



**PERBANDINGAN MEDIA PENDINGIN OLI SAE 5W DAN AIR
GARAM PADA PROSES *QUENCHING GRINDING BALL* 40 MM
TERHADAP KEKERASAN DAN KETAHANAN AUS
DI PT. SEMEN INDONESIA (PERSERO) TBK**

SKRIPSI

Diajukan guna melengkapi tugas akhir dan memenuhi salah satu syarat untuk menyelesaikan Program Studi Teknik Mesin (S1) dan mencapai gelar Sarjana Teknik

Oleh

**ACH. NURFANANI
NIM 091910101074**

**PROGRAM STUDI STRATA SATU TEKNIK
JURUSAN TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS JEMBER
2013**



**PERBANDINGAN MEDIA PENDINGIN OLI SAE 5W DAN AIR
GARAM PADA PROSES *QUENCHING GRINDING BALL* 40 MM
TERHADAP KEKERASAN DAN KETAHANAN AUS
DI PT. SEMEN INDONESIA (PERSERO) TBK**

SKRIPSI

Oleh

**ACH. NURFANANI
NIM 091910101074**

**PROGRAM STUDI STRATA SATU TEKNIK
JURUSAN TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS JEMBER
2013**

PERSEMBAHAN

Dengan mengucapkan Alhamdulillah, penulis memanjatkan syukur kehadirat Allah SWT atas segala limpahan rahmat serta karunia-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul “Perbandingan Media Pendingin Oli SAE 5W Dan Air Garam Pada Proses Quenching Grinding Ball Diameter 40 mm Terhadap Kekerasan Dan Ketahanan Aus Di PT. Semen Indonesia (Persero) Tbk.” Skripsi ini disusun untuk memenuhi salah satu syarat dalam menyelesaikan pendidikan strata satu (S1) pada Jurusan Teknik Mesin Universitas Jember.

Dalam menyusun skripsi ini, penulis tidak lepas dari bantuan dari berbagai pihak. Oleh karena itu, dalam kesempatan ini penulis ingin mempersembahkan dan sekaligus berterima kasih kepada:

1. Allah SWT, Tuhan yang telah menciptakan semuanya di dunia ini, terima kasih atas karunia dan rahmat yang telah Engkau berikan kepada hamba.
2. Rasulullah Muhammad SAW, Rahmat Bagi Semesta Alam.
3. Bapak kandung (M.Soelikan) dan Almarhumah Ibu kandung (Alm.Miatun), Papa (Murdani Anis) yang sudah saya anggap sebagai Papa terbaik dan terhebat, yang telah memberikan doa, biaya dan support hingga studi ini selesai.
4. Semua saudara saya, terutama kakak-kakakku yang hebat dan selalu memberikan semangat dan bantuan yang tak ternilai harganya.
5. Semua Dosen Jurusan Teknik Mesin Universitas Jember, terutama Bapak Sumarji S.T.,M.T., dan Bapak Hary Sutjahjono S.T.,M.T., yang telah bersedia meluangkan waktu dan pikiran serta memberikan bimbingan selama proses penyusunan skripsi.
6. Bapak Ir. Erwin Sulistyono M.T., dan Bapak Suhastomo, selaku Ka.Lab dan laboran Pengujian Bahan Jurusan Teknik Mesin Universitas Brawijaya serta CV. Sejati Jember.
7. PT. Semen Indonesia (Persero) Tbk., Pabrik Tuban, khususnya Seksi Finish Mill.

8. Semua guru-guru mulai dari Sekolah Dasar (SD Mrican 2 Kediri), Sekolah Menengah Pertama (SMP Negeri 4 Kediri), Sekolah Menengah Atas (SMA Negeri 5 Kediri), dan tak lupa tentor-tentor terbaik dari Sony Sugema College (SSC) Kediri.
9. Semua warga Teknik Mesin Universitas Jember, khususnya *Mechanical Engineering* 09, mulai dari NIM paling awal sampai paling akhir (maaf tidak dapat menyebutkan karena banyak sekali). Kalian adalah alasan mengapa aku bisa sampai seperti saat ini. “**Solidarity Forever**”.
10. Teman-teman di Jurusan Teknik Elektro dan Teknik Sipil yang sudah memberikan semangat dan motivasinya, maaf tidak bisa menyebutkan satu-satu.
11. Rekan-rekan di Mechanical Engineering Institut Teknologi Sepuluh November (ITS) Mbak Femmy Adisurya S.T., Dwi Tarina S.T., Mas Rizky Zul Asdi S.T.
12. Teman-teman Kuliah Kerja Terpadu (KKT 45) Mojosari Puger 2012, Mas Rizky, Mas Ridwan Isnaeni S.P., Mas Alfa S.K., Jeng Adri, Neng Ruli S.E., Rani Nurani S.Kg., Tante Fitri. Kalian tak akan terlupakan sampai kapanpun.
13. Pemilik rumah Puri Bunga Nirwana No.12 Mas Dr.Hairudin M.Kes., dan Bapak kos sekaligus sahabat, dan ustadz pribadiku Khodimul Istiqlal.
14. Nyimas Lolantari, Dia Oktavia A.R. S.Pd., dan kepada Windy Ika Lestari S.Kg, yang telah membantu dan memberi semangat hingga semuanya selesai dan semua pihak yang telah membantu baik dalam kelancaran proses penelitian maupun penyusunan skripsi ini. Terima kasih.

MOTTO

“Wahai orang-orang yang beriman, mohonlah pertolongan dengan sabar dan shalat; sesungguhnya Allah adalah beserta orang-orang yang sabar”

(Q.S. Al-Baqarah:153)

“Saya terkesan dengan urgensi tindakan. Memahami tidaklah cukup; kita harus mengaplikasikannya. Berharap tidaklah cukup; kita harus mewujudkannya”

(Leonardo da Vinci)

PERNYATAAN

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : **Ach. Nurfanani**

NIM : **091910101074**

Menyatakan dengan sesungguhnya bahwa Skripsi yang berjudul: “Perbandingan Media Pendingin Oli SAE 5W dan Air Garam pada Proses *Quenching Grinding Ball* Diameter 40 mm Terhadap Kekerasan dan Ketahanan Aus di PT. Semen Indonesia (Persero) Tbk.” adalah benar-benar hasil karya sendiri, kecuali jika disebutkan sumbernya dan belum pernah diajukan pada instansi manapun, serta bukan karya jiplakan. Saya bertanggung jawab atas keabsahan dan kebenaran isinya sesuai dengan sikap ilmiah yang harus dijunjung tinggi.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya, tanpa adanya tekanan dan paksaan dari pihak manapun serta bersedia mendapat sanksi akademik bila ternyata di kemudian hari pernyataan ini tidak benar.

Jember, 10 September 2013

Yang menyatakan,

Ach. Nurfanani

NIM 091910101074

SKRIPSI

**PERBANDINGAN MEDIA PENDINGIN OLI SAE 5W DAN AIR GARAM
PADA PROSES *QUENCHING GRINDING BALL* 40 MM
TERHADAP KEKERASAN DAN KETAHANAN AUS
DI PT. SEMEN INDONESIA (PERSERO) TBK**

Oleh

Ach. Nurfanani
NIM 091910101074

Pembimbing

Dosen Pembimbing Utama : Sumarji, S.T., M.T.
Dosen Pembimbing Anggota : Hary Sutjahjono S.T., M.T.

RINGKASAN

Perbandingan Media Pendingin Oli SAE 5W dan Air Garam Pada Proses *Quenching Grinding Ball* 40 mm Terhadap Kekerasan dan Ketahanan Aus di PT. Semen Indonesia (Persero) Tbk.; Ach. Nurfanani, 091910101074; 49 Halaman; Program Studi Strata Satu Teknik Mesin Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Jember.

Grinding ball merupakan salah satu bagian penting dalam proses produksi semen, yaitu sebagai penghancur terak dari *clinker cooler*, dimana *grinding ball* dalam proses ini mengalami gesekan yang tinggi antar *grinding ball* dan *clinker* panas. Sehingga keausan akan cepat terjadi sebelum memasuki masa *overhaul*. Untuk menambah ketahanan terhadap aus dibutuhkan pula peningkatan kekerasan. Salah satu cara untuk menambah umur pakai adalah dengan melakukan proses perlakuan panas *quenching*.

Grinding Ball yang dipakai dalam penelitian ini adalah grinding ball dengan diameter 40 mm dengan komposisi karbon (C) 2,0-2,5%, Krom (Cr) 15-19%, Silicon (Si) 0,3-0,9%, Mangan (Mn) 0,3-0,9%, Fosfor (P) maksimal 0,06%, dan Sulfur (S) maksimal 0,06%. Pada proses *hardening*, *grinding ball* dipanaskan hingga suhu 850⁰ C, dan ditahan (*holding time*) selama 120 menit. Setelah mencapai 120 menit, *grinding ball* kemudian dicelupkan ke masing-masing media, media oli SAE 5W dan media air garam dengan kandungan garam 30%.

Dalam penelitian ini grinding ball difokuskan mengenai perubahan struktur mikro, kekerasan, dan ketahanan aus. Pada pengamatan struktur mikro perbesaran yang dilakukan adalah 100x dan 400x di permukaan grinding ball. Pada pengujian kekerasan diambil pada permukaan grinding ball di 3 titik dengan menggunakan alat uji microvickers hardness tester. Sedangkan pada pengujian ketahanan aus diambil pada permukaan grinding ball dan diuji dengan menggunakan tribometer pin on disc.

Penelitian ini dilaksanakan di Laboratorium Pengujian Bahan Jurusan Teknik Mesin Universitas Brawijaya Malang, CV Sejati Jember, dan Laboratorium Desain Jurusan Teknik Mesin Institut Teknologi Sepuluh November Surabaya. Dari hasil pengujian, terlihat perubahan struktur mikro hasil *quenching* dari kedua media tersebut. Perubahan struktur mikro yang terlihat adalah bertambahnya karbida krom dan martensit dan pengurangan jumlah sementit. Jumlah penambahan karbida krom dan martensit serta pengurangan sementit hasil *quenching* dengan air garam lebih banyak dibanding dengan media oli SAE 5W.

Kekerasan *raw material* (tanpa perlakuan) sebesar 838,9 HVN dan 889,9 HVN. *Quenching* dengan media oli SAE 5w menghasilkan kekerasan sebesar 1040,9 HVN dan 1034,1 HVN. *Quenching* dengan media air garam menghasilkan kekerasan sebesar 1176,7 HVN dan 1079,7 HVN. Ketahanan aus *raw material* (tanpa perlakuan) adalah sebesar 6,25 N.m/cm³ dan 5,76 N.m/cm³. Ketahanan aus yang dihasilkan dari *quenching* dengan oli SAE 5W adalah sebesar 11,43 N.m/cm³ dan 11,11 N.m/cm³. Sedangkan ketahanan aus yang dihasilkan dari *quenching* dengan media air garam adalah sebesar 160 N.m/cm³ dan 32 N.m/cm³.

SUMMARY

Hardness and Wear Resistance of 40 mm Grinding Ball as Variation of Quenching Media (Case Study: PT. Semen Indonesia (Persero) Tbk); Ach. Nurfanani, 091910101074; 49 pages; Program Tier One Study Mechanical Engineering Department of Mechanical Engineering Faculty of Engineering, University of Jember.

Grinding ball is one of important parts of the cement production process, that as a crusher of the clinker from clinker cooler chamber, grinding ball where in this process run into high friction between other grinding ball and hot clinker. So, wear will occur before entering a period of overhaul. To increasing of wear resistance, needed anyway increasing of hardness. One way to increasing lifetime is using heat treatment, quenching.

Grinding ball which used in this research is grinding ball 40 mm with has composition of Carbon (C) 2,0-2,5%, Chromium (Cr) 15-19%, Silicon (Si) 0,3-0,9%, Manganese (Mn) 0,3-0,9%, Phosphorus (P) up 0,06%, and Sulfur (S) up 0,06%. When hardening process, grinding ball is heated up to 850⁰ C, and held for 120 minutes. After reaching 120 minutes, then the grinding ball dipped into each medium, media oil SAE 5W and salt water with 30% salt content.

In this grinding ball research, focused on changes from microstructure, hardness, and, wear resistance. On microstructure observation carried magnification are 100x and 400x in surface of grinding ball. For the hardness test, are taken 3 point at surface of grinding ball using microvickers hardness tester. While wear resistance test taken at surface of grinding ball with using tribometer Pin On Disc.

This research has did at Testing Material Laboratory Mechanical Engineering Department Brawijaya University Malang, CV Sejati Jember, and Design Laboratory Mechanical Engineering Department ITS Surabaya. From the test result, visible changes in the microstructure result after quenching process see

are seen increasing of chrome carbide and martensite and reducing the number of cementite. The number of additional chrome carbide and martensite and reduction of cementite quenching result with brine are more than quenching with oil SAE 5W.

Hardness of raw material (without treatment) are 838,9 HVN and 889,9 HVN. Result of quenched with oil SAE 5W are 1040,9 HVN and 1034,1 HVN. Result of quenched with salt water are 1176,7 HVN and 1079,7 HVN. Wear resistance of raw material (without treatment) are 6,25 N.m/cm³ and 5,76 N.m/cm³. Wear resistance result after quenched with oil SAE 5W are 11,43 N.m/cm³ and 11,11 N.m/cm³. While wear resistance result after quenched with salt water are 11,43 N.m/cm³ dan 11,11 N.m/cm³.

PRAKATA

Syukur Alhamdulillah, segala puji bagi Allah dan Rasulullah Muhammad SAW, akhirnya penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul “Perbandingan Media Pendingin Oli SAE 5W dan Air Garam Pada Proses *Quenching Grinding Ball* 40 mm Terhadap Kekerasan dan Ketahanan Aus di PT. Semen Indonesia (Persero) Tbk. Penulis sadar bahwa skripsi ini masih jauh dari kata sempurna.

Dalam penyusunan skripsi ini penulis tidak bekerja sendiri, maka dalam kesempatan kali ini penulis ingin mengucapkan terima kasih kepada:

1. Bapak Ir. Widyono Hadi M.T., selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Jember
2. Bapak Andi Sanata, selaku dosen pembimbing akademik dan Ketua Jurusan Teknik Mesin Universitas Jember
3. Bapak Sumarji S.T., M.T. selaku dosen pembimbing I dan Bapak Hary Sutjahjono S.T., M.T., selaku dosen pembimbing II yang telah membimbing dan membantu hingga skripsi ini selesai
4. Bapak Hari Arbiantara Basuki S.T., M.T. selaku dosen penguji I dan Bapak Ir. F.X. Kristianta M. Eng, selaku dosen penguji II
5. Ayah kandung, Papa dan semua saudara-saudara saya yang telah membantu doa dan biaya sehingga studi ini selesai
6. Warga *Mechanical Engineering*, khususnya *Engine 09*.
7. Mbak Halimah, selaku staf administrasi jurusan Teknik Mesin Universitas Jember, terima kasih atas bantuannya dalam kelancaran pembuatan skripsi;
8. Staf Fakultas Teknik Universitas Jember;

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
HALAMAN PERSEMBAHAN	ii
HALAMAN MOTTO	iv
HALAMAN PERNYATAAN.....	v
HALAMAN BIMBINGAN.....	vi
HALAMAN PENGESAHAN.....	vii
ABSTRAK	viii
PRAKATA.....	xii
DAFTAR ISI.....	xiii
DAFTAR GAMBAR.....	xv
DAFTAR TABEL	xvii
DAFTAR LAMPIRAN.....	xix
BAB 1. PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah.....	2
1.3 Batasan Masalah.	2
1.4 Tujuan dan Manfaat Penelitian.....	3
1.4.1 Tujuan	3
1.4.2 Manfaat	3
BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA.....	4
2.1 Grinding Ball	4
2.2 Spesifikasi <i>Grinding Ball</i>	6
2.3 Struktur Mikro <i>Grinding Ball</i>	8
2.4 Perlakuan Panas (<i>Heat Treatment</i>).....	9
2.5 Klasifikasi <i>Heat Treatment</i>	9
2.5.1 Memperbaiki Sifat Kekerasan	10
2.5.2 Memperbaiki Sifat Keuletan (<i>Softening</i>).....	12
2.6 Keausan Pada Logam	16
2.6.1 Adhesive wear	16
2.6.2 Abrasive wear	17

2.6.3 Fretting wear	19
2.7 Uji Kekerasan	19
2.8 Uji Keausan	20
2.9 Hipotesis	22
BAB 3. METODOLOGI PENELITIAN	23
3.1 Metode Penelitian	23
3.2 Waktu dan Tempat Penelitian	23
3.3 Alat dan Bahan Penelitian	23
3.3.1 Alat.....	23
3.3.1 Bahan	24
3.4 Variabel Penelitian.....	24
3.4.1 Variabel Bebas	24
3.4.2 Variabel Terikat.....	25
3.5 Prosedur Pengujian	25
3.5.1 Penyiapan Alat Penelitian	25
3.5.2 Tahapan Penelitian	26
3.5.3 Tahap Pengambilan Data	28
3.6 Skema Alat Pengujian.....	31
3.7 Diagram Alir Penelitian.....	32
3.8 Jadwal Kegiatan Penelitian.....	33
BAB 4. HASIL DAN PEMBAHASAN.....	33
4.1 Hasil Uji Struktur Mikro.....	33
4.2 Hasil Uji Kekerasan.....	37
4.3 Hasil Uji Keausan	42
BAB 5. PENUTUP.....	47
5.1 Kesimpulan	47
5.2 Saran	48
DAFTAR PUSTAKA	49
LAMPIRAN.....	50

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 <i>Grinding ball</i> import.	4
Gambar 2.2 <i>Cement Mill</i>	6
Gambar 2.3 Struktur mikro bagian tepi permukaan <i>grinding ball</i>	8
Gambar 2.4 Kurva proses <i>quenching</i>	11
Gambar 2.5 Kurva austemper	16
Gambar 2.6 Mekanisme abrasi.....	18
Gambar 2.7. Indentor uji <i>Vickers</i>	20
Gambar 2.8 Skema alat tribometer <i>Pin on Disc</i>	21
Gambar 3.1 Titik pengambilan data kekerasan	26
Gambar 3.2 Dimensi pin untuk uji aus	27
Gambar 3.3 Dimensi disc untuk uji aus	27
Gambar 3.4 Skema alat pengujian	31
Gambar 4.1 Perbandingan foto mikro 100x (atas) dan 400x perbesaran (bawah) pada <i>raw material</i> (a) dan hasil <i>quenching</i> dengan oli SAE 5W (b).....	33
Gambar 4.2 Struktur mikro high chromium cast iron, (a) SEM: bentuk hexagonal rod, (b) TEM: Rongga pada M_7C_3 Carbide yang diisi oleh matriks.....	34
Gambar 4.3 Foto struktur mikro <i>grinding ball</i>	34
Gambar 4.4 Perbandingan foto mikro 100x (atas) dan 400x perbesaran (bawah) pada <i>raw material</i> (a) dan hasil <i>quenching</i> dengan air garam (b)	35
Gambar 4.5 Perbandingan foto mikro 100x (atas) dan 400x perbesaran (bawah) pada <i>grinding ball</i> hasil <i>quenching</i> dengan media oli SAE 5W (a) dan hasil <i>quenching</i> dengan air garam (b)	36
Gambar 4.6 Grafik waktu pendinginan <i>grinding ball</i> hasil <i>quenching</i> dengan air garam 1 (biru) 94 detik, 2 (abu-abu) 127 detik, dan <i>quenching</i> dengan oli SAE 5W 1 (hijau) 557 detik, 2 (coklat) 718 detik	41

Gambar 4.7 Grafik kekerasan antara <i>raw material</i> , hasil <i>quenching</i> dengan media oli SAE 5W dan air garam	41
Gambar 4.8 Grafik perbandingan laju keausan antara <i>raw material</i> , hasil <i>quenching</i> dengan media oli SAE 5W dan air garam.....	44
Gambar 4.9 Grafik perbandingan ketahanan aus antara <i>raw material</i> , hasil <i>quenching</i> dengan media oli SAE 5W dan air garam.....	45

DAFTAR TABEL

Tabel 3.1 Pengambilan data kekerasan <i>grinding ball</i> tanpa perlakuan.....	28
Tabel 3.2 Pengambilan data kekerasan <i>grinding ball</i> media oli SAE 5W.....	28
Tabel 3.3 Pengambilan data kekerasan <i>grinding ball</i> media oli SAE 5W.....	28
Tabel 3.4 Perbandingan kekerasan <i>grinding ball raw material</i> <i>quenching</i> dengan media oli SAE 5W, dan media air garam.....	29
Tabel 3.5 Pengambilan data perbandingan selisih massa dan volume setelah pengujian keausan pada pin (<i>grinding ball</i>) 1	29
Tabel 3.6 Pengambilan data perbandingan laju keausan antara <i>raw material</i> 1, <i>grinding ball</i> 1 hasil <i>quenching</i> dengan media oli SAE 5W, media air garam	29
Tabel 3.7 Pengambilan data data perbandingan selisih massa dan volume setelah pengujian keausan pada pin (<i>grinding ball</i>) 2	30
Tabel 3.8 Pengambilan data perbandingan laju keausan antara <i>raw material</i> 2, <i>grinding ball</i> 2 hasil <i>quenching</i> dengan media oli SAE 5W , media air garam	30
Tabel 4.1 Hasil pengujian kekerasan pada <i>raw material</i>	38
Tabel 4.2 Hasil pengujian kekerasan pada <i>grinding ball</i> hasil <i>quenching</i> dengan media oli SAE 5W	39
Tabel 4.3 Hasil pengujian kekerasan pada <i>grinding ball</i> hasil <i>quenching</i> dengan media air garam	40
Tabel 4.4 Perbandingan kekerasan antara <i>raw material</i> , hasil <i>quenching</i> dengan media oli SAE 5W dan air garam	41
Tabel 4.5 Tabel perbandingan selisih massa dan volume setelah pengujian keausan.....	42
Tabel 4.6 Perbandingan laju keausan antara <i>raw material</i> 1, <i>grinding ball</i> 1 hasil <i>quenching</i> dengan media oli SAE 5W dan media air garam	43
Tabel 4.7 Tabel perbandingan selisih massa dan volume setelah pengujian keausan	43

Tabel 4.8 Perbandingan laju keausan antara <i>raw material 2</i> , <i>grinding ball 2</i> hasil <i>quenching</i> dengan media oli SAE 5W dan media air garam.	44
--	----

DAFTAR LAMPIRAN

A. Dapur listrik (<i>furnace</i>) untuk pemanasan <i>grinding ball</i>	50
B. Pemanasan <i>grinding ball</i> hingga suhu 850 ⁰ dan ditahan hingga 2 jam.....	50
C. <i>Grinding ball</i> setelah dipanaskan dalam dapur listrik (<i>furnace</i>).....	50
D. Media <i>quenching</i> oli SAE 5W (atas) dan air garam (bawah)	51
E. <i>Grinding ball</i> sebelum dan setelah di- <i>quenching</i>	51
F. Mesin penghalus untuk menghaluskan permukaan spesimen	51
G. Pengujian struktur mikro pada <i>grinding ball</i> hasil <i>quenching</i>	52
H. Pengujian kekerasan dengan <i>Micro Vicker Hardness Tester</i>	52
I. Tribometer <i>Pin On Disc</i> untuk menguji keausan.....	52
J. Bentuk spesimen pin <i>grinding ball</i> untuk pengujian aus	53
K. Pengujian aus pada <i>grinding ball</i>	53

BAB 1. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

PT. Semen Indonesia (Persero) Tbk., adalah salah satu pabrik semen terbesar di Indonesia yang mampu menyuplai semen baik didalam negeri maupun diluar negeri. Dengan keadaan permintaan produksi yang terus meningkat, maka tidak dapat dipungkiri lagi bahwa proses produksi akan lebih ditingkatkan lagi. Dengan terjadinya peningkatan proses produksi dan operasional pabrik yang tiada henti, maka peralatan produksi, terutama di bagian seksi finish mill yaitu grinding ball akan mengalami keausan yang lebih cepat.

Grinding ball merupakan salah satu bagian penting dalam proses produksi yaitu sebagai penghancur terak dari *clinker coller* yang kemudian didinginkan oleh grate cooler. Pada proses produksi semen, *grinding ball* bekerja pada suhu 100°C - 120°C dan mengalami gesekan antar *grinding ball* yang sangat tinggi, sehingga keausan akan cepat terjadi sebelum memasuki masa *overhaul*. Pada umumnya *grinding ball* yang dipakai adalah *grinding ball import* sehingga harganya mahal.

Hasil pengujian struktur mikro pada permukaan *grinding ball* 40 mm, menunjukkan bahwa *grinding ball* 40 mm mempunyai sifat yang keras tetapi kurang terhadap ketahanan aus. Hal ini dibuktikan dengan foto struktur mikro grinding ball tersebut menunjukkan adanya penggumpalan karbida krom dan sebaran martensit yang tidak merata. Penggumpalan karbida krom itulah yang menyebabkan *grinding ball* menjadi kurang ketahanannya terhadap aus.

Menurut penelitian dari Kartikasari, dkk (2007) menunjukkan bahwa pada di bagian tepi *grinding ball* 40 mm mempunyai kekerasan yaitu 746,48 HVN dan bagian tengah memiliki kekerasan 544 HVN. Untuk mengurangi sifat rapuh *grinding ball* dapat ini di *heat treatment* lagi dengan di-*anil* untuk mengurai sementit sehingga terurai menjadi besi dan grafit.

Dengan penambahan proses *heat treatment* berupa *hardening* dan *quenching* dengan media oli, maka kekerasan *grinding ball* semakin meningkat. Semakin rendah viskositas media oli yang digunakan, semakin naik kekerasan

hasil *quenching*, yaitu 1103,2 HVN . Hasil struktur mikro yang terlihat hasil *quenching* dengan media oli SAE 10 adalah dominan martensit, perlit kecil-kecil yang halus dan carbide krom yang lebih sedikit tidak merata. Sedangkan *quenching* dengan media oli SAE 30, kekerasan yang diperoleh adalah 1018,2 HVN dengan struktur mikro yang terlihat adalah martensit yang kurang sempurna, dan perlit serta carbide krom yang lebih sedikit dibandingkan tanpa proses (Subardi, 2011).

Oleh karena itu, diharapkan proses *heat treatment* dengan cara *hardening* dan kemudian di-*quenching* dengan media oli dan air garam, akan menambah kekerasan dan menambah ketahanan aus pada *grinding ball* 40 mm sehingga dapat menambah *lifetime* pemakaian *grinding ball*.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah diuraikan di atas, maka dapat dirumuskan permasalahan sebagai berikut

1. Bagaimana struktur mikro *grinding ball* 40 mm (spesifikasi terlampir) sebelum perlakuan dan sesudah perlakuan?
2. Berapa kekerasan yang dihasilkan oleh media pendingin oli SAE 5W dan air garam pada proses *quenching*?
3. Berapa ketahanan aus yang dihasilkan oleh media pendingin oli SAE 5W dan air garam pada proses *quenching*?

1.3 Batasan Masalah

Batasan masalah pada penelitian ini adalah:

1. Bahan yang digunakan adalah *grinding ball* 40 mm yang dipakai di PT.Semen Indonesia (Persero) Tbk
2. Temperatur pada proses *hardening* yang dilakukan adalah 850° C dan ditahan hingga selama 120 menit
3. Media *quenching* yang digunakan adalah oli SAE 5W dan air garam dengan kadar garam 30% dengan volume masing-masing media adalah 4,5 liter

4. Tidak membahas tentang perpindahan panas yang terjadi saat proses *hardening* dan *quenching*.

1.4 Tujuan dan Manfaat Penelitian

1.4.1 Tujuan

Tujuan dari penelitian ini adalah

1. Mengetahui perubahan struktur mikro pada *grinding ball* 40 mm sebelum dan setelah mengalami perlakuan
2. Menghitung kekerasan pada *raw material* dan hasil *quenching* oleh media pendingin oli SAE 5W dan air garam
3. Menghitung ketahanan aus *raw material* dan hasil *quenching* oleh media pendingin oli SAE 5W dan air garam.

1.4.2 Manfaat

Manfaat dari penelitian ini adalah

1. Memperoleh informasi perubahan struktur mikro, kekerasan, dan ketahanan aus dari perbandingan kedua media pendingin tersebut
2. Memberikan solusi bagi perusahaan agar menambah masa umur pakai pada *grinding ball* dengan *heat treatment*.

BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1. *Grinding Ball*

Grinding ball (bola penggiling) adalah salah satu komponen penting pada mesin *cement mill* yang dipergunakan untuk penggilingan akhir pada proses produksi semen. Seperti pada gambar 2.1, *grinding ball* terbuat dari baja yang disyaratkan mempunyai karakteristik keras (*hard*), tahan aus (*wear resistance*), tangguh (*tough*), serta tahan terhadap korosi (*corossion resistance*).



Gambar 2.1 *Grinding ball* import (sumber <http://www.tradekorea.com>)

Unit penggilingan semen dibagi menjadi dua bagian besar yaitu bagian penggilingan terak dan penanganan bahan penolong seperti Gypsum Trass (untuk semen PPC) dan bagian penggilingan akhir, yaitu penggilingan material campuran di penggilingan jenis *cement mill* agar material menjadi semen yang siap *dipacking*.

Terak yang keluar dari *cooler* dibawa oleh *belt conveyor* yang masing – masing berkapasitas 470 ton per jam menuju penimbunan terak tertutup yang berkapasitas 7500 ton. Sedangkan terak mentah dibawah ke *bin* dengan kapasitas 1000 ton untuk disimpan sementara waktu karena terak mentah ini digunakan lagi. Terak mentah dikeluarkan dengan sistem pengeluaran dengan kapasitas 455 ton per jam, kemudian dibawah dengan *dump truck* ke *hopper* dan *belt conveyor* untuk dicampur dengan terak dari penimbunan terak tertutup. Campuran material ini akhirnya dibawah ke *bin* terak dan penimbunan terak tertutup. Penimbunan terak tertutup mempunyai lubang

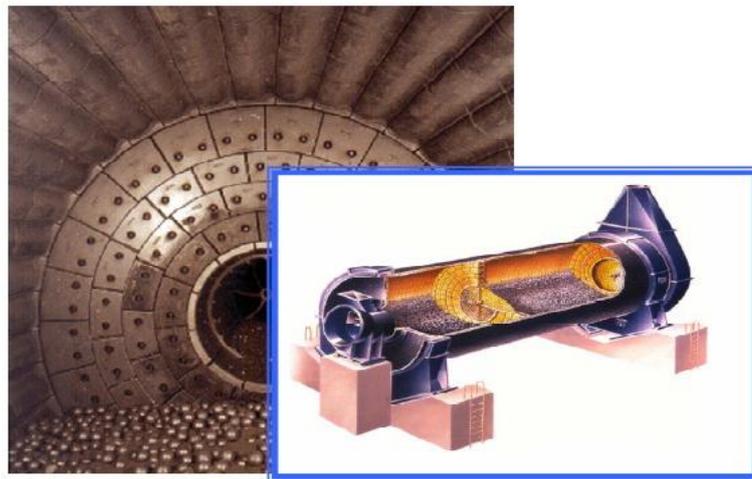
keluaran sebanyak sepuluh buah, dimana masing – masing mempunyai *gate* tersendiri. Terak keluar dari penimbunan sebanyak 250 – 275 ton per jam untuk diumpankan ke *belt conveyor* yang berada dibawah tempat penimbunan. Dari sini terak akan dibawa dengan *bucket elevator* untuk *bin* terak.

Gypsum dan trass diambil dari tempat penimbunan menggunakan truck pengangkut ke *hopper* kemudian diumpankan ke *belt Conveyor* melalui *appron conveyor* yang berkapasitas 171 ton. Dari *belt conveyor* ini Gypsum atau trass dibawah ke penghancur jenis *hammer mill* berkapasitas 171 ton, yang mampu menghancurkan material berukuran sekitar 400 x 400 mm menjadi produk berukuran 25 mm sebanyak 95 % dari umpan. Produk penghancur dibawa dengan *bucket elevator* ke *bin* gypsum atau *bin* trass yang masing – masing berkapasitas 175 ton. Terak, gypsum dan trass (bila digunakan) keluar dari *bin* masing – masing ditimbang oleh alat penimbang kemudian dibawa *belt conveyor*. *Belt conveyor* dilengkapi dengan pemisah magnetik mendeteksi logam untuk mengambil material asing yang ikut terbawa campuran terak, gypsum dan trass sebanyak 537 ton per jam keluar dari *bin* menuju sistem penggilingan awal jenis *hidraulic roll crusher*. Penggilingan awal ini untuk meringankan kerja penggilingan akhir dan untuk mendapatkan semen dengan kehalusan yang tinggi sebagai material (322 ton per jam) yang sudah dihancurkan disirkulasikan kembali ke penggiling awal untuk mengefektifkan kerja penggilingan, sedangkan sisa material yang telah dihancurkan masuk kedalam penggilingan akhir dengan kapasitas 215 ton per jam.

Penggiling akhir dibagi menjadi dua *compartement*, yaitu : *compartement* pertama sepanjang 2,5 m berisi *grinding ball* berdiameter 40 – 70 mm yang berfungsi sebagai penggiling material kasar menjadi setengah halus. Untuk *compartement* dua yaitu dengan panjang 10,5 m berisi *grinding ball* berdiameter 20 – 40 mm yang berfungsi sebagai penggiling material setengah halus menjadi halus. Produk dari penggiling akhir dikirim ke pemisah jenis *O-Sepa* dengan bantuan *air slide*. Dari sini produk yang sudah

punya kehalusan tinggi masuk ke *cyclone* untuk dipisahkan menjadi beberapa bagian, satu bagian yang masih kasar akan kembali ke penggilingan, dan sebagian lagi akan diteruskan ke penangkap debu. Produk dari penangkap debu dengan sebagian produk dari *cyclone* dibawa dengan *air slide* menuju *bucket elevator* untuk dimasukkan ke dalam *silo* semen yang berjumlah 4 buah.

Temperatur produk semen yang keluar dari penggiling akhir dikendalikan oleh penarik udara dan pemisah yang ada di dalam penggiling. Kedua alat pengendali ini menjaga agar temperatur produk yang keluar dari penggilingan tetap sebesar 107°C . Pendinginan lanjut dilakukan selama pemisahan didalam tempat pemisah, sehingga temperatur akhir semen 90°C .



Tube Ball Mill

Gambar 2.2. Cement mill (Sumber: Laporan PKL PT. SG Tuban, 2011)

2.2. Spesifikasi *Grinding Ball*

Berdasarkan data dari PT. Semen Indonesia (Persero) Tbk., grinding ball 40 mm ini mempunyai kandungan karbon (C) 2,0-2,5%, Krom (Cr) 15-19%, Silicon (Si) 0,3-0,9%, Mangan (Mn) 0,3-0,9%, Phospor (P) maksimal 0,06%, dan Sulfur (S) maksimal 0,06%.

Unsur Krom (Cr) merupakan paduan yang terbesar persentasenya, yaitu untuk menutupi kekurangan unsur logam yang lain. Unsur krom antara lain

untuk meningkatkan kemampuan kekerasan (*hardness*), keuletan (*ductility*), tahan aus (*wear resistance*), tahan korosi (*corrosion resistance*), tahan pada suhu tinggi, menurunkan kecepatan pendinginan kritis, tahan asam dan kemampuan potong yang tinggi. “Unsur Krom (Cr) memperbaiki kekuatan tarik yang tinggi, tahan korosi, tahan suhu yang tinggi, sebagai elemen paduan dalam baja perkakas dan memperbaiki ketahanan ukuran” (Baumer, 1978).

Unsur krom dapat memberikan pengaruh yang besar terutama dalam proses kimia pada saat proses pemanasan yang mengakibatkan peningkatan kualitas bola-bola baja tersebut. Hal ini terjadi karena unsur krom dapat mendukung terbentuknya karbida dan mendorong terbentuknya fasa martensit.

Pengaruh unsur lain dalam campuran yaitu:

a. Mangan (Mn)

Berperan meningkatkan kekuatan dan kekerasan, menurunkan laju pendinginan kritis dan mampu las (*weldability*) serta keuletan baja. Kandungan mangan juga meningkatkan ketahanan abrasi, memperbaiki kualitas permukaan dan mengikat sulfur (S) sehingga memperkecil terbentuknya sulfida besi (FeS) yang dapat menimbulkan rapuh panas (*hot shortness*). Pada hasil uji komposisi kimia *grinding ball import*, terdapat kandungan mangan yang berlebih dibandingkan kandungan komposisi kimia material standar pada tabel material logam AISI. Hal ini disebabkan adanya kemungkinan rekayasa komposisi kimia pada saat proses produksinya sehingga *grinding ball* memiliki sifat mekanis tambahan pengaruh dari kandungan unsur mangan yang berlebih.

b. Molybdenum (Mo)

Sangat besar pengaruhnya terhadap sifat mampu keras dibanding unsur lain, serta menaikkan kekuatan dan kekerasan. Apabila molybdenum dipadukan dengan khrom dan nikel akan menghasilkan titik luluh dan kekuatan tarik yang tinggi, serta mempunyai kecenderungan yang tinggi untuk membentuk karbida.

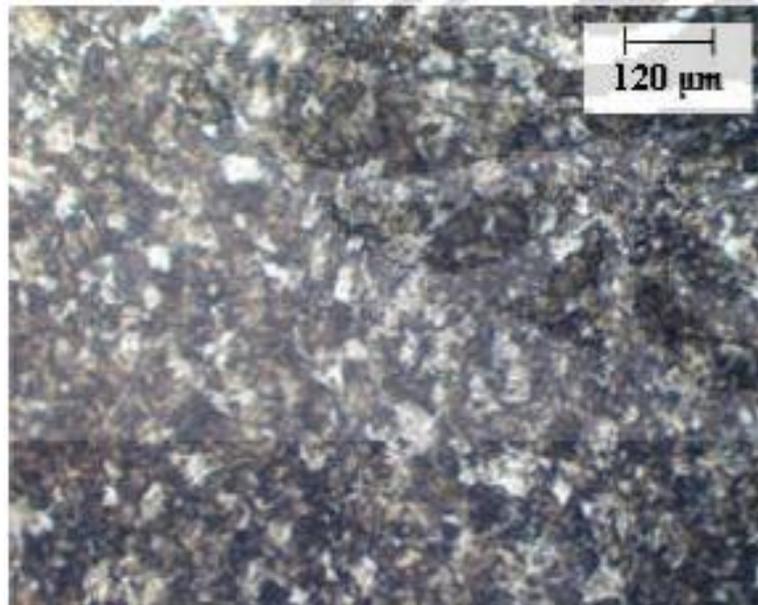
c. Nikel (Ni)

Mempunyai sifat yang ulet dan tahan terhadap bahan kimia untuk mengatasi korosi (karat) yang serius. Tetapi kandungan Nikel menyebabkan logam tidak mempunyai kekerasan yang tinggi. Nikel merupakan unsur yang dicampurkan ke dalam baja untuk mengatasi kerusakan pada temperatur tinggi (mencapai 1200° C).

2.3. Struktur Mikro *Grinding Ball*

Berdasarkan penelitian sebelumnya yang telah dilakukan oleh Nurjaman (2012), pada gambar 2.3, dapat dilihat struktur mikro bagian tepi permukaan *grinding ball*. Dari struktur mikro tersebut terlihat antara lain adalah martensite (keabu-abuan), Fe₃C (hitam), dan austenit (putih) .

Komposisi kimia pada *grinding ball* asal China pada penelitian ini adalah mengandung unsur karbon (C) 2,23%, Silikon (Si) 0,314%, Sulfur (S) 0,07%, Fosfor (P) 0,134%, Mangan (Mn) 0,431%, Nikel (Ni) 0,312%, Krom (Cr) 14,1%, Molybdenum (Mo) 0,078% dan Tembaga (Cu) 0,043%.



Gambar 2.3 Struktur mikro bagian tepi permukaan *grinding ball*
(Sumber: Nurjaman, 2012)

2.4. Perlakuan Panas (*Heat Treatment*)

Heat Treatment adalah kombinasi dari operasi pemanasan dan pendinginan dengan kecepatan tertentu yang dilakukan terhadap logam atau paduan dalam keadaan padat, sebagai suatu upaya untuk memperoleh sifat-sifat tertentu. Proses perlakuan panas pada dasarnya terdiri dari beberapa tahapan, dimulai dengan pemanasan sampai ke temperatur tertentu, lalu diikuti dengan penahanan selama beberapa saat, baru kemudian dilakukan pendinginan dengan kecepatan tertentu.

Adapun tujuan dari *heat treatment* adalah:

1. Mempersiapkan material untuk pengolahan berikutnya.
2. Mempermudah proses machining.
3. Mengurangi kebutuhan daya pembentukan dan kebutuhan energi.
4. Memperbaiki keuletan dan kekuatan material.
5. Mengeraskan logam sehingga tahan aus dan kemampuan memotong meningkat.
6. Menghilangkan tegangan dalam.
7. Memperbesar atau memperkecil ukuran butiran agar seragam.
8. Menghasilkan permukaan yang keras disekeliling inti yang ulet.

2.5. Klasifikasi *Heat Treatment*

a. *Near Equilibrium* (Mendekati Keseimbangan)

Tujuan umum dari perlakuan panas jenis ini diantaranya adalah untuk melunakkan struktur Kristal, menghaluskan butir, menghilangkan tegangan dalam dan memperbaiki *machineability*. Jenis dari perlakuan panas near equilibrium, misalnya: *full annealing*, *stress relief annealing*, *process annealing*, *sphreoidizing*, *normalizing*, dan *homogenizing*.

b. *Non Equilibrium* (Tidak Setimbang)

Tujuan dari perlakuan panas jenis ini adalah untuk mendapatkan kekerasan dan kekuatan yang lebih tinggi. Jenis dari perlakuan panas ini, misalnya *hardening*, *martempering*, *austempering*, *surface hardening* (*carburizing*, *nitriding*, *cyaniding*, *flame hardening*, *induction hardening*).

Masing-masing *heat treatment* memiliki fungsi yang berbeda-beda dengan menghasilkan sifat-sifat kekerasan yang diinginkan. Proses Heat treatment dapat diklasifikasikan menjadi 2 bagian, yaitu:

- a. *Heat treatment* untuk memperbaiki sifat kekerasan material (*hardening*)
- b. *Heat treatment* untuk memperbaiki sifat keuletan material (*softening*).

2.5.1. Memperbaiki Sifat Kekerasan

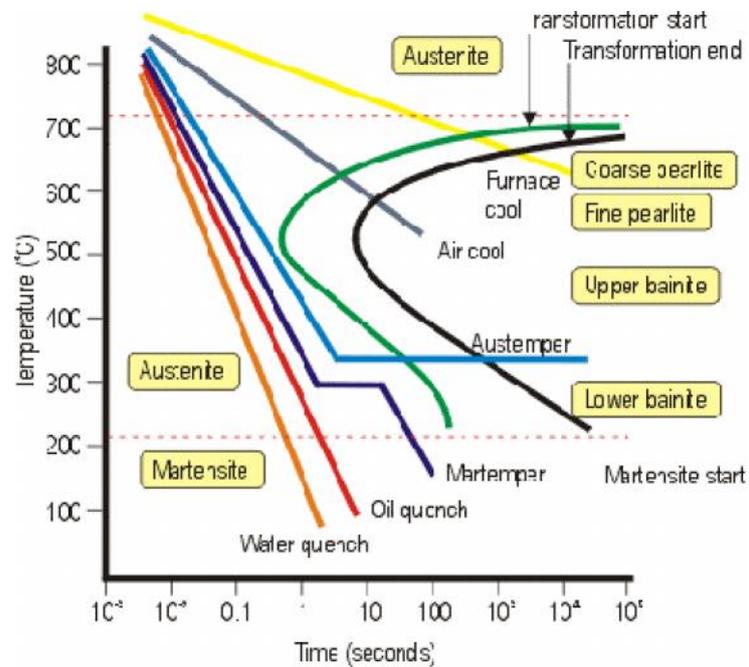
Pengerasan adalah proses pemanasan baja sampai suhu di daerah atau di atas daerah kritis disusul dengan pendinginan yang cepat. Bila kadar karbon diketahui, suhu pemanasannya dapat dibaca dari diagram fasa Besi-karbida besi. Akan tetapi, bila komposisi baja tidak diketahui, perlu diadakan percobaan untuk mengetahui daerah pemanasannya. Cara yang terbaik adalah memanaskan dan mencelupkan beberapa potong baja berbagai suhu disusul dengan pengujian kekerasan atau pengamatan mikroskopik. Bila suhu yang tepat telah diperoleh akan terjadi perubahan dalam kekerasan dan sifat lainnya.

Quenching

Perlakuan baja ini dilakukan dengan memanaskan baja hingga fasa menjadi austenit dan didinginkan secara cepat. Media pendinginan cepat seperti air, oli, air garam atau media pendingin lainnya. Tujuan utama perlakuan ini untuk meningkatkan kekerasan baja.

Pada gambar 2.4, dapat dijelaskan bahwa *quenching* merupakan salah satu teknik perlakuan panas yang diawali dengan proses pemanasan sampai temperatur austenit (austenisasi) diikuti pendinginan secara cepat, sehingga fasa austenit langsung bertransformasi secara parsial membentuk struktur martensit. Temperatur pemanasan hingga fasa austenit untuk proses *quenching* disebut juga sebagai temperatur pengerasan (*hardening temperatur*). Dan setelah mencapai temperatur pengerasan, dilakukan penahanan selama beberapa menit untuk menghomogenisasikan energi panas yang diserap selama pemanasan, kemudian didinginkan secara cepat

dalam media pendingin.



Gambar 2.4 Kurva proses *quenching*

Tujuan utama *quenching* adalah menghasilkan baja dengan sifat kekerasan tinggi. Sekaligus terakumulasi dengan kekuatan tarik dan kekuatan luluh, melalui transformasi austenit ke martensit. Proses *quenching* akan optimal jika selama proses transformasi, struktur austenite dapat dikonversi secara keseluruhan membentuk struktur martensit. Hal-hal penting untuk menjamin keberhasilan *quenching* dan menunjang terbentuknya martensite ialah temperatur pengerasan, waktu tahan laju pemanasan, metode pendinginan, media pendingin, dan hardenability.

Menurut media pendinginannya, *quenching* dapat dibagi menjadi beberapa bagian, yaitu:

a. *Quenching* dengan media air

Air adalah media yang paling banyak digunakan untuk *quenching* karena biayanya yang murah, dan mudah digunakan serta pendinginannya yang cepat. Air khusus digunakan untuk baja karbon rendah yang memerlukan penurunan temperature dengan cepat dengan tujuan memperoleh kekerasan dan kekuatan yang baik. Air memberikan

pendinginan yang sangat cepat yang menyebabkan tegangan dalam, distorsi, dan retakan.

b. *Quenching* dengan media oli

Oli sebagai media pendingin lebih lunak jika dibandingkan dengan air. Digunakan pada material yang kritis antara lain material yang mempunyai bagian tipis atau ujung yang tajam. Karena oli lebih lunak, maka kemungkinan adanya tegangan dalam, distorsi, dan retakan kecil. Oleh karena itu medium oli tidak menghasilkan baja sekeras yang dihasilkan pada medium air. *Quenching* dengan media oli akan efektif jika dipanaskan pada suhu 30-60 derajat celcius.

c. *Quenching* dengan media udara

Quenching dengan media udara lebih lambat jika dibandingkan dengan media oli maupun air. Material yang panas ditempatkan pada screen, kemudian udara didinginkan dengan kecepatan tinggi dialirkan dari bawah melalui screen dan material panas. Pendinginan yang lambat kemungkinan adanya tegangan dalam dan distorsi. Pendinginan udara pada umumnya digunakan pada baja yang mempunyai kandungan paduan yang tinggi.

d. *Quenching* dengan media air garam

Air garam adalah media yang sering digunakan pada proses *quenching* terutama untuk alat-alat yang terbuat dari baja. Beberapa keuntungan menggunakan media air garam adalah suhunya merata pada air garam,, proses pendinginan merata pada semua bagian logam, taidak ada bahaya oksidasi, karburisasi, atau dekarburisasi selama proses pendinginan.

2.5.2. Memperbaiki Sifat Keuletan (*Softening*)

Softening adalah proses *heat treatment* untuk menghasilkan/memperbaiki tingkat keuletan material. Adapun beberapa metode *softening* yaitu:

a. *Annealing*

Adalah proses perlakuan panas (*heat treatment*) yang sering dilakukan

terhadap logam atau paduan proses pembuatan suatu produk. Tahapan dari proses *annealing* ini dimulai dengan memanaskan logam (paduan) sampai temperature tertentu menahan pada temperature tertentu selama beberapa waktu tertentu agar tercapai perubahan yang diinginkan lalu mendinginkan logam atau paduan tersebut dengan laju pendinginan yang cukup lambat. Jenis *annealing* beraneka ragam, tergantung pada jenis atau kondisi benda kerja, temperature pemanasan, lamanya waktu penahanan dan laju pendinginan.

Proses *annealing* atau melunakkan baja adalah proses pemanasan baja di atas temperature kritis (723°C)selanjutnya dibiarkan beberapa lama sampai temperature merata disusul dengan pendinginan secara perlahan-lahan sambil dijaga agar temperature bagian luar dan dalam kira-kira sama hingga diperoleh struktur yang diinginkan dengan menggunakan media pendingin udara.

Tujuan proses annealing:

- Melunakkan logam
- Menghilangkan tegangan dalam/sisa
- Memperbaiki struktur butir logam

b. *Full Annealing*

Merupakan proses perlakuan panas untuk menghasilkan perlite yang kasar (*coarse pearlite*) tetapi lunak dengan pemanasan sampai austenitisasi dan didinginkan dengan dapur, memperbaiki ukuran butir serta dalam beberapa hal juga memperbaiki *machineability*. Pada proses full annealing ini biasanya dilakukan dengan memanaskan logam sampai ke atas temperature. Kemudian dilanjutkan dengan pendinginan yang cukup lambat (biasanya dengan dapur atau dalam bahan yang mempunyai sifat penyekat panas yang baik).

Pada temperatur ini butir kristal austenite masih halus sekali dan tidak homogen. Dengan menaikkan temperature sedikit diatas temperature kritis A3 dan memberi waktu penahanan (*holding time*) seperlunya maka akan diperoleh austenite yang lebih homogen dengan

butiran kristal yang juga masih halus sehingga bila nantinya didinginkan dengan lambat akan menghasilkan butir-butir kristal ferrite dan pearlite yang halus. Baja yang dalam proses pengerjaannya mengalami pemanasan sampai temperature yang terlalu tinggi ataupun waktu tahan (*holding time*) terlalu lama biasanya butiran kristal austenitenya akan terlalu kasar dan bila didinginkan dengan lambat akan menghasilkan ferrit atau pearlite yang kasar sehingga sifat mekaniknya juga kurang baik (akan lebih getas). Untuk baja hypereutectoid, annealing merupakan persiapan untuk proses selanjutnya dan tidak merupakan proses akhir.

c. *Stress Relief Annealing*

Merupakan proses perlakuan panas untuk menghilangkan tegangan sisa akibat proses sebelumnya. Untuk peningkatan kekerasan tetapi struktur mikronya tidak martensite dapat dilakukan dengan pengerjaan dingin akan tetapi yang perlu diingat bahwa efek dari *cold working* akan timbul tegangan sisa dan untuk menghilangkan hal ini diperlukan *stress relief annealing*.

Material logam itu terdiri dari struktur mikro berupa kristal-kristal kecil yang disebut "butir" atau kristalit. Sifat butir (yaitu ukuran butir dan komposisi) adalah salah satu faktor paling penting yang dapat menentukan sifat mekanis logam secara keseluruhan. perlakuan panas menyediakan cara yang efisien untuk memanipulasi sifat dari logam dengan mengendalikan laju difusi, dan tingkat pendinginan dalam struktur mikro tersebut.

d. *Process Annealing*

Merupakan proses perlakuan panas yang ditujukan untuk melunakkan dan menaikkan kembali keuletan benda kerja agar dapat dideformasi lebih lanjut. Pada dasarnya proses *Annealing* dan *Stress relief Annealing* itu mempunyai kesamaan yakni bahwa kedua proses tersebut dilakukan masih dibawah garis A1 (temperature kritis A1) sehingga pada dasarnya yang terjadi hanyalah rekristalisasi saja.

e. *Normalizing*

Merupakan proses pemanasan 100°F diatas temperatur kritis atas sekitar temperatur 1000°F - 1250°F . Tujuan proses ini adalah untuk menghasilkan baja yang lebih kuat dan keras dibandingkan dengan baja hasil proses *full annealing*, jadi aplikasi penerapan dari proses *normalizing* digunakan sebagai *final treatment*.

f. Tempering

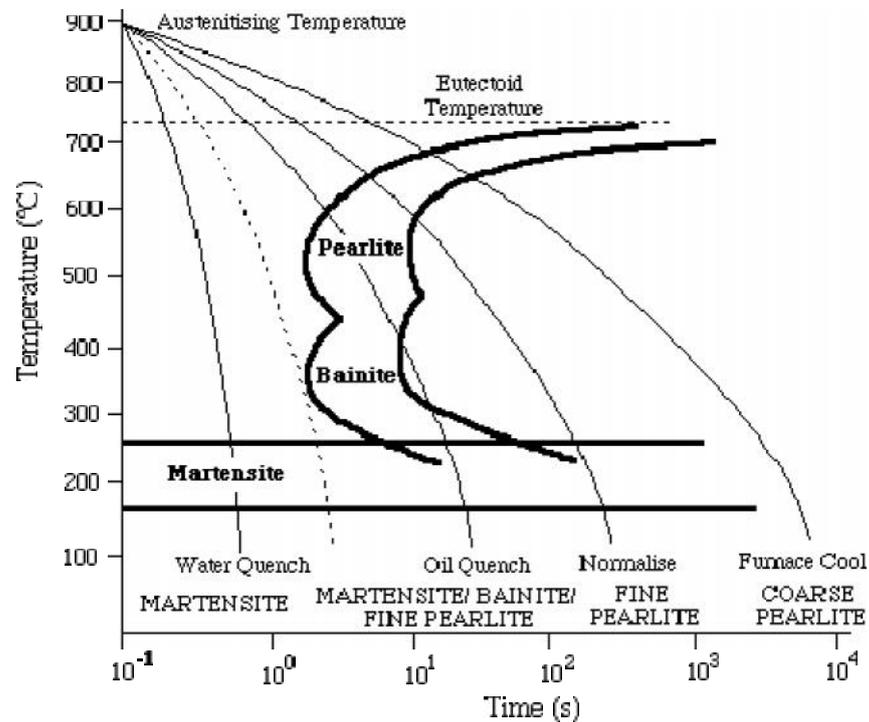
Baja yang telah dikeraskan bersifat rapuh dan tidak cocok untuk digunakan. Melalui temper, kekerasan dan kerapuhan dapat diturunkan sampai memenuhi persyaratan penggunaan. Kekerasan turun, kekuatan tarik akan turun pula sedangkan ketangguhan dan keuletan baja akan meningkat. Proses temper terdiri dari pemanasan kembali dari baja yang telah dikeraskan pada suhu dibawah suhu kritis, disusul dengan pendinginan.

Temper dimungkinkan oleh karena struktur martensit tidak stabil. Temper pada suhu rendah antara 150 - 230°C tidak akan menghasilkan penurunan kekerasan yang berarti, karena pemanasan akan menghilangkan tegangan dalam terlebih dahulu. Bila menjadi martensit terurai lebih cepat dan sekitar 305°C perubahan fasa menjadi martensit temper berlangsung dengan cepat.

Proses temper terdiri dari presipitasi dan penggumpalan atau pertumbuhan sementit. Pengendapan sementit terjadi pada 315°C diiringi dengan penurunan kekerasan. Peningkatan suhu akan mempercepat penggumpalan karbida, sementara kekerasan turun terus.

g. Austemper

Proses pencelupan tertunda seperti tampak pada gambar 2.5 disebut austemper. Austenit mengalami transformasi isothermal dan berubah menjadi bainit yang keras. Benda atau bagian harus dicelup dengan cepat sampai mencapai suhu yang tepat, tanpa memotong ujung kurva diagram transformasi. Baja dibiarkan diatas garis M_s akan tetapi dibawah 430°C .



Gambar 2.5 Kurva austemper

Bila dibiarkan cukup lama, akan diperoleh struktur bainit. Di bawah mikroskop struktur bainit mirip dengan martensit, akan tetapi bainit lebih ulet dibandingkan dengan martensit temper. Proses ini diterapkan untuk benda yang kecil dengan kemampuan pengerasan yang baik.

2.6 Keausan Pada Logam

Keausan dapat didefinisikan sebagai rusaknya permukaan padatan, umumnya melibatkan kehilangan material yang progresif akibat adanya gesekan (friksi) antar permukaan padatan. Keausan bukan merupakan sifat dasar material, melainkan respon material terhadap sistem luar (kontak permukaan). Keausan merupakan hal yang biasa terjadi pada setiap material yang mengalami gesekan dengan material lain.

Material apapun dapat mengalami keausan disebabkan oleh mekanisme yang beragam. Karena keausan material merupakan fenomena permukaan maka prosesnya sangat dipengaruhi oleh sifat kimia dan mekanik material geometri antar muka, beban yang bekerja pada permukaan, pergerakan relatif permukaan, dan lingkungan (suhu dan spesi gas)

2.6.1 *Adhesive wear*

Jenis aus ini terjadi jika material saling kontak disertai beban yang menghasilkan gaya adhesi (gaya ikat) akibat terjadinya interaksi atomik pada kedua permukaan material yang bersentuhan. Tergantung tingkat kerusakan dan panas yang dihasilkan (*thermal fusion*), kondisi adhesive ini dapat disebut dengan *cold microwelding* atau *hot microwelding*. Jika kekuatan adhesi ini lebih besar dari kekuatan kohesi, maka akan terjadi pengelupasan permukaan material (partikel debris).

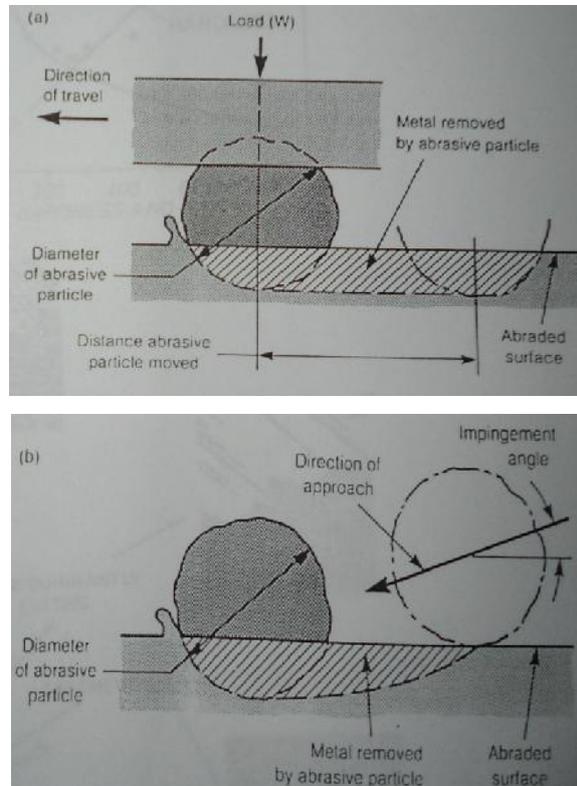
Kemungkinan terjadinya adhesive wear dapat diturunkan dengan mencegah metal-to-metal contact dengan memberikan chemical films/coating pada permukaan seperti : phosphate coating, EP lubricants, silver/gold coating, serta menggunakan material yang lebih keras atau material dengan jenis yang berbeda, misal berbeda struktur kristalnya.

2.6.2 *Abrasive wear*

Aus pada material terjadi karena adanya gesekan antara komponen mesin dengan material abrasif akibat adanya sejumlah material yang masuk kedalam suatu sistem material sehingga permukaan material tersebut akan terkikis sedikit demi sedikit. Ketahanan material terhadap abrasi ditentukan oleh :

- a. Partikel abrasif (ukuran partikel, bentuk dan kekerasan partikel, kuat luluh, sifat fracture, konsentrasi)
- b. Kondisi interaksi (besarnya gaya impak, kecepatan tumbukan, sudut impak, sliding/rolling, suhu, pH, basah/kering)
- c. Material *wear* (kuat luluh dan kekerasan, modulus elastisitas, ketangguhan, sifat work hardening, struktur mikro, ketahanan terhadap korosi).

Mekanisme abrasi dapat dijelaskan dengan gambar berikut :



Gambar 2.6 Mekanisme abrasi

Tergantung dari ketiga faktor diatas keausan dapat terjadi melalui tiga cara yaitu:

- ◆ *Ploughing* (terjadi deformasi plastis pada permukaan material)
- ◆ *Cutting* (terjadi pelepasan material dalam bentuk serbuk/*microchips*)
- ◆ *Fragmentation* (terjadi pecahan material)

Untuk meningkatkan ketahanan terhadap aus maka permukaan elemen mesin harus memiliki kekerasan yang tinggi. Kekerasan yang tinggi (mempunyai kuat luluh tinggi) menyebabkan ketahanan material untuk mengalami friksi atau goresan akan menurun. Selain faktor material, kondisi lingkungan juga mempengaruhi besarnya laju *material loss*, makin tinggi derajat keasaman dari suatu lingkungan korosif, makin tinggi laju

abrasi. Sehingga dari sisi kerusakan logam, proses aus akan terjadi melalui mekanisme deformasi plastis atau patah/retak.

2.6.3 *Fretting wear*

Fretting wear adalah jenis kerusakan pada permukaan yang memiliki pergerakan isolasi dengan amplitudo relatif kecil dibawah beban dimana terdapat sumuran (*pits*) yang terbentuk karena debris oksida besi. Oksida besi terbentuk karena sebelumnya ada mekanisme adhesi wear yang menghasilkan debris / partikel besi yang sangat panas dan kemudian teroksidasi. Oksida besi yang terbentuk sangat keras dan merusak permukaan material yang saling bergesekan. Pits yang terbentuk menghasilkan *microcreacks* dan dibawah beban siklik retakan tersebut akan menjalar. Karena kerusakan ini dipicu oleh proses korosi, maka fretting wear disebut juga dengan *corrosion-assisted wear* atau *fretting corrosion*.

Kerusakan ini sering terjadi pada permukaan “*stationary*” joints yang ditahan/dipress oleh bolts, pins, rivets, dan juga terjadi pada antifriksi, rolling elements, dan bearings. Pencegahan fretting sangat sulit namun dengan menurunkan tingkat vibrasi dan memberikan jenis lubrikasi yang memadai akan membantu memperkecil timbulnya masalah ini.

2.7. Uji Kekerasan

Salah satu pengujian yang paling banyak digunakan adalah uji kekerasan. “Kekerasan” didefinisikan sebagai ketahanan suatu material terhadap penetrasi dari luar. Dapat pula dikatakan ”kekerasan” adalah ketahanan suatu material terhadap goresan (*scratching*) atau terhadap aus (*wear*) dari benda atau bahan lain yang lebih keras. Kekerasan merupakan sifat mekanik yang sangat penting, karena dapat diperkirakan kekuatan dari material tersebut.

Pada dasarnya metode pengukuran kekerasan dapat dibedakan menjadi tiga macam:

1. Metode pengukuran dengan cara penggoresan, yaitu: cara Moh's.

2. Metode pengukuran dengan cara penusukan, yaitu: cara Brinell, Vickers, Meyer, Rockwell, dan Knopp.
3. Metode pengukuran dengan cara pantulan, yaitu cara shore selescope.

Uji Kekerasan Vickers

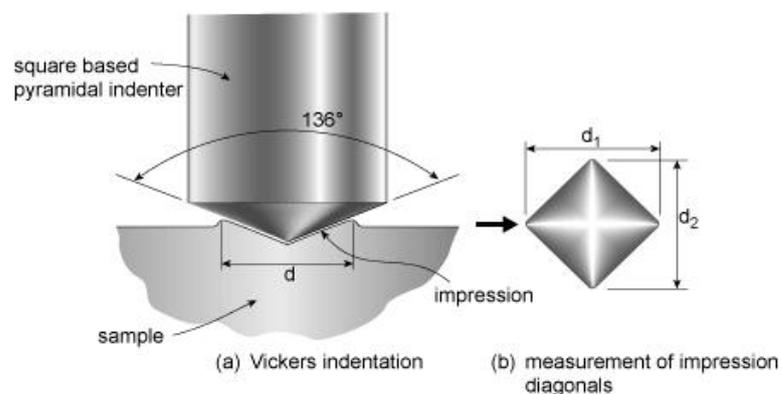
Uji kekerasan vickers menggunakan intan sebagai indenter dengan bentuk geometris piramida, dengan beban bervariasi antara 1-120 kg. Uji vickers diperkenalkan di Inggris oleh R. Smith dan G Sandlund (1922). Angka kekerasan vickers VHN (Vickers Hardness number) dalam formula :

$$VHN = \frac{1,854P}{L^2} \dots\dots\dots(1)$$

Dimana : P= beban (Kg)

L= diameter diagonal injakan (mm)

Uji Vickers banyak dilakukan pada pekerjaan penelitian, karena metode tersebut memberikan hasil berupa skala kekerasan yang kontinu, untuk suatu beban tertentu.

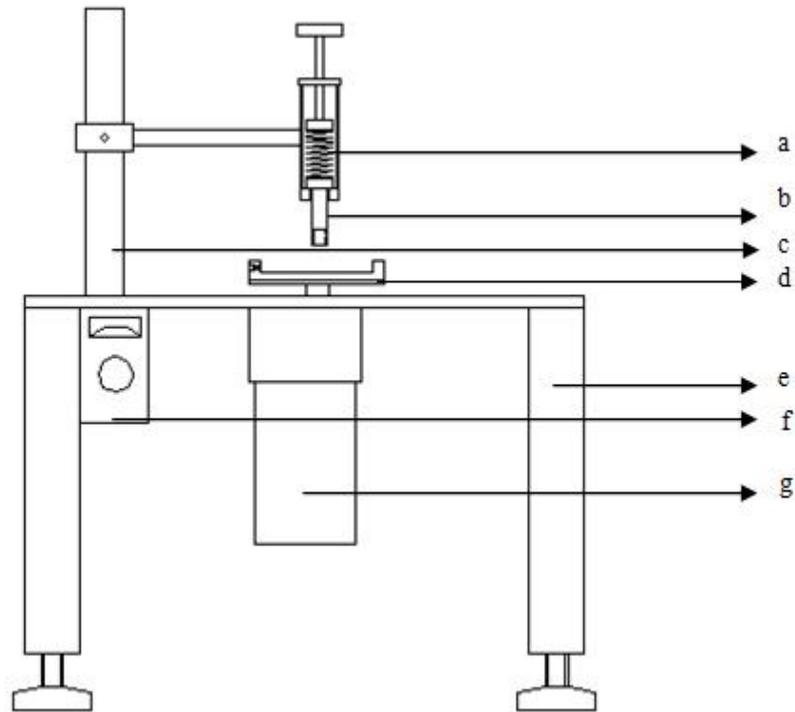


Gambar 2.7. Indentor uji Vickers

2.8 Uji Keausan

Salah satu alat untuk menguji keausan adalah tribometer pin on disc. Alat uji tribometer pin on disc ini merupakan alat untuk mengetahui laju keausan dari suatu material yang melakukan kontak. Persiapan yang dilakukan untuk melakukan pengujian ini meliputi pen-settingan *control speed* dan *load*

(pembebanan). Pada gambar 2.7 dapat dilihat skema dari alat uji tribometer pin on disc.



Gambar 2.8 Skema alat tribometer Pin on Disc

Keterangan:

- a. *Load control with adjustabel spring*
- b. *Pin spesimen holder with lock*
- c. *Metal main holder with flexible mounting and flexible radius (adjustabel)*
- d. *Round metal disk table with rigid design*
- e. *Tribometer tabel with rigid design and low damping / vibration effect*
- f. *Speed control with selectabel level*
- g. *AC motor with reducer gear box*

Laju keausan dapat dihitung dengan menggunakan rumus

$$K = \frac{\Delta V}{F.L} \dots \dots \dots (2)$$

Dimana: K = laju keausan

ΔV = perubahan volume (gr/cm^3)

F = Gaya (N)

L = Panjang lintasan (meter)

2.8 Hipotesa

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan sebelumnya oleh Subardi, 2010 dan Nurjaman, 2012 maka didapat hipotesa, semakin rendah viskositas media maka semakin naik tingkat kekerasan pada hasil *quenching*. Kenaikan kekerasan akan berbanding lurus dengan kenaikan terhadap ketahanan aus. Media air garam akan lebih meningkatkan kekerasan karena kecepatan pendinginan yang cepat dibanding dengan media oli. Kenaikan kekerasan dan ketahanan aus diperoleh dari perubahan struktur mikro yaitu dengan bertambahnya karbida khrom yang baru akibat proses *quenching* tersebut.

BAB 3. METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Metode Penelitian

Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode eksperimental, yaitu suatu metode yang digunakan untuk menganalisa perbandingan media pendingin oli SAE 5W dan air garam dalam proses *quenching* pada *grinding ball* diameter 40 mm yang dipakai di PT. Semen Indonesia (Persero) Tbk., terhadap kekerasan dan ketahanan aus

3.2 Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian dilakukan di Laboratorium Pengujian Bahan Jurusan Teknik Mesin Universitas Brawijaya Malang untuk perlakuan panas *grinding ball*, foto mikro dan pengujian kekerasan Vickers, di CV Sejati Jember untuk proses permesinan spesimen uji aus, dan di Laboratorium Desain Jurusan Teknik Mesin Institut Teknologi Sepuluh November untuk pengujian aus. Waktu penelitian berlangsung selama 2 bulan yaitu dimulai dari bulan Mei 2013 sampai dengan bulan Juni 2013.

3.3 Alat dan Bahan Penelitian

Pada penelitian ini terdapat beberapa alat dan bahan meliputi:

3.3.1 Alat

1. *Reheating furnace*

Dengan spesifikasi

Merk : Openbau Hofman

Tipe : E/90

Daya : 3,3 kW

Suhu maksimum : 1100° C

Buatan : Austria

2. *Digital Micro Vickers Hardness Tester TH712*

Spesifikasi terlampir

3. Alat Uji Keausan metode Pin On Disc

Dengan spesifikasi

<i>Sliding speed range</i>	8.37 – 250 mm/s
<i>Disc rotation speed</i>	8 - 60 rpm
<i>Maximum normal load</i>	150 N
<i>Frictional force</i>	0 – 150 N
<i>Wear measurement range</i>	10 mm
<i>Wear track diameter</i>	20 – 80 mm

4. Gerinda potong
5. Timbangan digital merk Ohaus
6. Cairan untuk etsa
7. Mesin penghalus permukaan
 - Merk : Shapir 330
 - Speed : 120 rpm
 - Diameter : 150 mm
 - Buatan : Jerman
8. Seperangkat komputer

3.3.2 Bahan

Bahan yang digunakan dalam pengujian ini adalah:

1. Grinding ball diameter 40 mm
2. Oli SAE 5W (spesifikasi terlampir)
3. Air garam dengan presentase garam sebesar 30%

3.4 Variabel Penelitian

3.4.1 Variabel Bebas

Variabel bebas yaitu variabel yang bebas ditentukan oleh peneliti sebelum melakukan penelitian. Variabel bebas yang digunakan adalah

- a. Grinding ball diameter 40 mm

Dengan spesifikasi komposisi kimia

- ♣ Unsur Carbon (C) : 2,0-2,5%
- ♣ Unsur Khrom (Cr) : 15-19%
- ♣ Unsur Silica (Si) : 0,3-0,9%

- ◆ Unsur Mangan (Mn) : 0,3-0,9%
 - ◆ Unsur Phosphor (P) : maksimum 0,06%
 - ◆ Unsur Sulfur (S) : 0,06%
- b. Temperatur pemanasan adalah 850°C
 - c. Lama waktu pemanasan bertahap hingga 850° C dengan waktu *holding* ± 120 menit
 - d. Media pendingin berupa oli SAE 5W
 - e. Media pendingin air garam dengan kadar garam 30%.

3.4.2 Variabel Terikat

Variabel terikat merupakan variabel yang besarnya tidak dapat ditentukan sepenuhnya oleh peneliti, tetapi besarnya tergantung pada variabel bebasnya. Penelitian ini mempunyai variabel terikat yang meliputi data-data yang diperoleh pada pengujian yaitu

- a. Struktur mikro *grinding ball* sebelum di *heat treatment* dan sesudah di *heat treatment* dengan oli SAE 5W dan air garam
- b. Kekerasan masing-masing *grinding ball* dengan media oli SAE 5W dan air garam
- c. Ketahanan aus masing-masing *grinding ball* dengan media oli SAE 5W dan air garam

3.5 Prosedur Pengujian

3.5.1 Penyiapan Alat Penelitian

Sebelum penelitian dilaksanakan, terlebih dahulu dilakukan persiapan menyusun perlengkapan penelitian. Alat-alat yang harus dicek diantaranya:

1. Kondisi mesin penghalus permukaan untuk menghaluskan permukaan spesimen sebelum diuji struktur mikro
2. Kondisi mikroskop metalurgi untuk pengambilan gambar struktur mikro pada *grinding ball* sebelum dan sesudah di *treatment*
3. Kondisi *reheating furnace* untuk memanaskan *grinding ball* sampai di atas temperature austenisasi

4. Kondisi *Digital Micro Vickers Hardness Tester TH712* untuk mengukur kekerasan
5. Kondisi tribometer *pin on disc*.

3.5.2 Tahapan Penelitian

Pengujian yang dilakukan dalam penelitian ini menggunakan media oli SAE 5w dan air garam sebagai media pendingin dalam proses *quenching*. Tahapan pengujian tersebut adalah:

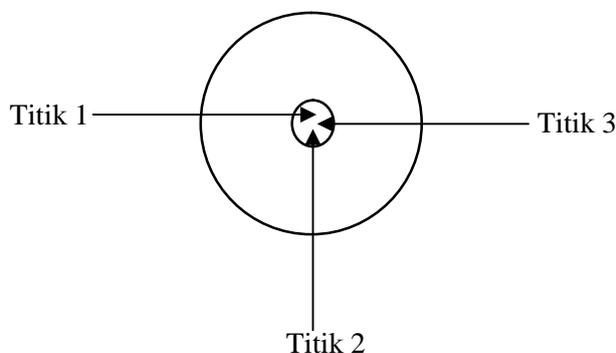
a. Tahap Persiapan Pengambilan Data

Setelah proses penyusunan peralatan, maka mula-mula menyiapkan specimen (*grinding ball*) 40 mm, *grinding ball* dimasukkan ke dalam *reheating furnace* dan dipanaskan sampai suhu 850°C dan ditahan selama 120 menit. Setelah proses *hardening*, kemudian masing-masing *grinding ball* di-*quenching* dengan media oli SAE 5W dan air garam.

b. Tahap Pengambilan Data

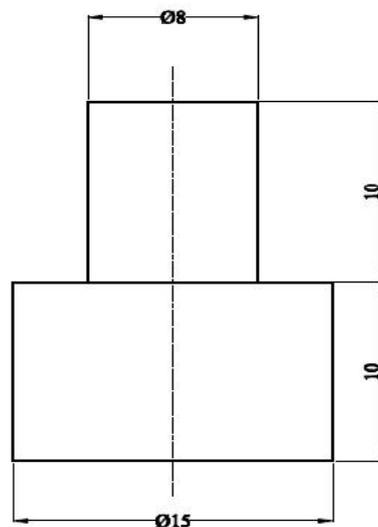
Tahapan proses pengujian dapat diperinci sebagai berikut:

- 1) Menguji struktur mikro masing-masing permukaan *grinding ball* sebelum perlakuan dan hasil *quenching* dengan media oli SAE 5W dan air garam
- 2) Menguji kekerasan masing-masing *grinding ball* hasil *quenching* dengan media oli SAE 5W dan air garam di tiga titik pada permukaan *grinding ball*

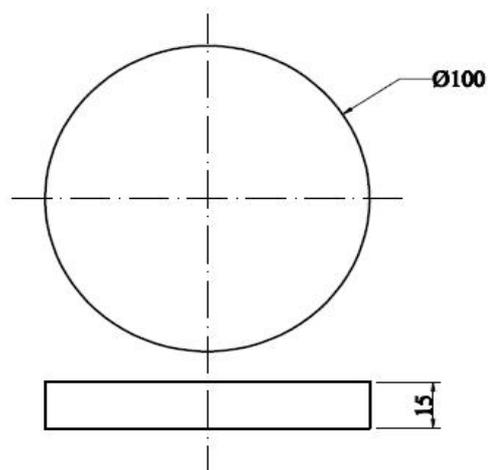


Gambar 3.1 Titik pengambilan data kekerasan

- 3) Menguji ketahanan aus dengan metode pin on disc pada masing-masing *grinding ball* hasil *quenching* dengan media oli SAE 5W dan air garam dengan *grinding ball* hasil *quenching* sebagai pin dan material ASTM A532 sebagai disc. Spesifikasi bentuk pin dan disc adalah sebagai berikut



Gambar 3.2 Dimensi pin untuk uji aus



Gambar 3.3 Dimensi disc untuk uji aus

3.5.3 Tahap Pengambilan Data

Untuk pengambilan data pengujian kekerasan adalah sebagai berikut:

1. Pengambilan data pengujian kekerasan *grinding ball* tanpa perlakuan

Tabel 3.1 Pengambilan data kekerasan *grinding ball* tanpa perlakuan

Bahan	Kekerasan (HVN) <i>raw material</i>				
	Titik 1	Titik 2	Titik 3	Rata-rata	Standar deviasi
<i>Grinding ball 1</i>					
<i>Grinding ball 2</i>					

2. Pengambilan data pengujian kekerasan *grinding ball* dengan media oli SAE 5W

Tabel 3.2 Pengambilan data kekerasan *grinding ball* dengan media oli SAE 5W

Bahan	Kekerasan (HVN) <i>quenching</i> dengan media oli SAE 5W				
	Titik 1	Titik 2	Titik 3	Rata-rata	Standar deviasi
<i>Grinding ball 1</i>					
<i>Grinding ball 2</i>					

3. Pengambilan data pengujian kekerasan *grinding ball* dengan media air garam

Tabel 3.3 Pengambilan data kekerasan *grinding ball* dengan media oli SAE 5W

Bahan	Kekerasan (HVN) <i>quenching</i> dengan media air garam				
	Titik 1	Titik 2	Titik 3	Rata-rata	Standar deviasi
<i>Grinding ball 1</i>					
<i>Grinding ball 2</i>					

4. Pengambilan data perbandingan pengujian kekerasan raw material, *quenching* dengan media oli SAE 5W, dan *quenching* dengan media air garam.

Tabel 3.4 Perbandingan kekerasan *grinding ball raw material quenching* dengan media oli SAE 5W, dan media air garam

Material	Kekerasan (HVN) <i>raw material</i>	Kekerasan (HVN) media oli SAE 5W	Kekerasan (HVN) media air garam
<i>Grinding</i>	1		
<i>Ball 40 mm</i>	2		

5. Pengambilan data laju keausan *grinding ball* dengan media oli SAE 5W dan air garam

Tabel 3.5 Pengambilan data perbandingan selisih massa dan volume setelah pengujian keausan pada Pin (*grinding ball*) 1

Pin	Mo (gr)	Mi (gr)	M (gr)	(gr/cm ³)	Vo (cm ³)	Vi (cm ³)	V (cm ³)
Pin Raw 1							
Pin Oli 1							
Pin Garam 1							

Tabel 3.6 Pengambilan data perbandingan laju keausan antara raw material 1, *grinding ball 1* hasil *quenching* dengan media oli SAE 5W dan media air garam

Pin	V (cm ³)	F (N)	L (m)	Kx10 ⁻³ (cm ³ /N.m)	Ketahanan aus (N.m/cm ³)
Pin Raw 1					
Pin Oli 1					
Pin Garam 1					

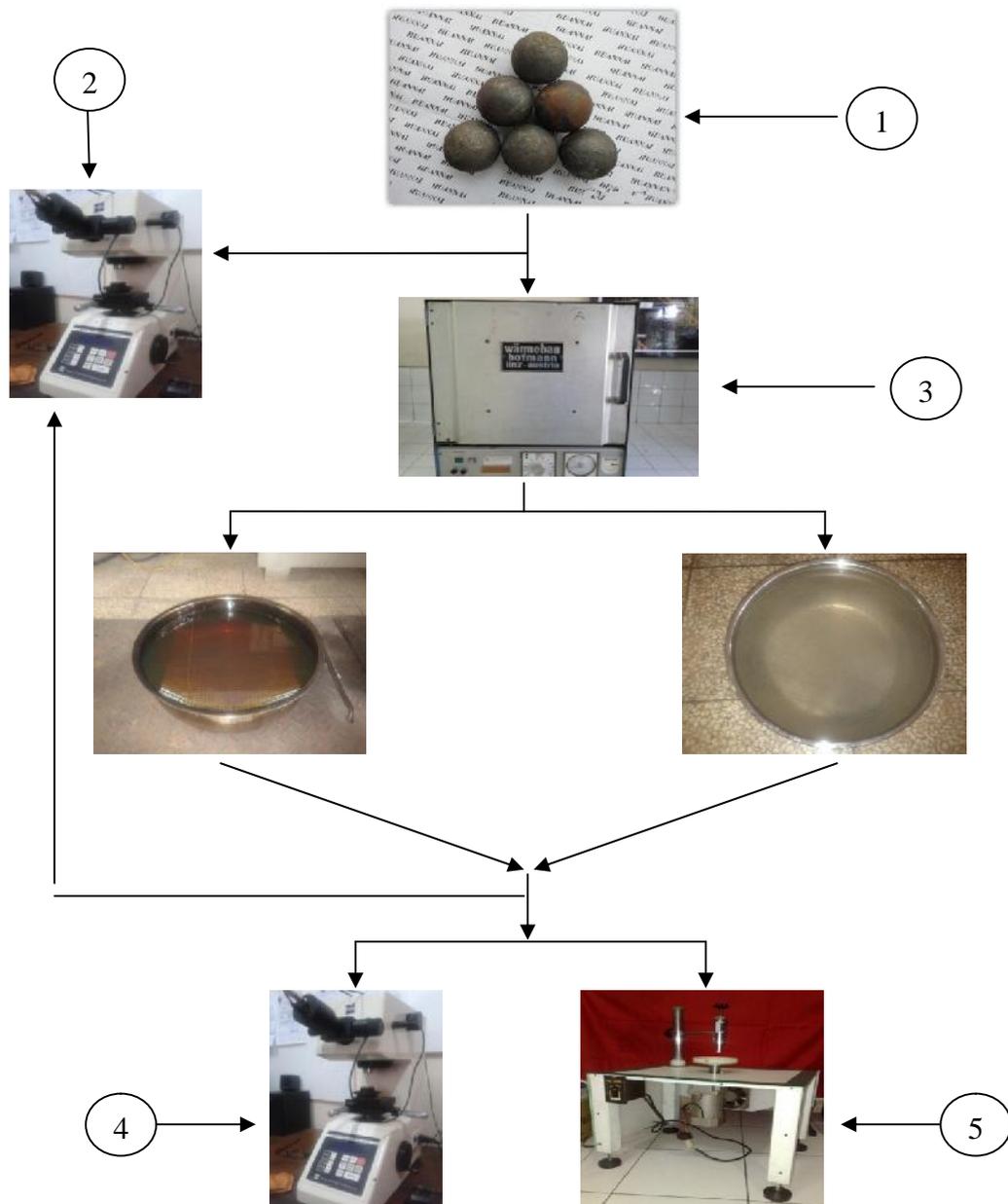
Tabel 3.7 Pengambilan data data perbandingan selisih massa dan volume setelah pengujian keausan pada Pin (*grinding ball*) 2

Pin	Mo (gr)	Mi (gr)	M (gr)	(gr/cm ³)	Vo (cm ³)	Vi (cm ³)	V (cm ³)
Pin Raw 2							
Pin Oli 2							
Pin Garam 2							

Tabel 3.8 Pengambilan data perbandingan laju keausan antara raw material 2, *grinding ball* 2 hasil *quenching* dengan media oli SAE 5W dan media air garam

Pin	V (cm ³)	F (N)	L (m)	K x 10 ⁻³ (cm ³ /N.m)	Ketahanan aus (N.m/cm ³)
Pin Raw 2					
Pin Oli 2					
Pin Garam 2					

3.6 Skema Alat Pengujian

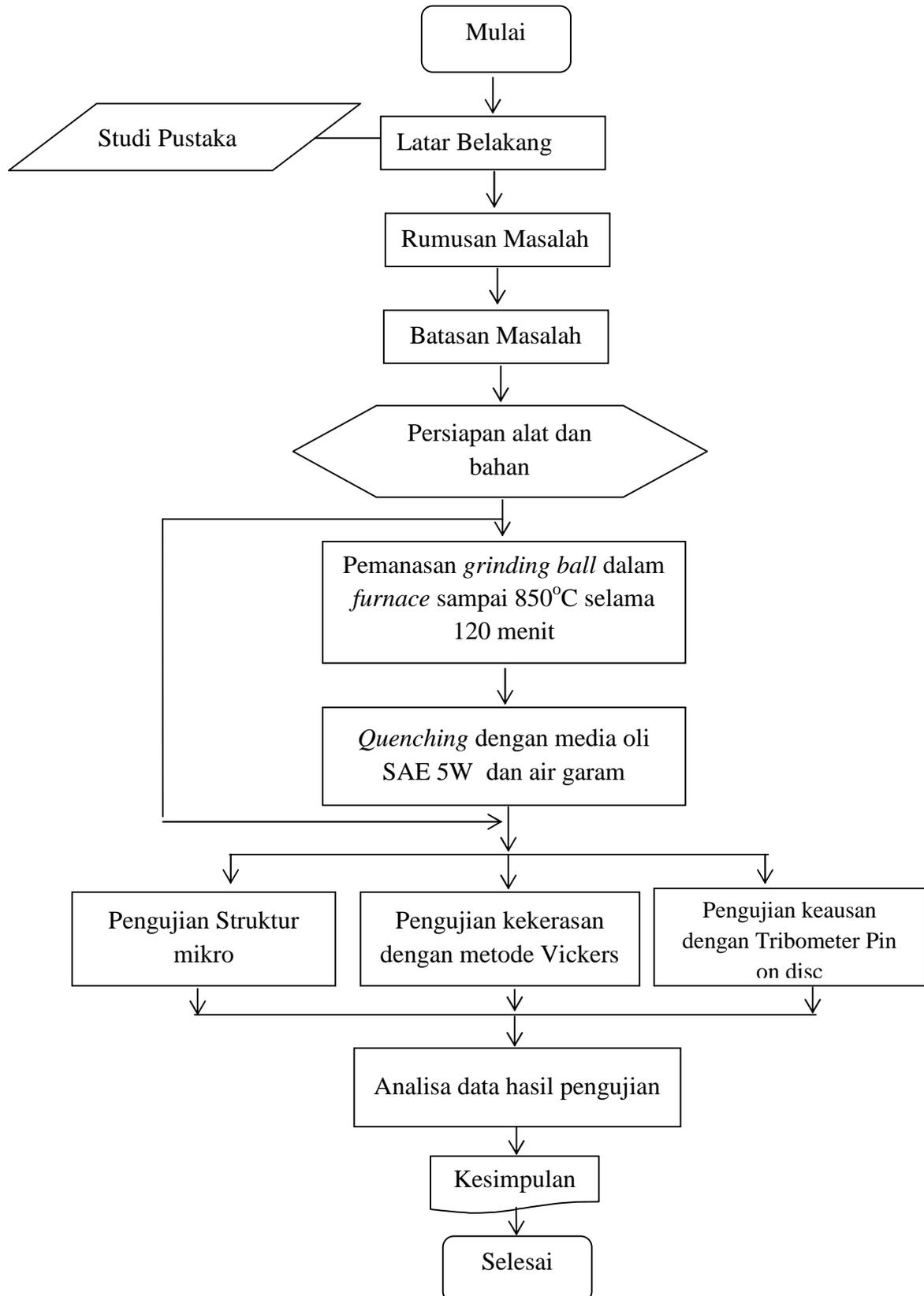


Gambar 3.3 Skema alat pengujian

Keterangan:

1. *Grinding Ball 40 mm*
2. *Digital Micro Vickers Hardness Tester and as microscope*
3. *Reheating furnace/dapur listrik*
4. *Digital Micro Vickers Hardness Tester*
5. *Tribometer Pin on Disc*

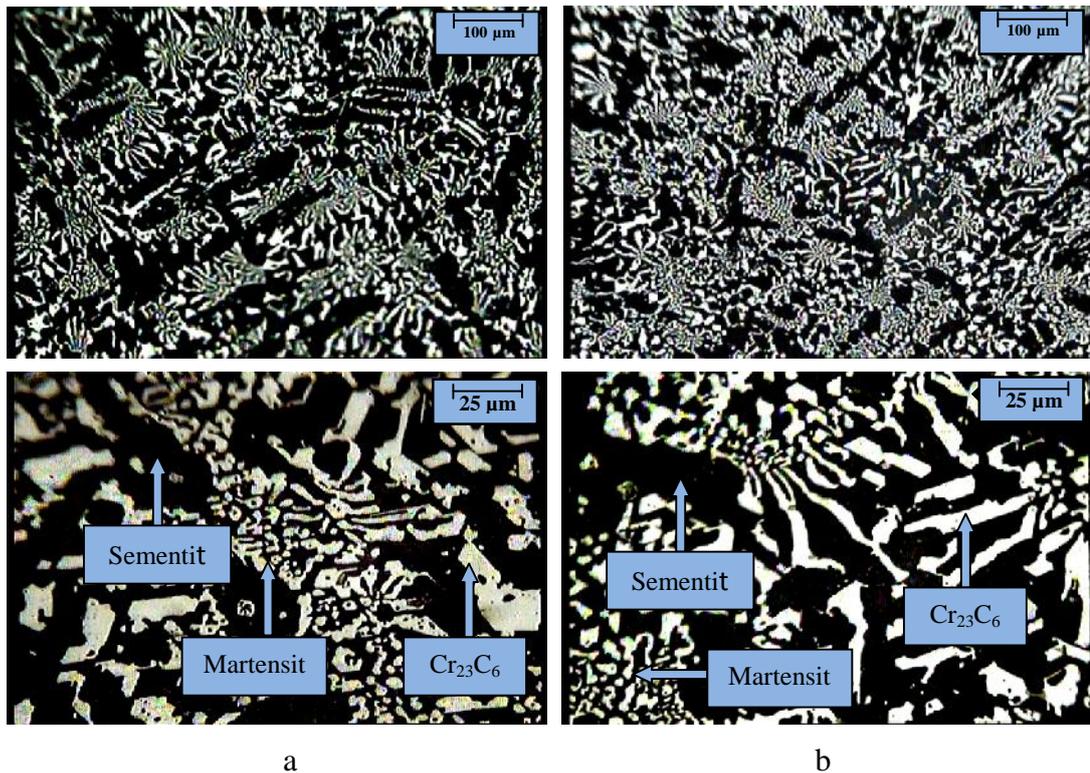
3.7 Diagram Alir Penelitian



BAB 4. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Hasil Uji Struktur Mikro

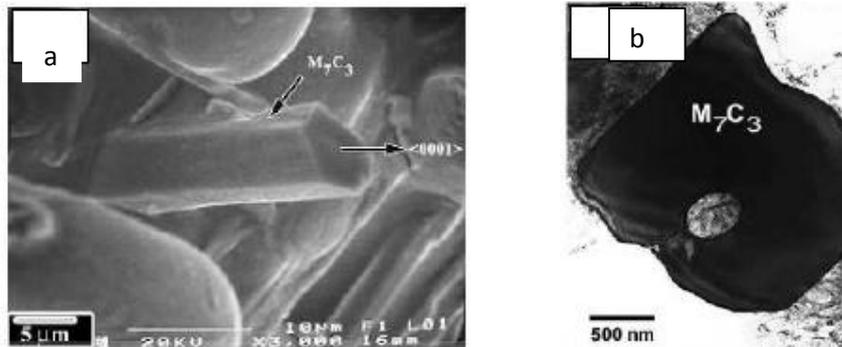
Sebelum diuji struktur mikro, masing-masing *grinding ball* diperhalus dengan mesin penghalus permukaan, dan dietsa dengan etanol sebesar 95% dan HNO_3 sebesar 5% selama ± 30 detik kemudian dinetralkan dengan alkohol dengan kadar 70%, kemudian benda uji dicuci dengan air dan dikeringkan dengan menggunakan *hair dryer*. Selanjutnya dilakukan pengambilan gambar struktur mikro dengan mikroskop optik dengan perbesaran 100x dan 400x. Berikut ini adalah perbandingan foto mikro antara raw material dan *grinding ball* sesudah di-*quenching* dengan media oli SAE 5W



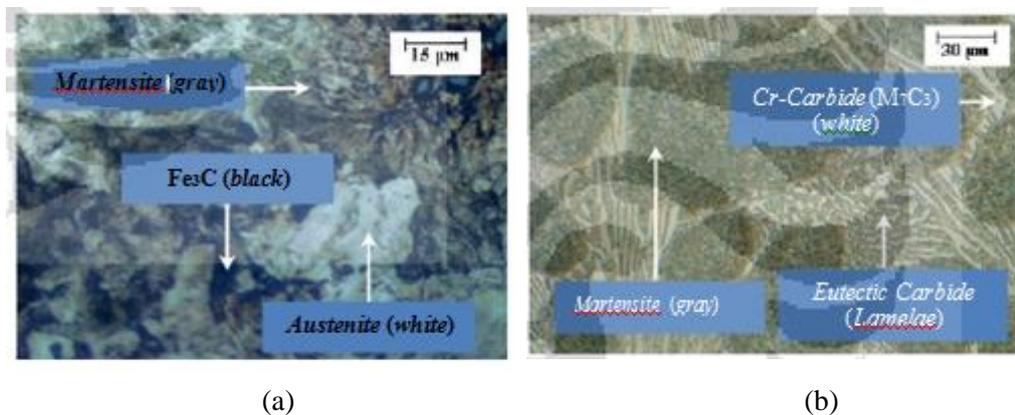
Gambar 4.1 Perbandingan foto mikro 100x (atas) dan 400x perbesaran (bawah) pada raw material (a) dan hasil *quenching* dengan oli SAE 5W (b)

Pada gambar 4.1 dapat dilihat perbedaan struktur mikro antara raw material (*non treatment*) dan hasil *quenching* dengan media oli SAE 5W. Struktur yang terlihat pada kedua foto mikro tersebut adalah karbida khrom (berwarna putih), sementit (hitam), martensit (keabu-abuan). Hal ini diperjelas dengan

penelitian yang sebelumnya telah dilakukan oleh Nurjaman (2012), yaitu peran unsur khrom pada material *high chromium white cast iron* adalah membentuk karbida yang stabil dan keras, yaitu M_7C_3 atau $(Fe,Cr)_7C_3$. Karbida ini memiliki struktur kristal berupa *hexagonal closed packed* dengan bentuk struktur mikro berupa tiga dimensi hexagonal rod, yang ditunjukkan dalam foto mikro berikut ini



Gambar 4.2 Struktur mikro high chromium cast iron, (a) SEM: bentuk hexagonal rod, (b) TEM: Rongga pada M_7C_3 Carbide yang diisi oleh matriks. (Sumber: Nurjaman, 2012)

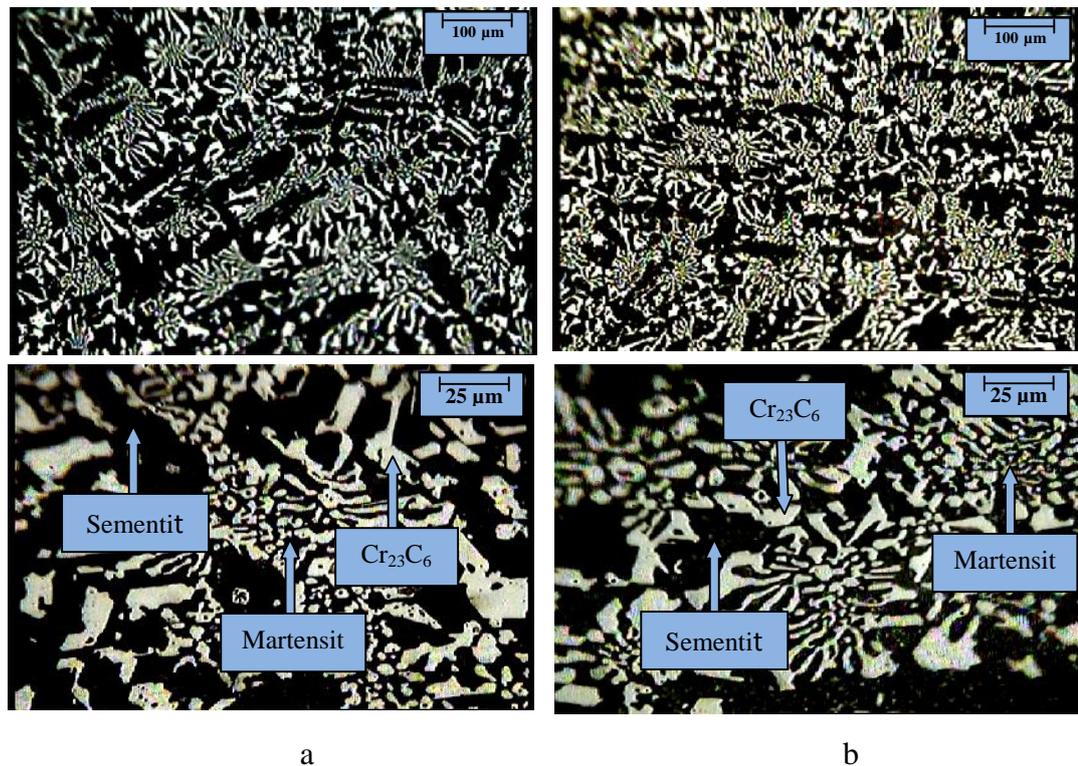


Gambar 4.3 Foto struktur mikro *grinding ball* (Sumber: Nurjaman, 2012)

Setelah di-*quenching* dengan oli SAE 5W terlihat struktur mikronya berubah lebih rapat, dan sebaran karbida khrom lebih banyak dan tersebar lebih merata daripada raw material. Dari pengamatan visual, apabila ditarik garis lurus terhadap gambar struktur mikro diatas, maka dapat dihitung persentase sementit dan karbida khrom. Pada *raw material*, persentase sementit adalah sebesar 77,14%, dan karbida khrom sebesar 22, 86%. Sedangkan pada *grinding ball* hasil *quenching* dengan oli SAE 5W didapatkan persentase sementit sebesar 30% dan

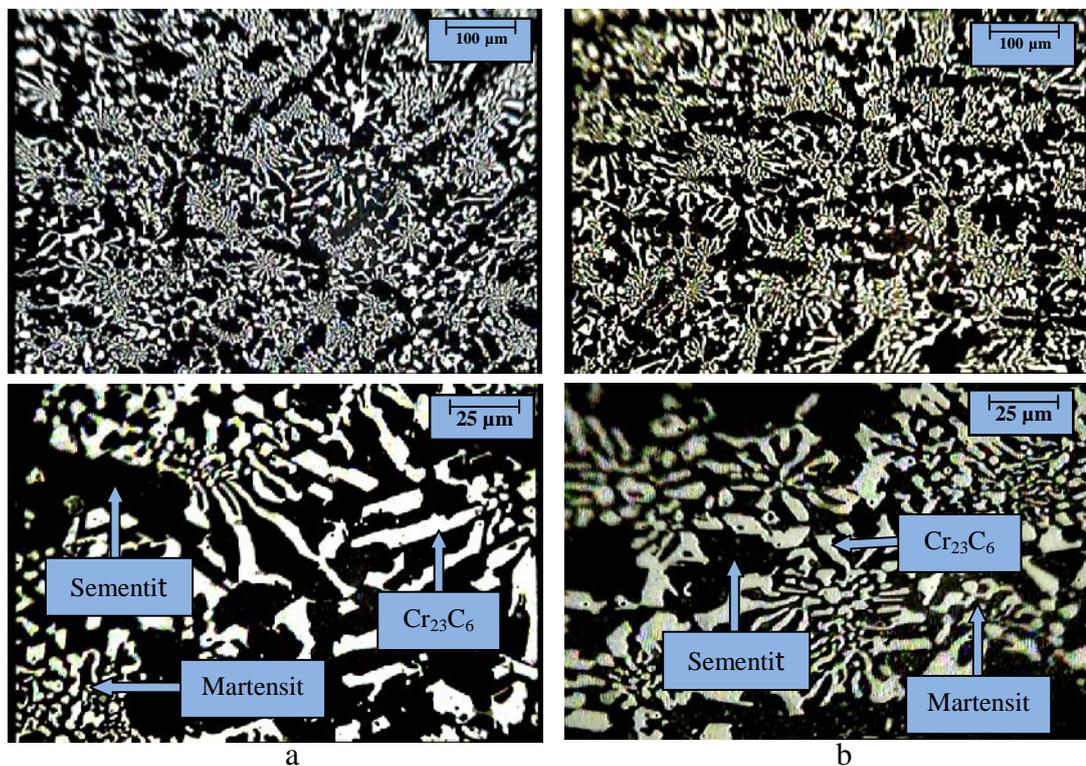
karbida khrom sebesar 70%. Ketika proses austenisasi berlangsung, unsur khrom dalam matriks akan bereaksi dengan karbon membentuk senyawa karbida di dalam matriks, sehingga kandungan karbon dalam matriks akan berkurang dan memudahkan matriks (austenit) bertransformasi menjadi martensit pada saat proses pendinginan cepat. Hal ini menyebabkan struktur martensit dalam *high chromium white cast iron* juga akan memberikan kontribusi yang cukup signifikan terhadap nilai kekerasan dari material tersebut. Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh Albertin dan Sandra (2007), bahwa karbida khrom dalam matriks martensit memberikan ketahanan gesek yang jauh lebih baik bila dibandingkan dengan karbida khrom dalam matriks austenit.

Selanjutnya adalah perbedaan foto struktur mikro antara *raw material* dengan *grinding ball* hasil *quenching* dengan air garam. Berikut adalah foto struktur mikronya



Gambar 4.4 Perbandingan foto mikro 100x (atas) dan 400x perbesaran (bawah) pada *raw material* (a) dan hasil *quenching* dengan air garam (b)

Pada gambar 4.4 dapat dilihat perbedaan struktur mikro antara *raw material* (*non treatment*) dan hasil treatment *quenching* dengan media air garam. Struktur yang terlihat adalah karbida khrom (putih), martensit (keabu-abuan), sementit (hitam). Setelah di-*quenching* dengan air garam terlihat struktur karbida krom (Cr_{23}C_6) tersebar merata dan struktur martensit lebih banyak dibandingkan dengan *raw material*. Pada hasil *quenching* dengan air garam didapatkan prosentase sementit sebesar 24,06%, sedangkan pada karbida khrom adalah sebesar 75,14%. Selanjutnya berikut ini adalah perbandingan struktur mikro antara *grinding ball* hasil *quenching* dengan media oli SAE 5W dan air garam



Gambar 4.5 Perbandingan foto mikro 100x (atas) dan 400x perbesaran (bawah) pada *grinding ball* hasil *quenching* dengan media oli SAE 5W (a) dan hasil *quenching* dengan air garam (b)

Pada gambar 4.5 dapat dilihat perbedaan struktur mikro antara *grinding ball* hasil *quenching* dengan media oli SAE 5W dan hasil *quenching* dengan media air garam. Struktur karbida khrom (Cr_{23}C_6), dan martensit pada *quenching* dengan media air garam terlihat lebih merata sebarannya dan lebih banyak dibandingkan dengan hasil *quenching* dengan oli SAE 5W.

Pada temperatur rendah (900°C) kemampuan austenit untuk melarutkan karbon sangatlah rendah, sehingga sejumlah karbon akan bereaksi dengan khrom membentuk karbida sekunder. Sebaliknya pada temperatur tinggi, austenit akan mampu melarutkan karbon dalam jumlah yang cukup besar, sehingga karbon akan bereaksi dengan khrom akan semakin sedikit dan karbida yang akan terbentuk akan semakin sedikit pula. Sedangkan pengaruh waktu tahan (*holding time*) terhadap morfologi karbida, dimana semakin lama waktu tahan (*holding time*) maka ukuran karbida akan semakin besar (*coarsening*) (Bedolla, 2003).

Jumlah kandungan khrom (Cr) yang tinggi dalam komposisi *grinding ball* ini mengakibatkan *grinding ball* memiliki sifat mampu keras, tahan korosi, dan tahan terhadap temperatur tinggi sehingga memiliki ketangguhan yang baik dan dapat mencegah pengaruh campuran bahan baku semen yang bersifat korosif (Kartikasari dkk, 2007). Nilai kekerasan dari suatu material sangat ditentukan oleh persentase volume karbida serta matriks dalam struktur mikro material tersebut, semakin tinggi volume karbida dalam suatu material maka semakin tinggi pula nilai kekerasan dan ketahanan aus dari material tersebut (Albertin dan Sinatora, 2001).

4.2 Hasil Uji Kekerasan

Pengujian kekerasan yang dilakukan adalah menggunakan alat *Micro Vickers Hardness Tester*, dengan 2 sampel *grinding ball raw material*, 2 sampel *grinding ball* hasil *quenching* dengan media oli SAE 5W dan 2 sampel *grinding ball* hasil *quenching* dengan media air garam. Sebelum pengambilan sampel, mula-mula *grinding ball* tersebut diratakan permukaannya dengan menggunakan mesin penghalus permukaan sampai rata dan kemudian diuji dengan menggunakan *Micro Vickers Hardness Tester* dan setiap sampel diambil 3 titik pada permukaan dan kemudian hasil kekerasannya dirata-rata. Berikut ini adalah hasil pengujian kekerasan *grinding ball (raw material)*.

Tabel 4.1 Hasil pengujian kekerasan pada *raw material*

Bahan	Kekerasan (HVN) <i>raw material</i>				
	Titik 1	Titik 2	Titik 3	Rata-rata	Standar deviasi
<i>Grinding ball 1</i>	817,4	817,4	882	838,9	37,30
<i>Grinding ball 2</i>	882	874,5	913,2	889,9	20,52

Pada *grinding ball 1 (raw material)*, didapatkan kekerasan rata-rata sebesar 838,9 HVN, dan pada *grinding ball 2 (raw material)* didapatkan kekerasan rata-rata sebesar 889,9. Pengujian kekerasan selanjutnya dilakukan pada *grinding ball* hasil *quenching* dengan media oli SAE 5W, dan didapatkan data sebagai berikut.

Tabel 4.2 Hasil pengujian kekerasan pada *grinding ball* hasil *quenching* dengan media oli SAE 5W

Bahan	Kekerasan (HVN) <i>quenching</i> dengan media oli SAE 5W				
	Titik 1	Titik 2	Titik 3	Rata-rata	Standar deviasi
<i>Grinding ball 1</i>	989,8	946,1	1186,8	1040,9	128,23
<i>Grinding ball 2</i>	989,8	1056,3	1056,3	1034,1	38,39

Pada *grinding ball 1* hasil *quenching* dengan media oli SAE 5W, didapatkan kekerasan rata-rata sebesar 1040,9 HVN, dan pada *grinding ball 2* hasil *quenching* dengan media oli SAE 5w didapatkan kekerasan rata-rata sebesar 1034,1 HVN. Kenaikan kekerasan pada *grinding ball 1* hasil *quenching* dengan media oli SAE 5W adalah sebesar 24,08%, dan pada *grinding ball 2* adalah 16,20%.

Berdasarkan foto mikro hasil *quenching* dengan media oli SAE 5W, terbentuknya karbida khrom (Cr_{23}C_6), sementit (Fe_3C), dan sebaran martensit meningkatkan kekerasan pada *grinding ball* (Nurjaman, 2012). Karbida khrom (Cr_{23}C_6) baru yang terbentuk dalam struktur mikro *grinding ball* memberikan peningkatan kekerasan yang tinggi. Kekerasan yang tinggi ini berhubungan dengan sifat tumbukan, dan berhubungan dengan sifat kelentingan. Semakin keras

material, maka tumbukan (kelentingan) yang terjadi semakin besar, karena sifat kekerasan dapat meneruskan gaya yang lebih baik dibandingkan dengan material yang mempunyai kekerasan rendah. Sifat kekerasan yang tinggi inilah yang diharapkan mampu memecah dan menghancurkan *clinker* (terak) dengan lebih baik, dalam arti dapat memecah dengan cepat, tanpa perlu pengulangan, sehingga menghemat waktu pemecahan *clinker* (terak) dan menghemat biaya yang digunakan. Faktor-faktor lain selain dari bentuk struktur mikro, yang berpengaruh terhadap kekerasan hasil *quenching* adalah kecepatan pendinginan oleh media pendingin tersebut. Kecepatan pendinginan sendiri dipengaruhi oleh volume media pendingin dan tingkat kekentalan (viskositas) yang dimiliki oleh media pendingin. Oli SAE 5W yang digunakan dalam pengujian ini memiliki tingkat kekentalan terendah adalah SAE 5, dan kekentalan tertinggi adalah SAE 40. Semakin rendah SAE yang dimiliki, maka kekentalan (viskositas) semakin rendah (encer). Kecepatan pendinginan dengan media pendingin oli SAE 5W pada *grinding ball 1* adalah 9 menit 17 detik dari suhu 850°C sampai suhu 37°C, dan pada *grinding ball 2* waktu pendinginannya adalah 11 menit 58 detik.

Pengujian kekerasan selanjutnya adalah pada *grinding ball* hasil *quenching* dengan media air garam. Data hasil pengujian disajikan dalam tabel berikut

Tabel 4.3 Hasil pengujian kekerasan pada *grinding ball* hasil *quenching* dengan media air garam

Bahan	Kekerasan (HVN) <i>quenching</i> dengan media air garam				
	Titik 1	Titik 2	Titik 3	Rata-rata	Standar deviasi
<i>Grinding ball 1</i>	1186,8	1118,7	1223,2	1176,7	53,05
<i>Grinding ball 2</i>	1056,3	972	1210,9	1079,7	121,16

Dari tabel 4.3 didapat data bahwa *grinding ball 1* hasil *quenching* dengan media air garam, didapatkan kekerasan rata-rata sebesar 1176,7 HVN, dan pada *grinding ball 2* hasil *quenching* dengan media air garam didapatkan kekerasan rata-rata sebesar 1079,7 HVN. Kenaikan kekerasan pada *grinding ball 1* hasil

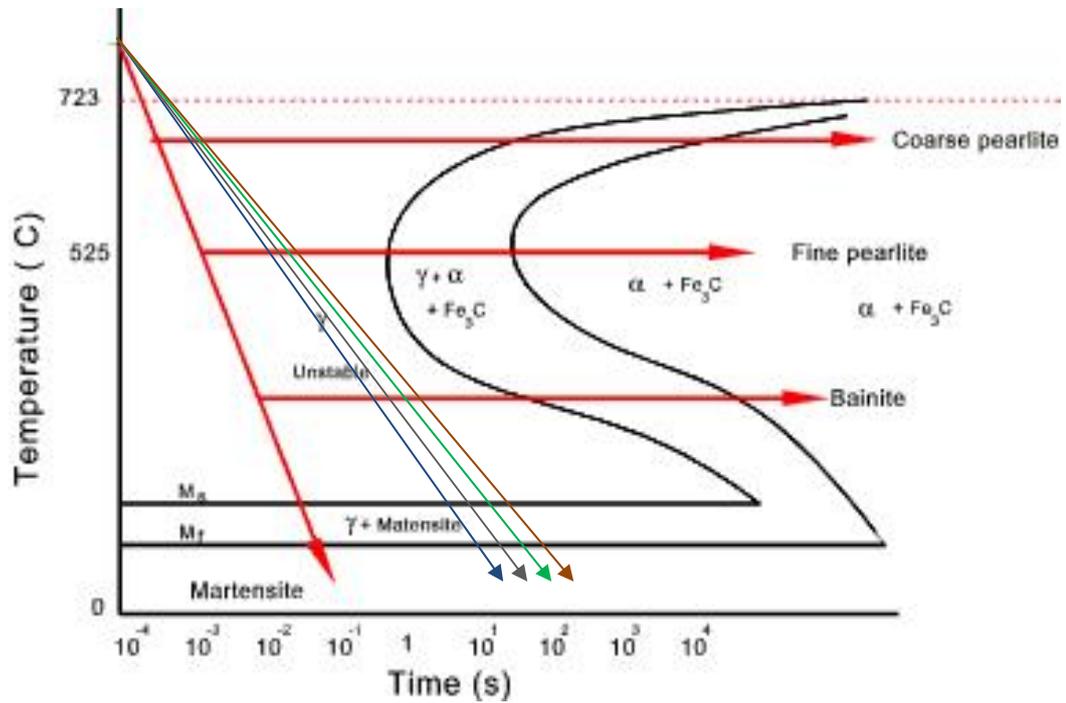
quenching dengan media air garam adalah sebesar 40,26% sedangkan pada *grinding ball 2* adalah sebesar 21,32%.

Berdasarkan foto mikro hasil *quenching* dengan media air garam, karbida khrom (Cr_{23}C_6), sementit (Fe_3C), dan martensit baru yang terbentuk lebih banyak dibandingkan dengan hasil *quenching* dengan menggunakan media oli SAE 5W. Hal ini tentunya meningkatkan kekerasan yang lebih tinggi daripada *grinding ball* hasil *quenching* dengan media oli SAE 5W. Pada foto struktur mikro *grinding ball* hasil *quenching* dengan media air garam, dapat dilihat bahwa karbida khrom (Cr_{23}C_6) dan martensit yang terbentuk terlihat lebih banyak dan tersebar tidak merata. Selain karbida khrom, sementit (Fe_3C) yang ada pada struktur jaringan kerja dalam dendrit yang berkesinambungan menyebabkan *grinding ball* ini menjadi keras dan tahan panas (Avner, 1974).

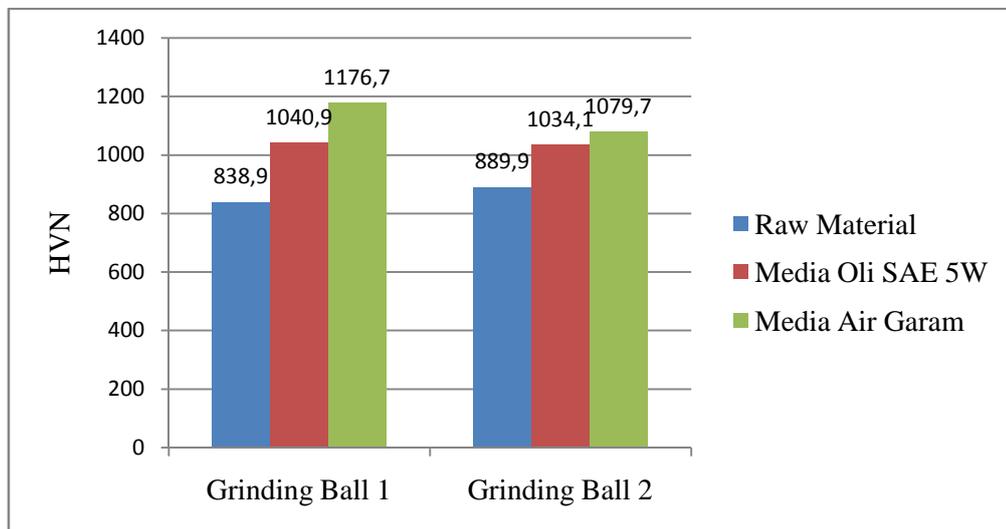
Selain faktor struktur mikro, kecepatan pendinginan, viskositas (kekentalan) media pendingin dalam proses *quenching* juga berpengaruh terhadap kekerasan yang dihasilkan. Unsur garam dalam air garam yang dipakai dalam media *quenching* memberikan pendinginan yang optimal, dan tentunya kecepatan pendinginan air garam lebih cepat daripada media oli SAE 5W. Waktu pendinginan oleh media air garam pada *grinding ball 1* adalah 1 menit 34 detik dari suhu 850°C sampai suhu 37°C , sedangkan pada *grinding ball 2* waktu pendinginannya adalah 2 menit 7 detik.

Tabel 4.4 Perbandingan kekerasan antara *raw material*, hasil *quenching* dengan media oli SAE 5W dan air garam

Material		Kekerasan (HVN) <i>raw material</i>	Kekerasan (HVN) media oli SAE 5W	Kekerasan (HVN) media air garam
<i>Grinding</i>	1	838,9	1040,9	1176,7
<i>Ball 40 mm</i>	2	889,9	1034,1	1079,7



Gambar 4.6 Grafik waktu pendinginan *grinding ball* hasil *quenching* dengan air garam 1 (biru) 94 detik, 2 (abu-abu) 127 detik, dan *quenching* dengan oli SAE 5W 1 (hijau) 557 detik, 2 (coklat) 718 detik



Gambar 4.7 Grafik perbandingan kekerasan antara *raw material*, hasil *quenching* dengan media oli SAE 5W dan air garam

4.3 Hasil Uji Keausan

Setelah pengujian kekerasan dan struktur mikro, pengujian yang terakhir adalah pengujian keausan. Mula-mula *grinding ball* harus *dimachining* agar dapat diuji dengan tribometer pin on disc. Setelah *dimachining* sesuai dengan dudukan pada tribometer pin on disc, maka spesimen siap untuk diuji. Dalam pengujian gaya penekanan yang diberikan adalah sebesar 80 N, dengan panjang lintasan 1000 meter, dan putaran yang digunakan pada speed control adalah 80 (53,4 rpm).

Untuk mencari laju keausan, mula-mula menghitung massa awal pin (M_o) dan massa akhir pin (M_i), volume awal pin (V_o) dan volume akhir pin (V_i) dan kemudian dicari selisih massa (M) dan selisih volume (V) tersebut. Berikut ini adalah tabel selisih massa dan volume.

Tabel 4.5 Tabel perbandingan selisih massa dan volume setelah pengujian keausan

Pin	M_o (gr)	M_i (gr)	M (gr)	V_o (cm^3)	V_i (cm^3)	V (cm^3)
Pin Raw 1	17,9784	17,8772	0,1012	7,9249	2,2558	0,0128
Pin Oli 1	17,4781	17,4242	0,0539	7,7044	2,2616	0,0070
Pin Garam 1	17,4862	17,4825	0,0037	7,7079	2,2681	0,0005

Pada tabel 4.5 didapat data bahwa *raw material (non treatment)* mengalami kehilangan massa dan volume paling besar yaitu 0,1012 gram dan 0,0128 cm^3 . Sedangkan pada pin (*grinding ball*) 1 hasil *quenching* dengan oli SAE 5W menghasilkan selisih massa dan volume yang lebih sedikit daripada *raw material*, yaitu 0,0539 gram dan 0,007 cm^3 . Pada pin (*grinding ball*) 1 hasil *quenching* dengan air garam menghasilkan selisih massa dan volume terkecil, yaitu sebesar 0,0037 gram dan 0,0005 cm^3 .

Kemudian, untuk mencari laju keausan, dapat menggunakan rumus:

$$K = \frac{\Delta V}{F.L}$$

Dimana: K = laju keausan ($\text{cm}^3/\text{N.m}$)

ΔV = perubahan volume (cm^3)

F = Gaya (N)

L = Panjang lintasan (meter)

Berikut ini adalah tabel perbandingan laju keausan antara *raw material*, *grinding ball* 1 hasil *quenching* dengan media oli SAE 5W dan media air garam.

Tabel 4.6 Perbandingan laju keausan antara *raw material* 1, *grinding ball* 1 hasil *quenching* dengan media oli SAE 5W dan media air garam

Pin	V (cm ³)	F (N)	L (m)	Kx10 ⁻³ (cm ³ /N.m)	Ketahanan aus (N.m/cm ³)
Pin Raw 1	0,0128	80	1000	160	6,25
Pin Oli 1	0,007	80	1000	87,5	11,43
Pin Garam 1	0,0005	80	1000	6,25	160

Pada tabel 4.6 diatas, didapat data bahwa *raw material* memiliki laju keausan tertinggi dibandingkan dengan *grinding ball* hasil *quenching* dengan oli SAE 5W ataupun air garam. Laju keausan *raw material* 1 (*non treatment*) yaitu sebesar $160 \times 10^{-3} \text{ cm}^3/\text{N.m}$, sedangkan pada *grinding ball* 1 hasil *quenching* dengan media oli SAE 5W dan air garam adalah sebesar $87,5 \times 10^{-3} \text{ cm}^3/\text{N.m}$ dan $6,25 \times 10^{-3} \text{ cm}^3/\text{N.m}$.

Selanjutnya pada *raw material* 2 dan *grinding ball* 2 hasil *quenching* dengan media oli SAE 5W dan air garam disajikan dalam tabel berikut

Tabel 4.7 Tabel perbandingan selisih massa dan volume setelah pengujian keausan

Pin	Mo (gr)	Mi (gr)	M (gr)	(gr/cm ³)	Vo (cm ³)	Vi (cm ³)	V (cm ³)
Pin Raw 2	17,9305	17,8208	0,1481	7,9038	2,2686	2,2547	0,0139
Pin Oli 2	17,4691	17,4138	0,0553	7,7004	2,2686	2,2614	0,0072
Pin Garam 2	17,4811	17,4619	0,0192	7,7057	2,2686	2,2661	0,0025

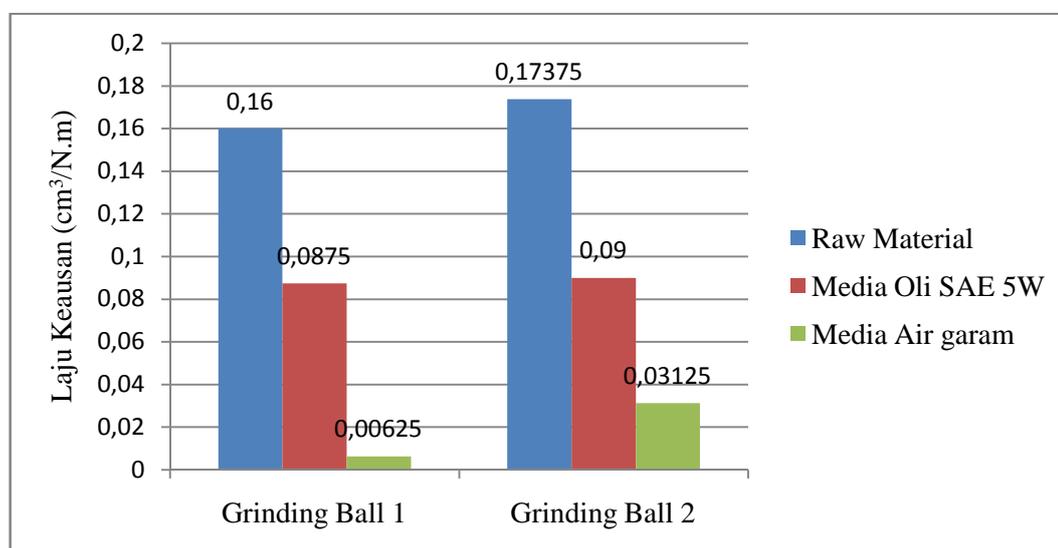
Pada tabel 4.7 didapat data bahwa *raw material* (*non treatment*) mengalami kehilangan massa dan volume paling besar yaitu 0,1481 gram dan 0,0139 cm³. Sedangkan pada pin (*grinding ball*) 2 hasil *quenching* dengan oli SAE 5W menghasilkan selisih massa dan volume yang lebih sedikit daripada *raw material*, yaitu 0,0553 gram dan 0,0072 cm³. Pada pin (*grinding ball*) 2 hasil *quenching* dengan air garam menghasilkan selisih massa dan volume terkecil, yaitu sebesar 0,0192 gram dan 0,0025 cm³.

Berikut ini adalah tabel perbandingan laju keausan antara *raw material*, *grinding ball 2* hasil *quenching* dengan media oli SAE 5W dan media air garam.

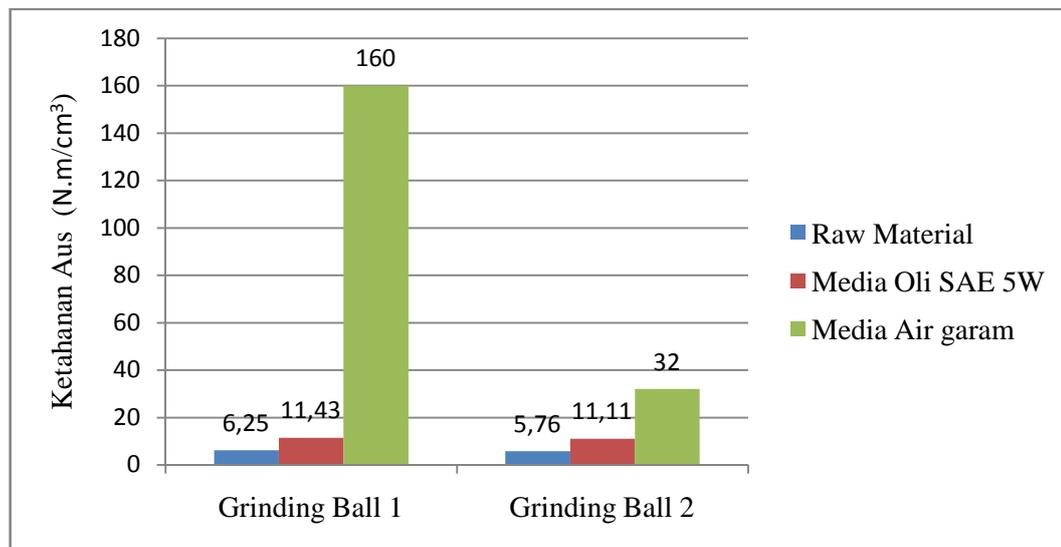
Tabel 4.8 Perbandingan laju keausan antara *raw material 2*, *grinding ball 2* hasil *quenching* dengan media oli SAE 5W dan media air garam

Pin	V (cm ³)	F (N)	L (m)	K x 10 ⁻³ (cm ³ /N.m)	Ketahanan aus (N.m/cm ³)
Pin Raw 2	0,0139	80	1000	173,75	5,76
Pin Oli 2	0,0072	80	1000	90	11,11
Pin Garam 2	0,0025	80	1000	31,25	32

Pada tabel 4.8 diatas, dapat diambil kesimpulan bahwa *raw material* memiliki laju keausan tertinggi dibandingkan dengan *grinding ball* hasil *quenching* dengan oli SAE 5W ataupun air garam. Laju keausan *raw material 2* (*non treatment*) yaitu sebesar $173,75 \times 10^{-3} \text{ cm}^3/\text{N.m}$, sedangkan pada *grinding ball 2* hasil *quenching* dengan media oli SAE 5W dan air garam adalah sebesar $90 \times 10^{-3} \text{ cm}^3/\text{N.m}$ dan $31,25 \times 10^{-3} \text{ cm}^3/\text{N.m}$.



Gambar 4.8. Grafik perbandingan laju keausan antara *raw material*, hasil *quenching* dengan media oli SAE 5W dan air garam



Gambar 4.9 Grafik perbandingan ketahanan aus antara *raw material*, hasil *quenching* dengan media oli SAE 5W dan air garam

Dari grafik 4.2, dapat disimpulkan bahwa *grinding ball raw material* memiliki laju keausan tertinggi. Kekerasan dan bentuk struktur mikro *raw material* berpengaruh terhadap ketahanan aus. Kekerasan yang lebih rendah daripada *grinding ball* hasil *treatment* menyebabkan *raw material* memiliki laju keausan yang tinggi dibandingkan *grinding ball* hasil *treatment*. Selain itu, dari struktur mikro yang dimiliki oleh *raw material* memiliki karbida khrom yang lebih sedikit. “Pada proses penggilingan, *ball mill (grinding ball)* harus dapat menahan keausan yang disebabkan oleh gaya gesek antara *ball mill (grinding ball)* tersebut dan material abrasif” (Nugraha, 2000)

Sedangkan pada *grinding ball* hasil *quenching* dengan air garam, yang mempunyai kekerasan tertinggi, dan struktur mikro karbida khrom yang sebarannya lebih banyak, memberikan ketahanan aus yang tinggi atau mempunyai laju keausan yang paling rendah dibanding dengan *grinding ball* hasil *quenching* dengan media oli SAE 5W dan *raw material*. “Tetapi, sifat ketahanan aus yang tinggi ini juga mempunyai kekurangan, salah satunya adalah sulit untuk *dimachining*” (Studnicki dkk, 2006).

Selain sulit *dimachining*, kenaikan kekerasan dan ketahanan aus pada *grinding ball* hasil *treatment* ini juga berpengaruh terhadap ketahanan korosi.

Yang dimaksud disini adalah korosi antar butir, yang terjadi apabila daerah batas butir terserang akibat adanya endapan didalamnya. Batas butir sering menjadi tempat yang lebih disukai untuk proses-proses pengendapan (*precipitation*) dan pemisahan (*segregation*) yang teramati pada banyak paduan. Bahan-bahan asing yang terdapat dalam struktur logam ada dua macam yaitu logam antar (*intermetallic*) dan senyawa. Logam antara adalah unsur-unsur yang terbentuk dari atom-atom logam dan mempunyai rumus kimia yang mudah dikenali, contohnya adalah karbida khrom (Cr_{23}C_6). Unsur ini bersifat anoda atau katoda terhadap logam utama. Setiap logam yang mengandung logam antara atau senyawa pada batas-batas butirnya akan rentan terhadap korosi antar butir (*intergranular corrosion*).

Menurut Surdia dan Saito (1992), mengatakan bahwa korosi antar butir disebabkan oleh presipitasi karbida khrom pada batas butir, yang menyebabkan daerah tersebut kekurangan khrom didekatnya, dari daerah tersebut korosi dimulai. Pembentukan karbida khrom yang terkonsentrasi pada batas butir inilah yang akan menghilangkan/mengurangi sifat perlindungan khromium pada daerah tengah butir, sehingga akan mudah terserang oleh korosi.

BAB 5. PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Dari pengujian dan pembahasan yang telah dilakukan, maka dari penelitian ini dapat ditarik kesimpulan, yaitu:

- a. Terdapat perubahan struktur mikro antara *raw material (non treatment)* dan *grinding ball* hasil *quenching* dengan media oli SAE 5W dan air garam. Perubahan struktur mikro tersebut diantaranya adalah bertambahnya jumlah karbida khrom (Cr_{23}C_6) dan sebarannya yang lebih merata pada *grinding ball* hasil *quenching*. Hasil *quenching* dengan media air garam menghasilkan jumlah karbida khrom (Cr_{23}C_6) lebih banyak dibandingkan dengan *raw material* dan *grinding ball* hasil *quenching* dengan media oli SAE 5W. Jumlah karbida krom (Cr_{23}C_6) inilah yang berpengaruh terhadap peningkatan kekerasan dan ketahanan aus pada *grinding ball*.
- b. Kekerasan pada *grinding ball 1 raw material* adalah 838,9 HVN dan pada *grinding ball 2* adalah 889,9 HVN, sedangkan pada *grinding ball 1* dalam proses *quenching* dengan media oli SAE 5W adalah sebesar 1040,9 HVN, dan pada *grinding ball 2* adalah sebesar 1034,1 HVN. Kekerasan yang dihasilkan *grinding ball 1* dalam proses *quenching* dengan media air garam adalah sebesar 1176,7 HVN, dan pada *grinding ball 2* adalah sebesar 1079,7 HVN.
- c. Ketahanan aus *grinding ball 1 raw material* adalah $6,25 \text{ N.m/cm}^3$ dan pada *grinding ball 2* adalah $5,76 \text{ N.m/cm}^3$, sedangkan pada *grinding ball 1* dalam proses *quenching* dengan media oli SAE 5W adalah sebesar $11,43 \text{ N.m/cm}^3$, dan pada *grinding ball 2* adalah sebesar $11,11 \text{ N.m/cm}^3$. Ketahanan aus yang didapatkan *grinding ball 1* dalam proses *quenching* dengan media air garam adalah sebesar 160 N.m/cm^3 , dan pada *grinding ball 2* adalah sebesar 32 N.m/cm^3 .

5.2 Saran

Berdasarkan kesimpulan yang diperoleh dari hasil penelitian, maka dapat disampaikan saran-saran sebagai berikut ini:

- a. Untuk penelitian selanjutnya, variasikan jenis dan ukuran *grinding ball* untuk di *treatment*
- b. Variasikan volume media *quenching*, karena volume media berpengaruh pada kecepatan pendinginan, yang nantinya berpengaruh pada sifat mekanis dan struktur mikro *grinding ball*.

DAFTAR PUSTAKA

- Albertin, E., and Sandra Lucia de Moraes. 2007. *Maximizing Wear Resistance of Balls for Grinding of Coal*, *Wear*, 263: 43-47.
- Albertin, E., and Sinatora, A. 2001. *Effect of Carbide Fraction and Matrix Microstructure on The Wear of Cast Iron Balls Tested in a Laboratory Ball Mill*, *Wear*, 250: 492-501
- Avner, B.H., 1987. *Introduction to Physical Metallurgy*, 3rd ed., McGraw-Hill Int., London.
- 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*, 12: 371-382.
- Beumer, B.J.M., 1978. *Ilmu Bahan Logam*; Jilid 1, PT. Bhratara Karya Aksara, Jakarta.
- Kartikasari, Dkk., 2007. *Karakterisasi Ball Mill Import Pada Industri Semen di Indonesia*, Vol 9, No.1, Teknosain, UGM, Yogyakarta.
- Nurjaman, F., 2012. *Pembuatan Grinding Ball dari Material White Cast Iron dengan Penambahan Chromium, Molybdenum dan Boron Sebagai Unsur Paduan Pembentuk Karbida*, UI, Jakarta.
- Smallman, R.E., 1985. *Metalurgi Fisik Modern, Terjemahan Sriati Djaprie*, edisi ke 4, PT. Gramedia Pustaka Utama, Jakarta.
- Subardi., 2011. *Pengaruh Viskositas Media Celup Terhadap Kekerasan dan Struktur Mikro Besi Tuang ASTM A532*, Vol 11, No.1, STTNAS, Yogyakarta.
- Studnicki, Dkk., 2006. *Wear resistance of Chromium Cast Iron-Research and Application*, Institute of Engineering Materials and Biomaterial, Silesian University of Technology, Poland.
- Surdia T., Saito S., 2000. *Pengetahuan Bahan Teknik*, Cetakan Kelima, PT. Pradnya Paramita, Jakarta.
- Umardani Y, Dkk., 2007. *Karakterisasi Material Ball Mill Pada Proses Pembuatan Semen Dengan Pengujian Kekerasan, Mikrografi Dan Keausan*, Volume 9, No.4, FT-UNDIP, Semarang.

www.grindingballmills.com

www.tradekorea.com



A. Dapur listrik (*furnace*) untuk pemanasan *grinding ball*



B. Pemanasan *grinding ball* hingga suhu 850⁰ dan ditahan hingga 2 jam



C. *Grinding ball* setelah dipanaskan dalam dapur listrik (*furnace*)



D. Media *quenching* oli SAE 5W (atas) dan air garam (bawah)



E. *Grinding ball* sebelum dan setelah di-*quenching*



F. Mesin penghalus untuk menghaluskan permukaan spesimen



G. Pengujian struktur mikro pada *grinding ball* hasil *quenching*



H. Pengujian kekerasan dengan Micro Vickers Hardness tester



I. Tribometer *Pin On Disc* untuk menguji keausan



J. Bentuk spesimen pin *grinding ball* untuk pengujian aus



K. Pengujian aus pada *grinding ball*