



UNIVERSITAS INDONESIA

**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

Diajukan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik

WALI RIANSYAH Z

0806455912

**FAKULTAS TEKNIK
PROGRAM STUDI TEKNIK METALURGI DAN MATERIAL
DEPOK
Juli 2012**


HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS

**Skripsi ini adalah hasil karya sendiri,
dan semua sumber baik yang dikutip maupun dirujuk
telah saya nyatakan dengan benar**

Nama : Wali Riansyah Z

NPM : 0806455912

Tanda Tangan :



Tanggal : 13 Juli 2012

HALAMAN PENGESAHAN

Skripsi ini diajukan oleh :

Nama : Wali Riansyah Z
NPM : 0806455912
Program Studi : Teknik Metalurgi dan Material
Judul Skripsi : Pengaruh Temperatur Destabilisasi 850°C, 950°C,
dan 1050°C dengan Perlakuan *Sub Zero* terhadap
Kekuatan Mekanik Besi Tuang Putih untuk Aplikasi
Grinding Ball

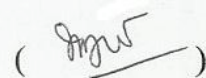
Telah berhasil dipertahankan di hadapan Dewan Penguji dan diterima sebagai bagian persyaratan yang diperlukan untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik pada Program Studi Teknik Metalurgi dan Material, Fakultas Teknik, Universitas Indonesia.

DEWAN PENGUJI

Pembimbing : Prof. Dr. -Ing. Ir. Bambang Suharno



Penguji 1 : Dr. Ir. Myrna Ariati Mochtar M.S.



Penguji 2 : Fajar Nurjaman, S.T



Ditetapkan di : Depok

Tanggal : 13 Juli 2012

KATA PENGANTAR

Puji dan syukur saya panjatkan kehadirat Allah SWT, yang mana atas berkah, rahmat dan kuasanya saya dapat menyelesaikan skripsi ini. Penulisan skripsi ini saya tuliskan dalam rangka untuk mendapatkan gelar Sarjana Teknik (S.T) Jurusan Teknik Metalurgi dan Material pada Fakultas Teknik Universitas Indonesia.

Penulis menyadari bahwa, tanpa bantuan dan bimbingan dari berbagai pihak, dari masa perkuliahan hingga penyusunan skripsi ini, sangatlah sulit bagi penulis untuk menyelesaikan masa perkuliahan dan skripsi ini. Oleh karena itu saya mengucapkan terima kasih kepada :

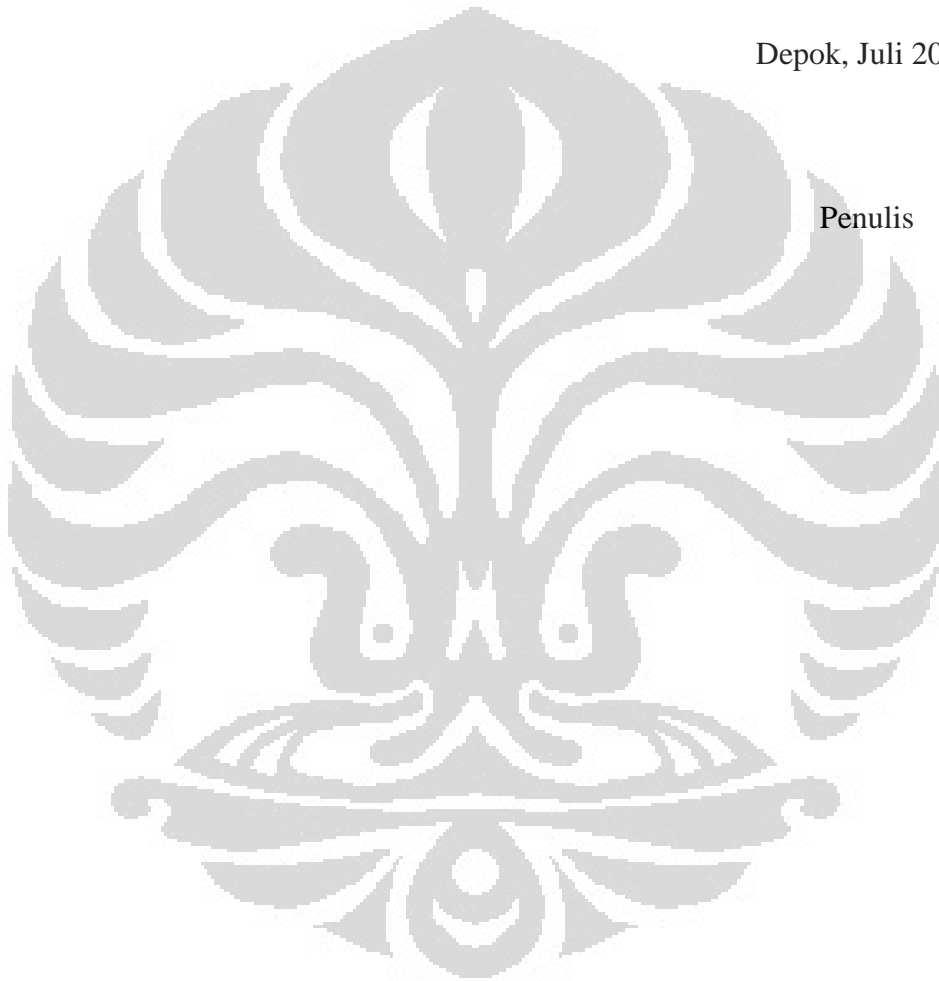
1. Prof. Dr. –Ing. Ir. Bambang Suharno selaku pembimbing yang telah meluangkan waktu dan pikiran untuk mengarahkan saya dalam penulisan tugas akhir ini.
2. Fajar Nurjaman S.T, yang telah sangat membantu dalam pengerjaan dan penulisan serta materil dalam tugas akhir ini.
3. Dr. Ir. Myrna Ariati Mochtar M.S., selaku pembimbing akademis penulis selama menempuh studi di Teknik Metalurgi dan Material dan sebagai penguji.
4. Semua dosen beserta karyawan yang ada di Departemen Teknik Metalurgi dan Material FTUI, yang telah memberikan bantuan selama masa perkuliahan.
5. Orang tua Penulis, Ir. Zahedi, Msi dan Zulhanis beserta kakak penulis Winne Rian Zahedi, S.T, juga adik penulis Wendri Rian Zahedi yang telah memberikan bantuan dan dukungan moral dan materil hingga Penulis dapat menyelesaikan skripsi ini.
6. Rulliansyah selaku rekan kerja tugas akhir Penulis, sehingga dapat menyelesaikan tugas akhir ini.
7. Teman – teman Metalurgi 2008, yang telah menemani dan membantu Penulis selama menuntut ilmu di Teknik Metalurgi dan Material.

8. Seluruh senior dan junior Metalurgi yang banyak membantu selama perkuliahan.
9. Seluruh pihak yang membantu dalam proses pengerjaan skripsi ini.

Akhir kata, penulis ingin mengucapkan terima kasih sebesar - besarnya pada seluruh pihak, baik yang telah disebut maupun tidak. Semoga dengan adanya skripsi ini dapat memicu semangat penulis maupun semua pihak dalam pengembangan ilmu pengetahuan.

Depok, Juli 2012

Penulis



HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI TUGAS AKHIR UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS

Sebagai civitas akademik Universitas Indonesia, saya yang bertanda tangan di bawah ini :

Nama : Wali Riansyah Z
NPM : 0806455912
Program Studi : Teknik Metalurgi dan Material
Departemen : Teknik Metalurgi dan Material
Fakultas : Teknik
Jenis Karya : Skripsi

demi pengembangan ilmu pengetahuan, menyetujui untuk memberikan kepada Universitas Indonesia **Hak Bebas Royalti Noneksklusif** (*Non-exclusive Royalty-Free Right*) atas karya ilmiah saya yang berjudul :

**Pengaruh Temperatur Destabilisasi 850°C, 950°C, dan 1050°C dengan
Perlakuan *Sub Zero* terhadap Kekuatan Mekanik Besi Tuang Putih untuk
Aplikasi *Grinding Ball***

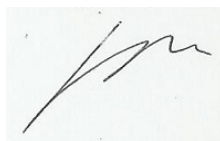
beserta perangkat yang ada (jika diperlukan). Dengan Hak Bebas Royalti Noneksklusif ini Universitas Indonesia berhak menyimpan, mengalihmedia/formatkan, mengelola dalam bentuk pangkalan data (database), merawat, dan mempublikasikan tugas akhir saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis atau pencipta dan sebagai pemilik Hak Cipta.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Dibuat di : Depok

Pada Tanggal : 13 Juli 2012

Yang menyatakan



(Wali Riansyah Z)

ABSTRAK

Nama : Wali Riansyah Z
NPM : 0806455912
Program Studi : Teknik Metalurgi dan Material
Judul Skripsi : Pengaruh Temperatur Destabilisasi 850°C, 950°C, dan 1050°C dengan Perlakuan *Sub Zero* terhadap Kekuatan Mekanik Besi Tuang Putih untuk Aplikasi *Grinding Ball*

Penelitian ini dilakukan untuk mempelajari pengaruh penambahan Mo terhadap material *high chromium white cast iron* serta pengaruh *heat treatment*, yang terdiri dari *sub critical*, destabilisasi, *sub zero treatment* dan *tempering*. Dalam penelitian ini telah dibuat material *high chromium white cast iron* dengan komposisi 2.2C - 13Cr dan 2.2C - 13Cr - 1.4 Mo, kemudian dilakukan *heat treatment* terhadap material tersebut yang berupa *subcritical*, destabilisasi, *subzero treatment*, dan *tempering*. Destabilisasi dilakukan pada temperatur 850°C, 950°C, dan 1050°C selama 5 jam. Masing – masing material di *quench* kedalam nitrogen cair sesaat setelah keluar dari *furnace*. Pengujian dilakukan dengan mikroskop optik, mikroskop elektron, *X-Ray Diffraction* (XRD) serta pengujian kekerasan juga ketangguhan. Hasil penelitian menunjukkan bahwa kekerasan tertinggi diperoleh pada temperatur destabilisasi 950°C baik pada material dengan komposisi 2.2C - 13Cr maupun material dengan komposisi 2.2C - 13Cr - 1.4 Mo. *Secondary carbide* terbanyak diperoleh pada temperatur destabilisasi 950°C untuk material dengan komposisi 2.2C - 13Cr dan pada temperatur 850°C untuk material dengan komposisi 2.2C - 13Cr - 1.4 Mo. Fraksi volume *secondary carbide* yang sangat rendah ditemukan pada temperatur destabilisasi 1050°C baik pada material dengan komposisi 2.2C - 13Cr maupun material dengan komposisi 2.2C - 13Cr - 1.4 Mo. *Retained austenite* berdasarkan XRD menunjukkan intensitas tertinggi pada temperatur 850°C untuk material dengan komposisi 2.2C - 13Cr dan pada 1050°C untuk material dengan komposisi 2.2C - 13Cr - 1.4 Mo.

Kata Kunci : *secondary carbide*, destabilisasi, *retained austenite*

ABSTRACT

Name : Wali Riansyah Z
NPM : 0806455912
Major : Metallurgy and Materials Engineering
Title : Effect of Destabilization Temperature 850°C, 950°C, and 1050°C that Subjected by Sub Zero Treatment to the Mechanical Properties of White Cast Iron for Grinding Ball Application

This research was did to studying influence of Mo to the high chromium white cast iron material, and effect of heat treatment that consist of sub critical treatment, destabilization, sub zero treatments and tempering. In this research have been made high chromium white cast iron material with composition 2,2C – 13 Cr and 2.2C - 13Cr - 1.4 Mo, then heat treatment was applied to the material that consist of sub critical treatment, destabilization, sub zero treatment and tempering. Destabilization were undertaken at temperature 850°C, 950°C, and 1050°C for 5 hour. Each sample was liquid nitrogen quenched after being taken out of furnace. Characterization was carried out by optical, electron microscope, X-Ray Diffraction (XRD) and hardness test and impact test were also evaluated. The result shown that highest hardness was achieve at 950°C for high chromium white cast iron material with composition 2,2C – 13 Cr and 2.2C - 13Cr - 1.4 Mo either. Most secondary carbide was found at 950°C for high chromium white cast iron material with composition 2,2C – 13 Cr and 850°C for high chromium white cast iron material with composition 2.2C - 13Cr - 1.4 Mo. A very low carbide precipitate was found at 1150°C for high chromium white cast iron material with composition 2,2C – 13 Cr and 2.2C - 13Cr - 1.4 Mo. Retained austenite based on XRD shown that the highest intensity occurred at 850°C for high chromium white cast iron material with composition 2,2C – 13 Cr and 1050°C for high chromium white cast iron material with composition 2.2C - 13Cr - 1.4 Mo.

Keyword : secondary carbide, destabilization, retained austenite

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL.....	i
HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS.....	ii
HALAMAN PENGESAHAN.....	iii
KATA PENGANTAR	iv
HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI TUGAS	vi
ABSTRAK.....	vii
ABSTRACT.....	viii
DAFTAR ISI.....	ix
DAFTAR TABEL.....	xi
DAFTAR GAMBAR	xii
DAFTAR LAMPIRAN.....	xiv
BAB 1 PENDAHULUAN	1
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Perumusan Masalah.....	2
1.3. Tujuan Penelitian.....	2
1.4. Batasan Penelitian	2
1.5. Sistematika Penelitian	4
BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA.....	6
2.1. Besi Tuang Putih Khromium Paduan Tinggi	6
2.2. Perlakuan Panas.....	9
2.2.1. <i>Sub Critical Treatment</i>	9
2.2.2. Destabilisasi	9
2.2.3. <i>Sub Zero Treatment</i>	11
2.2.4. <i>Tempering</i>	11
2.3. Karbida	12
2.4. <i>Retained Austenite</i>	16
BAB 3 METODOLOGI PENELITIAN.....	18

3.1.	Diagram Alir Penelitian.....	18
3.2.	Alat dan Bahan	19
3.2.1.	Alat.....	19
3.2.2.	Bahan.....	19
3.3.	Proses Perlakuan Panas	19
3.3.1.	<i>Sub Critical Treatment</i>	20
3.3.2.	Destabilisasi	20
3.3.3.	<i>Sub Zero Treatment</i>	20
3.3.4.	<i>Tempering</i>	20
3.4.	Pengujian Kekerasan	20
3.5.	Pengujian Impak.....	21
3.6.	Pengamatan Metalografi.....	21
3.7.	Pengujian XRD (X-Ray Diffraction)	21
BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN.....		22
4.1.	Pengaruh Temperatur Destabilisasi terhadap Sifat - Sifat Mekanik	23
4.1.1.	Kekerasan.....	24
4.1.2.	Ketangguhan	26
4.1.3.	Analisa Hubungan Nilai Kekerasan dengan Ketangguhan	27
4.2.	Pengaruh Temperatur Destabilisasi terhadap <i>Secondary Carbide</i>	29
4.3.	Pengaruh Temperatur Destabilisasi terhadap <i>Retained Austenite</i>	35
4.4.	Kelayakan Material ASTM A 532 Tipe II A Hasil Penelitian untuk Aplikasi <i>Grinding Ball</i>	38
BAB 5 PENUTUP.....		40
5.1.	Kesimpulan.....	40
5.2.	Saran	42
DAFTAR ACUAN.....		43
LAMPIRAN.....		45

DAFTAR TABEL

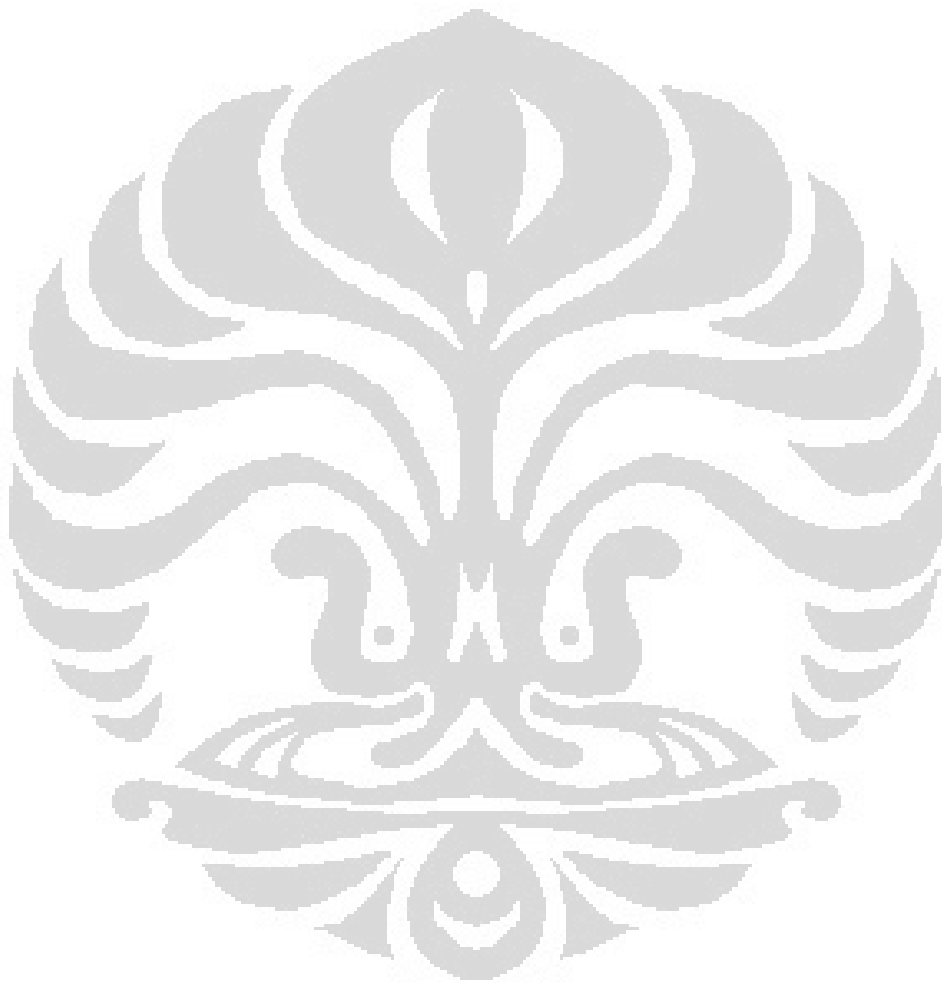
Tabel 1. 1. Tabel komposisi sampel A.....	3
Tabel 1. 2. Tabel komposisi sampel B	3
Tabel 2. 1. Klasifikasi material <i>grinding ball</i> menurut SNI 07-1069-1989.....	12



DAFTAR GAMBAR

Gambar 1. 1. Pola perlakuan panas	3
Gambar 2. 1. Besi tuang putih kondisi <i>as-cast</i> ^[6]	7
Gambar 2. 2. Fasa ketimbangan besi tuang putih khromium 15% : L-Liquid; γ - <i>austenite</i> ; α - <i>ferrite</i> ; K1-(Fe,Cr) ₂₃ C ₆ ; K2-(Fe,Cr) ₇ C ₃ ^[7]	7
Gambar 2. 3. Grafik pengaruh Mo terhadap kedalaman hardening besi tuang putih ^[8]	8
Gambar 2. 4. Struktur besi tuang putih setelah destabilisasi.....	10
Gambar 2. 5. Struktur kristal NaCl ^[2]	13
Gambar 2. 6. Ilustrasi susunan karbida kompleks (Cr, Fe, W, Mo) ₂₃ C ₆ ^[2]	14
Gambar 2. 7. Struktur M ₇ C ₃ pada matriks <i>austenite</i> ^[12]	15
Gambar 2. 8. Foto mikro SEM besi tuang putih kondisi <i>as-cast</i> ^[13]	15
Gambar 2. 9. Foto mikro <i>martensite</i> (berbentuk jarum) pada matriks <i>retained austenite</i> pada bagian berwarna putih ^[14]	16
Gambar 3. 1 Diagram alir penelitian.....	18
Gambar 3. 2. Alat pengujian XRD.....	21
Gambar 4. 1. Foto mikro sampel <i>as-cast</i> dengan perbesaran 500x : (a) sampel A(2.23C - 13.3Cr - 0.66 Mo), (b) sampel B(2.18C - 13Cr - 1.38 Mo)	22
Gambar 4. 2. Foto mikro sampel A dan B ketika mendapatkan perlakuan <i>sub critical</i> : (a) sampel A, (b) sampel B.....	23
Gambar 4. 3. Nilai kekerasan HRC pada sampel A pada tahapan perlakuan panas berbeda	24
Gambar 4. 4. Nilai kekerasan HRC pada sampel B pada tahapan perlakuan panas berbeda	25
Gambar 4. 5. Perubahan kekuatan impak dari kondisi <i>as-cast</i> ke kondisi <i>as-tempered</i> ..	26
Gambar 4. 6. Grafik harga impak pada berbagai temperatur destabilisasi	27
Gambar 4. 7. Grafik nilai HRC pada berbagai temperatur destabilisasi	27
Gambar 4. 8. Hasil pengamatan mikroskop optik pada sampel A dan B <i>as-quench</i> dengan perbesaran 500x : (a) A 850°C, (b) A 950°C, (c) 1050°C, (d) B 850°C,(e) B 950°C,(f) B 1050°C.....	30
Gambar 4. 9. Hasil pengamatan mikroskop optik pada sampel A dan B <i>as-tempered</i> dengan perbesaran 500x : (a) A 850°C, (b) A 950°C, (c) 1050°C, (d) B 850°C,(e) B 950°C,(f) B 1050°C	31
Gambar 4. 10. Hasil pengamatan SEM pada sampel A dan B: (a) A 850°C, (b) A 950°C, (c) 1050°C, (d) B 850°C,(e) B 950°C,(f) B 1050°C	33
Gambar 4. 11. Grafik fraksi volume <i>secondary carbide</i> pada temperatur destabilisasi berbeda.....	35
Gambar 4. 12. Hasil XRD <i>as-cast</i> sampel A dan B	36
Gambar 4. 13. Hasil XRD sampel A.....	37
Gambar 4. 14. Hasil XRD sampel B.....	37

Gambar 4. 15. Grafik temperatur destabilisasi yang melewati syarat minimum nilai kekerasan HRC besi tuang putih menurut SNI 07-1989-1069..... 39



DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1 Perhitungan <i>Secondary Carbide</i>	45
Lampiran 2 Data Hasil XRD.....	57



BAB 1

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Negeri kita, negeri Indonesia sudah sangat dikenal sebagai negeri yang memiliki kekayaan alam yang luar biasa dibidang energi dan mineral. Dan salah satunya merupakan kekayaan mineral yang terkandung didalamnya. Oleh karena itu kondisi yang demikian ini mengharuskan kita sebagai insan negeri yang kaya akan sumber daya mineral ini memiliki pemahaman mendalam serta kontribusi terhadap aspek vital yang dimiliki oleh negeri kita ini, khususnya sumber daya alam mineral ini. Selain itu era perdagangan bebas yang telah memasuki kancah internasional tentunya juga mengharuskan kita dapat bersaing dengan sumber daya manusia dari belahan dunia lainnya sehingga dapat menjadi manusia yang unggul.

Melihat secara lebih mendalam terhadap kondisi sumber daya mineral Indonesia, ternyata terdapat beberapa hal yang dapat kita tinjau lebih jauh, dan diantaranya komponen - komponen pendukung yang dapat menjadi fokus perhatian kita sehingga dapat meningkatkan efisiensi dan efektifitas dalam operasinya, sebagai sumber daya manusia yang berkulat di dunia metalurgi tentunya kita dapat memberikan kontribusi dalam banyak hal dan dalam hal ini yang menjadi fokus penulis adalah komponen penggerus mineral ataupun semen dalam dunia tambang yaitu *ball mill*. Adapun diantaranya komponen tersebut merupakan salah satu komponen utama yang digunakan untuk mereduksi ukuran mineral agar dapat diproses selanjutnya. *Ball mill* merupakan bola – bola yang digunakan pada tahapan akhir dari proses kominusi, pada tahapan ini partikel direduksi ukurannya dengan kombinasi impak dan abrasi, baik dalam kondisi kering maupun dalam kondisi berair ^[1]. *Ball mill* merupakan unit operasi yang dirancang untuk mereduksi potongan solid menjadi bagian – bagian yang lebih kecil. Pabrik semen di Indonesia rata-rata masih melakukan impor terhadap kebutuhan *ball mill* yang mereka butuhkan, hal inilah yang juga merupakan menjadi dasar penelitian penulis untuk melakukan penelitian mengenai perlakuan

yang tepat untuk menghasilkan *grinding ball* yang memiliki ketangguhan dan kekerasan yang seimbang, sehingga memberikan sifat-sifat yang baik sebagai *grinding ball*. Sehingga nantinya kebutuhan lokal akan *grinding ball* akan perlahan – lahan terpenuhi.

1.2. Perumusan Masalah

Penelitian ini menitik beratkan terhadap pemilihan temperatur destablisasi yang tepat yang dilanjutkan dengan *sub zero treatment*. Besi tuang putih hasil perlakuan panas tersebut diharapkan dapat menghasilkan *retained austenite* dengan jumlah yang sedikit serta terbentuknya *secondary carbide* sehingga diperoleh nilai kekerasan dan ketangguhan yang baik. Kombinasi nilai kekerasan dan ketangguhan yang optimal akan memberikan ketahanan aus yang baik terhadap *grinding ball*.

1.3. Tujuan Penelitian

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui temperatur destablisasi (austenisasi) terbaik untuk menghasilkan sifat-sifat utama *grinding ball* dari variasi 850⁰C, 950⁰C, 1050⁰C yang kemudian diberikan *sub zero treatment*. Adapun tujuan yang lebih spesifik dalam penelitian ini adalah

1. Pengaruh penambahan unsur Mo terhadap material *high chromium white cast iron*
2. Pengaruh perlakuan panas terhadap material *high chromium white cast iron* yang berupa sifat mekanis dan mikrostruktur.
3. Mengetahui kelayakan dari material *high chromium white cast iron* yang telah dilakukan serangkaian perlakuan panas untuk aplikasi *grinding ball*

1.4. Batasan Penelitian

Ruang lingkup dalam penelitian ini meliputi pembuatan dua buah material *high chromium white cast iron* yang tergolong kedalam ASTM 532 Tipe II A dengan komposisi sebagai berikut :

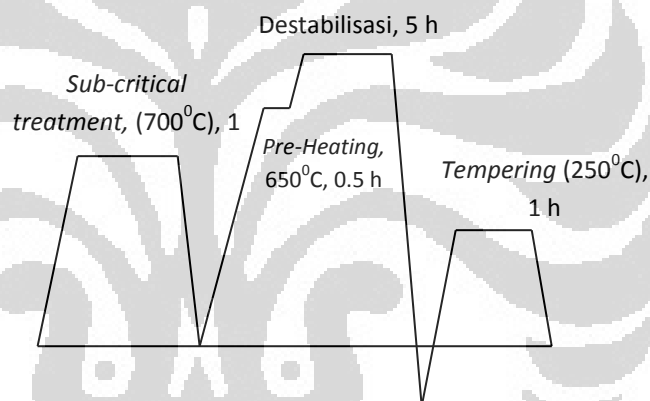
Tabel 1. 1. Tabel komposisi sampel A

Unsur	C	Si	S	P	Mn	Ni	Cr	Mo	Cu	Fe
Kadar (%)	2.23	0.733	0.12	0.354	0.709	0.464	13.31	0.063	0.051	bal.

Tabel 1. 2. Tabel komposisi sampel B

Unsur	C	Si	S	P	Mn	Ni	Cr	Mo	Cu	Fe
Kadar (%)	2.18	0.719	0.12	0.4	0.697	0.448	13	1.38	0.055	bal.

Serangkaian proses perlakuan panas dilakukan terhadap kedua buah material *high chromium white cast iron*. Berikut skema perlakuan panas yang dilakukan pada kedua material *high chromium white iron* tersebut :

**Gambar 1. 1.** Pola perlakuan panas

Pada tahapan destabilisasi diberikan tiga variasi temperatur yaitu 850⁰C, 950⁰C, dan 1050⁰C untuk kemudian dilakukan *quenching* dengan menggunakan nitrogen cair.

Pengujian dilakukan terhadap material *high chromium white cast iron* pada kondisi *as-cast* dan material *high chromium white cast iron* pada kondisi yang telah dilakukan serangkaian perlakuan panas. Berikut beberapa pengujian yang dilakukan terhadap kedua buah sampel tersebut.

1. Pengujian Kekerasan
2. Pengujian Ketangguhan
3. Pengamatan Struktur Mikro (FESEM dan Mikroskop Optik)

4. Pengamatan XRD (*X-Ray Diffraction*)

Dari data yang dihasilkan oleh beberapa pengamatan dan pengujian tersebut akan kemudian dievaluasi dan dibandingkan antara variasi temperatur destablisasi yang dilakukan. Untuk selanjutnya dianalisa pula mengenai struktur mikro maupun fasa yang dihasilkan, karbida yang terbentuk serta pengaruh dari *retained austenite*.

1.5. Sistematika Penelitian

Dalam penulisan ini, sistematika penulisan disusun agar konsep dalam penulisan skripsi menjadi berurutan sehingga akan didapat kerangka alur pemikiran yang mudah dan praktis. Sistematika tersebut dapat diartikan dalam bentuk bab – bab yang saling berkaitan. Bab – bab tersebut diantaranya :

a) Bab 1 Pendahuluan

Membahas mengenai latar belakang penelitian, perumusan masalah, tujuan penelitian, ruang lingkup penelitian, dan sistematika penulisan.

b) Bab 2 Landasan Teori

Membahas mengenai besi tuang putih secara umum, perlakuan panas terhadap besi tuang putih, pengaruh dari karbida maupun *retained austenite*, dan pengaruh dari penambahan *molybdenum* terhadap besi tuang putih.

c) Bab 3 Metodologi Penelitian

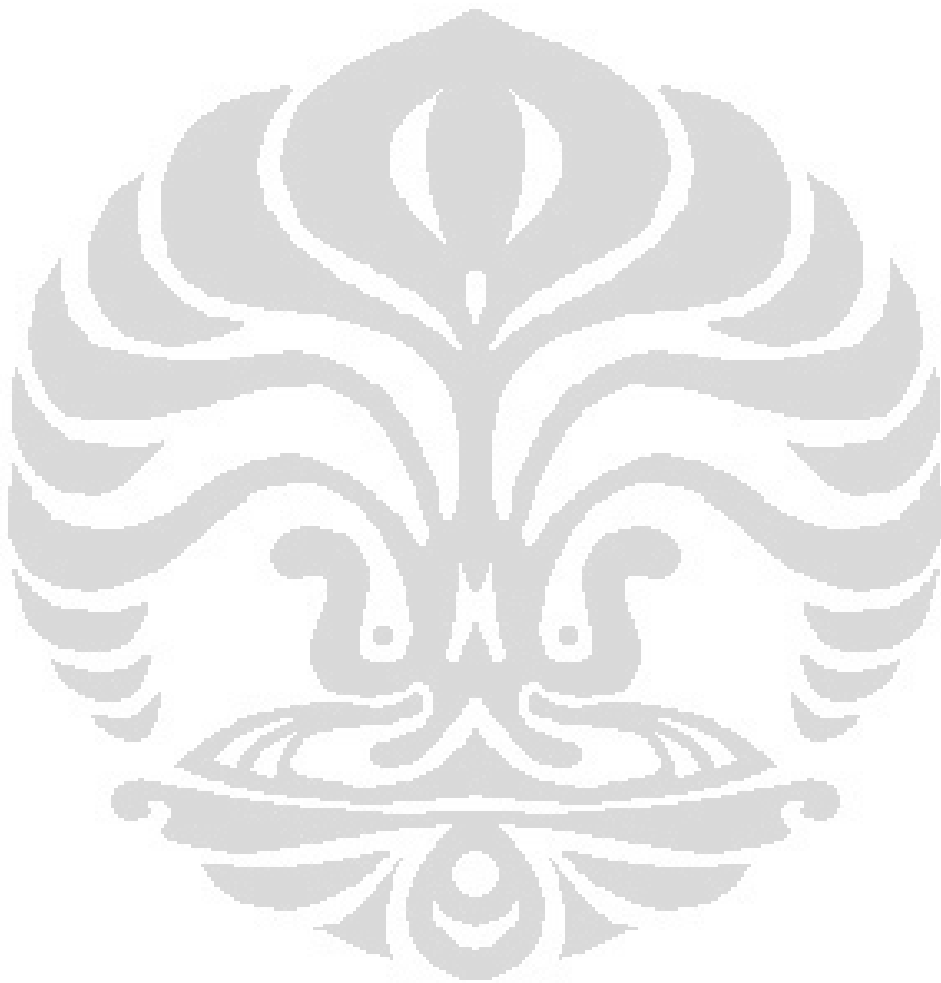
Membahas mengenai diagram alir penelitian, alat dan bahan yang digunakan didalam penelitian, serta prosedur penelitian.

d) Bab 4 Hasil dan Pembahasan

Membahas mengenai data yang diperoleh beserta analisa dari penelitian yang berupa angka, gambar dan grafik untuk kemudian dibandingkan dengan literatur yang ada.

e) Bab 5 Kesimpulan

Membahas mengenai kesimpulan dari hasil penelitian yang dilakukan sesuai dengan tujuan dari penelitian.



BAB 2

TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Besi Tuang Putih Khromium Paduan Tinggi

Besi tuang putih merupakan jenis besi tuang dimana karbon berwujud sebagai karbida. Pada kondisi *as-cast* permukaan patahan yang berwarna putih dan tidak ditemukan adanya grafit^[2]. Bentuk patahan dari besi tuang putih yang berwarna putih kristalin terjadi karena perpatahan yang terjadi sepanjang karbida. Besi tuang putih dihasilkan dengan laju pendinginan yang tinggi yang cenderung menstabilkan *cementite*, serta keberadaan pembentuk karbida^[3]. Besi tuang putih merupakan jenis besi tuang yang memiliki ketahanan aus yang baik yang biasa digunakan sebagai material untuk aplikasi yang membutuhkan ketahanan abrasi yang tinggi. Besi tuang putih memiliki fasa *cementite* (Fe_3C) sehingga menjadikannya sangat keras dan tahan abrasi. Pada jenis besi tuang ini karbon bertindak sebagai karbida, tidak ada grafit dalam struktur hasil pengecoran.

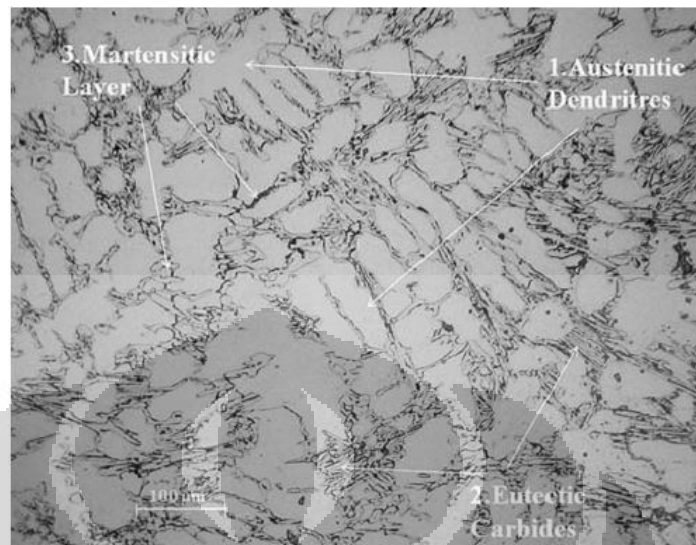
Besi tuang putih dapat dibagi kedalam tiga kelas yaitu :

- Besi tuang putih normal – hanya mengandung C, Si, Mn, P, dan S tanpa adanya paduan elemen lainya .
- Besi tuang putih paduan rendah – total dari fraksi masa paduan adalah kurang dari 5 %.
- Besi tuang paduan tinggi – total fraksi masa dari elemen paduan adalah lebih dari 5 %.

Ketiga kelas dari besi tuang putih tersebut memiliki struktur kristal yang sama. Struktur *as-cast* mengandung jumlah karbida yang banyak yang membuat jenis besi ini sangat keras dan getas, dan sulit untuk di *machining*. Besi ini memiliki ketahanan aus yang tinggi karena kekerasan yang tinggi yang dimilikinya sehingga dapat diaplikasikan secara luas sebagai komponen tahan aus^[2].

Besi tuang putih khromium perlu untuk memperhatikan diagram *ternary iron-chromium-carbon*, dan dalam kondisi *as-cast* terdiri atas karbida eutektik

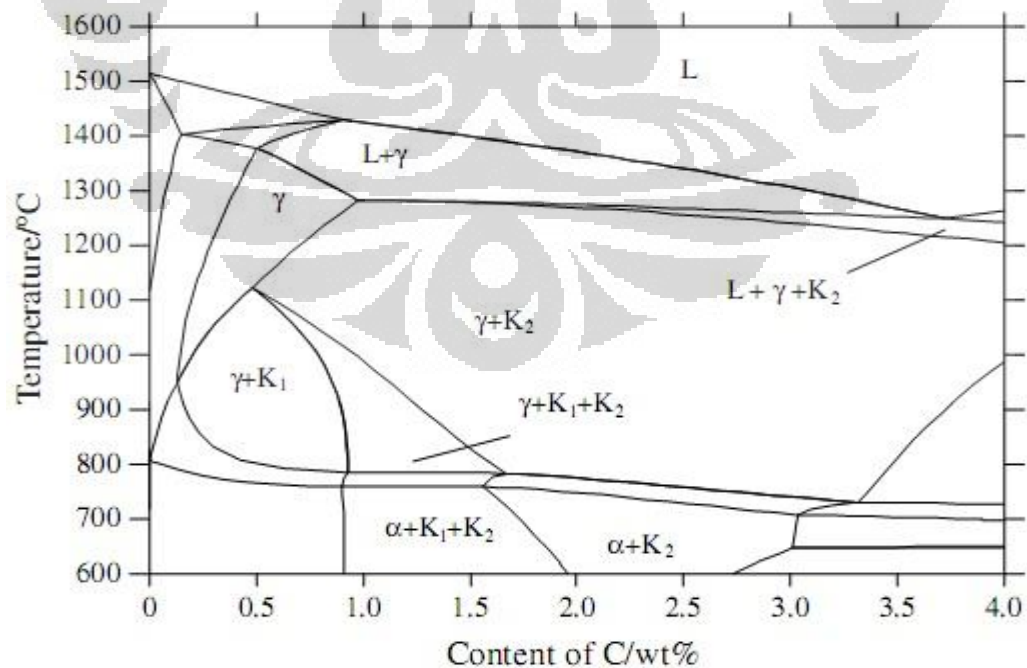
$(\text{Fe,Cr})_7\text{C}_3$ pada matrik *austenite* [4]. Karbida eutektik M_7C_3 merupakan konstituen utama sebagai resistansi keausan [5].



Gambar 2. 1. Besi tuang putih kondisi *as-cast* [6]

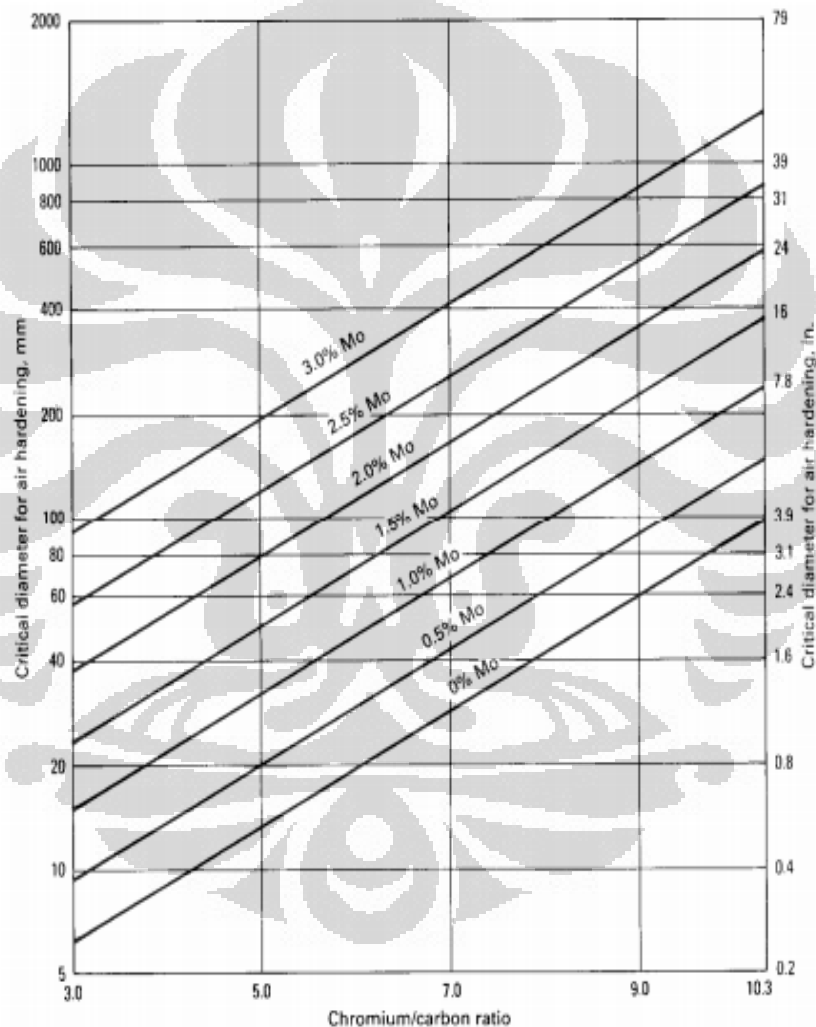
Kromium pada besi tuang putih paduan tinggi memiliki tiga fungsi utama yakni sebagai :

- Pembentuk karbida
- Sebagai resistansi terhadap korosi
- Sebagai *stabilizer* struktur pada aplikasi temperatur tinggi



Gambar 2. 2. Fasa ketimbangan besi tuang putih khromium 15% : L-Liquid; γ -austenite; α -ferrite; K_1 - $(\text{Fe,Cr})_{23}\text{C}_6$; K_2 - $(\text{Fe,Cr})_7\text{C}_3$ [7]

Kromium juga dapat memastikan bahwa tidak akan adanya grafit pada besi tuang putih dengan kandungan $< 1\%$ Si. Khromium juga mempengaruhi jumlah dan kekerasan dari karbida eutektik yang terbentuk. Disaat kandungan khromium yang berada pada besi tuang lebih besar dari 10% maka karbida eutektik M_7C_3 akan terbentuk. Khromium yang tinggi akan mempengaruhi pola solidifikasi, yang mana M_7C_3 akan dikelilingi oleh matriks *austenite* atau *martensite* ketika bertransformasi [8]. Dalam paduan Fe-Cr-C, khromium dapat menggantikan Fe dalam *cementite* hingga mencapai 15% [9].



Gambar 2. 3. Grafik pengaruh Mo terhadap kedalaman *hardening* besi tuang putih [8]

3

Molybdenum pada besi tuang putih akan terdistribusi diantara karbida eutektik dan matriks [8]. Saat besi tuang putih yang memiliki matriks *martensite* ingin menghasilkan ketahanan abrasi yang sangat baik, maka penambahan $0,5 -$

3,0% Mo efektif menahan terbentuknya *pearlite* dan fasa yang lainnya yang terbentuk pada temperatur tinggi. *Molybdenum* akan lebih efektif ketika dikombinasikan dengan Cu, Cr, Ni atau Cr-Ni. *Molybdenum* juga dapat meningkatkan kedalaman *hardening* tanpa memperhatikan *austenite* yang mengalami *overstabilizing* sehingga sangat berperan untuk menghindari jumlah *austenite* yang tersisa dalam jumlah yang besar pada struktur akhir^[8].

2.2. Perlakuan Panas

Perlakuan panas pada besi tuang putih khromium paduan tinggi umumnya dilakukan untuk terjadinya presipitasi *secondary carbide*, yang juga didukung oleh destabilisasi *austenite* yang kemudian bertransformasi menjadi *martensite*^[6]. Pada kondisi *as-cast* besi tuang putih khromium pada dasarnya terdiri matriks *austenite* dan campuran eutektik dari *austenite* dan karbida (M_7C_3). Mikrostruktur ini dapat diubah dengan dengan perlakuan destabilisasi dan *sub-critical heat treatment*. *Heat treatment* yang dilakukan memiliki dua objektif, yaitu presipitasi *secondary carbide* dan transformasi *austenite* primer menjadi fasa lainnya terutama *martensite*^[10].

2.2.1. Sub Critical Treatment

Sub critical treatment merupakan tahapan *heat treatment* yang dilakukan demi mendapatkan struktur *pearlite* diantara matriks *austenite*. Hal ini dilakukan agar *austenite* tidak jenuh ketika dilakukan destabilisasi, karena kondisi *austenite* yang jenuh menjadikan *austenite* stabil dan akan sulit terjadinya transformasi dari *austenite* menuju ke *martensite*. Selain itu *sub-critical treatment* juga berfungsi untuk mentransformasikan *retained austenite* yang didapat dari *as-cast* material^[11].

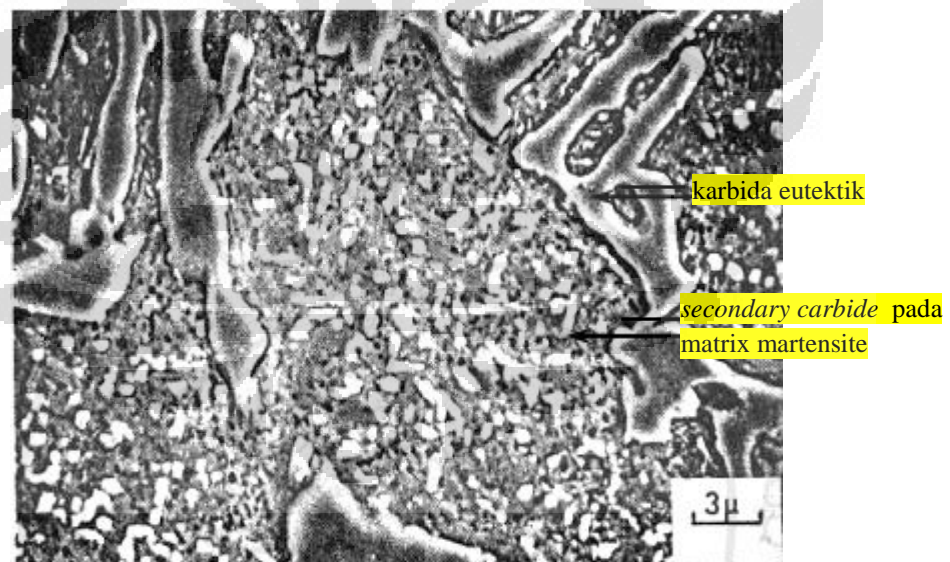
2.2.2. Destabilisasi

Destabilisasi merupakan tahapan *heat treatment* yang bertujuan untuk menghasilkan struktur *martensite* dari matriks *austenite supersaturated* dengan karbon dan kromium. Pada awalnya matriks *austenite* dinaikkan temperaturnya hingga mencapai temperatur dengan rentang 920°C sampai 1060°C selama 1 sampai 6 jam tergantung dari konten paduan. Setelah dilakukan destabilisasi pada

920°C menurut Chen Xiang ^[12] akan menghasilkan matriks yang berubah dari *pearlite* menuju *martensite*. Selama destabilisasi pada 1000°C selama 4 jam akan merubah *pearlite* dengan 20 %wt Cr menjadi *austenite* kemudian *secondary carbides* mengendap dan akhirnya *austenite* yang telah didestabilisasi berubah menjadi *martensite* ^[13]. Paduan yang terdiri dari 18wt% Cr dan 1wt% Mo ditemukan bahwa *secondary carbide* mengalami presipitasi setelah *heat treatment* selama 25 menit pada temperatur 1000°C dan diperlukan minimum 2 jam untuk segala jenis besi tuang putih. Umumnya *holding time* pada komersial *treatment* dilakukan selama 4 jam. Jika *holding time* lebih dari 5 jam maka akan mengurangi jumlah *secondary carbide*. Berikut reaksi yang terjadi selama proses destabilisasi :



Mikrostruktur akhir dari besi yang dilakukan proses destabilisasi akan terdiri dari karbida eutektik didalam matriks *martensite* serta adanya *secondary carbide* dan beberapa *retained austenite* yang berbentuk seperti bulatan – bulatan kecil, seperti yang ditunjukkan oleh gambar berikut ini :



Gambar 2. 4. Struktur besi tuang putih setelah destabilisasi ^[14]

2.2.3. *Sub Zero Treatment*

Sub zero treatment merupakan perlakuan panas dimana komponen didinginkan dibawah temperatur ruang setelah melewati tahapan destabilisasi. Ada banyak alasan untuk melakukan perlakuan ini, tetapi tujuan utama dari perlakuan ini adalah untuk menghilangkan *retained austenite*, sehingga meningkatkan ketahanan aus dari besi perkakas. Menurut Liu Hao Huai ^[15] kekerasan paduan yang dilakukan proses *sub-critical* kemudian dilanjutkan *sub-zero treatment* akan menghasilkan kekerasan yang lebih tinggi dibandingkan dengan paduan yang dilakukan proses pendinginan udara setelah *sub-critical treatment*. *Sub-zero treatment* dilakukan sebagai suplemen proses setelah prosedur perlakuan panas (*hardening*). Saat besi ataupun baja dinaikkan temperaturnya hingga diatas temperatur kritis, struktur dari besi atau baja menjadi *austenitic* dan kemudian akan berubah menjadi *martensite* setelah proses *quenching*. Transformasi dari *austenite* menjadi *martensite* tidak pernah sempurna, masih akan tetap meninggalkan *retained austenite*. *Austenite* memiliki struktur FCC (*face centered cubic*), yang mana memiliki densitas yang lebih tinggi dibandingkan BCT (*body centered tetragonal*), struktur *martensite*. Perbedaan densitas ini menyebabkan timbulnya tegangan internal pada baja yang mengalami perlakuan panas. Adanya tegangan internal tersebut mengakibatkan munculnya resiko yang lebih tinggi untuk terjadinya retak terhadap material tersebut. Oleh karena itu perlu dilakukan proses *tempering* untuk mengurangi tegangan sisa yang ada.

2.2.4. *Tempering*

Tempering dilakukan untuk memperoleh nilai kekuatan mekanik yang spesifik, untuk menghilangkan tegangan yang ditimbulkan akibat proses *quenching*, dan untuk memastikan kestabilan dimensional . Nilai kekerasan tertinggi untuk beberapa baja dihasilkan tanpa melalui proses perlakuan terhadap permukaan melainkan melalui proses *quenching* sehingga menghasilkan persentase yang tinggi dari *martensite*. Nilai kekerasan yang tinggi dari mikrostruktur *martensite* dihasilkan dari regangan kisi besi oleh karbon . Selama *tempering*, mikrostruktur *martensite* mengalami *supersaturated* dengan karbon

sehingga menjadikannya lebih stabil dan lebih *ductile* ^[16]. *Tempering* selalu direkomendasikan setelah destabilisasi, untuk mentransformasikan *retained austenite*, yang mana diperkirakan akan berada dalam jumlah 35 % vol setelah pendinginan udara. *Tempering* juga dilakukan untuk kontrol kekerasan sebelum sebuah material digunakan.

Dari serangkaian perlakuan panas yang dilakukan terhadap besi tuang putih khromium paduan tinggi, baik sampel A maupun sampel B, seperti yang ditunjukkan oleh tabel 1.1. dan tabel 1.2, diharapkan menghasilkan nilai kekerasan yang sesuai dengan klasifikasi grinding ball menurut SNI-07-1069-1989. Berikut tabel yang menunjukkan klasifikasi grinding ball berdasarkan nilai kekerasan.

Tabel 2. 1. Klasifikasi material *grinding ball* menurut SNI 07-1069-1989

Klasifikasi	Komposisi							BHN (min)	HRC (min)	
	C	Si	Mn	Cr	Ni	M o	C u			
Besi Cor	Cil	< 3,74	< 1,8	< 0,50	< 1,71	-	-	-	415	43
	Tempa	2,38- 2,65	-	-	0,25- 2,53	-	-	-	506	52
	Khrom Tinggi	2,2- 3,2	0,4- 1,0	0,4- 1,0	14,0- 20,0	-	0, 05	-	600	59
	<i>Ni-Hard</i>	2,8- 3,2	0,3- 0,7	0,4- 0,6	1,8- 2,0	3,3- 4,4	-	-	500	53
Baja	Baja Paduan	0,30- 0,85	0,15- 0,35	0,15- 1,0	-	2,4	0, 37	0, 15	400	47
	Baja Karbon	0,5- 0,85	0,15- 0,30	0,20- 0,90	-	-	-	-	262	25

2.3. Karbida

Material yang memberikan paduan besi khromium tinggi kemampuan tahan terhadap abrasi adalah pembentukan *primary carbides* dari persenyawaan khromium, besi dan karbon yang biasa disebut *simply chrome carbide*. Karbida merupakan konstituen penting dalam besi tuang putih dan fraksi volume yang dihasilkannya dapat mencapai angka 40% dari nilai tersebut komposisi kimia, jumlah, ukuran, bentuk, dan distribusi dari karbida tersebut memberikan pengaruh penting terhadap sifat – sifat besi tuang. Elemen yang dapat membentuk karbida

adalah elemen dalam tabel periodik seperti Fe, Mn, Cr, W, Pt, V, Nb, Ti dan lainnya. Atom untuk kesemua elemen ini memiliki ketidaklengkapan dalam mengisi kulit elektron d. Kecenderungan untuk membentuk karbida berhubungan dengan derajat ketidaklengkapan dalam mengisi lapisan orbital d pada elektron, dengan meningkatnya bagian yang tidak terisi pada lapisan orbital maka kemampuan untuk membentuk karbida pun akan meningkat dan menghasilkan karbida yang lebih stabil ^[2]. Berikut urutan unsur yang memiliki kemampuan membentuk karbida yang lebih baik:

Ti, Nb, Zr, V, Mo, W, Cr dan Mn

Karbida memiliki *close packed structure*, sehingga mudah mengalami distorsi, struktur ini dibangun oleh interaksi antara logam dan atom karbon.

Berdasarkan dari kisi – kisi kristalnya, karbida terbagi kedalam dua tipe :

1. Karbida interstitial dengan simpel *close packed structure*. Atom karbon berlokasi pada interstisi kisi yang simpel membentuk fasa interstisi, adapun elemen yang membentuk tipe ini adalah Mo, W, V, Ti, Nb, dan Zr.

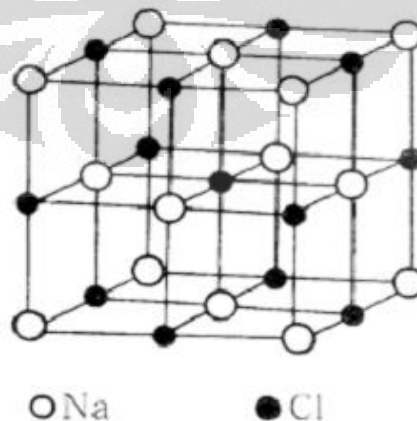
Karbida yang terbentuk sebagai berikut :

Tipe MC – WC, VC, TiC, NbC, ZrC

Tipe M₂C – W₂C, Mo₂C

Jika varietas logam transisi berada dalam waktu yang sama, kompleks karbida akan terbentuk.

Berikut ilustrasi susunan kisi simpel karbida, simpel FCC struktur yang merupakan susunan kisi NaCl.



Gambar 2. 5. Struktur kristal NaCl ^[2]

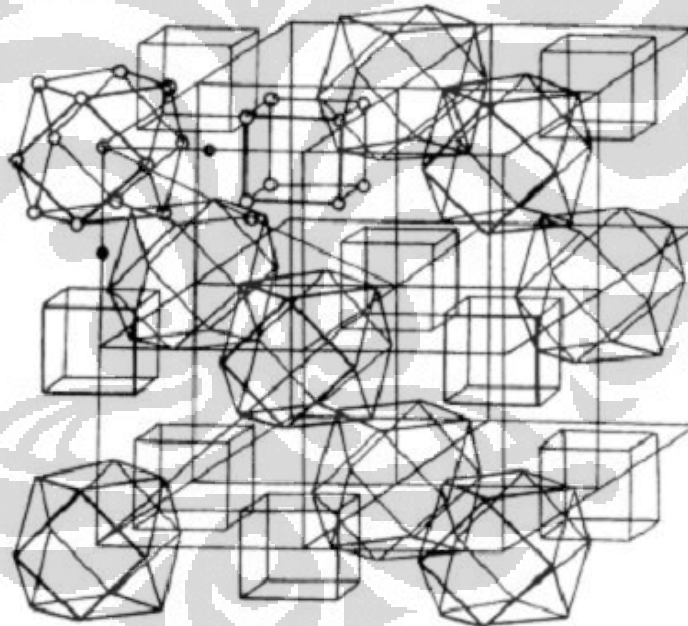
2. Karbida interstitial dengan struktur hexagonal kompleks, *close packed structure*. Karbon tidak membentuk simpel interstisi fasa, tetapi membentuk kisi kristal yang sangat kompleks. Karbida dari Cr, Mn, dan Fe berada dalam susunan struktur yang kompleks ini. Diantara beberapa kompleks karbida yang terbentuk $M_{23}C_6$ dan M_6C merupakan kubik kompleks, M_7C_3 merupakan hexagonal kompleks dan M_3C merupakan kisi orthorhombic. Berikut beberapa karbida yang memiliki susunan *close packed* yang kompleks.

Tipe M_3C – Fe_3C , Mn_3C atau $(Cr,Fe)_3C$

Tipe M_7C_3 – Cr_7C_3 , Mn_7C_3 atau $(Cr,Fe)_7C_3$

Tipe $M_{23}C_6$ – $Cr_{23}C_6$, $Mn_{23}C_6$ dan karbida ternary $Fe_{21}W_2C_6$, $Fe_{21}Mo_2C_6$, $(Cr,Fe)_{23}C_6$

Tipe M_6C – Fe_3W_3C , Fe_4W_2C , Fe_3Mo_3C , Fe_4Mo_2C

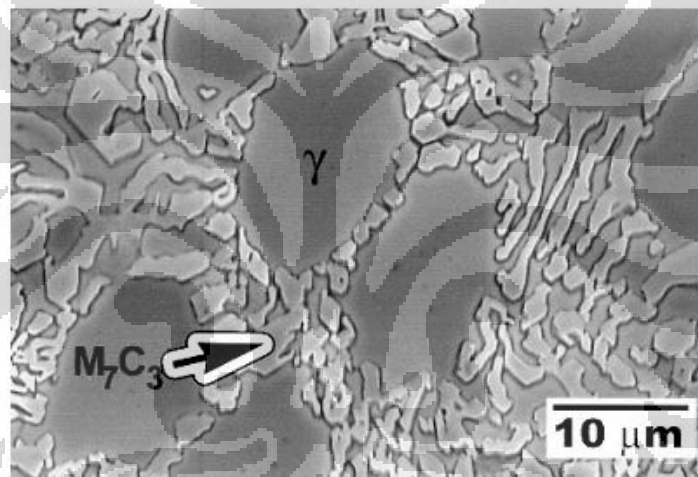


Gambar 2. 6. Ilustrasi susunan karbida kompleks $(Cr, Fe, W, Mo)_{23}C_6$ ^[2]

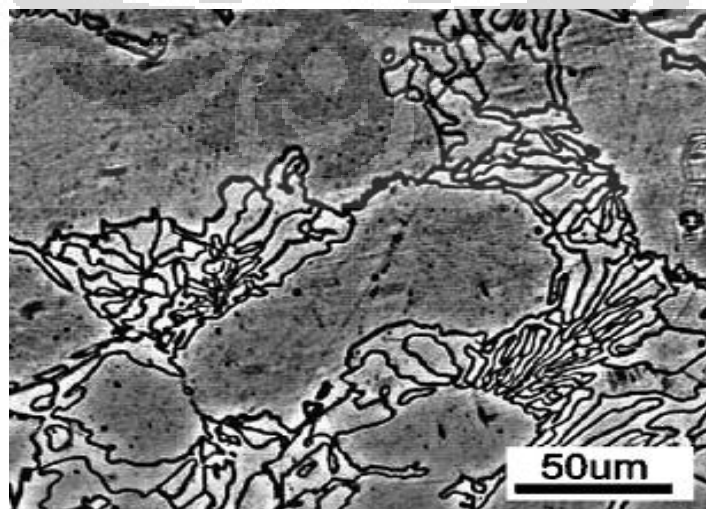
Karbida kompleks yang terbentuk ini biasa disebut dengan *secondary carbide*, keberadaan akan *secondary carbide* ini memiliki peranan penting dalam penentuan kekuatan mekanis besi tuang putih khromium ketika dilakukan perlakuan panas ^[2]. Produk *as-cast* dengan struktur *austenite* dapat dilakukan proses destabilisasi untuk memperoleh *secondary carbides* dengan ukuran kecil yang mengendap dalam matriks yang terdiri dari *martensite* dan *retained*

austenite. Dengan peningkatan jumlah karbida pun akan meningkatkan ketahanan aus dari besi tuang. Untuk meningkatkan ketahanan aus dari besi tuang putih khromium umumnya dilakukan perlakuan panas melalui pengendapan *secondary carbide* selama proses *ageing* pada pemanasan dan juga melalui destabilisasi *austenite*, dengan bertransformasi menjadi *martensite* selama pendinginan pada temperatur ruang.

Berdasarkan pakar petrografi Perancis, Delesse ^[3] bahwa secara matematis pada irisan acak suatu agregat seragam, fraksi luas dari mikrokonstituen (fasa) tertentu dalam daerah pandang sama dengan fraksi volume dalam agregat tiga dimensional. Oleh karena itu untuk menghitung jumlah *secondary carbide* pada fraksi volume dapat digunakan metode tersebut.



Gambar 2. 7. Struktur M_7C_3 pada matriks *austenite* ^[17]



Gambar 2. 8. Foto mikro SEM besi tuang putih kondisi *as-cast* ^[18]

2.4. *Retained Austenite*

Retained austenite merupakan *austenite* yang tidak mengalami transformasi menjadi *martensite* selama proses pendinginan cepat ^[19]. Berdasarkan komposisi, temperatur austenisasi, kecepatan pendinginan, temperatur akhir *quenching*, *stress state*, baja yang dilakukan perlakuan panas dapat mengandung fraksi volume yang signifikan dari *retained austenite*.



Gambar 2. 9. Foto mikro *martensite* (berbentuk jarum) pada matriks *retained austenite* pada bagian berwarna putih ^[20]

Jumlah *retained austenite* yang semakin banyak dapat mereduksi nilai kekerasan juga menghasilkan batas elastis yang rendah, siklus fatik yang menurun serta ketidakstabilan dimensional ^[4].

Retained austenite mempengaruhi sifat – sifat berikut:

1. Stabilitas dimensional: *retained austenite* akan bertransformasi menjadi *martensite* jika temperatur diturunkan secara signifikan dibawah temperatur terendah. *Martensite* memiliki struktur kisi BCT (*Body Centered Tetragonal*), memiliki volume yang lebih besar dibandingkan FCC (*Face Centered Cubic*). Saat tranformasi berlangsung maka akan ada peningkatan volume mikrostruktur pada temperatur ruang sebesar 4-5%, sehingga menghasilkan perubahan dimensional dalam geometri

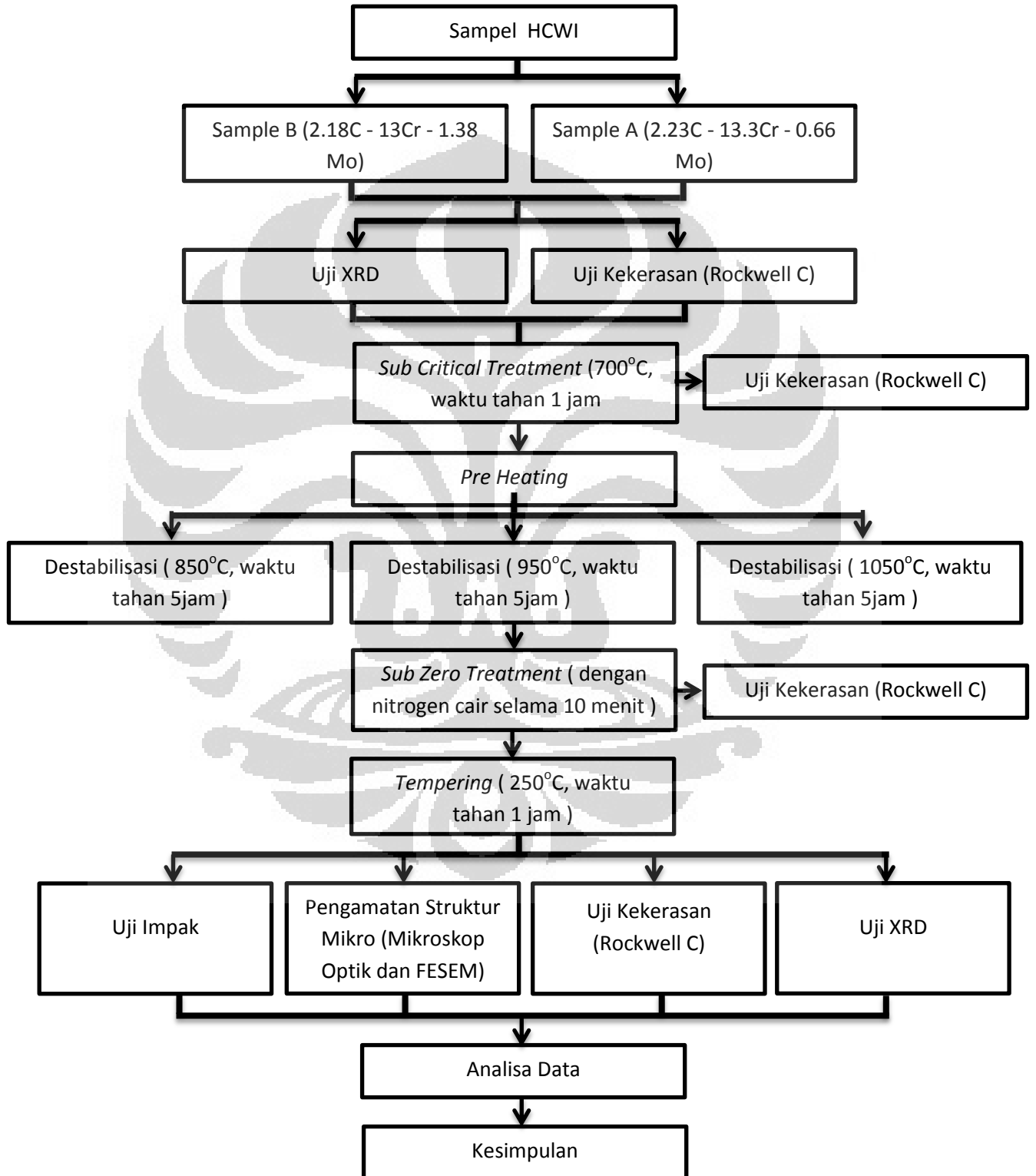
komponen. Perubahan dimensional ini dapat mengalami pertumbuhan dan dapat membentuk *crack initiation*.

2. Ketangguhan: ketangguhan merupakan kemampuan untuk menahan perpatahan ketika menerima beban kejut. *Austenite* tidak hanya sangat tangguh tetapi juga memiliki ketahanan impact yang jauh lebih baik dibandingkan *martensite*. Jadi dengan meningkatnya jumlah *retained austenite* maka akan meningkat pula ketahanan impact dari besi tuang ataupun baja. Kekuatan impact yang lebih tinggi memberikan proteksi ekstra melawan *cracking*.
3. Ketahanan terhadap fatik: *retained austenite* yang rendah dan ukuran butir *austenite* yang halus akan menghasilkan mikrostruktur *retained austenite* dan *tempered martensite* yang terdispersi merata, serta mencegah nukleasi retak fatik atau memperlambat retak fatik sampai level tegangan yang tinggi dicapai. Sedangkan *retained austenite* dengan jumlah yang tinggi dan butir *austenite* yang besar cocok diaplikasikan pada pembebanan yang ringan dan dalam siklus yang lambat^[19].

BAB 3

METODOLOGI PENELITIAN

3.1. Diagram Alir Penelitian



Gambar 3. 1. Diagram alir penelitian

Penelitian ini dilakukan dengan proses perlakuan panas terhadap dua buah sampel *high chromium white cast iron* hasil pengecoran dengan komposisi yang berbeda, seperti yang ditunjukkan oleh tabel 1.1. dan 1.2. Setelah itu kedua buah sampel itu dilakukan serangkaian perlakuan panas seperti yang ditunjukkan oleh gambar 1.1. Dari kedua buah sampel A dan B tersebut dibandingkan nilai kekerasan dengan metode Rockwell C, kekuatan impak dengan metode *charpy*, kuantitas dari *secondary carbide* yang terbentuk, serta *retained austenite* pada masing-masing perlakuan.

3.2. Alat dan Bahan

3.2.1. Alat

Peralatan yang digunakan dalam penelitian ini meliputi :

- a. Alat yang digunakan untuk proses *heat treatment* meliputi :
Carbolite dan Nabertherm Furnace.
- b. Alat yang digunakan untuk pengamatan struktur mikro meliputi :
Mikroskop optik, mesin amplas, mesin poles, *blower*, *Field Emission SEM.*
- c. Alat yang digunakan untuk pengujian kekerasan meliputi :
Mesin Rockwell C, mesin amplas, mesin poles.
- d. Alat pengujian impak dengan metode *charpy*
- e. Alat yang digunakan untuk pengujian XRD :
Shimadzu 7000.

3.2.2. Bahan

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini meliputi :

- a. *Liquid Nitrogen*, zat etsa nital 5 %.
- b. Dua buah sampel besi tuang putih khromium paduan tinggi hasil coran dengan komposisi seperti yang ditunjukkan oleh tabel 1.1 dan 1.2

3.3. Proses Perlakuan Panas

Berikut serangkain proses perlakuan panas yang diterapkan pada sampel A dan sampel B.

3.3.1. *Sub Critical Treatment*

Sub critical treatment pada pengujian ini dilakukan selama 1 jam pada suhu 700°C, dengan tujuan untuk menghilangkan tegangan yang ditimbulkan pada proses pengecoran. Selain itu tujuannya adalah untuk melakukan transformasi *retained austenite* dalam kondisi *as-cast* menjadi struktur *pearlite*.

3.3.2. Destabilisasi

Proses ini bertujuan untuk mendapatkan struktur *austenite* yang menyeluruh. Pada penelitian ini ditetapkan tiga variasi temperatur destbalisasi yaitu 850°C, 950°C, 1050°C dengan waktu tahan 5 jam.

3.3.3. *Sub Zero Treatment*

Sampel impak maupun sampel uji keras yang telah didestabilisasi kemudian dilakuan *quenching* dengan nitrogen cair. Proses *quenching* dilakukan dengan cepat sesaat setelah sampel dikeluarkan dari tungku pemanas.

3.3.4. *Tempering*

Proses *tempering* ini dilakukan pada temperatur 250°C dengan waktu tahan selama 1 jam. Proses ini diharapkan dapat sedikit menurunkan nilai kekerasan, sehingga menghasilkan kombinasi harmonis antara nilai kekerasan dan ketangguhan.

3.4. Pengujian Kekerasan

Sampel uji akan dilakukan pengujian kekerasan pada masing – masing tahapan yaitu pada tahapan *as-cast*, setelah *sub critical treatment*, setelah *sub zero quench*, dan setelah *tempering* untuk kemudian dibandingkan perbedaan nilai kekerasan pada tahapan yang berbeda. Namun yang utama untuk dilihat adalah nilai kekerasan dari kedua buah material *high chromium white cast iron* dengan temperatur destabilisasi 850°C, 950°C dan 1050°C. Pengujian kekerasan ini menggunakan metode Rockwell C dengan indentor intan dan besar pembebanan 150 kg, yang mengacu pada ASTM E18.

3.5. Pengujian Impak

Pengujian impak akan dilakukan pada tahapan setelah *tempering* untuk kemudian dibandingkan antara sampel uji satu dengan lainnya yang memiliki temperatur destabilisasi yang berbeda. Pengujian impak akan mengacu pada ASTM E-23 dengan metode *charpy*.

3.6. Pengamatan Metalografi

Pada tahapan untuk melakukan pengujian struktur mikro akan dilakukan dengan pengujian FESEM (*Field Emission Scanning Electron Microscope*). Pengamatan ini dilakukan untuk mempertegas fasa – fasa yang terbentuk, melihat kecenderungan keberadaan *secondary carbide* diantara *martensite*. Dengan didapatkannya foto mikro tersebut maka dapat dikaitkan kekuatan mekanik dari besi tuang putih khromium dengan struktur mikro yang terbentuk.

3.7. Pengujian XRD (X-Ray Diffraction)

Pengujian XRD dilakukan pada tahapan awal yaitu ketika besi tuang putih masih berupa *as-cast* serta juga dilakukan setelah dilakukannya tahapan *heat treatment*. Pada tahapan ini akan diamati keberadaan karbida maupun *retained austenite* yang dimiliki dengan memperhatikan difraksi yang terjadi, dengan mengacu terhadap intensitas *peak* yang dihasilkan XRD.

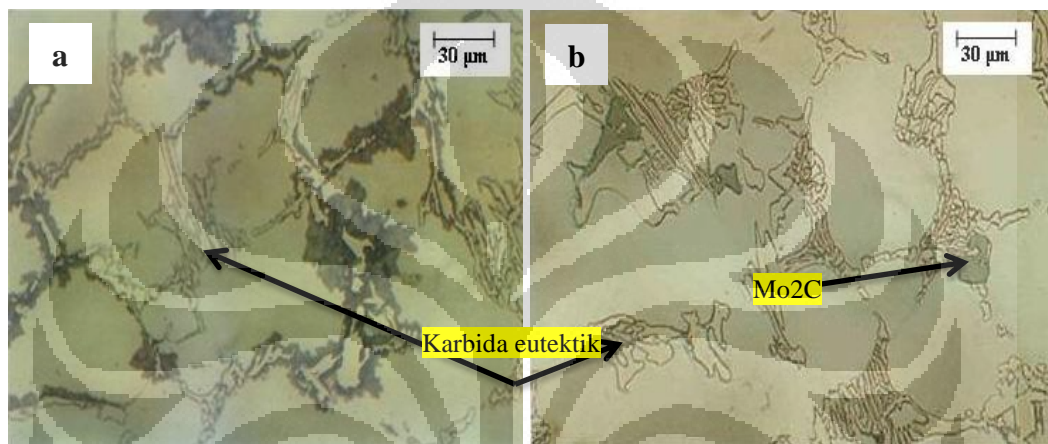


Gambar 3. 2. Alat pengujian XRD

BAB 4

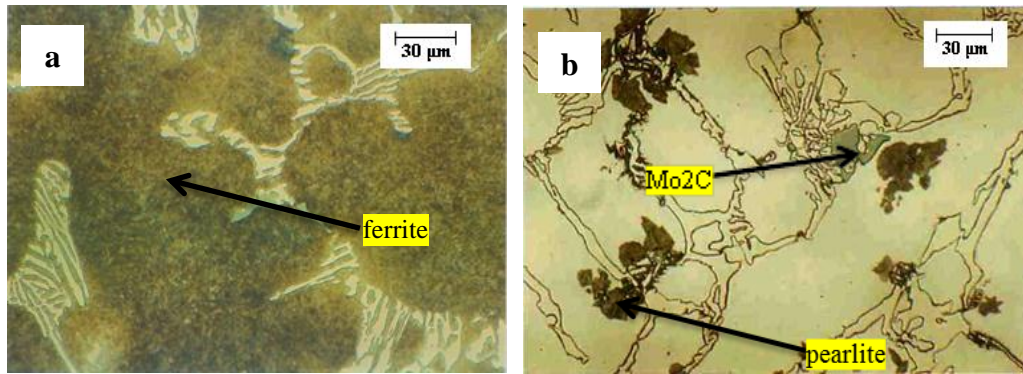
HASIL DAN PEMBAHASAN

Material yang digunakan dalam pengujian ini adalah dua buah material yang tergolong kedalam ASTM A 532 Tipe II A, dengan perbedaan yang terletak pada kandungan *molybdenum*, sampel A dengan komposisi 2.23C - 13.3Cr - 0.66 Mo dan sampel B dengan komposisi 2.18C - 13Cr - 1.38 Mo. Berikut ini hasil pengamatan struktur mikro dari kedua material tersebut.



Gambar 4. 1. Foto mikro sampel *as-cast* dengan perbesaran 500x : (a) sampel A(2.23C - 13.3Cr - 0.66 Mo), (b) sampel B(2.18C - 13Cr - 1.38 Mo)

Pada hasil pengamatan struktur mikro material *as-cast* diatas, dapat terlihat bahwa pada masing – masing sampel A dan sampel B kedua – duanya terdapat karbida eutektik, yang berbentuk *lamellar*. Eutektik karbida juga turut berperan sebagai komponen yang meningkatkan nilai kekerasan dari besi cor putih. Kemudian terdapat perbedaan yang mencolok diantara kedua foto hasil mikrostruktur pada gambar diatas yakni pada sampel A terdapat mikrostruktur *pearlite*, sedangkan pada material B tidak terdapat mikrostruktur *pearlite*. Namun pada sampel B terlihat penampakan Mo_2C , yang tidak terdapat pada sampel A. Tidak adanya mikrostruktur *pearlite* pada sampel B akibat adanya kandungan *molybdenum* pada sampel B yang dapat berperan sebagai penahan terbentuknya mikrostruktur *pearlite* ^[21].



Gambar 4. 2. Foto mikro sampel A dan B ketika mendapatkan perlakuan *sub critical* : (a) sampel A, (b) sampel B

Pada sampel A mikrostruktur yang dihasilkan diduga berupa *ferrite*, karena dengan penampakan yang demikian tetapi memiliki nilai kekerasan yang rendah. Dari pengamatan sampel B, pada gambar 4.2. sampel tersebut mengalami pertumbuhan *pearlite*, hal ini sesuai dengan penelitian dari Albertin ^[11] yang menunjukkan bahwa fasa *pearlite* terbentuk pada saat perlakuan *sub-critical* di temperatur 700°C selama 1 jam, juga sesuai dengan Karl Heinz ^[22] yang menyatakan jika material dipanaskan pada temperatur 550-800°C maka *austenite* akan berubah menjadi *pearlite*. Eksperimen dari Albertin ^[11] telah menunjukkan bahwa perlakuan *subcritical* sebelum destablisasi lebih efektif untuk mendapatkan struktur *martensite* dibandingkan langsung melakukan destablisasi.

4.1. Pengaruh Temperatur Destablisasi terhadap Sifat - Sifat Mekanik

Tabel 4. 1 Data nilai kekerasan sampel A dan B

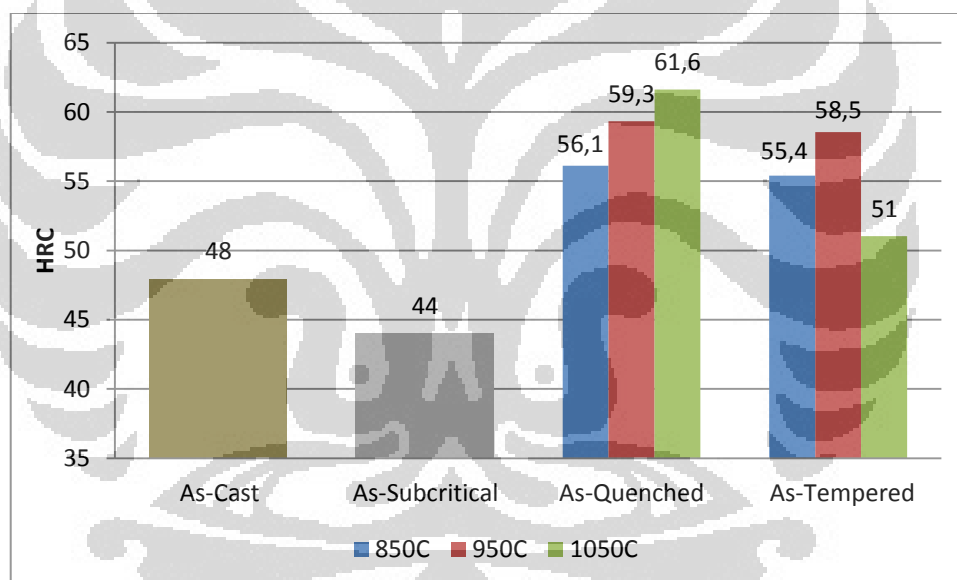
Sampel	Kondisi Sampel	Nilai HRC		
		850°C	950°C	1050°C
A	<i>As-cast</i>	48		
	<i>As-sub critical</i>	44		
	<i>As-quenched</i>	56,1	59,3	61,6
	<i>As-tempered</i>	55,4	58,5	51
B	<i>As-cast</i>	38,9		
	<i>As-sub critical</i>	41,3		
	<i>As-quenched</i>	56,9	61,9	61,7
	<i>Aas-tempered</i>	57	59,3	59

Tabel 4. 2. Data nilai ketangguhan pada berbagai temperatur destabilisasi

Sampel	Kondisi	Nilai Ketangguhan (J/cm^2) pada Temperatur Destabilisasi		
		850°C	950°C	1050°C
A	<i>As-cast</i>	6,13		
B		6,43		
A	<i>As-tempered</i>	3,70	2,47	2,5
B		4,23	2,02	4,33

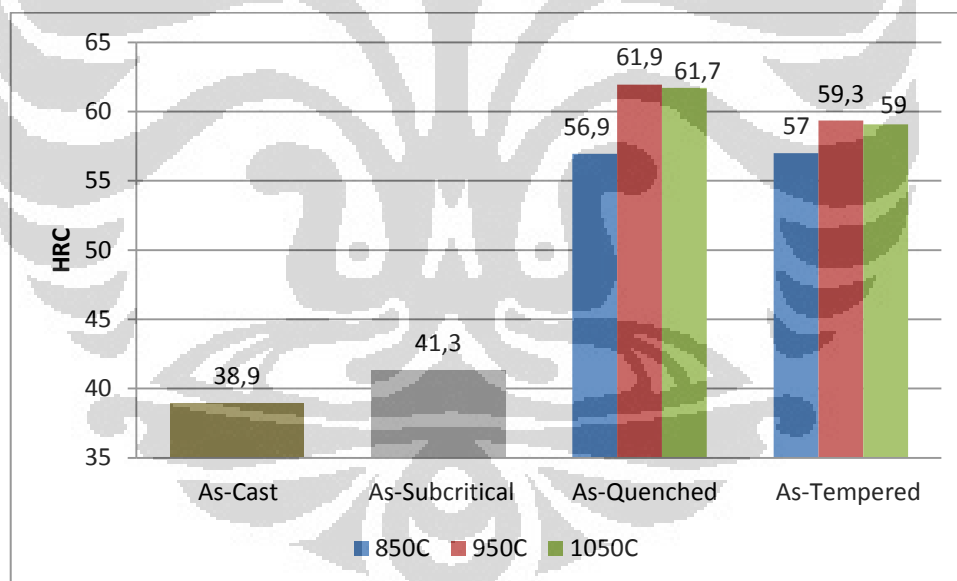
4.1.1. Kekerasan

Pengujian kekerasan dilakukan untuk mengetahui pengaruh dari temperatur destabilisasi yang berbeda terhadap nilai HRC.

**Gambar 4. 3.** Nilai kekerasan HRC pada sampel A pada tahapan perlakuan panas berbeda

Pada sampel A (2.23C - 13.3Cr - 0.66 Mo) berdasarkan pengujian kekerasan HRC menghasilkan kecenderungan nilai kekerasan yang meningkat hingga proses *quenching* diberlakukan dan kemudian mengalami sedikit penurunan setelah tahapan *tempering*. Nilai kekerasan yang meningkat pada tahapan setelah *quenching* disebabkan oleh kehabisan elemen padu sehingga matriks *austenite* bertransformasi menuju *martensite*^[10]. Selain itu didukung pula dengan adanya pertumbuhan *secondary carbide* pada saat penahanan disuhu destabilisasi. Bila dibandingkan antara ketiga nilai kekerasan diatas, sampel A

dengan suhu destabilisasi 950°C menghasilkan nilai kekerasan tertinggi yakni sebesar 58,5 HRC. Berdasarkan Karantzalis ^[10] yang menyatakan bahwa nilai maksimum terhadap kekerasan didapatkan ketika dilakukan proses destabilisasi pada suhu 900°C dimana struktur yang dihasilkan memiliki volum fraksi *martensite* yang tinggi dan jumlah *secondary carbide* yang terdispersi dengan baik dan berukuran halus. Disamping itu dalam penelitian lainnya Karantzalis ^[6] menyatakan bahwa nilai kekerasan tertinggi terdapat pada suhu destabilisasi 1000°C, karena kombinasi yang optimum dari presipitasi karbida dan morfologi yang baik sama halnya dengan penambahan *martensite*. Sedangkan nilai terendah ditunjukkan pada sampel dengan temperatur destabilisasi 1050°C, yakni sebesar 51 HRC. Pada sampel A dengan temperatur destabilisasi 1050°C pada kondisi *as-tempered* mengalami penurunan yang cukup drastis, hal ini diakibatkan oleh terjadinya kelarutan karbon yang tinggi pada matriks *austenite* akibat temperatur yang terlalu tinggi.

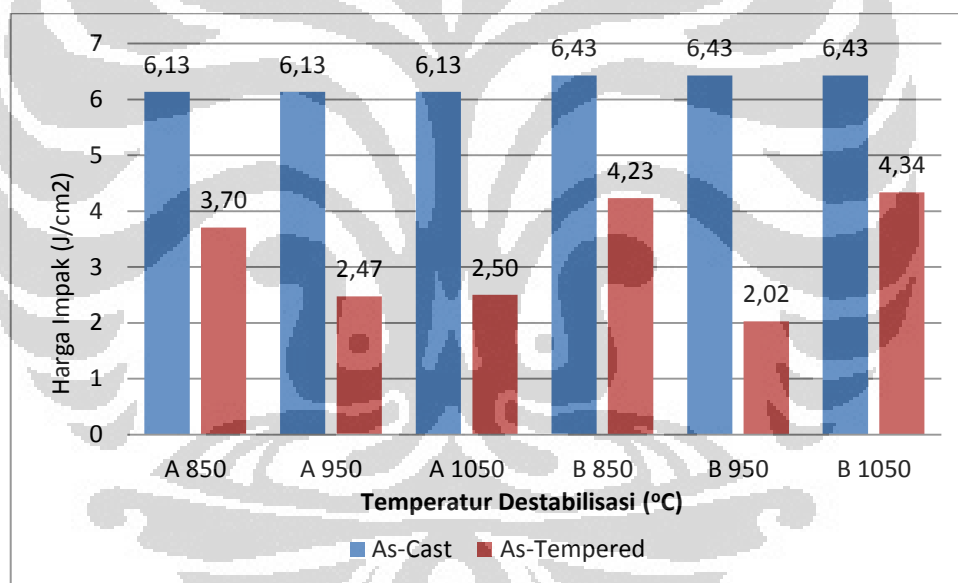


Gambar 4. 4. Nilai kekerasan HRC pada sampel B pada tahapan perlakuan panas berbeda

Dari data yang ditampilkan didapat bahwa kecenderungan yang terjadi adalah bahwa nilai kekerasan meningkat hingga pada tahapan *quenching*, kemudian mengalami sedikit penurunan setelah dilakukan proses *tempering*, sama halnya dengan kecenderungan yang terjadi pada sampel A. Dari tampilan grafik terlihat bahwa sampel dengan perlakuan destabilisasi 950°C juga memiliki nilai

kekerasan tertinggi yaitu sebesar 59,3 HRC. Hal ini sesuai dengan pernyataan Karantzalis ^[10] bahwa *bulk hardness* dengan nilai maksimum didapatkan ketika dilakukan proses destablisasi pada suhu 900°C dimana struktur yang dihasilkan memiliki volum fraksi *martensite* yang tinggi dan jumlah *secondary carbide* yang terdispersi dengan baik dan berukuran halus. Namun apabila dilihat pada suhu destablisasi 850°C, nilai kekerasan pada tahapan *tempering* cenderung tetap, tidak mengalami perubahan. Kemudian dari kecenderungan nilai kekerasan setelah *tempering* terlihat mengalami penurunan, hal ini sesuai dengan Haimbaugh ^[16] yang menyatakan bahwa ketika mengalami *tempering* maka tegangan sisa yang terdapat pada masing-masing sampel setelah proses *quenching* akan mengalami *relieve stress*.

4.1.2. Ketangguhan



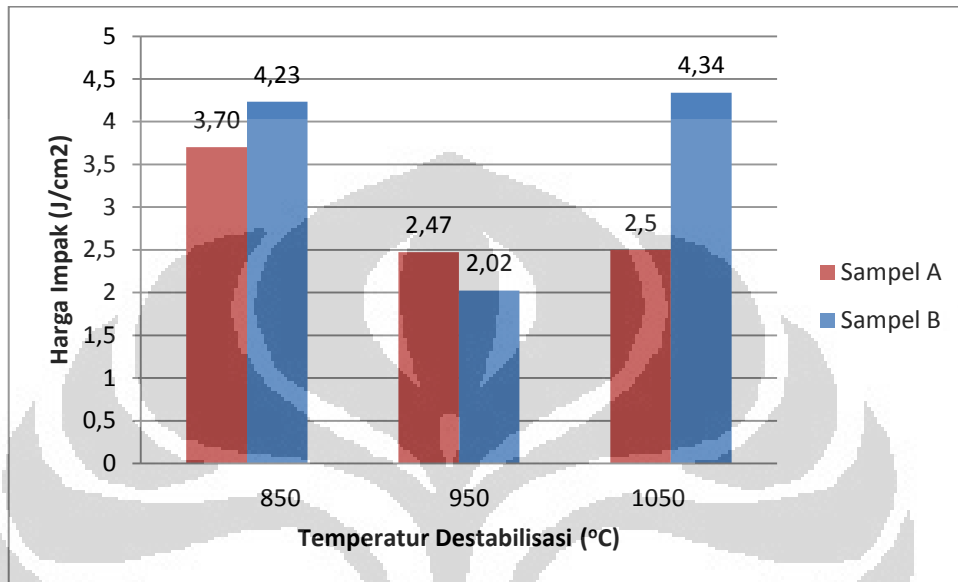
Gambar 4. 5. Perubahan kekuatan impak dari kondisi *as-cast* ke kondisi *as-tempered*

Sifat ketangguhan dalam aplikasi *grinding ball* memiliki peranan yang penting, diakibatkan oleh adanya beban impak antara *grinding ball* dengan batuan mineral maupun dengan sesama *grinding ball* dalam *ball mill* unit. Sehingga dengan ketangguhan yang baik, dapat menunjang umur pakai *grinding ball*.

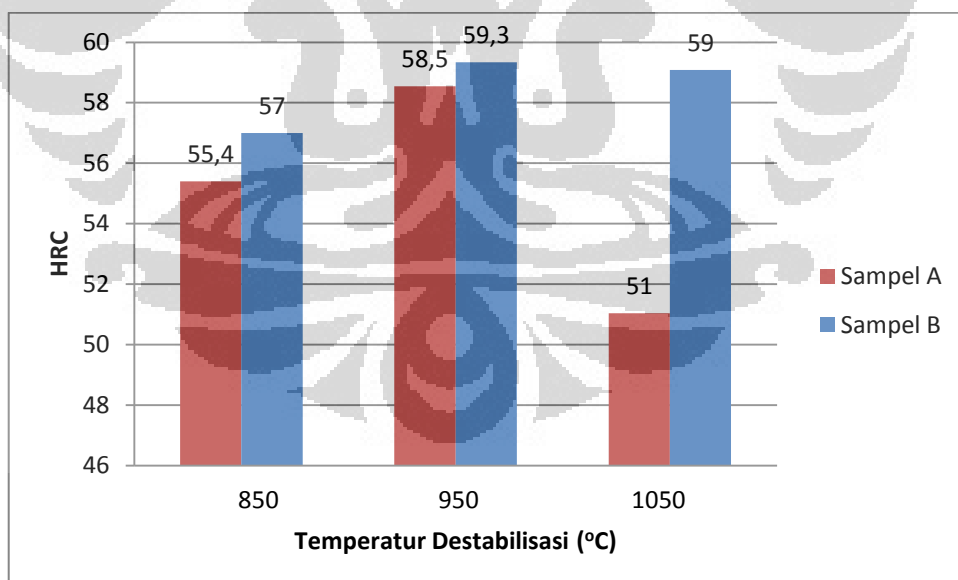
Dari data yang diperoleh nilai ketangguhan pada struktur akhir mengalami penurunan pada keseluruhan temperatur destablisasi yang berbeda, baik pada sampel A maupun sampel B. Penurunan ketangguhan ini terjadi karena fasa

austenite yang telah bertransformasi menjadi fasa *martensite* dan juga akibat terjadinya pertumbuhan *secondary carbide* pada matriks *martensite* yang memicu kekerasan untuk meningkat dan menurunkan ketangguhan.

4.1.3. Analisa Hubungan Nilai Kekerasan dengan Ketangguhan



Gambar 4. 6. Grafik harga impact pada berbagai temperatur destabilisasi



Gambar 4. 7. Grafik nilai HRC pada berbagai temperatur destabilisasi

Dalam aplikasi *grinding ball* nilai ketangguhan dan nilai kekerasan diharuskan memiliki kombinasi yang harmonis antara satu dengan yang lainnya.

Dimana ketangguhan akan berdampak pada ketahanan terhadap beban impak, sedangkan kekerasan berdampak terhadap ketahanan gesek.

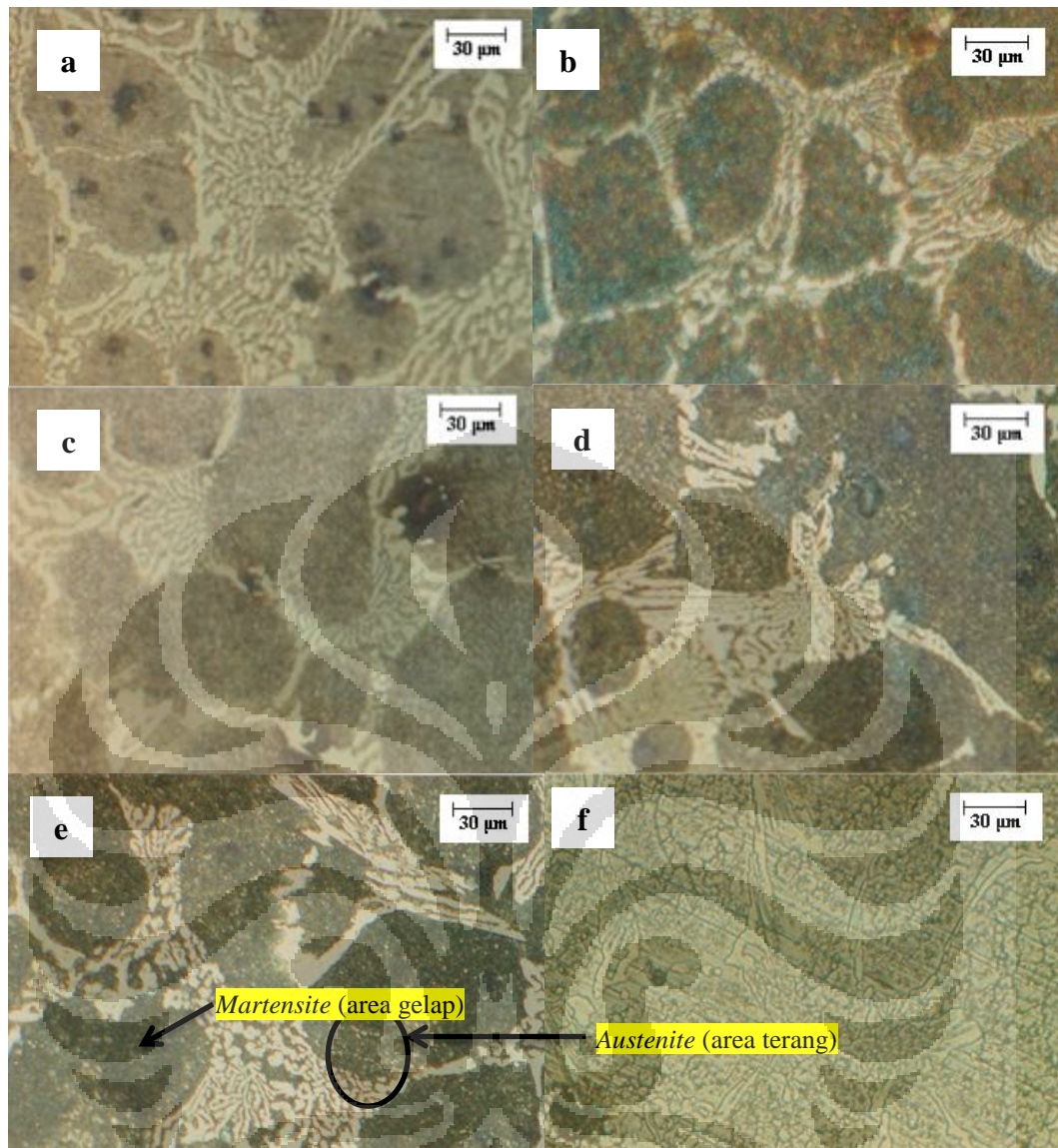
Dari kedua grafik diatas jika dikaitkan antara grafik nilai impak terhadap grafik kekerasan, maka nilai yang bersesuaian adalah pada sampel A dengan suhu destabilisasi 950°C, karena ketika nilai HRC tinggi maka nilai ketangguhan yang didapatkan menurun. Sama halnya dengan pada sampel A dengan suhu destabilisasi 1050°C nilai impak yang dihasilkan cenderung memiliki nilai yang kecil, berbanding terbalik dengan kekerasan yang dihasilkan. Sedangkan pada sampel A dengan temperatur destabilisasi 850°C memiliki ketangguhan yang lebih tinggi dibandingkan 950°C namun lebih rendah dari nilai kekerasan. Dalam aplikasi *grinding ball* nilai yang ingin didapat adalah ketika nilai kekerasan yang didapat cukup tinggi dan juga nilai ketangguhan yang tidak cenderung menurun, spesifikasi yang sama halnya dengan ketentuan tersebut adalah pada sampel A dengan temperatur destabilisasi 850°C.

Untuk sampel B dengan penambahan *molybdenum* sebesar 1,38 wt% ternyata pada temperatur destabilisasi 950°C juga menghasilkan nilai kekerasan yang optimum namun memiliki ketangguhan yang rendah sama halnya dengan sampel A. Pada 1050°C menghasilkan ketangguhan yang tinggi dan juga memberikan nilai kekerasan yang tinggi yakni sebesar 59 HRC untuk nilai kekerasan dan 4,34 untuk nilai ketangguhan, kondisi demikianlah yang diharapkan dalam penggunaan *grinding ball*. Hal ini dicapai karena kemampuan *molybdenum* yang memiliki kemampuan untuk meningkatkan *hardenability* serta memiliki kemampuan dalam meningkatkan kedalaman *hardening* tanpa menghiraukan terjadinya *overstabilizing austenite* sehingga menahan terjadinya struktur *austenite* yang berlebihan pada struktur akhir. Sifat *molybdenum* yang demikianlah yang menjadikannya tetap menghasilkan kekerasan yang tinggi walaupun temperatur destabilisasi yang tinggi yakni sebesar 1050°C [8]. Berdasarkan data yang didapat pada sampel B memang menghasilkan nilai kekerasan yang cenderung tetap, lain halnya dengan pada sampel A mengalami penurunan ketika dilakukan destabilisasi pada temperatur 1050°C.

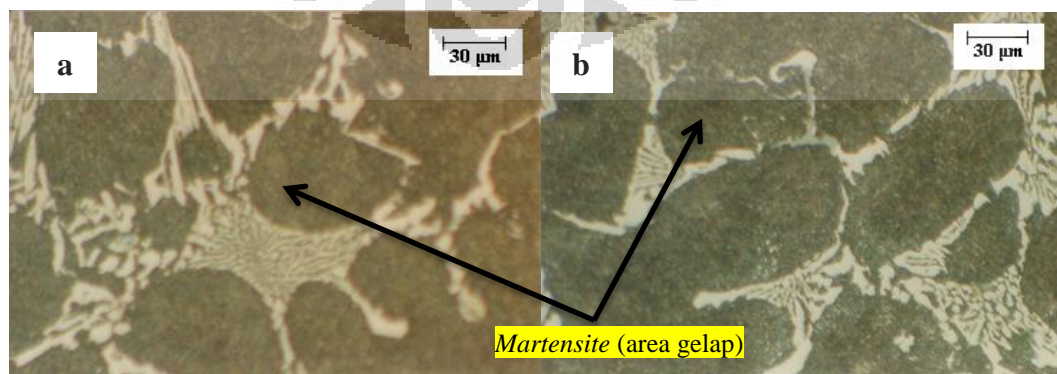
Nilai dengan kekerasan tinggi dan ketangguhan yang tinggi sangat diinginkan ketika diaplikasikan sebagai *grinding ball*, karena nantinya dapat memiliki umur pakai yang panjang dan dapat meningkatkan efisiensi dalam penggunaan *grinding ball*. Dari hasil penelitian, seperti yang ditunjukkan oleh gambar 4.6. dan 4.7. sampel B dengan temperatur destablisasi 1050°C, menghasilkan nilai kekerasan yang cukup tinggi dan memiliki ketangguhan yang lebih tinggi dibandingkan dengan temperatur destablisasi yang lainnya baik pada sampel A maupun B. Dan bila dilihat dari kelayakan untuk bisa diaplikasikan karena memenuhi syarat SNI 07-1069-1989, maka yang dapat menghasilkan nilai kekerasan hingga memenuhi nilai kekerasan 59 HRC adalah pada sampel B dengan temperatur destablisasi 950°C dan temperatur destablisasi 1050°C. Sedangkan untuk sampel A memberikan nilai yang hampir memenuhi syarat minimum SNI, terpaut 0,5 HRC lebih kecil oleh nilai yang disyaratkan SNI.

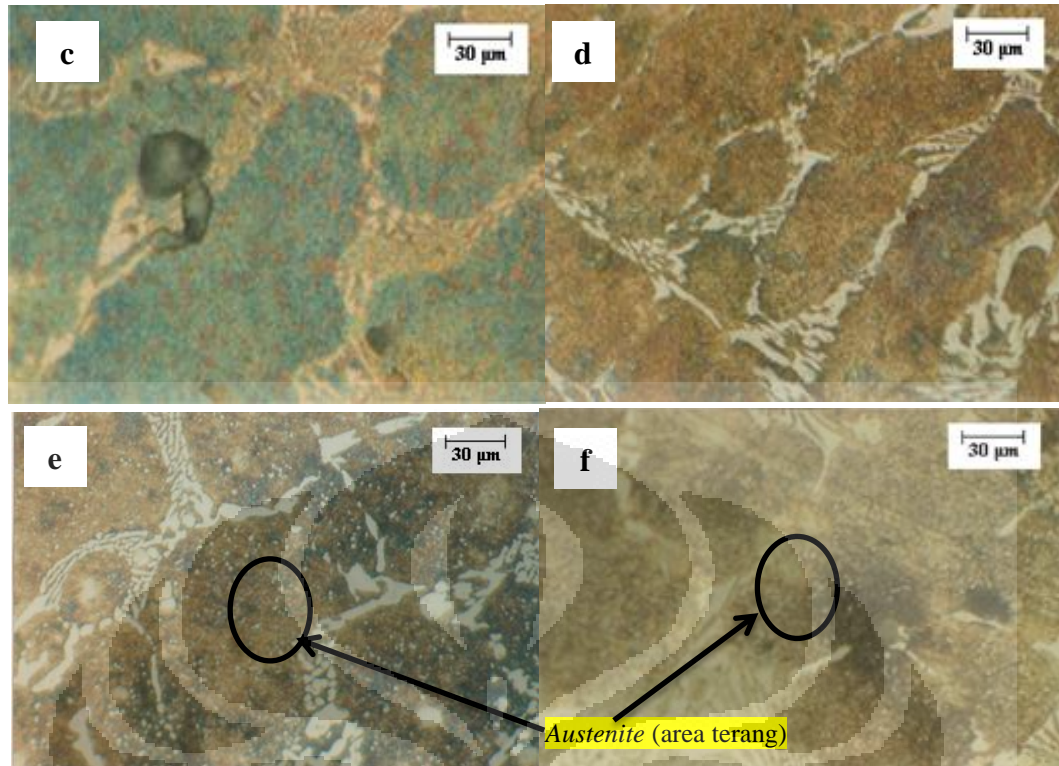
4.2. Pengaruh Temperatur Destablisasi terhadap *Secondary Carbide*

Presipitasi karbida merupakan faktor yang penting untuk diperhatikan dalam rangka untuk menghasilkan nilai kekerasan yang baik pada pembuatan *grinding ball*, baik berupa eutektik karbida maupun *secondary carbide*. Eutektik karbida merupakan jenis karbida yang terbentuk pada saat proses solidifikasi disaat pengecoran sedangkan *secondary carbide* terbentuk ketika proses destablisasi terjadi. Eutektik karbida tidak mengalami perubahan ketika dilakukan proses perlakuan panas, sedangkan *secondary carbide* inilah yang mengalami perubahan ketika dilakukan proses destablisasi. Berdasarkan Karantzalis ^[10] dinyatakan bahwa dengan meningkatnya fraksi volume dari *secondary carbide* maka nilai dari kekerasan pada besi tuang putih akan mengalami peningkatan pula. Morfologi karbida yang baik adalah ketika *secondary carbide* yang terbentuk sangat halus. Selain itu dengan dispersi yang baik juga mempengaruhi nilai kekerasan dari karbida. Berikut struktur mikro yang dihasilkan pada perlakuan *quenching* dengan menggunakan nitrogen cair.



Gambar 4. 8. Hasil pengamatan mikroskop optik pada sampel A dan B *as-quench* dengan perbesaran 500x : (a) A 850°C, (b) A 950°C, (c) 1050°C, (d) B 850°C, (e) B 950°C, (f) B 1050°C



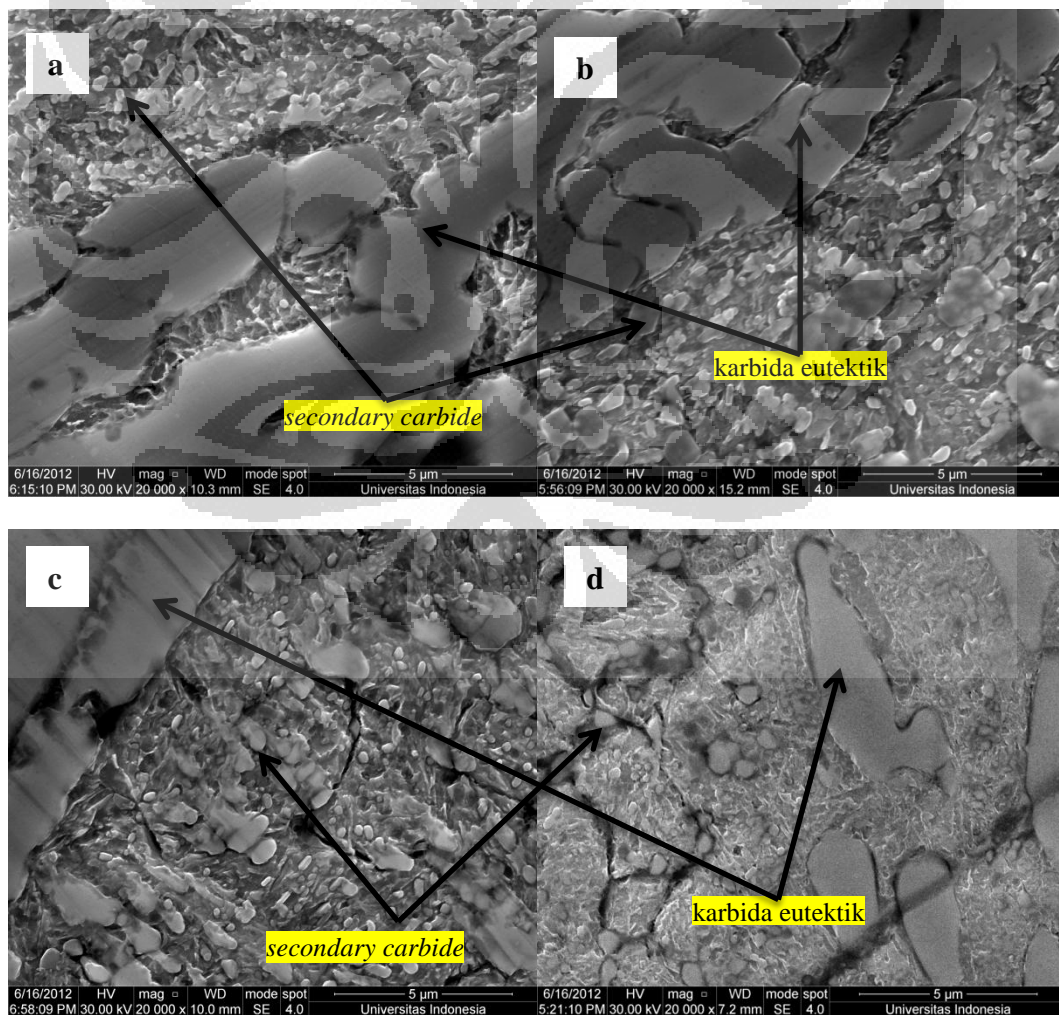


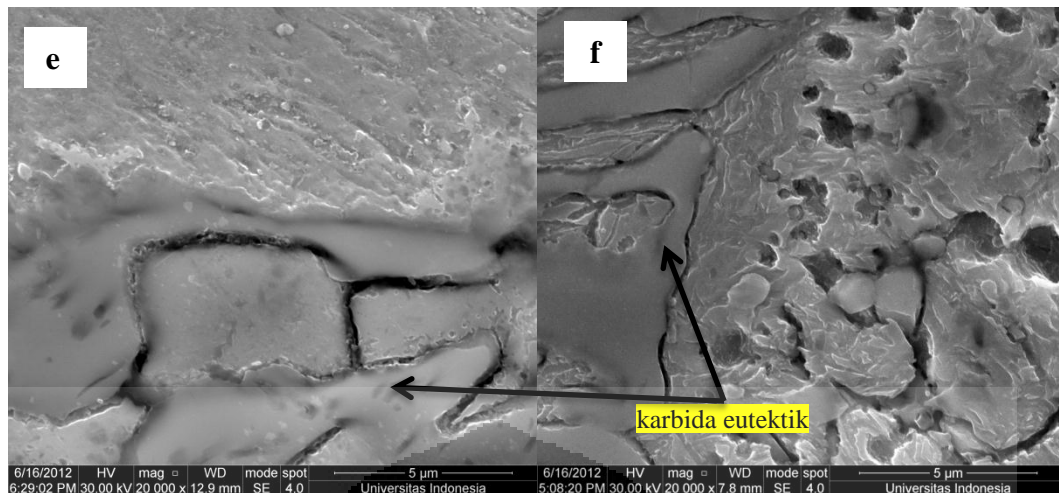
Gambar 4. 9. Hasil pengamatan mikroskop optik pada sampel A dan B *as-tempered* dengan perbesaran 500x : (a) A 850°C, (b) A 950°C, (c) 1050°C, (d) B 850°C, (e) B 950°C, (f) B 1050°C

Quenching dengan menggunakan nitrogen cair berdasarkan [23] akan menghasilkan struktur *martensite* dan menyisakan *austenite* dalam jumlah kecil. Berdasarkan hasil foto mikro memang ditunjukkan bahwa pada tiap – tiap sampel menunjukkan adanya perubahan warna menjadi gelap pada bagian matriks, seperti yang ditunjukkan oleh gambar diatas ketika dibandingkan dengan sampel *as-cast* baik A maupun B. Setelah *quenching* dilakukan kemudian dilanjutkan dengan *tempering* untuk sedikit menurunkan nilai kekerasan dan meningkatkan ketangguhan. Foto mikro hasil *quenching* bila dibandingkan dengan foto mikro hasil *tempering* secara umum baik pada sampel A maupun B dengan berbagai temperatur destablisasi tidak memperlihatkan perubahan yang signifikan. Namun terlihat tampilan warna terang pada matriks yang dapat diduga sebagai *austenite*.

Dari berbagai pengamatan dengan menggunakan mikroskop optik pada perbesaran 500x diatas, pada sampel A maupun sampel B dengan temperatur destablisasi 850°C dan 950°C, dihasilkan struktur mikro yang identik. Bagian yang berwarna gelap pada sampel A maupun B dengan temperatur destablisasi 850°C dan 950°C diduga merupakan struktur *martensite*. Sedangkan pada sampel

A dan B dengan temperatur destablilisasi 1050°C masih terdapat area terang yang mengindikasikan bahwa struktur *austenite* masih signifikan berada pada kondisi tersebut. Kondisi demikian ini kemungkinan diakibatkan oleh temperatur destablilisasi yang terlalu tinggi sehingga sebagian *austenite* menjadi stabil dan tidak dapat bertransformasi menuju struktur *martensite* ketika dilakukan proses *quenching* dengan menggunakan nitrogen cair. Hasil seperti ini sesuai dengan pernyataan bahwa stabilisasi *austenite* pada temperatur tinggi menunjukkan mikrostruktur yang bebas dari *secondary carbide* [10]. Berdasarkan struktur mikro yang dihasilkan sulit bagi kita untuk dapat mengidentifikasi keberadaan *secondary carbide*. Dan untuk dapat melihat distribusi dan dispersi serta morfologi dari *secondary carbide* dapat dilihat melalui hasil pencitraan dari SEM. Berikut ini gambar dari pencitraan *Field Emission SEM* dengan perbesaran 20000x.





Gambar 4. 10. Hasil pengamatan SEM pada sampel A dan B: (a) A 850°C, (b) A 950°C, (c) 1050°C, (d) B 850°C, (e) B 950°C, (f) B 1050°C

Dari ketiga sampel yang mendapatkan perlakuan panas dengan temperatur destabilisasi yang berbeda, berdasarkan hasil pengamatan SEM seperti gambar 4.10. diatas menunjukkan bahwa pada sampel A dengan perlakuan destabilisasi 850°C, *secondary carbide* yang terbentuk terdispersi merata sama halnya pada temperatur destabilisasi 950°C yang juga memperlihatkan *secondary carbide* yang terdispersi merata. Sedangkan pada sampel A dengan temperatur destabilisasi 1050°C, tidak terlihat adanya *secondary carbide*, kondisi yang demikian ini sesuai dengan nilai kekerasan pada temperatur tersebut yang mengalami penurunan drastis dibandingkan dengan temperatur destabilisasi 950°C yakni sebesar 51 HRC. Berdasarkan Karantzalis ^[6] hal ini sangat sesuai, yang menyatakan bahwa dengan temperatur stabilisasi *austenite* yang semakin tinggi (> 1000°C) maka tidak ditemukan adanya *secondary carbide*. Sedangkan pada sampel B dengan temperatur destabilisasi 1050°C terlihat adanya keberadaan *secondary carbide* yang halus namun terlihat seakan terdifusi kedalam matriks, dikaitkan dengan kekuatan mekanik yang dihasilkan pada temperatur destabilisasi 1050°C sampel B, ketangguhan menunjukkan nilai yang cukup tinggi sebesar 4,33 J/cm², hal ini juga sesuai dengan Karantzalis ^[6] yang menyatakan bahwa pada temperatur > 1000°C maka kemungkinan terjadinya *dissolution carbon* dan fenomena pengakasaran. Namun terjadi anomali pada nilai kekerasan yang sementara memberikan nilai tertinggi yakni sebesar 59 HRC dibandingkan temperatur

destabilisasi lainnya pada sampel B, hal ini diduga karena ukuran partikel yang cenderung halus, sehingga memberikan nilai kekerasan yang tinggi.

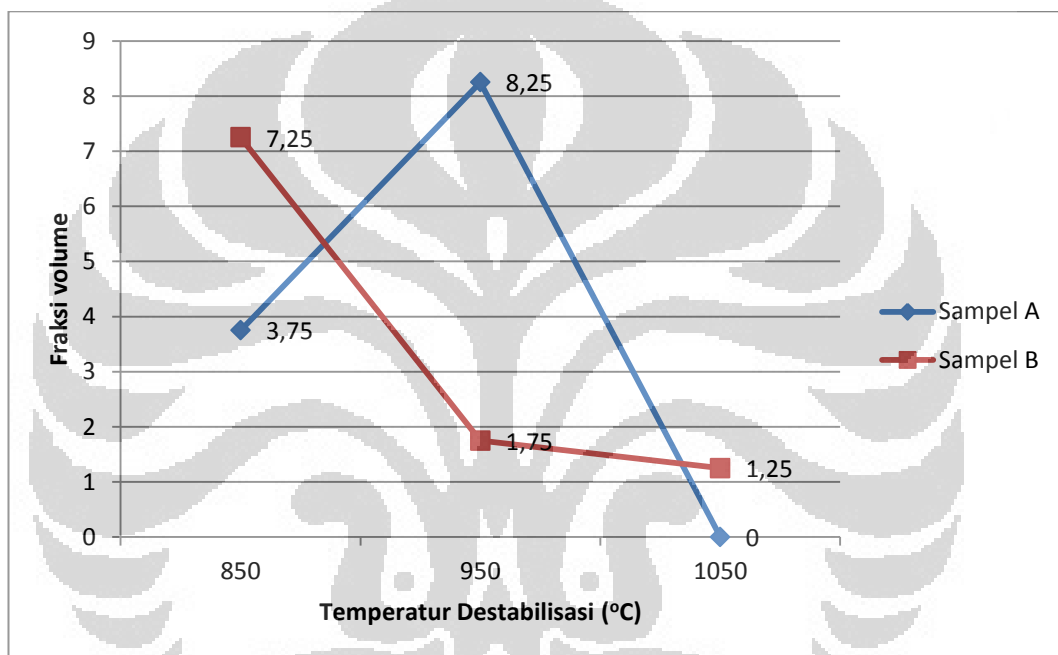
Tabel 4. 3. Fraksi volume *secondary carbide* pada kondisi *as-tempered*

Temperatur Destabilisasi	Sampel	
	A	B
850°C	3,75%	7,25%
950°C	8,25%	1,75%
1050°C	-	1,25%

Berdasarkan hasil pencitraan SEM pada gambar 4.10. dilakukan penghitungan metalografi kuantitatif, dengan metode yang ditetapkan oleh pakar petrografi Perancis, Delesse. Dari hasil perhitungan didapatkan bahwa fraksi volume *secondary carbide* terbesar pada sampel A diperoleh pada temperatur destabilisasi 950°C yakni sebesar 8,25 % dan diikuti oleh temperatur destabilisasi 850°C sebesar 3,75 %. Hal ini bersesuaian dengan penelitian Karantzalis ^[10] yang menyatakan bahwa *secondary carbide* akan berkurang seiring dengan temperatur yang menurun dan juga menyatakan bahwa pertumbuhan *secondary carbide* optimum pada 900°C dan 1000°C. Dari hasil perhitungan *secondary carbide* yang didapatkan pada sampel A dengan temperatur destabilisasi 1050°C, tidak ditemukan adanya *secondary carbide*. Kondisi yang menunjukkan tidak adanya *secondary carbide* ini, disebabkan oleh temperatur yang terlalu tinggi sehingga khromium dan karbon larut pada matriks *austenite* ^[10]. Jika dikaitkan dengan kekuatan mekanis yang dihasilkan memang pada sampel A pada temperatur destabilisasi 950°C menghasilkan nilai kekerasan terbesar yakni sebesar 58,5 HRC, kemudian diikuti oleh temperatur destabilisasi 850°C, serta dengan nilai kekerasan terkecil yakni sebesar 51 HRC ditemukan pada temperatur destabilisasi sebesar 1050°C.

Sedangkan pada sampel B fraksi volume terbesar ditemukan pada temperatur destabilisasi sebesar 850°C sebesar 7,25 % dan kemudian disusul oleh temperatur destabilisasi 950°C sebesar 1,75 %. Pada temperatur destabilisasi sebesar 1050°C ditemukan *secondary carbide* yang paling kecil yakni sebesar 1,25%. Dikaitkan dengan kekuatan mekanis yang diperoleh memang pada sampel

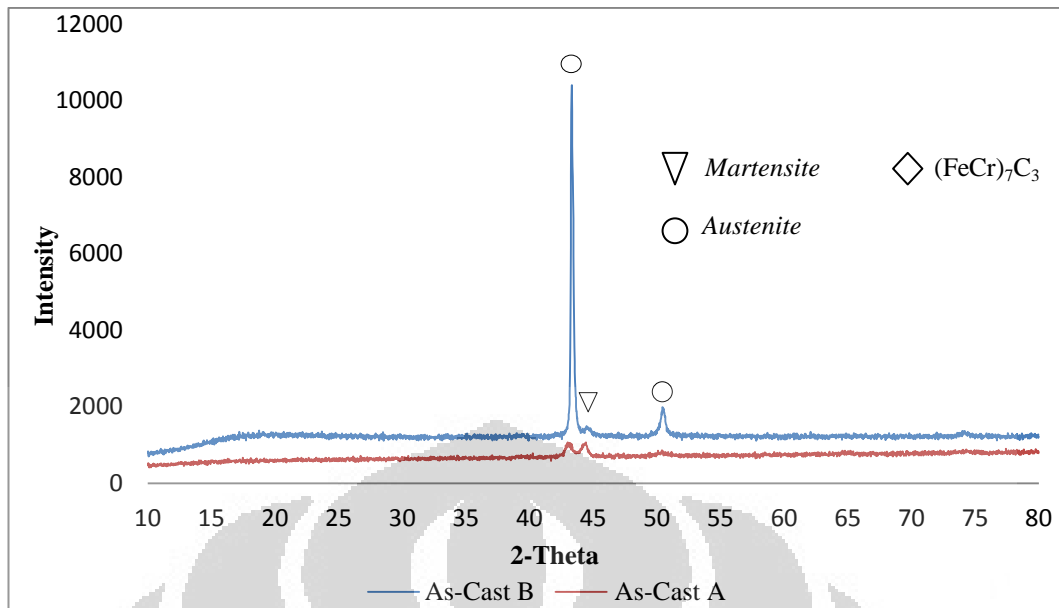
B dengan temperatur destabilisasi sebesar 1050°C memiliki nilai ketangguhan optimum dibandingkan dengan sampel lainnya, namun disamping itu memiliki nilai kekerasan yang tinggi pula. Diperkirakan kondisi ini terjadi akibat ukuran *secondary carbide* yang lebih halus dibandingkan dengan temperatur destabilisasi 850°C. Pada temperatur destabilisasi 950°C, meskipun memiliki fraksi volume *secondary carbide* yang lebih sedikit, namun memiliki nilai kekerasan yang tinggi. Kondisi tersebut diduga juga diakibatkan oleh ukuran dari *secondary carbide* yang lebih halus.



Gambar 4. 11. Grafik fraksi volume *secondary carbide* pada temperatur destabilisasi berbeda

4.3. Pengaruh Temperatur Destabilisasi terhadap *Retained Austenite*

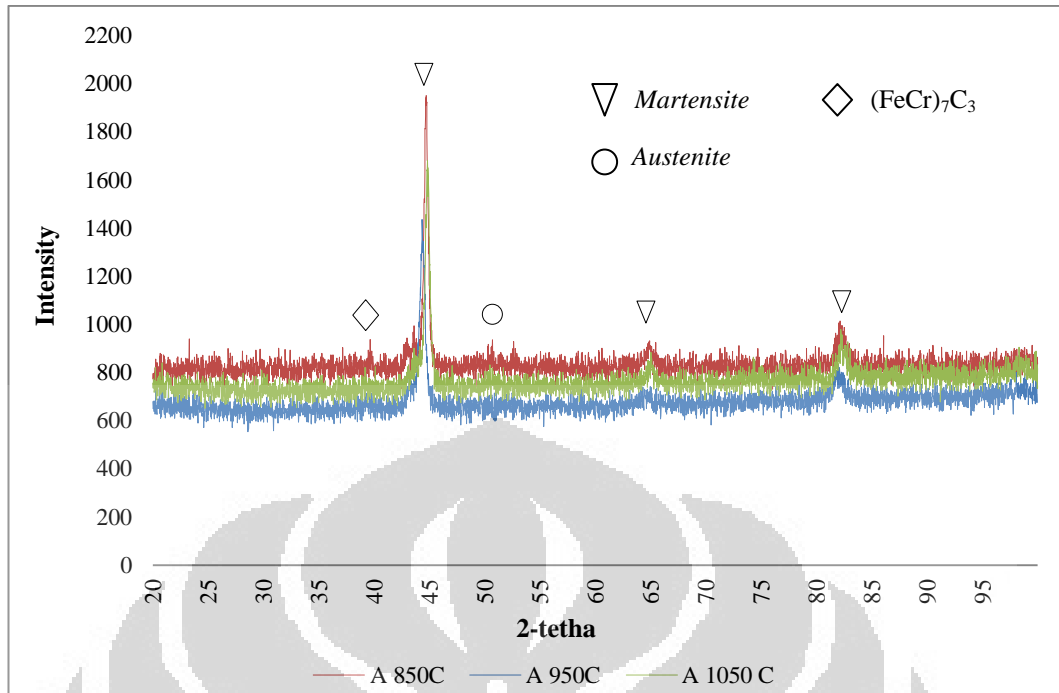
Retained Austenite merupakan fasa *austenite* yang tidak mengalami transformasi ketika dilakukan proses *quenching* terhadap suatu material. Keberadaan fasa *austenite* pada suatu struktur logam dapat menjadikan suatu logam memiliki ketangguhan yang tinggi namun dengan ketangguhan yang tinggi otomatis akan menurunkan nilai kekerasan.



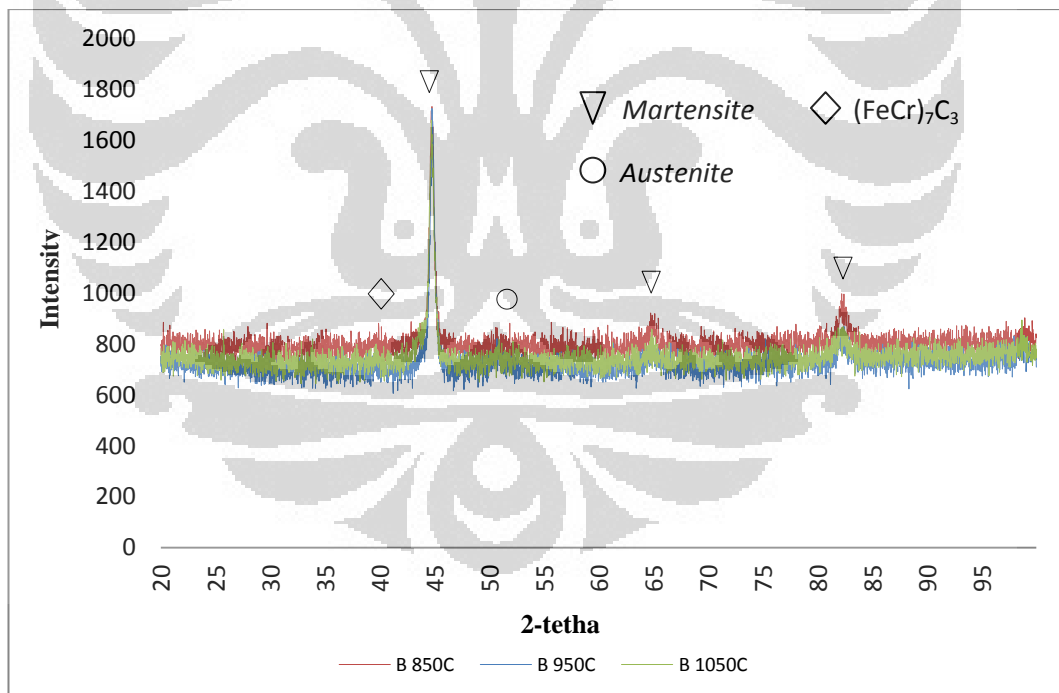
Gambar 4. 12. Hasil XRD *as-cast* sampel A dan B

Keberadaan *retained austenite* tidak dapat direduksi hingga mencapai nilai nol. Oleh karena itu kombinasi yang baik berupa komposisi volume fraksi antara *retained austenite* dan *primary carbide* maupun *secondary carbide* perlu dipelajari untuk menghasilkan *grinding ball* yang memiliki sifat kekerasan dan ketangguhan yang optimum.

Berdasarkan pengamatan XRD sampel A terdapat struktur *martensite* dengan intensitas yang lebih tinggi dibandingkan dengan sampel B, yang apabila dikaitkan dengan nilai kekerasan yang dihasilkan, sampel A dengan kondisi *as-cast* memang menunjukkan nilai kekerasan yang cukup signifikan lebih tinggi dibandingkan dengan sampel B, yakni sebesar 48 HRC dan 38,9 HRC untuk sampel B. Dan bila dilihat dari *peak austenite* sampel B menunjukkan intensitas lebih tinggi dibandingkan sampel A, dikaitkan dengan ketangguhan keadaan tersebut juga sesuai dengan nilai ketangguhan yang didapatkan oleh masing – masing sampel. Sampel B dengan intensitas *austenite* yang lebih tinggi seperti yang ditunjukkan oleh hasil XRD pada gambar 4.12., menunjukkan nilai ketangguhan sebesar 6,43 J/cm² sedangkan sampel A dengan *retained austenite* yang menghasilkan intensitas kecil memberikan nilai ketangguhan sebesar 6,13 J/cm². Kondisi tersebut juga mendukung data nilai kekerasan yang dihasilkan.



Gambar 4. 13. Hasil XRD sampel A



Gambar 4. 14. Hasil XRD sampel B

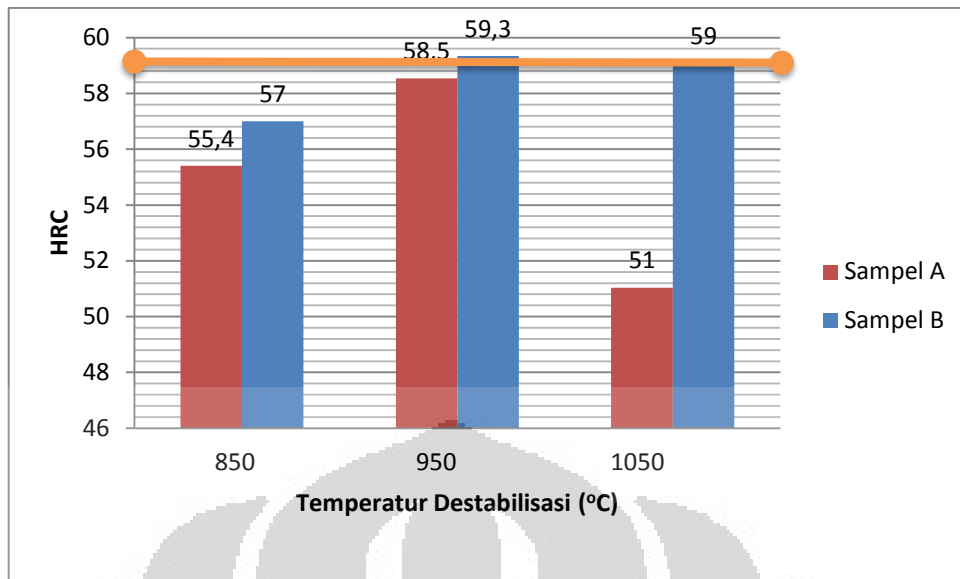
Setelah dilakukan serangkaian perlakuan panas hasil XRD pada sampel A menunjukkan bahwa pada temperatur destablisasi 850°C, *martensite* menunjukkan intensitas tertinggi diikuti oleh destablisasi 1050°C. Pada

temperatur destabilisasi sebesar 850°C walaupun menunjukkan *peak martensite* yang lebih tinggi, namun terlihat *peak austenite* yang lebih tinggi pula dibandingkan temperatur lainnya sehingga hal ini kemungkinan yang menyebabkan nilai kekerasan yang cenderung lebih kecil dibandingkan temperatur destabilisasi lainnya.

Dari hasil analisa XRD pada sampel B menunjukkan bahwa pada temperatur destabilisasi sebesar 1050°C menunjukkan intensitas *austenite* yang paling tinggi, hal tersebut sesuai pula dengan hasil analisa foto SEM (gambar 4.10.), yakni menunjukkan *austenite* dalam jumlah besar pula. Sedangkan pada hasil XRD sampel B dengan temperatur destabilisasi 950°C tidak menunjukkan adanya *peak* yang signifikan pada 2-theta *austenite*, sehingga dapat diduga bahwa hal inilah yang menyebabkan nilai kekerasan yang tinggi pada sampel B dengan temperatur destabilisasi 950°C, yakni sebesar 59,3 HRC.

4.4. Kelayakan Material ASTM A 532 Tipe II A Hasil Penelitian untuk Aplikasi Grinding Ball

Berdasarkan SNI 07-1989-1069 dari keseluruhan material baik A maupun B yang dapat melewati syarat minimum dari nilai kekerasan adalah pada material B dengan temperatur destabilisasi sebesar 950°C dan 1050°C, yang memiliki nilai kekerasan sebesar 59,3 HRC pada temperatur 950°C dan 59 HRC pada 1050°C. Sedangkan untuk sampel A nilai kekerasan tertinggi didapatkan oleh temperatur destabilisasi sebesar 58,5 HRC, dimana memiliki nilai yang terpaut sedikit lebih kecil (0,5 HRC) dengan SNI yang sebesar 59 HRC untuk besi tuang putih. Dilihat dari nilai ketangguhan yang dihasilkan dari keseluruhan sampel, sampel B menghasilkan harga impact terbesar yakni 4,43 J/cm². Berdasarkan Karl Heinz^[22] dan Gobbon Lothongkum^[24], kekerasan memang merupakan faktor utama yang mendukung sebuah material untuk tahan abrasif, tetapi mikrostruktur parameter, seperti karbida, *retained austenite*, dan struktur matriks tetap harus dipertimbangkan.



Gambar 4. 15. Grafik temperatur destabilisasi yang melewati syarat minimum nilai kekerasan HRC besi tuang putih menurut SNI 07-1989-1069

BAB 5

PENUTUP

5.1. Kesimpulan

Berdasarkan data yang diperoleh dari pengujian dan berdasarkan studi literatur dari hasil penelitian ini dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut :

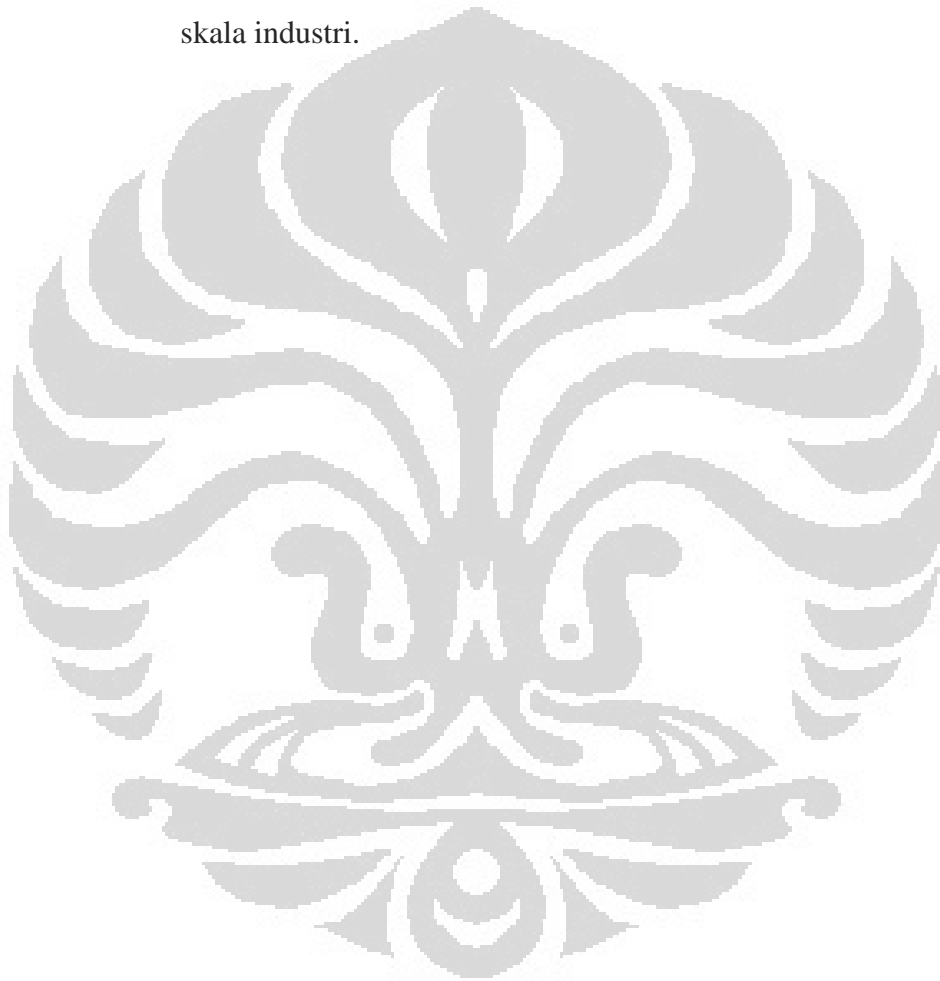
1. Berdasarkan nilai kekerasan yang dihasilkan penambahan *molybdenum* pada material *high chromium white cast iron* (2.18C - 13Cr - 1.38 Mo) memberikan nilai kekerasan yang lebih tinggi dibandingkan material *high chromium white cast iron* (2.23C - 13.3Cr - 0.66 Mo) dari masing - masing perlakuan panas dengan temperatur destablisasi yang berbeda, yang diakibatkan oleh terbentuknya Mo_2C pada material *high chromium white cast iron* (2.18C - 13Cr - 1.38 Mo).
2. Pada material *high chromium white cast iron* (2.23C - 13.3Cr - 0.66 Mo) nilai kekerasan meningkat dan optimum pada temperatur destablisasi 950°C, kemudian menurun pada 1050°C. Nilai kekerasan yang tinggi pada temperatur destablisasi 950°C akibat fraksi volume *secondary carbide* yang tinggi yaitu sebesar 8,25%. Sedangkan menurun pada temperatur destablisasi 1050°C akibat terjadi pelarutan karbon pada fasa *austenite* dengan temperatur yang terlalu tinggi.
3. Pada material *high chromium white cast iron* (2.18C - 13Cr - 1.38 Mo) nilai kekerasan meningkat hingga temperatur destablisasi 950°C, kemudian sedikit menurun pada 1050°C, meskipun pada temperatur destablisasi 950°C memiliki fraksi volume *secondary carbide* yang lebih rendah dibandingkan 850°C, dengan morfologi yang lebih halus maka temperatur 950°C menghasilkan nilai kekerasan yang lebih tinggi.
4. Berdasarkan SNI 07-1069-1989 yang melewati nilai kekerasan minimum yang disyaratkan untuk material *high chromium white cast iron* (2.18C - 13Cr - 1.38 Mo) adalah pada temperatur destablisasi

950°C dan 1050°C, sedangkan untuk material *high chromium white cast iron* (2.23C - 13.3Cr - 0.66 Mo) nilai kekerasan tertinggi yang dihasilkan terpaut kecil dengan syarat minimum yakni 58,5 HRC, sedangkan nilai minimum untuk SNI adalah 59 HRC untuk besi tuang putih.



5.2. Saran

1. Perlu dilakukan pengujian ketahanan aus sehingga dapat menghasilkan data yang lebih representatif dari material besi tuang putih khromium paduan tinggi untuk diaplikasikan sebagai *grinding ball*.
2. Dari beberapa sampel uji yang telah memenuhi kriteria dari SNI 07-1069-1989, perlu dilakukan uji kehandalan dalam *ball mill* unit skala industri.



DAFTAR ACUAN

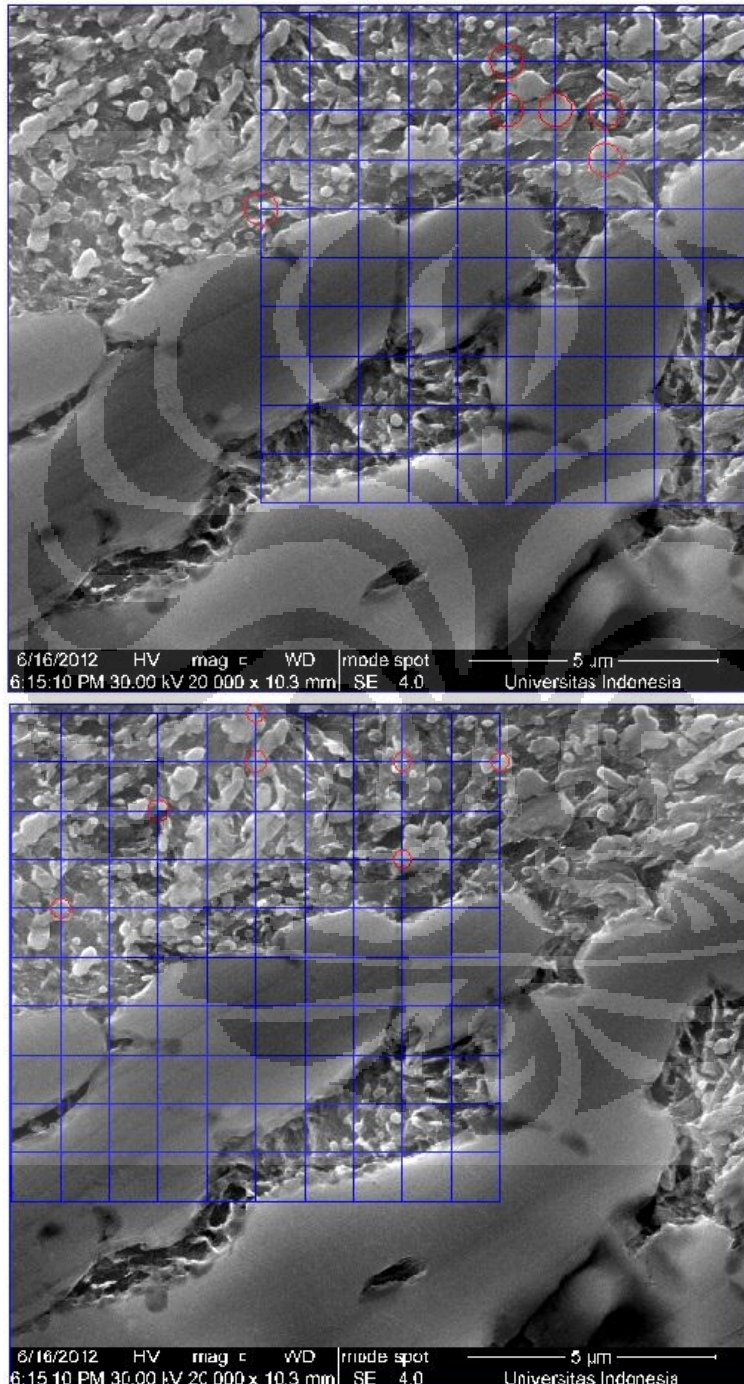
- [1] **A.Wills, B.** *Mineral Processing Technology, An Introduction to the Practical Aspects of Ore Treatment And Mineral Recovery.* 2005.
- [2] **Jiyang, Zhou.** *Colour Metallography of Cast Iron.* 2011.
- [3] **R. S. Smallman, R. J. Bishop.** *Modern Physical Metallurgy & Material Engineering.* 1995.
- [4] **S.D. Carpenter, D.C.** *X-Ray diffraction study of M7C3 carbide within a high chromium white iron.* s.l. : Elsevier, 2003.
- [5] **Wei, L.** *Effect of Microstructure on Impact Fatigue Resistance and Impact Wear Resistance of Medium Cr-Si Cast Iron.* *Iron and Steel Research International.* 2007.
- [6] **A. E. Karantzalıs, A.L., H. Mavros.** *Microstructural Modufications of As Cast High Chromium White Iron by Heat Treatment.* 2008.
- [7] **Da li, L.G.L., Yunkun Zhang, Chunlei Ye, Xuejen Ren, Yulin Yang, Qing Xiang Yang.** *Phase Diagram Calculation of High Chromium Cast Iron and Influence of Its Chemical Composition.* *Material Characterization.* 2005.
- [8] **Richard B. Gundlach, C.R.S.a.D.V.D., Consulting Metallurgist.** *ASM Handbook, Volume 1. Properties and Selection: Irons, Steels, and High Performance Alloys Section: Cast Irons.* 2005.
- [9] **Jean-Pierre Breyer, Gisèle Walmag.** *Metallurgy of High Chromium-Molybdenum White Iron and Steel Rolls .*(n.d)
- [10] **A.E. Karantzalıs, A.L., and E. Diavati.** *Effect of Destabilization Heat Treatments on the Microstructure of High-Chromium Cast Iron: A Microscopy Examination Approach.* s.l. : ASM International, 2008.
- [11] **E. Albertin, A.S.** *Effect of Carbide Fraction and Matrix Microstructure on the Wear of Cast Iron Balls Tested in a Laboratory Ball Mill.* 2001.
- [12] **Chen Xiang, L.i.Y.** *Effect of Heat Treatment on Microstructure and Mechanical Properties of High Boron White Cast Iron.* 2010.
- [13] **A. Wiengmoon, J. T. H. P.** *Relation beetween Microstructure, Hardness and Corrosion resistance in 20%wt Cr, 27wt%Cr and 36wt% Cr High Chromium Cast Irons.* 2011.
- [14] **Pearce, J. T. H.** *High Chromium to Resist Wear.* 1999.

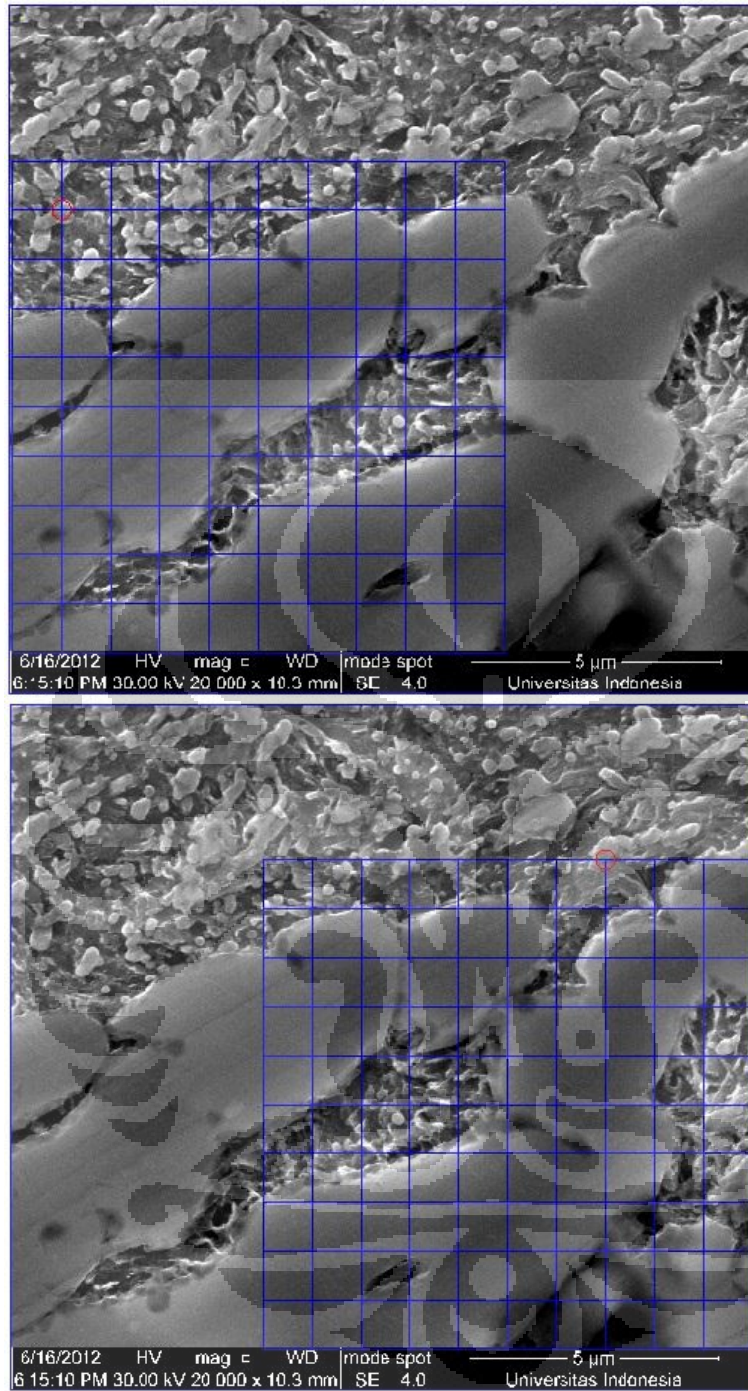
- [15] **Liu Hao-huai, Wang Jun, Yang Hong-shan , Shen Bao-luo.** *Effect of Cryogenic Treatment on Property of 14Cr2Mn2V High Chromium Cast Iron Subjected to Subcritical Treatment.* 2006.
- [16] **Haimbaugh, R.E.** *Practical Induction Heat Treating.* s.l. : ASM International, 2001.
- [17] **A. Bedolla Jacuinde, L.A. B. Hernandez.** *Kinetics of Secondary carbides Precipitation in a High Chromium White Iron.* 2003.
- [18] **Jun wang, C.L., Haohai Liu, Hongshan Yang, Baoluo Shen, Shenji Gao, Sijiu Huang.** *The Precipitation and Transformation of Secondary Carbides in a High Chromium Cast Iron.* 2006.
- [19] **Herring, Daniel H.** *A Discussion of Retained Austenite.*(n.d)
- [20] **D. Callister, William.** *Materials Science and Engineering an Introduction.* New York : Jhon Wiley & Sons, Inc, 2007.
- [21] **Walton, C.F.** *ASM Handbook Volume 4. Introduction of Heat Treating Cast Irons.* Ohio : s.n., 1991.
- [22] **Gahr, Karl Heinz Zum.** *Abrasive Wear of White Cast Iron.* 1979.
- [23] **Jun wang, J.X., Hongyuan Fan, Hong-Shan Yang, Hao-Huai Liu, Baoluo Shen.** *Effect of High Temperature and Cryogenic Treatment on the Microstructure and Abrasion Resistance of A High Chromium Cast Iron.* s.l. : Elsevier, 2009.
- [24] **Gobboon Lothongkum, Natthasit Thaweepornkhasemsukh, Panyawat Wangyao.** *The Effect of Long-Term Thermal Exposure at Elevated Temperatures on Microstructures and Mechanical Properties .* 2006.

LAMPIRAN

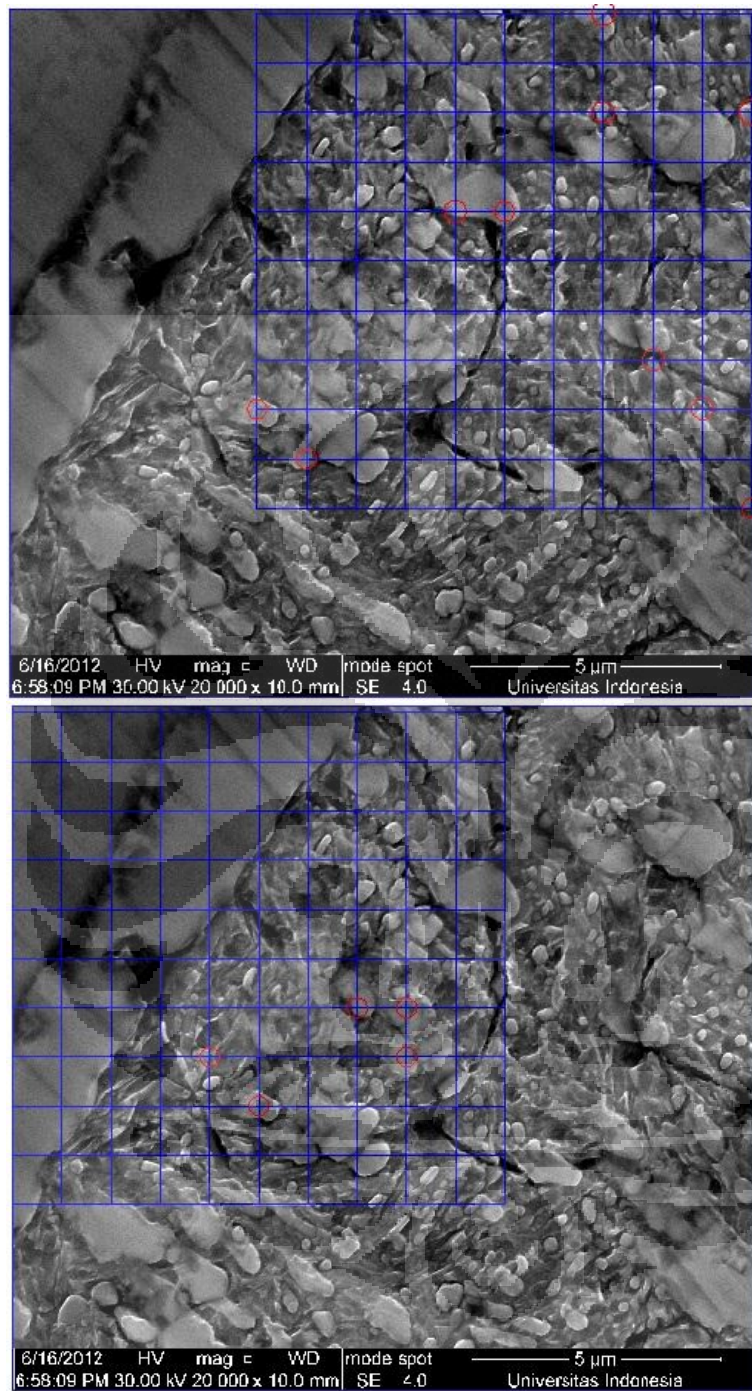
LAMPIRAN 1 Perhitungan *Secondary carbide*

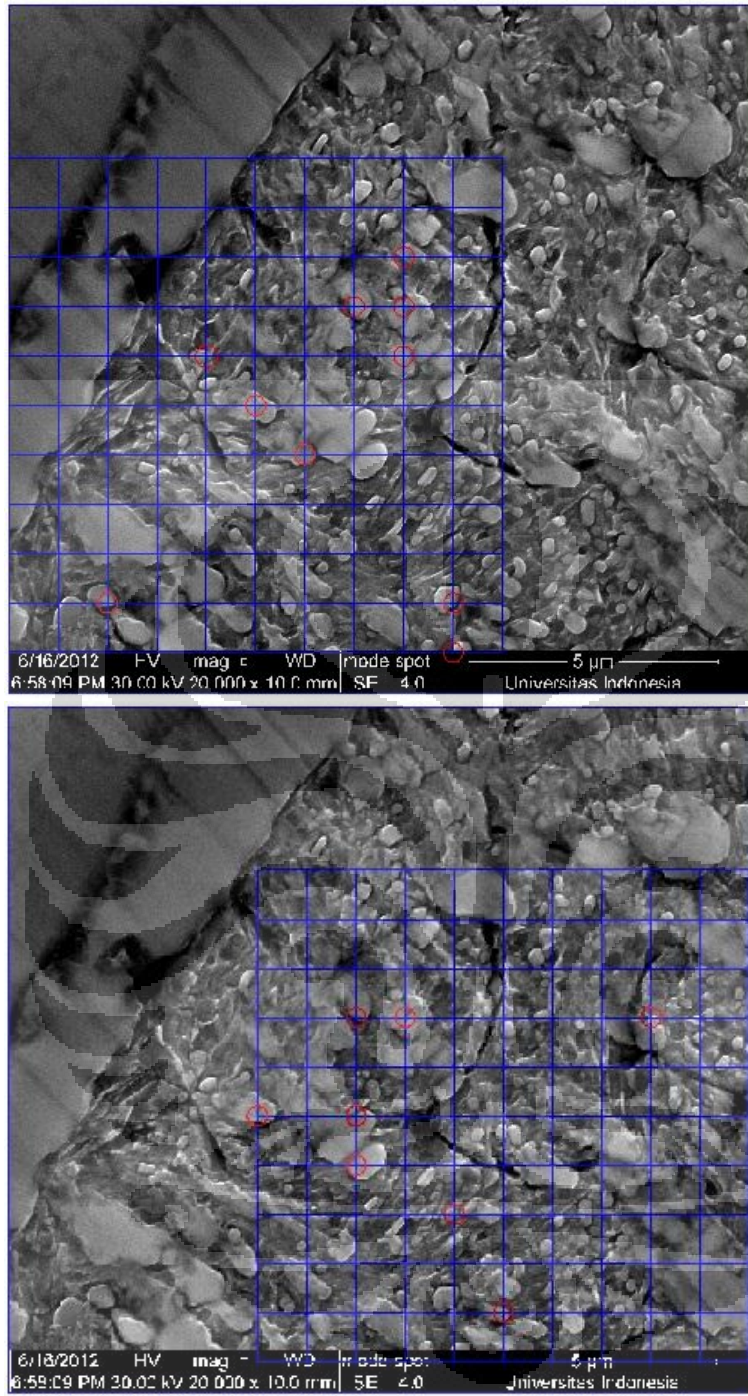
Sampel A dengan temperatur destabilisasi 850°C



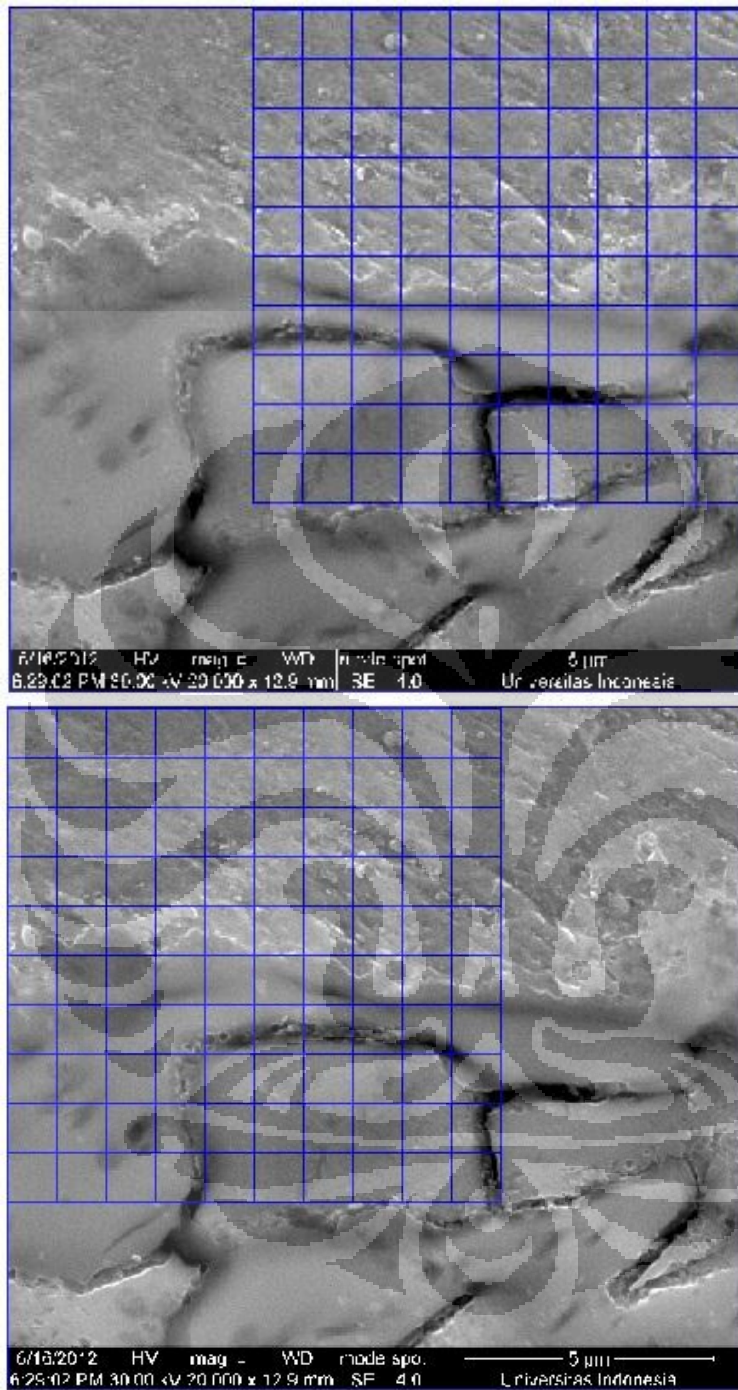


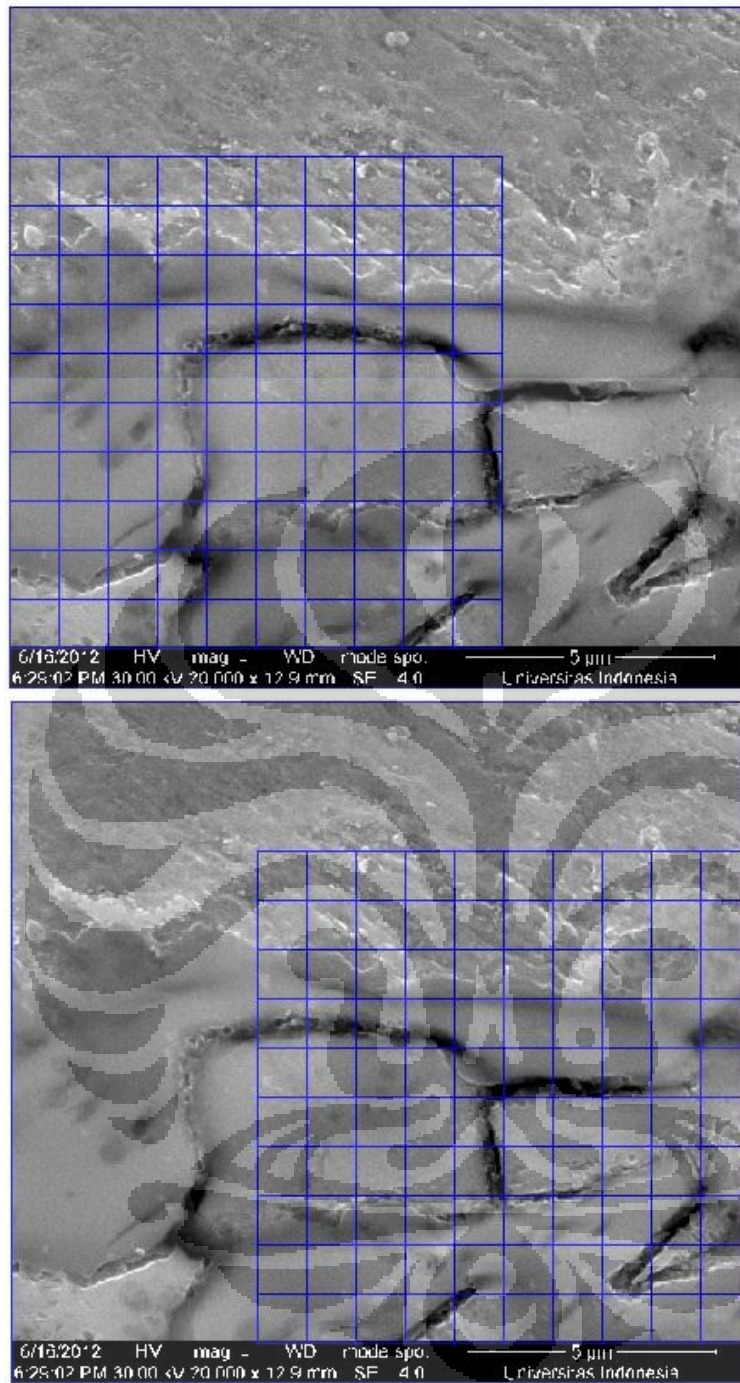
Lokasi	Jumlah Perhitungan (%)
1	6
2	7
3	1
4	1
Rata-rata	3,75

Sampel A dengan temperatur destabilisasi 950°C

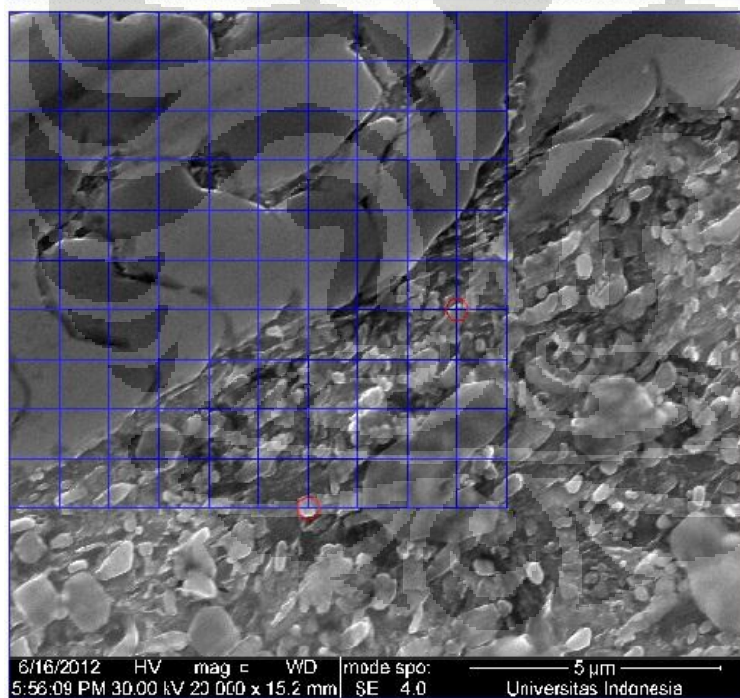
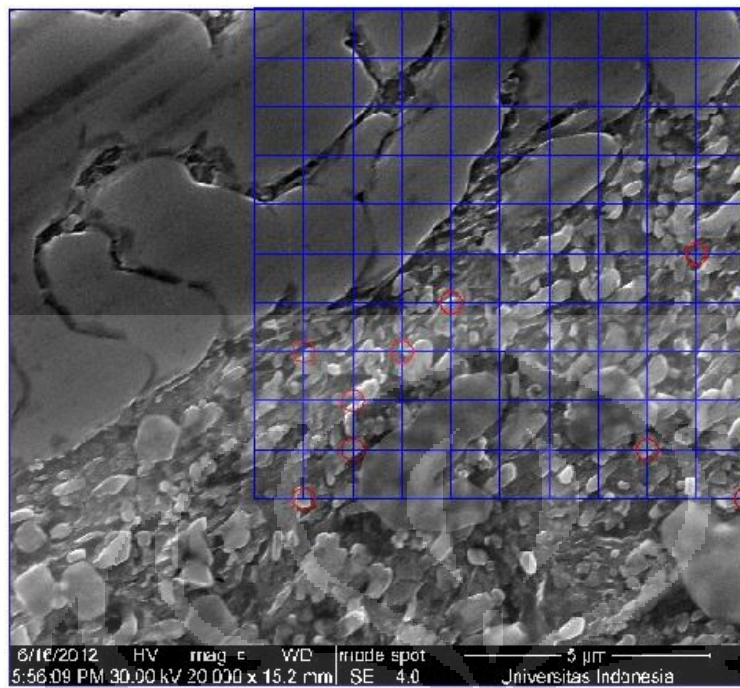


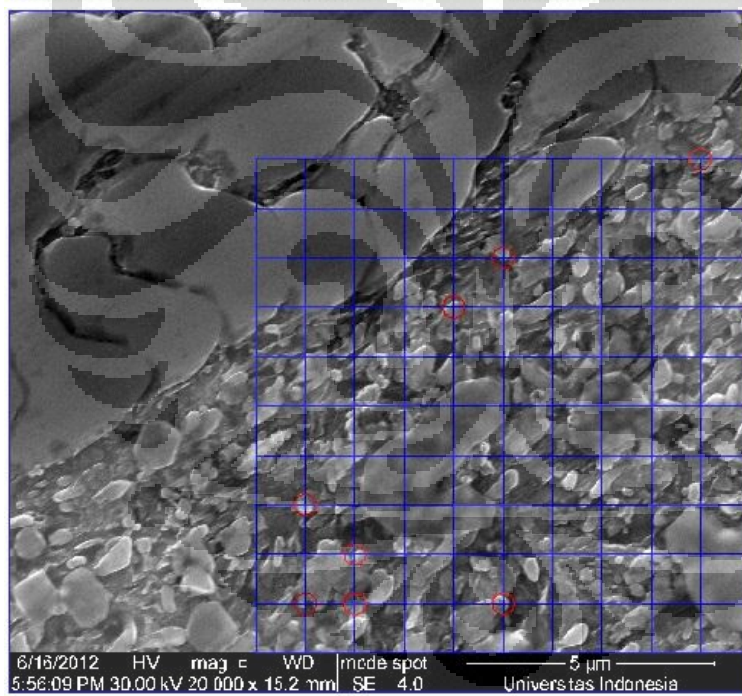
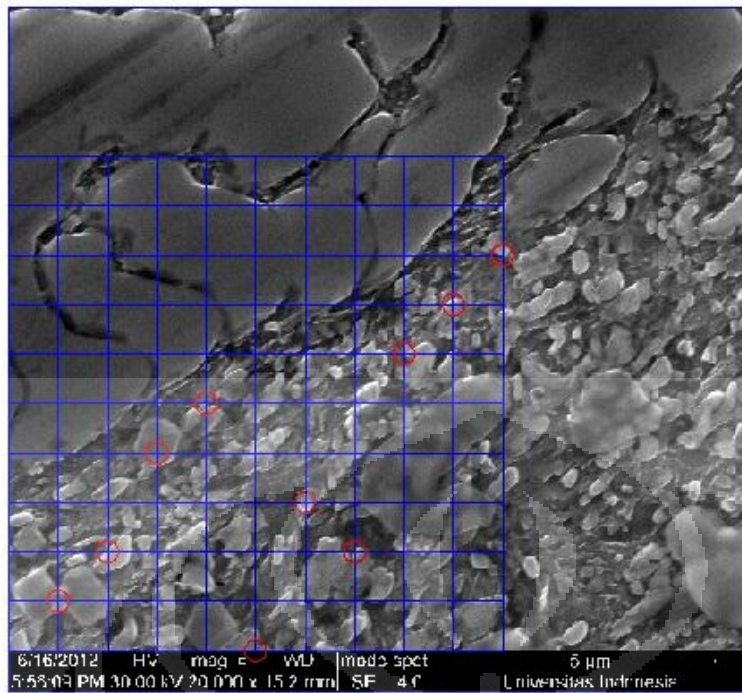
Lokasi	Jumlah Perhitungan (%)
1	10
2	5
3	10
4	8
Rata-rata	8,25

Sampel A dengan temperatur destabilisasi 1050°C

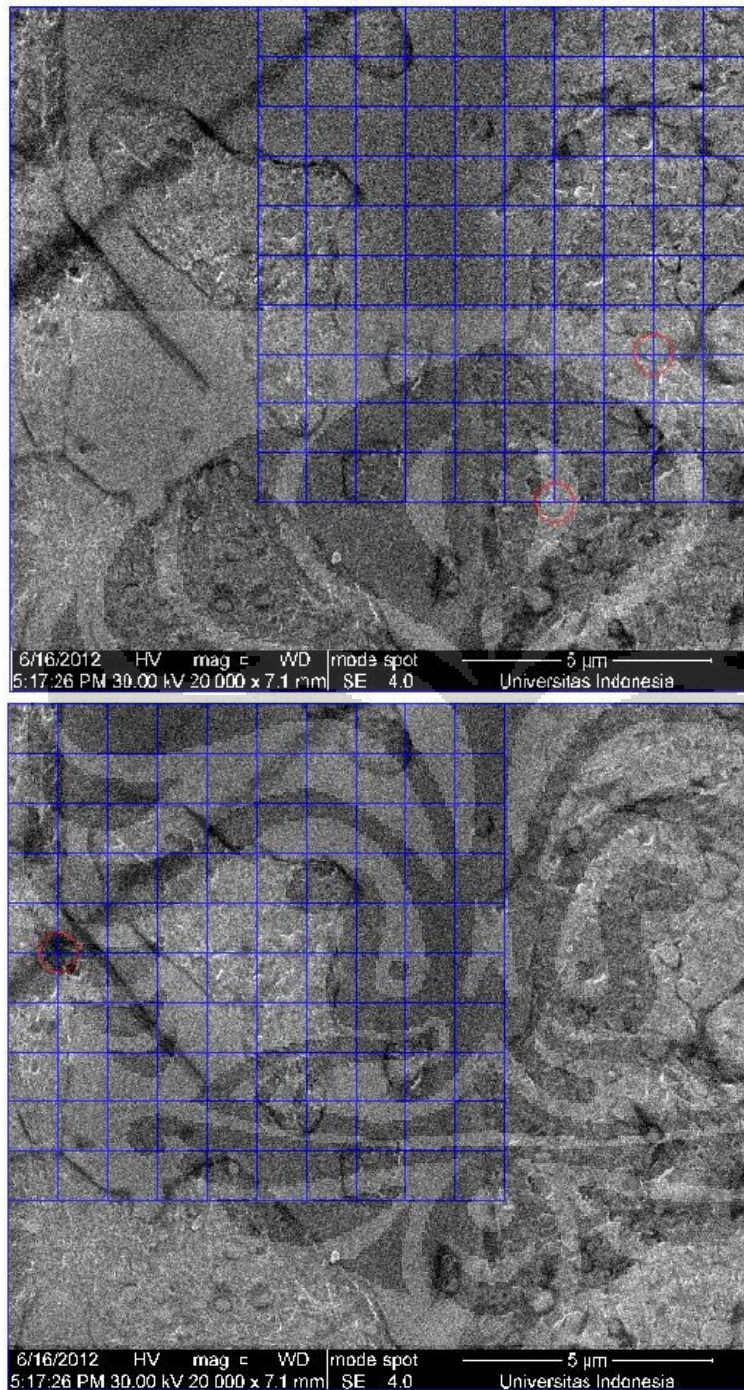


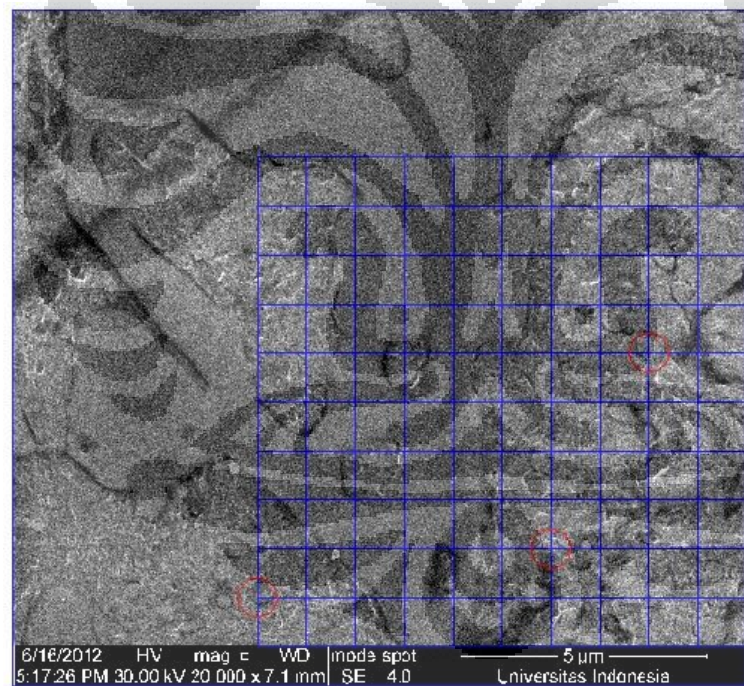
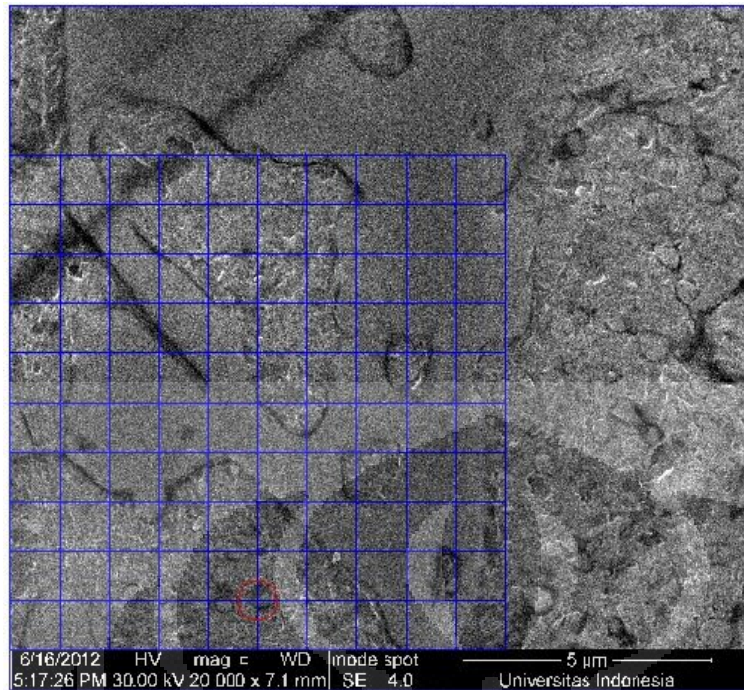
Lokasi	Jumlah Perhitungan (%)
1	0
2	0
3	0
4	0
Rata-rata	0

Sampel B dengan temperatur destabilisasi 850°C

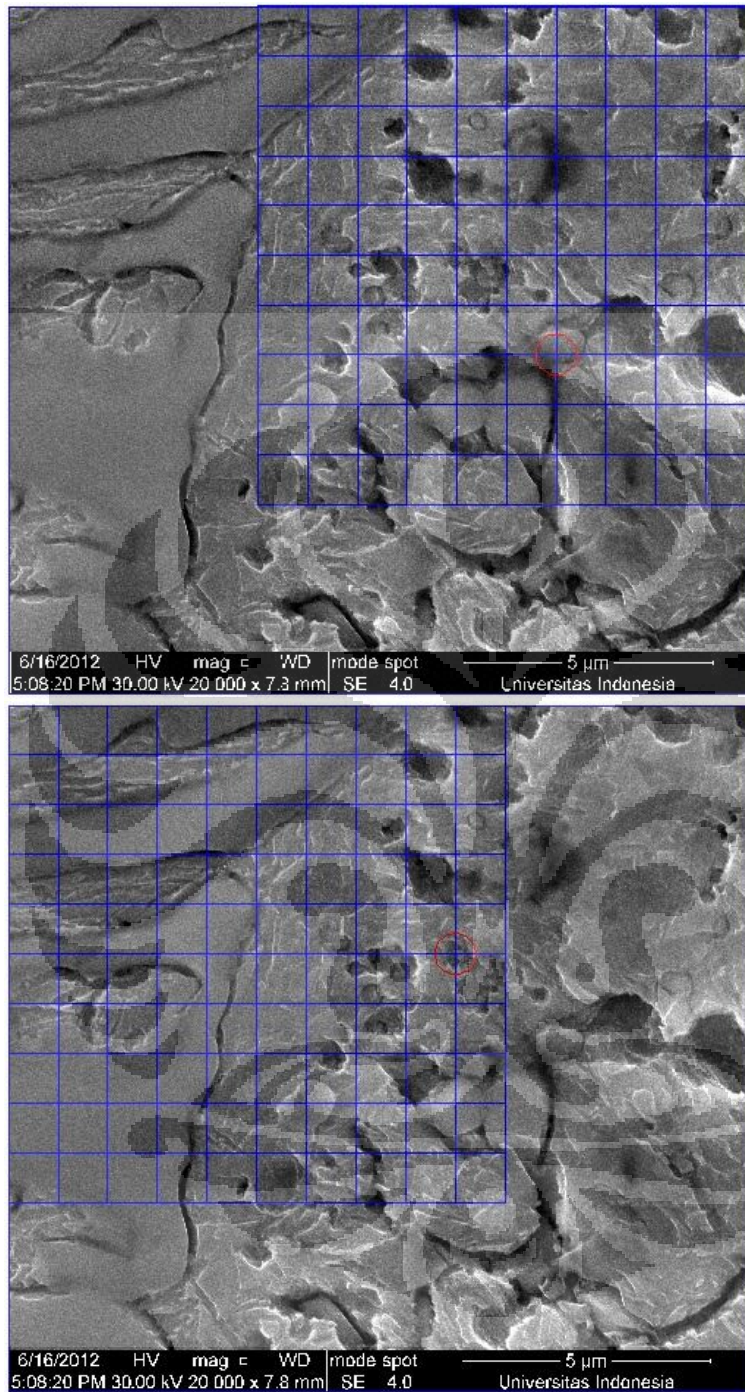


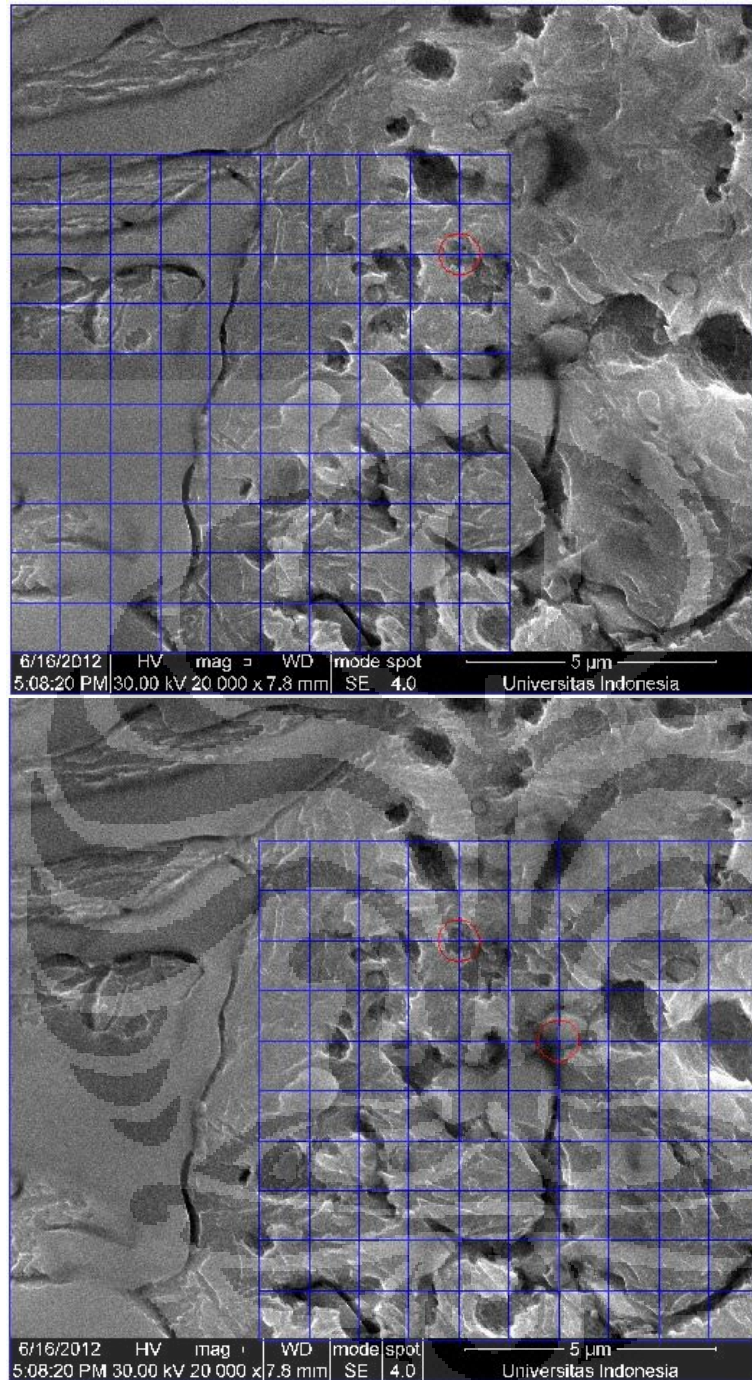
Lokasi	Jumlah Perhitungan (%)
1	9
2	2
3	10
4	8
Rata-rata	7,25

Sampel B dengan temperatur destablilasi 950°C



Lokasi	Jumlah Perhitungan (%)
1	2
2	1
3	1
4	3
Rata-rata	1,75

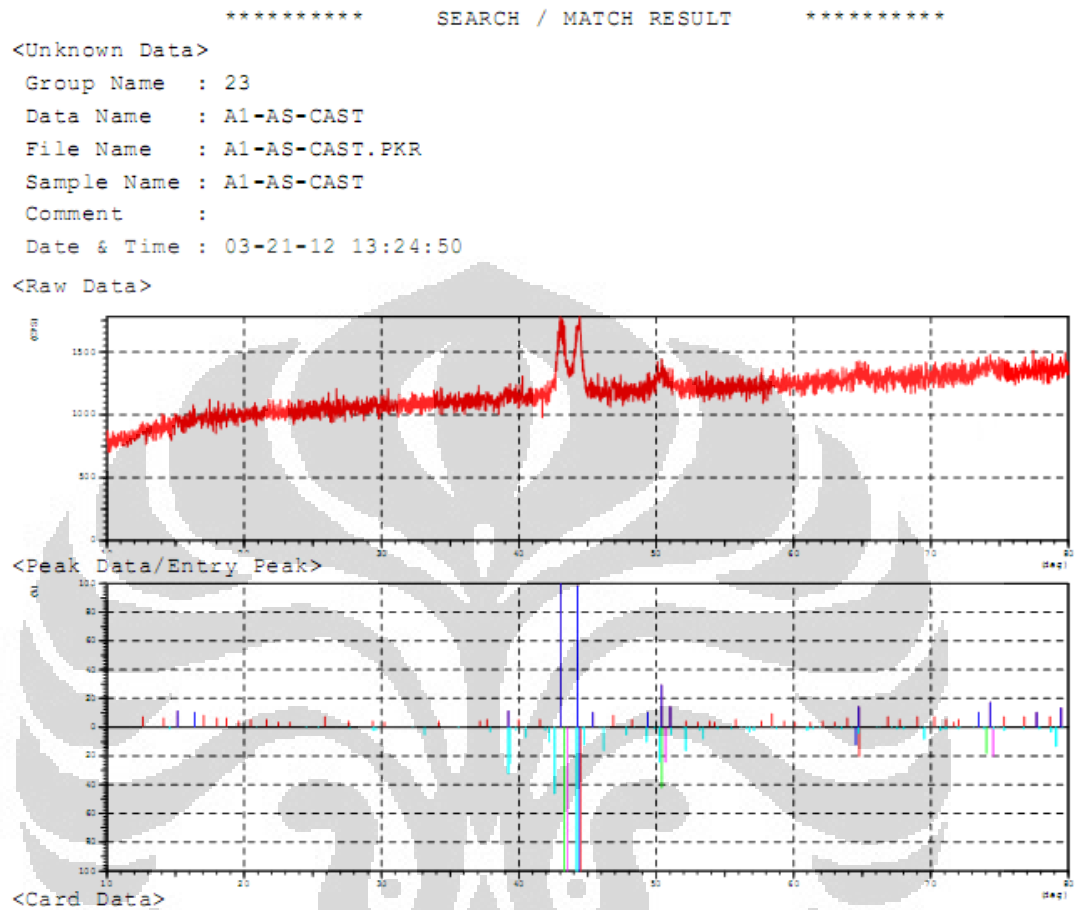
Sampel B dengan temperatur destablilasi 1050°C



Lokasi	Jumlah Perhitungan
1	1
2	1
3	1
4	2
Rata-rata	1,25

LAMPIRAN 2 Data Hasil XRD

Material A kondisi As Cast



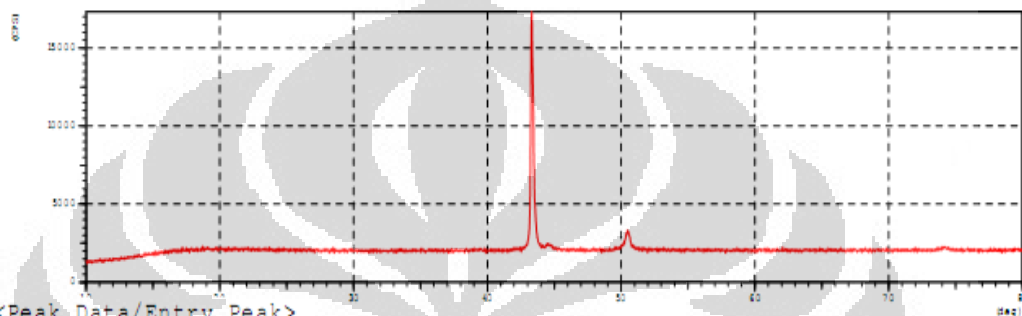
Material B kondisi As Cast

***** SEARCH / MATCH RESULT *****

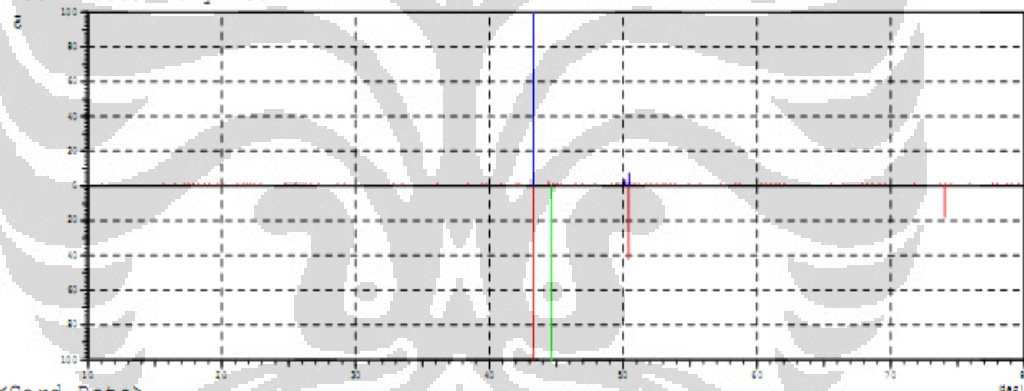
<Unknown Data>

Group Name : 23
Data Name : B1-AS-CAST
File Name : B1-AS-CAST.PKR
Sample Name : B1-AS-CAST
Comment :
Date & Time : 03-21-12 11:26:08

<Raw Data>



<Peak Data/Entry Peak>



<Card Data>

Material A kondisi As Tempered dengan temperatur destabilisasi 850°C

***** SEARCH / MATCH RESULT *****

<Unknown Data>

Group Name : 0610

Data Name : A-AT850-5

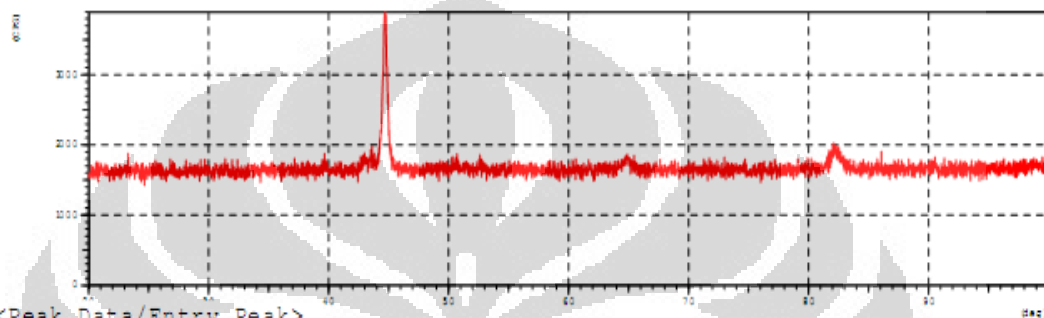
File Name : A-AT850-5.PKR

Sample Name : As Temper 850 5 jam

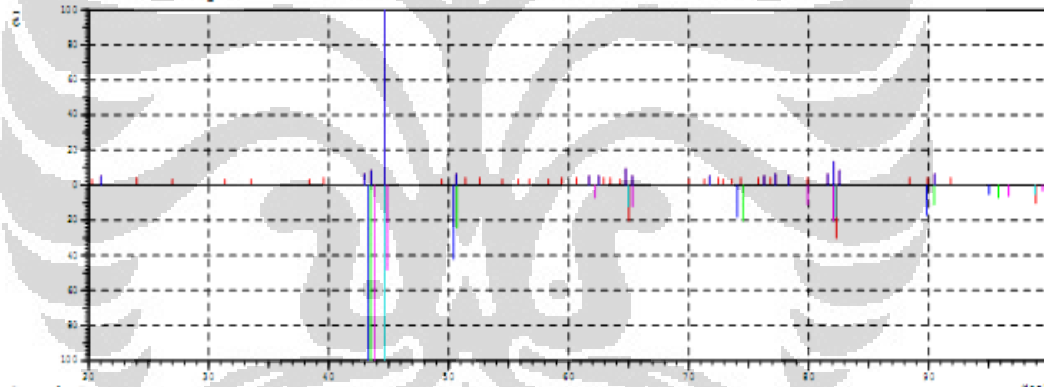
Comment :

Date & Time : 06-14-12 12:38:04

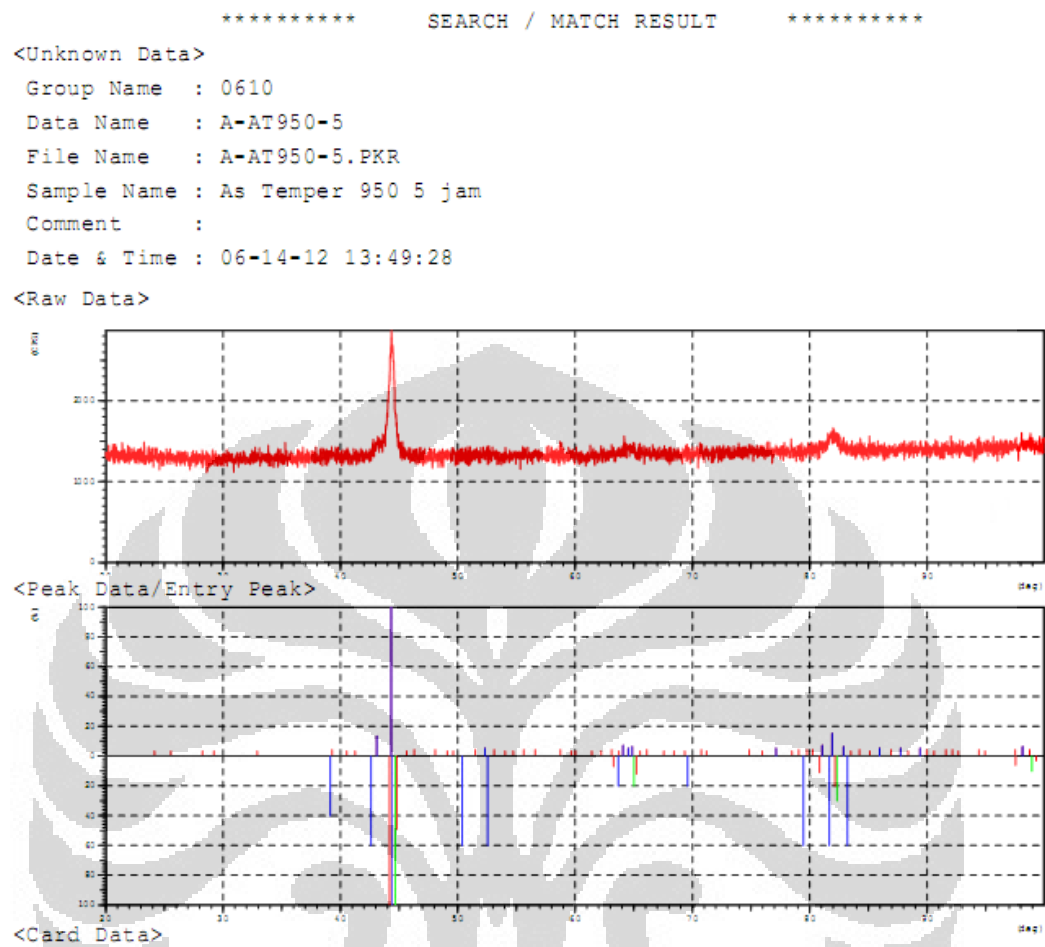
<Raw Data>

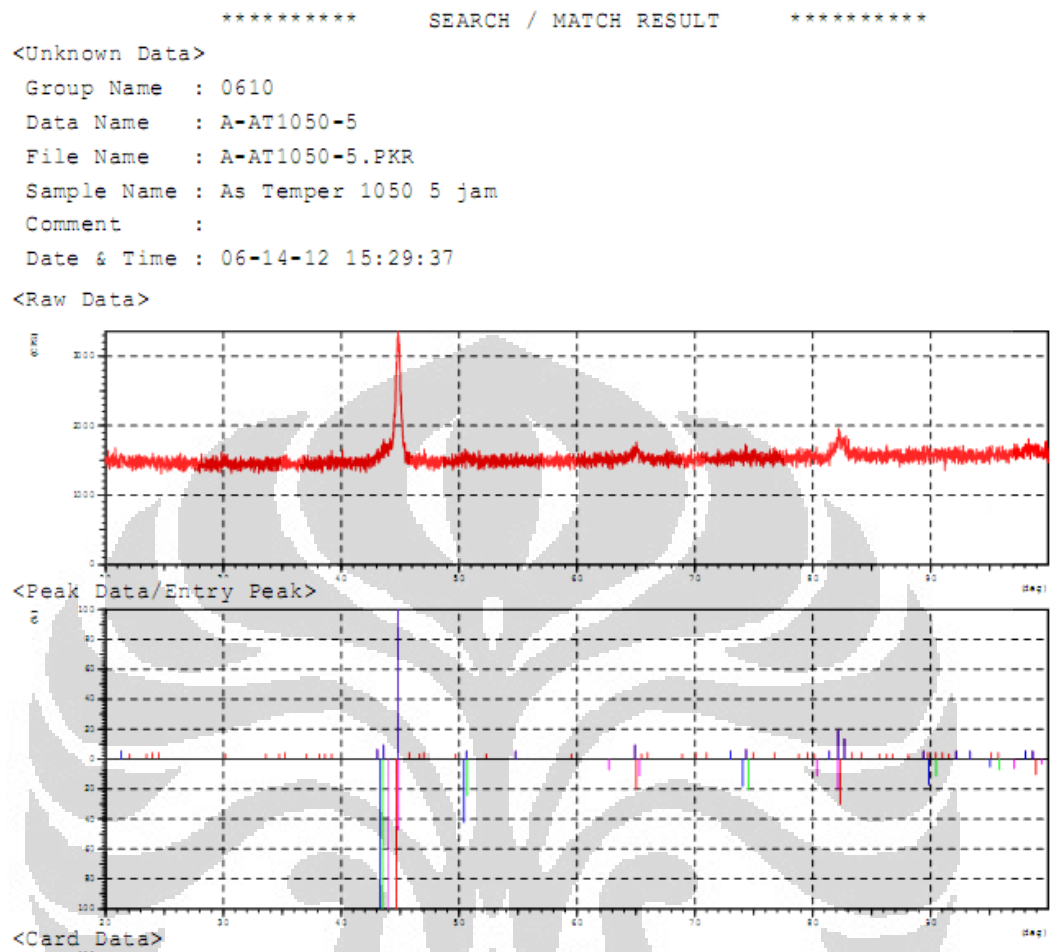


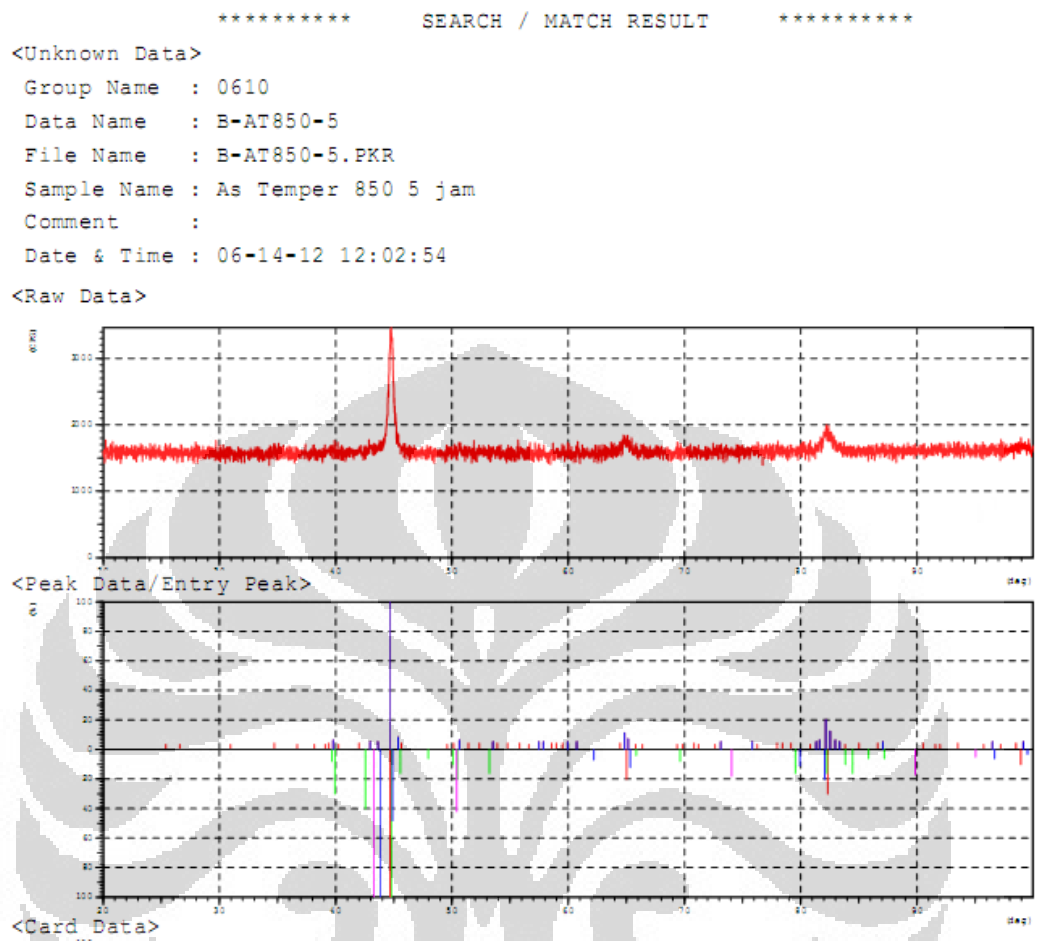
<Peak Data/Entry Peak>



<Card Data>

Material A kondisi As Tempered dengan temperatur destabilisasi 950°C

Material A kondisi As Tempered dengan temperatur destabilisasi 1050°C

Material B kondisi As Tempered dengan temperatur destabilisasi 850°C

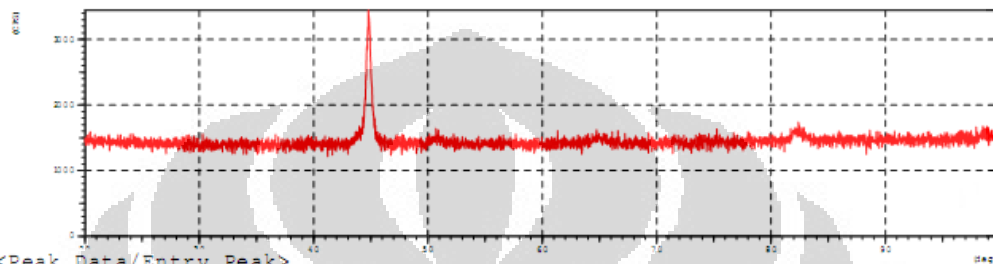
Material B kondisi As Tempered dengan temperatur destabilisasi 950°C

***** SEARCH / MATCH RESULT *****

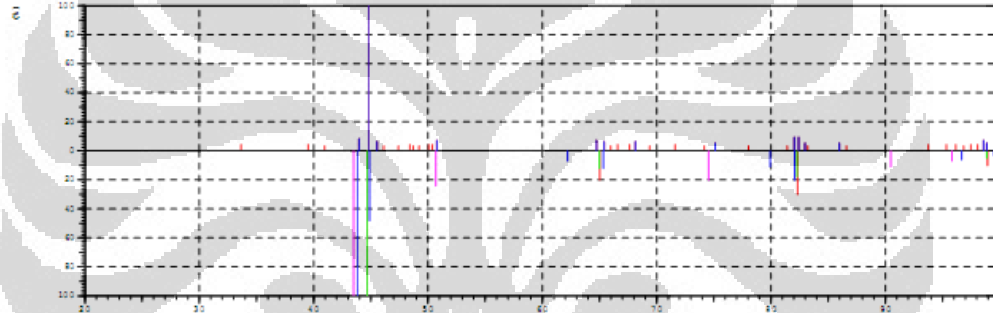
<Unknown Data>

Group Name : 0610
Data Name : B-AT950-5
File Name : B-AT950-5.PKR
Sample Name : As Temper 950 5 jam
Comment :
Date & Time : 06-14-12 09:48:31

<Raw Data>



<Peak Data/Entry Peak>



<Card Data>

Material B kondisi As Tempered dengan temperatur destablisasi 1050°C