Kromium memiliki tiga fungsi utama dalam besi cor, yaitu untuk meningkatkan nilai kekerasan melalui pembentukan karbida, untuk meningkatkan ketahanan korosi dan sebagai penstabiliser struktur besi/baja untuk aplikasi pada lingkungan temperatur tinggi. Selain itu penambahan unsur kromium dalam material besi/baja memberikan pengaruh terhadap peningkatan kemampuan suatu material untuk membentuk fase martensit, kekuatan tarik, ketangguhan dan ketahanan abrasi (Gupta, 2002).

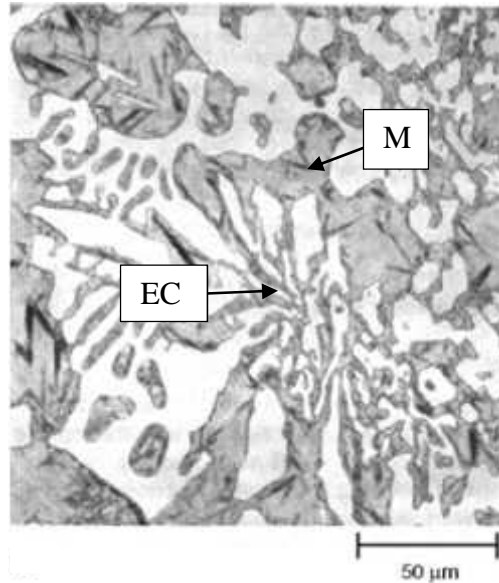
Nilai ketahanan abrasi yang tinggi akibat pengaruh unsur kromium ini sangat baik terutama dalam penggunaannya sebagai material bola gerus dalam mesin penggilingan bola (Matsubara *et al.*, 2001).

Kromium dapat membantu meningkatkan kekerasan juga berkontribusi untuk menurunkan temperatur (A4) dan kenaikan temperatur (A3) seperti pada Gambar 2.2. Penambahan unsur kromium juga berpengaruh terhadap meningkatnya pertumbuhan butir. Oleh karena itu dibutuhkan ketelitian selama proses perlakuan panas dan menghindari pemanasan meningkat (Nasir, 2015).



Gambar 2.2 Diagram fase Fe-C (ASM, 1991).

Peningkatan fraksi volume karbida dapat diperoleh dengan meningkatkan kandungan karbon atau kromium, hal tersebut dapat memperbaiki ketahanan aus tetapi menurunkan ketangguhan. Struktur yang terbentuk pada besi cor putih paduan kromium tinggi seperti pada Gambar 2.3 dan sebaliknya, penurunan fraksi volume karbida dapat meningkatkan jumlah matrik metalik dalam memperbaiki ketangguhan tetapi mengurangi ketahanan aus. Metode lainnya untuk memperbaiki ketahanan aus tanpa mempengaruhi ketangguhan adalah dengan meningkatkan kekerasan dari karbida eutektik melalui penambahan unsur pembentuk karbida lainnya pada saat proses peleburan (Jacuinde *et al.*, 2015).



Gambar 2.3 Struktur mikro besi cor putih paduan kromium tinggi dengan struktur karbida eutektik (EC), martensit (M) (ASM, 1991).

2.4 Perlakuan Panas

Perlakuan panas dapat didefinisikan sebagai suatu proses kombinasi pengaturan pemanasan dan pendinginan pada suatu logam dalam kondisi padat yang bertujuan untuk mendapatkan sifat-sifat yang spesifik. Akibat proses perlakuan panas ini maka akan terjadi perubahan mikrostruktur pada logam (Yunaidi dan Harnowo, 2015).

Perlakuan panas mempunyai tujuan untuk meningkatkan keuletan, kehilangan tegangan internal, menghaluskan ukuran butir kristal dan meningkatkan kekerasan atau tegangan tarik logam. Beberapa faktor yang dapat mempengaruhi perlakuan panas yaitu suhu pemanasan, waktu yang diperlukan pada suhu pemanasan, laju pendinginan dan lingkungan atmosfer (Handoyo, 2015).

Perlakuan panas pada besi cor putih kromium paduan tinggi umumnya dilakukan untuk presipitasi karbida sekunder, yang juga didukung oleh destabilisasi austenit yang kemudian bertransformasi menjadi martensit.

2.4.1 Perlakuan Sub-kritis

Perlakuan sub-kritis merupakan tahapan perlakuan panas yang dilakukan untuk mendapatkan struktur perlit diantara matriks austenit. Sub-kritis ini dilakukan sedikit di bawah temperatur kritis A_1 yaitu pada suhu 723°C (Chandler, 1995). Hal ini dilakukan agar austenit tidak menjadi stabil saat proses destabilisasi sehingga austenit dapat bertransformasi menjadi martensit. Selain itu perlakuan sub-kritis juga berfungsi untuk mentransformasi austenit sisa yang didapat dari material yang belum diberikan perlakuan panas (Riansyah, 2012).

2.4.2 Austenisasi

Austenisasi bertujuan untuk mendapatkan struktur austenit yang homogen. Kesetimbangan kadar karbon austenit akan bertambah dengan naiknya suhu austenisasi, hal ini mempengaruhi karakteristik isothermal.

2.4.3 Pendinginan Cepat

Pendinginan Cepat adalah perlakuan panas terhadap logam seperti baja dan besi paduan dengan sasaran meningkatkan kekerasan alami logam tersebut. Perlakuan panas menuntut pemanasan benda kerja menuju suhu pengerasan dan pendinginan cepat dengan kecepatan pendinginan kritis.

2.4.4 Penemperan / *Tempering*

Penemperan didefinisikan sebagai proses pemanasan logam setelah dikeraskan (*quenching*) pada temperatur *tempering* (di bawah suhu kritis) sehingga diperoleh sifat mudah dibentuk secara tertentu, yang dilanjutkan dengan proses pendinginan. Prosesnya adalah memanaskan kembali berkisar antara suhu 150°C - 650°C dan didinginkan secara perlahan-lahan tergantung sifat akhir baja tersebut (Murtiono, 2012).

2.5 Media Pendinginan Cepat

Quenching adalah proses pendinginan yang sangat cepat dari temperatur austenisasi. Pendinginan cepat menghasilkan perubahan struktur austenite menjadi struktur martensit. Beberapa dari penggunaan media pendinginan cepat secara luas adalah air, oli dan udara.

2.5.1 Air

Air adalah media pendinginan cepat yang paling umum karena biayanya yang murah, tersedia dalam jumlah yang melimpah dan mudah dalam penanganannya. Air memiliki tingkat pendinginan cepat maksimum diantara semua media *quenching*. Dalam penerapannya, air digunakan sebagai media pendinginan cepat dibatasi hanya untuk baja karbon biasa dan beberapa jenis dari baja paduan rendah. Baja-baja ini dicirikan dengan sifat mampu keras yang rendah.

2.5.2 Oli

Kebanyakan jenis oli yang digunakan sebagai media pendinginan cepat adalah oli tambang. Pendinginan cepat dalam oli memberikan tingkat pendinginan yang lebih

lambat dibandingkan dengan dengan media air. Tingkat pendinginan yang lambat menurunkan kemungkinan adanya cacat akibat terlalu keras pada potongan.

2.5.3 Udara

Banyak jenis logam seperti baja dan besi paduan yang mampu mendapatkan kekerasannya dengan udara biasa atau dengan udara paksa. Seperti baja yang paling umum dikenal sebagai baja dengan pengerasan udara. Logam jenis ini hampir bebas dari masalah distorsi. Akan tetapi, masalah mengenai oksidasi selama pendinginan cepat mungkin ditemukan dalam pelaksanaannya (Rajan *et al.*, 1997).

2.6 Logam Besi/Baja untuk Aplikasi Ketahanan Aus

Terdapat enam jenis besi atau baja yang digunakan pada aplikasi yang memiliki sifat ketahanan aus yang tinggi yaitu baja mangan, baja paduan rendah, baja kromium-molybdenum perlitik, dan besi cor putih paduan kromium tinggi. Kekuatan dari pendinginan cepat dan penemperan/ *tempering* baja dapat dilihat dari ukuran partikel, tingkat kepadatan, kerapatan, dan pengerasan. Tabel 2.1 menunjukkan tipe besi cor putih paduan kromium tinggi dengan standar ASTM A-532 berdasarkan persentasi besar masing-masing unsur yang terkandung di dalam logam tersebut. Penerapan logam dapat digunakan sesuai dengan tipe logam berdasarkan masing-masing komposisi unsurnya seperti pada Tabel 2.1 tentang spesifikasi dari komposisi paduan besi cor putih paduan kromium tinggi berdasarkan tipe material yang dapat digunakan.

Tabel 2.1. Spesifikasi material besi cor putih paduan kromium tinggi (Blair, 1995)

Identification		Chemistry (% wt)						Hardness (HBN)
Spec	Grade	C	Mn	Si	Ni	Cr	Mo	As- Cast/ Heat Treatment
ASTM A532	I-A	2.8-3.6	2.0 max	0.08 max	3.3-5.0	1.4-4.0	1.0 max	550/650
	I-B	2.4-3.0	2.0 max	0.08 max	3.3-5.0	1.4-4.0	1.0 max	550/650
	I-C	2.5-3.7	2.0 max	0.08 max	4.0 max	1.0-2.5	1.0 max	550/650
	I-D	2.5-3.6	2.0 max	2.0 max	4.5-7.0	7.0-11.0	1.5 max	550/650
	II-A	2.0-3.3	2.0 max	1.5 max	2.5 max	11.0-14.0	3.0 max	550/650
	II-B	2.0-3.3	2.0 max	1.5 max	2.5 max	14.0-18.0	3.0 max	550/650
	II-D	2.0-3.3	2.0 max	1.0-2.2	2.5 max	18.0-23.0	3.0 max	550/650
	III-A	2.0-3.3	2.0 max	1.5 max	2.5 max	23.0-30.0	3.0 max	550/650

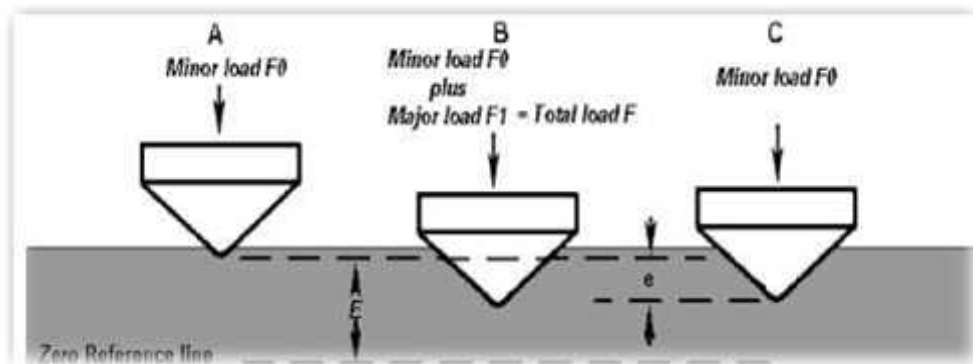
2.7 Kekerasan

Kekerasan adalah salah satu sifat mekanik dari suatu material. Kekerasan suatu material harus diketahui khususnya untuk material yang dalam penggunaannya akan mengalami gesekan dan deformasi plastis. Deformasi plastis sendiri suatu keadaan dari suatu material ketika material tersebut diberikan gaya maka struktur mikro dari material tersebut sudah tidak bisa kembali ke bentuk asal artinya material tersebut tidak dapat kembali ke bentuknya semula. Dengan kata lain kekerasan didefinisikan sebagai kemampuan suatu material untuk menahan beban indentasi atau penekanan (Fauzan, 2010).

2.7.1 Uji Kekerasan Rockwell

Prinsip kerja pengujian kekerasan pada metode Rockwell ditunjukkan pada Gambar 2.4 yaitu dengan menekan penetrator ke dalam benda kerja dengan pembebanan dan kedalaman indentasi yang didapatkan dari beban mayor dan minor. Uji kekerasan Rockwell C menggunakan indikator yang ditekankan pada permukaan berupa penetrator *speroconical diamond* (permata berbentuk kerucut) dengan sudut 120° dengan beban minor 10 kg serta beban mayor 150 kg atau beban awal $F_0 = 10$ kg, beban tambahan $F_1 = 140$ kg, jadi beban total $F = 10 +$

140 = 150 kg. Metode Rockwell sering dipakai karena kemudahannya yaitu dapat digunakan untuk mengukur benda kerja yang dikeraskan dan mesin uji kekerasan Rockwell dapat memberikan harga kekerasan secara langsung atau digital tanpa menghitung dan mengukur dari benda kerja yang diuji pada penunjuk (indikator) sehingga membuat waktu pengujian relatif lebih cepat (Effendi, 2009).



Gambar 2.4 Skema uji kekerasan menggunakan metode Rockwell (Higgins, 1999).

Dengan perhitungan nilai kekerasan Rockwell (HR):

$$HR = E - e \dots\dots\dots (2.1)$$

Dimana:

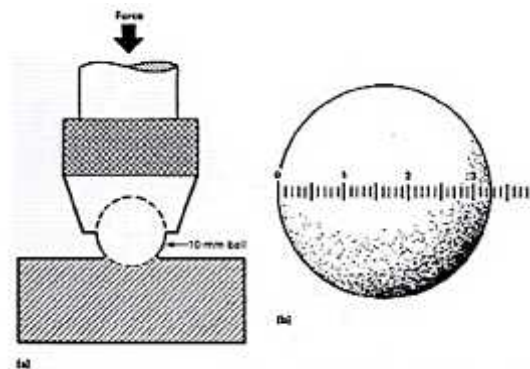
E = Konstanta tergantung dari indenter : skala kekerasan 100 untuk indenter dari kerucut intan, dan skala kekerasan 130 untuk indenter dari bola baja.

e = Penambahan kedalaman penetrasi dari beban mayor, diukur dalam unit 0,002 mm.

2.7.2 Uji Kekerasan Brinell

Uji kekerasan menggunakan Brinell adalah pengujian yang sederhana. Tetapi prosedur yang terperinci harus diikuti untuk mendapatkan hasil pengujian yang tepat. Pengujian ini dilakukan dengan memasang sebuah beban konstan biasanya

500 sampai 3000 kg, pada sebuah 10 mm (0.4 in.) diameter kekerasan baja. Bola untuk permukaan datar dari potongan sampel seperti pada Gambar 2.5a hasil dari sebuah penjejakan yang diberikan pada sampel tersebut akan berbentuk bulatan pada potongan sampel seperti ditunjukkan pada Gambar 2.5b. keseluruhan uji kekerasan dengan menggunakan metode Brinell ditampilkan pada Gambar 2.5.



Gambar 2.5 Proses indentasi Brinell (a) skematik prinsip indentasi Brinell. (b) indentasi Brinell dengan skala pengukuran dalam millimeter (Chandler, 1999).

Sebuah beban 500 kg secara umum digunakan untuk pengujian logam yang relatif lunak, seperti logam campuran Co dan Al, beban 3000 kg dipilih untuk material yang lebih keras seperti baja dan besi cor. Setelah pembebanan diaplikasikan biasanya 10 sampai 15 detik lama waktu yang dikenakan untuk setiap material yang keras seperti material *ferrous* dan sekitar 30 detik untuk material yang lebih lunak seperti material *nonferrous*. Perhitungan dengan Brinell *Hardness Number* (HB) dengan membagi beban yang diberikan dengan luas permukaan dari indentasi.

$$HB = \frac{L}{\frac{\pi}{2}(D - \sqrt{D^2 - d^2})} \dots\dots\dots (2.2)$$

Dimana L adalah beban dalam kg, D adalah diameter bola dalam mm dan d adalah diameter dari indentasi dalam mm. Perhitungan diatas tidak dibutuhkan untuk jenis

pengujian yang lain, untuk indentasi diameter jarak dari 2,00 ke 6,45 mm (0,078 ke 0,25 inch) untuk beban 500, 1000, 1500, 2000, 2500 dan 3000 kg pada bola dengan diameter 10 mm (Chandler, 1999).

2.7.3 Uji Kekerasan Vickers

Pengujian kekerasan dengan Vickers mengikuti prinsip Brinell. Sebuah indenter didefinisikan sebagai sebuah bentuk persegi yang ditekan ke dalam material untuk dilakukan pengujian. Nilai kekerasan dihitung dengan membagi beban dengan luas permukaan indentasi. Nilai kekerasan ditentukan dari perbandingan P/A, dimana beban P dalam Kg dengan luas permukaan A dari indentasi dalam millimeter persegi. Indentor dalam bentuk persegi dengan dasar berbentuk piramid intan dengan sudut 136°. Beban yang diberikan berbeda berdasarkan ketebalan dari material yang akan diuji di atas rentang 1 sampai 120 kg. *Vickers Hardness Number* (HV) dihitung dari:

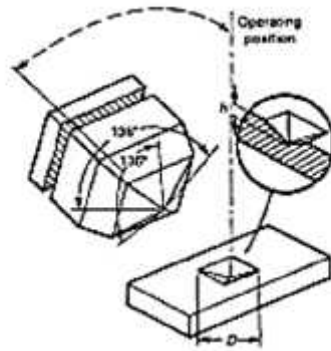
$$HV = \frac{2P \sin\left(\frac{\alpha}{2}\right)}{d^2} ; \text{ karena } \alpha = 136^\circ, \text{ maka}$$

$$HV = \frac{1,8 P}{d^2} \dots\dots\dots (2.3)$$

Dimana : P = Beban (kg)

d = Diagonal indentasi (mm)

= sudut permukaan intan (136°)



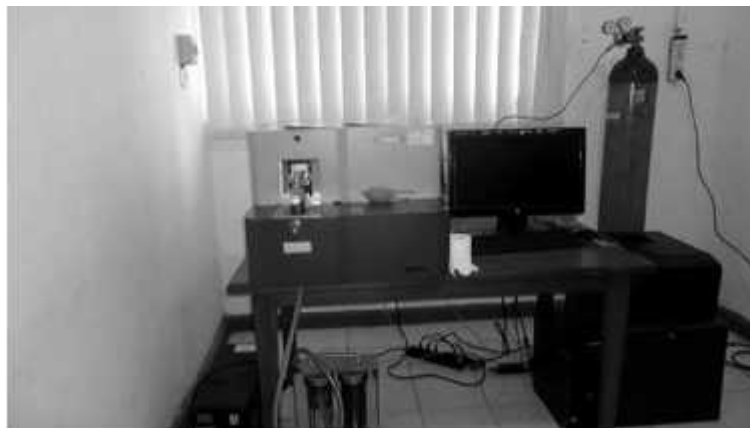
Gambar 2.6 Indentor pyramid intan untuk pengujian Vickers dan menghasilkan indentasi dalam potongan material uji (Blake, 1985).

Dalam mekanismenya dibuat untuk menghindari terjadinya guncangan dari sisi ke sisi lainnya ketika beban diberikan atau dipindahkan. Sebuah mikroskop digunakan sebagai pengukuran untuk menentukan penjejakan yang tepat pada bidang optik. Bidang yang akan di lakukan penjejakan harus di persiapkan semengkilap mungkin dan indentor yang akan diberikan memiliki sudut permukaan sebesar $136^\circ \pm \left(\frac{1}{2}\right)^\circ$. Pengukuran kekerasan Vickers dapat secara tepat yang digunakan untuk kekerasan sampai 1300 (mendekati 850 HB). Pengujian dapat dilakukan pada material setipis 0,00024 mm (Blake, 1985).

2.8 Spektroskopi Emisi Optik

Spektroskopi emisi optik adalah teknik penting untuk analisis multi elemen dari berbagai macam bahan. OES melibatkan pengukuran radiasi elektromagnetik yang dipancarkan dari atom. Baik data kualitatif dan kuantitatif dapat diperoleh dari jenis analisis ini. Mesin OES, seperti Gambar 2.7 dikalibrasi terlebih dahulu dan masuk ke mode analisis *Fe-base*. Setelah dikalibrasi, sampel yang telah dipersiapkan diletakkan di tempat yang telah disediakan untuk selanjutnya

ditembak sebanyak 3x. Selanjutnya data tercatat secara otomatis di dalam komputer (Yunior, 2011).



Gambar 2.7 Spektroskopi emisi optik (Sumber: Balai Penelitian Teknologi Mineral-LIPI, 2016)

Hasil dapat diketahui melalui panjang gelombang dan intensitas sinar yang terpancar. Sinar yang terpancar memiliki panjang gelombang tertentu sesuai dengan jenis atom unturnya dan intensitas sinar yang terpancar sebanding dengan kadar konsentrasi unturnya.

Proses ini terjadi oleh plasma yang dilengkapi dengan tabung konsentris yang disebut torch, yang terbuat dari silika. Pembentukan induksi plasma sangat bergantung pada kekuatan medan magnet dan pola yang mengikuti aliran gas. Cahaya emisi oleh atom suatu unsur harus dikonverisi ke suatu sinyal listrik yang dapat diukur banyaknya. Hal ini diperoleh dengan mengubah cahaya tersebut ke dalam komponen radiasi dengan cara difraksi kisi. Keuntungannya adalah mampu mengidentifikasi dan mengukur semua elemen secara bersamaan (Ghosh *et al.*, 2013).

2.9 Mikroskop Optik

Prinsip kerja dari alat uji struktur mikro (mikroskop optik) yaitu berkas horizontal cahaya dari sumber cahaya dipantulkan dengan memakai reflektor kemudian melalui lensa objektif sinar diteruskan ke atas permukaan sampel. Beberapa cahaya dipantulkan dari permukaan sampel akan diperbesar melalui lensa objektif dan okuler yang biasanya digambarkan pada puncak lensa yang terhubung dengan komputer ketika mengambil foto struktur mikro didapat hasil yang presisi (Fitri, 2012).

Uji struktur mikro bertujuan untuk melihat dan menganalisis jenis dan bentuk struktur mikro setelah mengalami proses perlakuan panas agar dapat membandingkan struktur mikro antara sebelum dan sesudah dilakukannya perlakuan panas (*heat treatment*), sedang spesimen metalografi sama dengan untuk uji kekerasan dan alat pemeriksaannya memakai mikroskop optik dan stereo (Sardjono and Koos, 2009).

III. METODE PENELITIAN

3.1 Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian ini dilakukan pada bulan Juli sampai Oktober 2016 di Laboratorium Unit Pengecoran di Balai Penelitian Teknologi Mineral LIPI (BPTM LIPI) Lampung.

3.2 Bahan dan Alat Penelitian

Adapun bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah potongan besi, kromium (Cr), bakelite, dan larutan nital. Sedangkan alat-alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah *furnace* atau tungku pemanas, mikroskop optik, mesin amplas, mesin poles, mesin rockwell *hardness*.

3.3 Prosedur Penelitian

Prosedur dalam penelitian ini terdiri dari beberapa langkah yaitu proses peleburan untuk meleburkan material potongan besi dengan kromium sebagai bahan dasar pembuatan bola gerus, kemudian proses perlakuan panas untuk mengetahui pengaruhnya terhadap sifat mekanis material yang akan dibuat, setelah itu melakukan karakterisasi dan analisis sebagai tahap akhir.

3.3.1 Proses Peleburan

Proses peleburan dapat dilakukan dengan langkah:

1. Meleburkan potongan besi dan kromium (12-15% berat) pada tungku induksi.
2. Proses peleburan dilakukan pada temperatur 1450°C - 1500°C.
3. Mencetak logam cair pada cetakan bola (diameter 5 cm).
4. Melakukan preparasi yaitu dengan memotong bola dalam bentuk kecil untuk pengujian kekerasan dan struktur mikro.

3.3.2 Proses Perlakuan Panas

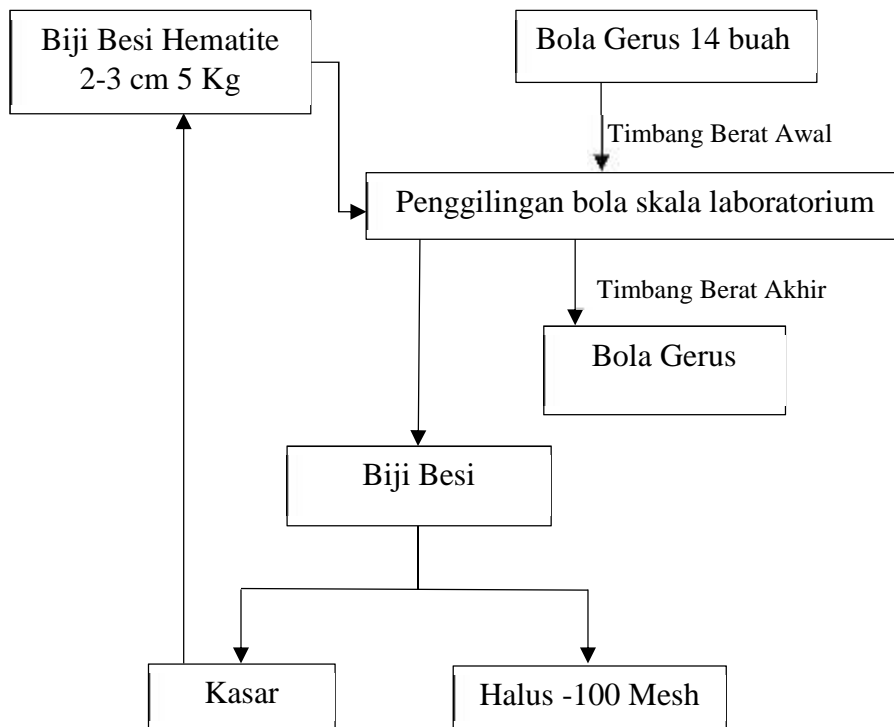
Serangkaian proses perlakuan panas dilakukan untuk mengubah struktur mikro dari besi cor putih paduan kromium tinggi dengan langkah di bawah ini:

1. Tahap awal sampel akan diberikan perlakuan sub-kritis dengan memanaskan sampel pada temperatur 700°C dengan waktu tahan 2 jam.
2. Perlakuan Austenisasi pada temperatur masing-masing 850°C, 950°C, dan 1050°C dengan waktu tahan 2 jam.
3. Perlakuan panas *tempering* pada temperatur 250°C dengan waktu tahan 2 jam.
4. Setiap setelah proses perlakuan panas sampel akan dilakukan uji kekerasan dan struktur mikro dengan kode sampel dan jumlah masing-masing sampel seperti pada Tabel 3.1.

Tabel 3.1 Jumlah sampel untuk masing-masing perlakuan panas.

Kode Sampel	Perlakuan Panas	Jenis Pengujian			Jumlah Sampel
		Komposisi Kimia	Kekerasan	Struktur Mikro	
A	<i>As-cast</i>	1	1	1	3
B	Sub-kritis	-	1	1	2
C	Austenisasi 850°C	-	1	1	2
D	Austenisasi 950°C	-	1	1	2
E	Austenisasi 1050 °C	-	1	1	2
F	Penemperan sampel Austenisasi 850 °C	-	1	1	2
G	penemperan sampel Austenisasi 950 °C	-	1	1	2
H	Penemperan sampel Austenisasi 1050 °C	-	1	1	2
Jumlah sampel keseluruhan					17

Pengujian untuk masing- masing sampel yang telah melalui proses perlakuan panas berupa austenisasi dan penemperan dimaksudkan untuk mengetahui material yang dianggap layak sebagai bahan untuk pembuatan bola gerus, maka setelah itu akan dilakukan uji ketahanan aus pada mesin penggilingan bola skala laboratorium selama 6 jam dimana didalamnya terdapat 14 bola gerus dan bijih besi *abrasive hematite* setelah proses penggerusan maka biji besi akan dikeluarkan bersamaan dengan bola gerus dan dilakukan pengayakan produk halus yang lolos mesh 100 akan dilakukan penimbangan begitu pula dengan bola gerus akan dilakukan penimbangan berat awal bola gerus sebelum dan sesudah dilakukan penggerusan dan produk bijih besi yang kasar akan ditimbang kembali dengan penambahan bijih besi baru hingga mencapai 5 kg dan akan kembali dilakukan penggerusan, proses ini akan dilakukan sebanyak 4 kali pengulangan. Untuk lebih memahami maka Gambar 3.1 menampilkan skema pengujian ketahanan aus pada bola gerus.



Gambar 3.1 Skema pengujian ketahanan aus bola gerus pada mesin Penggilingan bola skala laboratorium

Berdasarkan skema pengujian ketahanan aus pada Gambar 3.1 maka nilai ketahanan aus dari sampel tersebut dapat dinyatakan dalam persamaan (3.1).

$$\text{Laju Keausan } \left(\frac{g}{g \cdot p} \right) = \frac{W_c - W_1}{W_p \cdot na} \quad (3.1)$$

Dengan W_c = Berat awal bola gerus (*grinding ball*).

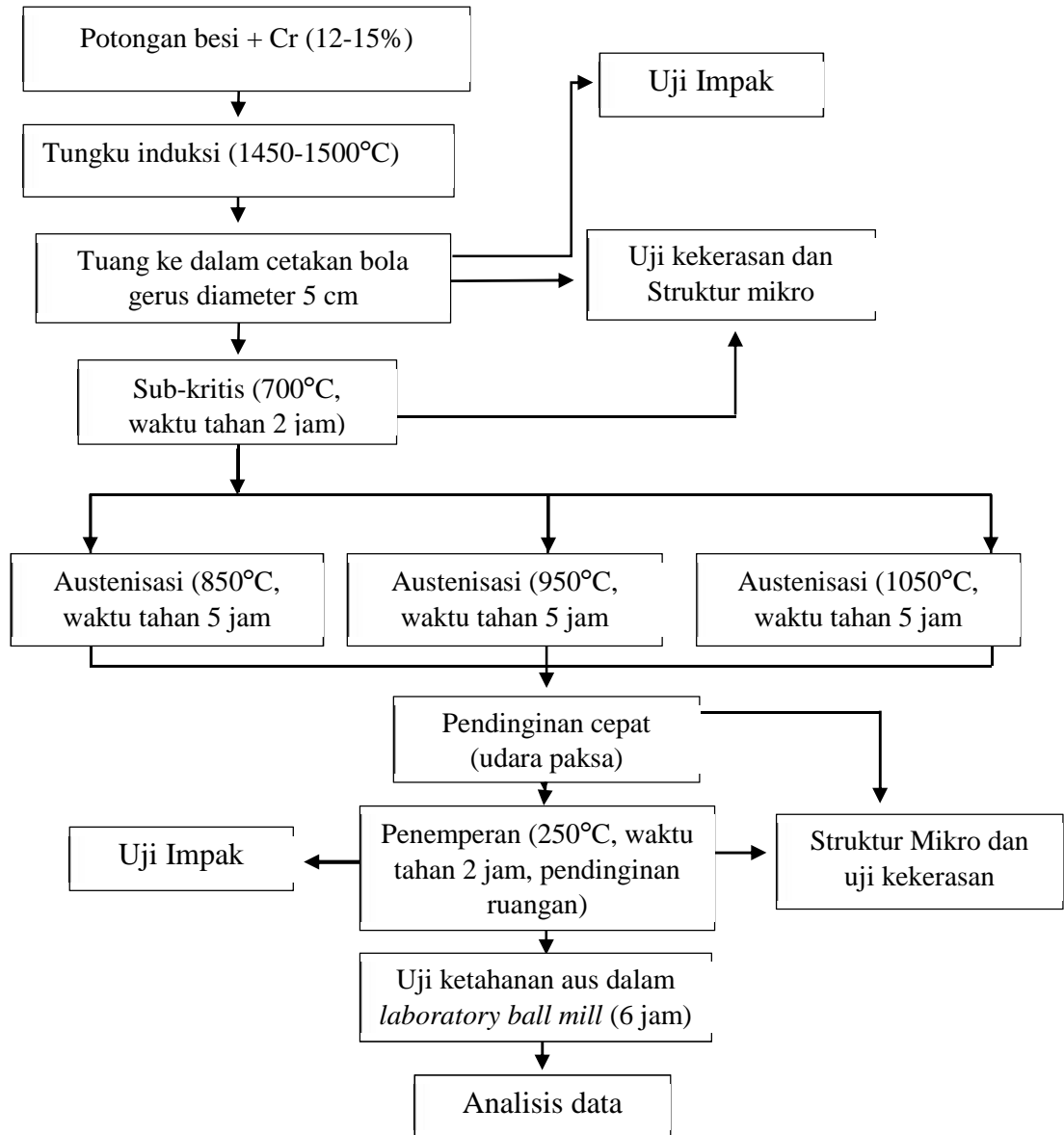
W_1 = Berat akhir setelah proses penggerusan dalam mesin penggilingan bola skala laboratorium.

$W_p \quad na$ = Produk halus yang sudah digerus 100 mesh.

3.4 Diagram Alir Penelitian

Keseluruhan metode penelitian yang dilakukan disajikan dalam diagram alir.

Adapun diagram alir penelitian ditunjukkan pada Gambar 3.2



Gambar 3.2 Diagram alir penelitian

V. KESIMPULAN DAN SARAN

A. Kesimpulan

Kesimpulan yang didapat dari penelitian ini sebagai berikut:

1. Nilai kekerasan mengalami penurunan setelah diberikan perlakuan panas berupa sub-kritis dengan besar nilai kekerasan yang dimiliki adalah 38,7 HRC karena terjadinya peningkatan pembentukan struktur dengan penampakan berwarna hitam putih yang menyeluruh yang bersifat lunak.
2. Nilai kekerasan optimum didapatkan pada temperatur austenisasi 950°C yaitu sebesar 68,3 HRC dengan media pendinginan cepat menggunakan udara paksa yang membentuk struktur martensit keras berbentuk butiran kecil menyeluruh berwarna hitam dan tersebar pada matrik.
3. Penemperan / tempering menyebabkan nilai kekerasan yang diperoleh setelah pendinginan cepat menurun yaitu sebesar 46,7 HRC tetapi menyebabkan nilai ketahanan aus yang baik hal ini dikarenakan terjadinya fenomena *wear induced martensite*.
4. Paduan unsur kromium molybdenum dan nikel yang tinggi menyebabkan nilai ketahanan aus yang diperoleh pada penelitian memiliki nilai yang lebih baik dibandingkan dengan produk bola gerus asal India dan China yaitu sebesar 0,03 gr bola gerus/kg produk.

B. Saran

Adapun saran untuk penelitian selanjutnya adalah perlu dilakukan variasi waktu penahanan sehingga dapat diketahui pengaruh terhadap nilai kekerasan pada material besi cor putih paduan kromium tinggi pada temperatur austenisasi 950°C.

DAFTAR PUSTAKA

- Agunsoye, J.O., Talabi, S.I., Bello, O. 2015. Wear Characteristics of Heat-Treated Hadfield Austenitic Manganese Steel for Engineering Application. *APEM Journal*. Vol.10, No.2. Pp 97-107.
- Amanda, 2015. [Http://distrodoc.com/bahan-teknik-bab-4-ferrous](http://distrodoc.com/bahan-teknik-bab-4-ferrous). Diakses pada Tanggal 23 Oktober 2016. Pukul 21.22 WIB.
- Arkan, A.A. 1999. The Effects of Alloying Elements and Heat Treatment of on The Wear Resistance of High Chromium White Cast Iron. (*Thesis*). Istanbul Technical University. Turki. Pp 48-49.
- Avner, S.H. 1997. *Introduction to Physical Metallurgy, 2nd Ed.* Pvt Limited. India. Pp 696.
- Barlow, L.D., and Toit, M.D. 2012. Effect of The Austenitising Heat Treatment on The Microstructure and Hardness of Martensitic Stainless Steel AISI 420. *Journal of Materials Engineering and Performance*. Vol.21, No.7. Pp 1327-1336.
- Blake, A. 1985. *Handbook of Mechanics, Materials, and Structures*. Wiley-Interscience Publication. America. Pp 315.
- Carazo, F.D., Giusti, A.D., Boccardo, Godoy, L.A. 2013. Effective Propertis of Nodular Cast Iron: A Multi-Scale Computational Approach. *Computational Materials Science*. Vol.82. Pp 378-390.
- Chandler, H. 1995. *Heat Treater's Guide: Practices and Procedures for Irons and Steels*. Material Park. United Stated of America. Pp 31.
- Chandler, H. 1999. *Hardness Testing, 2nd Edition*. ASM International. United Stated of America. Pp 19-21.

- Cubillos, P.O., Bernardini, P., Fredel, M.C., Campos, R.A. 2015. Waer Resistance of High Chromium White Cast Iron for Coal Grinding Rolls. *Revista Facultad De Ingenieria (REDIN)*. No. 76. Pp 134-142.
- Darma, G.S. 2014. Pengaruh Temperatur dan Holding Time terhadap Ketahanan Aus Grinding Ball pada Proses Pack Carburizing di PT. Semen Indonesia. (*Skripsi*). Universitas Brawijaya. Malang. Pp 41.
- Effendi, S. 2009. Pengaruh Perbedaan Waktu Penahanan Suhu Stabil terhadap Kekerasan Logam. *Jurnal Austenite Teknik Mesin*. Vol.1, No.1. Pp 39.
- Fauzan. 2010. [Http://Www.Alatuji.Com/Article/Detail/3/Test-Uji-Kekerasan.Html](http://Www.Alatuji.Com/Article/Detail/3/Test-Uji-Kekerasan.Html). Diakses pada Tanggal 13 Juli 2016. Pukul 20.00 WIB.
- Fitri. 2012. Komposisi Kimia, Struktur Mikro, Holding Time dan Sifat Ketangguhan Baja Karbon Medium pada Temperatur 780°C. (*Skripsi*). Universitas Lampung. Bandar Lampung. Pp 32-46.
- Ghosh, S., Prasanna, V. L., Sowjanya, B., Srivani, P., Alagaraja, M., Banji, D. D. 2013. Inductively Coupled Plasma-Optical Emission Spectroscopy: A Review. *Asian Pharma Press*. Vol. 3, No.1. Pp 24-33.
- Gupta, R.B. 2002. *Material Science, 11th Ed*. Satya Prakashan. India. Pp 87-90.
- Guzik, E., Siekaniec, D., Szczensy, A. 2014. Analysis of The High Chromium Cast Iron Microstructure After The Heat Treatment. *Foundry Engineering*. Vol.14, No.3. Pp 43-46.
- Habibi, F. 2010. Karakteristik Sifat Fisis dan Mekanis Grinding Ball Impor Diameter 40 Mm yang digunakan di PT. Indocement Tunggal Prakarsa. TBK. (*Skripsi*). Universitas Sebelas Maret. Surakarta. Pp 59 – 71.
- Haryadi, G. 2005. Pengaruh Suhu Tempering terhadap Kekerasan, Struktur Mikro dan Kekuatan Tarik pada Baja K-460. *ROTASI*. Vol.7, No.3. Pp 1-10.
- Handoyo, Y. 2015. Pengaruh Quenching dan Tempering pada Baja Jis Grade S45C terhadap Sifat Mekanis dan Struktur Mikro Crankshaft. *Jurnal Ilmiah Teknik Mesin*. Vol.3, No.2. Pp 102-115.

- Husain, F.A., And Setiyorini, Y. 2013. Pengaruh Variasi Temperatur Austenisasi pada Proses Heat Treatment Quenching terhadap Sifat Mekanik dan Struktur Mikro Friction Wedge AISI 1340. *Jurnal Teknik Pomits*. Vol.2, No.2. Pp 324-329.
- Inthidech, S., Sricharoenchai, P., Matsubara, Y. 2012. Effect of Sub-Critical Heat Treat Parameters on Hardness and Retained Austenite in Mo-Containing High Chromium Cast Iron. *International Journal of Metalcasting*. Pp 25 - 33.
- Jacuinde, A.B., Guerra, F.V., Mejia, I., Silva, J.Z., Rainforth, M. 2015. Abrasive Wear of V-Nb-Ti Alloyed High-Chromium White Iron. *Science Direct*. Pp 1006-1011.
- Kartikasari, R., Soekrisno, R., Noer, Iman, M., Suharno, Hestiawan, H. 2007. Karakterisasi Ball Mill Import pada Industri Semen di Indonesia. *Jurnal Teknik Mesin*. Vol.9, No.1. Pp 18-24.
- Matsubara, Y., Sasaguri, N., Shimizu, K., Sung, Yu, K. 2001. Solidification and Abrasion Wear of White Cast Iron Alloyed with 20% Carbide Forming Element. (*Wear*). Pp 502-510.
- Mourad, M.M., Hadad, S.E., Ibrahim, M. 2014. Effects of Molybdenum Addition on The Microstructure and Mechanical Properties of Ni-Hard White Cast Iron. *Metallurgy Material Engineering*. Doi. 10.1007/s12666-014-0504-6. Pp 8.
- Murtiono, A. 2012. Pengaruh Quenching dan Tempering terhadap Kekerasan dan Kekuatan Tarik serta Struktur Mikro Baja Karbon Sedang untuk Mata Pisau Permanen Sawit. *Jurnal E-Dinamis*. Vol.2, No.2. Pp 57-70.
- Nasir, N.I. 2015. Effect of Heat Treatment on The Mechanical Properties of Stainless Steel Type 304. *International Journal of Scientific Engineering and Research (IJSER)*. Vol.3, No.8. Pp 87-93.
- Nugroho, F. 2014. Pengaruh Rapat Arus dan Waktu Anodizing terhadap Laju Keausan Permukaan pada Aluminium Paduan AA2024-T3. *Jurnal Foundry*. Vol.4, No.1. Pp 1-8.
- Nurfanani, A. 2013. Perbandingan Media Pendingin Oli Sae 5w dan Air Garam pada Proses Quenching Grinding Ball 40 Mm di PT. Semen Indonesia (Persero) TBK. (*Skripsi*). Universitas Jember. Jember. Pp 17-18.

- Nurjaman, F., Suharno, B., Astuti, W., Aryati, M. 2012. Karakteristik Grinding Ball Impor Asal India dan China. *Prosiding SENAMM V*. Pp 78-84.
- Nurjayanti, D., Ginting, E., Karo-Karo, P. 2013. Pengaruh Lama Pemanasan, Pendinginan Secara Cepat, dan Tempering 600°C terhadap Sifat Ketangguhan pada Baja Pegas Daun AISI No. 9260. *Jurnal Teori dan Aplikasi Fisika*. Vol.1, No.2. Pp 113-120.
- Rajan, T.V., Sharma, C.P., Sharma, A. 1997. *Heat Treatment Principles and Techniques*. Press Private Limited. New Delhi. Pp 148-151.
- Riansyah, W.Z. 2012. Pengaruh Temperatur Destabilisasi 850°C, 950°C dan 1050°C dengan Perlakuan Sub Zero terhadap Kekuatan Mekanik Besi Tuang Putih untuk Aplikasi Grinding Ball. (*Skripsi*). Universitas Indonesia. Depok. Pp 40.
- Sardjono, K.P., and Koos. 2009. Pengaruh Hardening pada Baja JIS G 4051 Grade S45C terhadap Sifat Mekanis dan Struktur Mikro. *Jurnal Sains dan Teknologi Indonesia*. Vo.11, No.2. Pp 95-100.
- Shofi, A., Astiti W., Nurjaman, F. 2013. Karakterisasi Struktur Mikro dan Sifat Mekanik Besi Tuang Putih Paduan Krom Tinggi Hasil Thermal Hardening untuk Aplikasi Grinding Ball. *Majalah Metalurgi*. Vol.28, No.3. Pp 177-184.
- Sordia, T., and Chijiwa, K. 1976. *Teknik Pengecoran Logam, Edisi Kelima*. Pradya Paramitha. Jakarta. Pp 76-77.
- Subardi, Kartikasari, R., Suplani, A. 2011. Pengaruh Viskositas Media Celup terhadap Kekerasan dan Struktur Mikro Martensitic White Cast Iron ASTM A532. *Jurnal Teknik Mesin*. Vol.1, No.1. Pp 41-45.
- Sumpena. 2014. Studi Kekuatan Impak dan Struktur Mikro Ball Mill dengan Perlakuan Panas Quenching. *Jurnal Foundry*. Vol.4, No.1. Pp 21-24.
- Wahjudi, D., dan Amelia. 2000. Penelitian Optimasi Temperatur yang Mempengaruhi Kekerasan pada Pembuatan Grinding Ball dengan Cara Hot Rolling. *Jurnal Teknik Mesin*. Vol.2, No.2. Pp 91-96.

Yunaidi, dan Harnowo, S. 2015. Pengaruh Viskositas Oli sebagai Cairan Pendingin terhadap Sifat Mekanis pada Proses Quenching Baja ST 60. *Jurnal Teknik*. Vol.5, No.1. Pp 57-63.

Yunior, S.W. 2011. [Http://Fannowidy.Blogspot.Com/2015/12/Analisa-Dan-Karakterisasi-Permukaan.Html](http://Fannowidy.Blogspot.Com/2015/12/Analisa-Dan-Karakterisasi-Permukaan.Html). Diakses pada Tanggal 6 Agustus 2016. Pukul 08.42 WIB.