

KARAKTERISTIK STRUKTUR MIKRO DAN SIFAT MEKANIK BESI TUANG PUTIH PADUAN KROM TINGGI HASIL *THERMAL HARDENING* UNTUK APLIKASI *GRINDING BALL*

Achmad Shofi, Widi Astuti dan Fajar Nurjaman

UPT Balai Pengolahan Mineral Lampung, LIPI

Jalan Ir. Sutami Km. 15 Tanjung Bintang, Lampung Selatan, 35361

E-mail : ashofi_ceo81@yahoo.com

Masuk tanggal : 23-09-2013, revisi tanggal : 01-11-2013, diterima untuk diterbitkan tanggal : 18-11-2013

Intisari

KARAKTERISTIK STRUKTUR MIKRO DAN SIFAT MEKANIK BESI TUANG PUTIH PADUAN KROM TINGGI HASIL *THERMAL HARDENING* UNTUK APLIKASI *GRINDING BALL*. ASTM A532 Type II-A adalah jenis material besi tuang putih paduan krom tinggi (*high chromium white cast iron*), dengan kandungan karbon 2,3% dan krom lebih dari 13,3%. Umumnya ASTM A532 Type II-A banyak digunakan sebagai *grinding ball*. Pada studi penelitian ini, proses perlakuan panas berupa *thermal hardening* dilakukan terhadap material ASTM A532 Type II-A untuk meningkatkan nilai kekerasannya. Proses *quenching* menggunakan dua buah media *quenching* yang berbeda, yaitu oli dan udara paksa (udara ditiupkan secara langsung dari *fan*), sedangkan proses *tempering* dilakukan pada temperatur yang bervariasi yaitu 250 °C, 300 °C, dan 350 °C. Hasil proses *thermal hardening* kemudian diuji keras, metalografi dengan OM (*optical microscopy*), SEM (*scanning electron microscopy*) dan XRD (*X-ray diffraction*). Harga kekerasan optimum dari besi tuang putih paduan krom tinggi (ASTM A532 Type II-A) adalah sebesar 723 BHN, yang dihasilkan dari proses *thermal hardening* dengan media *quenching* oli pada temperatur *tempering* 300 °C. Tingginya harga kekerasan yang dihasilkan dari proses tersebut adalah akibat terbentuknya fasa martensit temper dan tersebarinya karbida krom dalam jumlah besar (volume fraksi tinggi).

Kata kunci : Thermal hardening, Karakteristik struktur mikro, Sifat mekanik, Besi tuang putih paduan krom tinggi, Grinding ball

Abstract

MICROSTRUCTURE CHARACTERISTIC AND MECHANICAL PROPERTIES OF THERMAL HARDENED OF HIGH CHROMIUM WHITE CAST IRON FOR GRINDING BALL APPLICATION. ASTM A532 Type II-A is a high chromium white cast iron with carbon content 2.3% and chromium more than 13.3%. This material is widely used as a grinding ball. In this study, heat treatment process which is thermal hardened, was conducted to increase the hardness of this material. Quenching process used two kind of quench media, such as oil and forced air (which was blown directly from fan), while the tempering process was conducted with various temperatures, 250 °C, 300 °C, and 350 °C. After thermal hardening process, material was characterized by hardness testing, metallography by OM (*optical microscopy*) and SEM (*scanning electron microscopy*), and XRD (*X-ray diffraction*). The optimum hardness value is 723 BHN resulted from thermal hardening process at 300 °C. Higher hardness value was obtained due to form of tempered martensite and numerous of chrom carbide disperse in this material.

Keywords : Thermal hardening, Microstructure, Mechanical properties, High chromium white cast iron, Grinding ball

PENDAHULUAN

Industri semen merupakan salah satu sektor industri di Indonesia yang cukup pesat kemajuannya. Dalam

perkembangannya, industri semen masih memiliki kendala dalam penyediaan salah satu komponen penggerusnya, yaitu berupa *grinding ball* dalam mesin *ball mill*. Hingga saat ini kebutuhan industri semen

terhadap *grinding ball* masih sepenuhnya bergantung pada produk *grinding ball* impor^[1]. Untuk mengatasi hal tersebut perlu adanya suatu terobosan dengan melakukan penelitian terhadap salah satu jenis material yang memenuhi standar untuk dijadikan material *grinding ball*, dimana diharapkan nantinya akan diperoleh produk *grinding ball* lokal yang memiliki kualitas yang tidak kalah atau bahkan lebih baik dari produk impor. Kualitas *grinding ball* menjadi penting dalam industri semen karena apabila terjadi kegagalan dini maka akan berdampak pada berkurangnya kapasitas produksi akibat tidak beroperasinya mesin *ball mill* dikarenakan proses penggantian *grinding ball*, dan hal tersebut akan menyebabkan biaya operasional yang harus dikeluarkan menjadi sangat mahal^[2].

Material *grinding ball* memiliki persyaratan berupa nilai kekerasan yang tinggi serta ketahanan aus yang baik^[3]. Berdasarkan spesifikasi *grinding ball* menurut SNI-1069, material *grinding ball* yang terbuat dari material besi tuang paduan krom tinggi memiliki kekerasan tertinggi sebesar 600 BHN/59 HRC^[4].

Besi tuang putih paduan krom tinggi atau ASTM A532 Type II-A adalah jenis material dengan kandungan karbon 2,23% dan krom lebih dari 13,3%. Tingginya nilai kekerasan tersebut diakibatkan oleh keberadaan unsur krom dan beberapa unsur penyertanya, seperti nikel dan molibdenum. Keberadaan unsur krom pada besi tuang putih paduan krom tinggi berperan sebagai penghalang terbentuknya grafit pada material besi tuang putih (*white cast iron*), selain itu unsur krom merupakan salah satu unsur pembentuk karbida yang cukup kuat, dimana unsur-unsur pembentuk karbida umumnya akan memberikan sifat kekerasan yang tinggi^[5], dan memberikan ketahanan aus yang sangat baik, terutama dalam penggunaannya sebagai material *grinding ball* dalam *ball mill unit*^[6]. *Grinding ball* dengan material besi tuang putih paduan krom tinggi akan memberikan ketahanan aus yang lebih baik

jika dibandingkan dengan material *low alloy steel* (baja paduan rendah)^[7].

Perlakuan panas (*heat treatment*) berupa pengerasan secara *thermal hardening* pada besi tuang bertujuan untuk meningkatkan sifat-sifat mekanik dari material tersebut, diantaranya nilai kekerasan dan ketahanan aus^[8]. *Thermal hardening* dilakukan dengan memanaskan benda kerja sampai dengan temperatur austenit, dilanjutkan dengan pendinginan secara cepat (*quenching*). Tingginya nilai kekerasan akibat proses *thermal hardening* akan meningkatkan kekerasan dari besi tuang putih. Hal ini diakibatkan terjadinya perubahan struktur mikro dari struktur yang bersifat lunak (ferit dan austenit) menjadi struktur yang bersifat keras (martensit)^[9].

Saat ini beberapa penelitian terkait teknologi proses yang menghasilkan paduan logam untuk aplikasi *grinding ball* lebih menitikberatkan pada penambahan unsur paduan pembentuk karbida, seperti penambahan unsur molibdenum, vanadium dan boron pada besi paduan krom tinggi untuk meningkatkan nilai kekerasan dan ketahanan aus *grinding ball*^[10-11], namun penambahan unsur paduan tersebut akan berdampak pada mahalannya harga jual produk *grinding ball*. Oleh karena itu perlu dikembangkan suatu metode perlakuan panas *thermal hardening* untuk memperoleh sifat-sifat mekanik yang optimal dari material tersebut tanpa adanya penambahan unsur-unsur paduan pembentuk karbida (molibdenum, vanadium dan boron).

Dalam penelitian ini akan dilakukan optimasi terhadap nilai kekerasan dari besi tuang paduan krom tinggi tanpa penambahan unsur paduan pembentuk karbida. Pengaruh perlakuan panas (*heat treatment*) berupa *thermal hardening*, dengan variasi media *quench* berupa oli dan udara paksa (yang ditiupkan dengan menggunakan *fan*) serta variasi suhu *tempering* akan dipelajari dalam penelitian ini. Material hasil proses kemudian akan dikarakterisasi dengan metalografi

menggunakan SEM (*scanning electron microscopy*) dan OM (*optical microscopy*), serta uji keras.

PROSEDUR PERCOBAAN

Dalam penelitian ini, komposisi kimia material besi tuang putih paduan krom tinggi (ASTM A532 Type II-A) ditunjukkan pada Tabel 1. Sampel material tersebut dibuat dengan cara melebur *scrap* besi dan baja, serta material paduan (*ferro chrom*) dalam tungku induksi menjadi *ingot* berukuran Ø 30 mm x 10 mm. Analisis komposisi kimia dan struktur mikro, serta uji kekerasan dilakukan terhadap *raw material* tersebut. Selanjutnya dilakukan proses *thermal hardening* terhadap raw material ASTM A532 Type-IIA berupa pemanasan awal hingga temperatur pemanasan 650 °C dan ditahan selama 30 menit, kemudian pemanasan dilanjutkan sampai dengan temperatur austenit 950 °C dan ditahan selama 5 jam menggunakan *muffle furnace*. Proses pendinginan secara cepat dilakukan terhadap material tersebut dengan menggunakan dua buah media *quenching* yang berbeda, yaitu oli dan udara paksa (yang ditiupkan dengan menggunakan *fan*). Setelah itu dilakukan proses *tempering* pada tiga temperatur yang berbeda, yaitu 250 °C, 300 °C, dan 350 °C dengan waktu penahanan selama 1 jam, dan dilanjutkan dengan pendinginan secara lambat dalam udara terbuka. Analisis struktur mikro, identifikasi fasa, uji kekerasan, serta volume karbida dilakukan terhadap material hasil *thermal hardening* tersebut. Diagram alir penelitian ini dapat dilihat pada Gambar 1.

Pengujian kekerasan dilakukan dengan menggunakan alat uji keras *Brinell* (ASTM E-10) sebanyak lima titik indentasi dan diambil harga kekerasan rata-rata, dimana nilai kekerasan tiap sampel diperoleh dari harga kekerasan rata-rata terhadap lima titik indentasi. Metalografi dilakukan dengan menggunakan mikroskop optik (OM) dan SEM (*secondary electron*

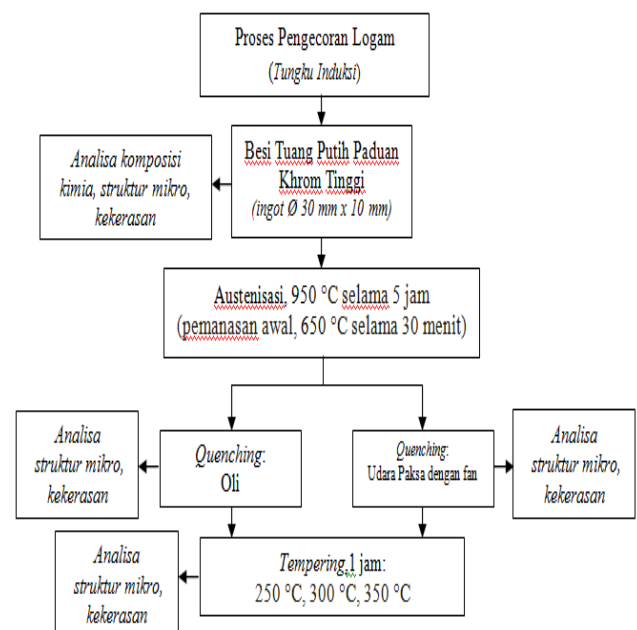
microscopy). Identifikasi fasa dalam sampel hasil *thermal hardening* dilakukan dengan alat uji XRD (*x-ray diffraction*).

Volume karbida dihitung dengan menggunakan metode titik^[12] sesuai dengan persamaan (1), dimana A adalah jumlah karbida yang terkena tepat pada titik uji; B adalah jumlah karbida yang menyinggung titik uji; Po adalah jumlah titik uji. Dalam penghitungan volume karbida digunakan 100 titik/*grid* (10x10 *grid*). Penghitungan volume karbida dilakukan pada hasil metalografi dan dilakukan pada tiga area yang berbeda dalam satu foto struktur. Volume karbida adalah nilai rata-rata dari tiga buah lokasi yang dihitung. Ilustrasi metode perhitungan kuantitatif dengan metode titik dapat dilihat pada Gambar 2 dengan menggunakan 36 titik *grid* (6 x 6 *grid*).

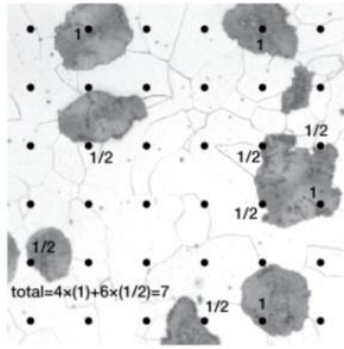
$$\% \text{ Vol. Karbida} = \frac{(A \times 1) + (B \times 0.5)}{P_o} \times 100\%$$

Tabel 1. Komposisi kimia *ingot* sampel besi tuang putih paduan krom tinggi (ASTM A532 Type II-A)

Komposisi	C	Cr	Mn	Si	Ni	P	S	Mo	Cu
Kandungan (%)	2,23	13,3	0,71	0,77	0,46	0,35	0,12	0,06	0,05



Gambar 1. Diagram alir penelitian untuk mengetahui karakteristik besi tuang putih paduan krom tinggi



Gambar 2. Ilustrasi penghitungan volume fraksi karbida dengan metode titik^[10]

HASIL DAN PEMBAHASAN

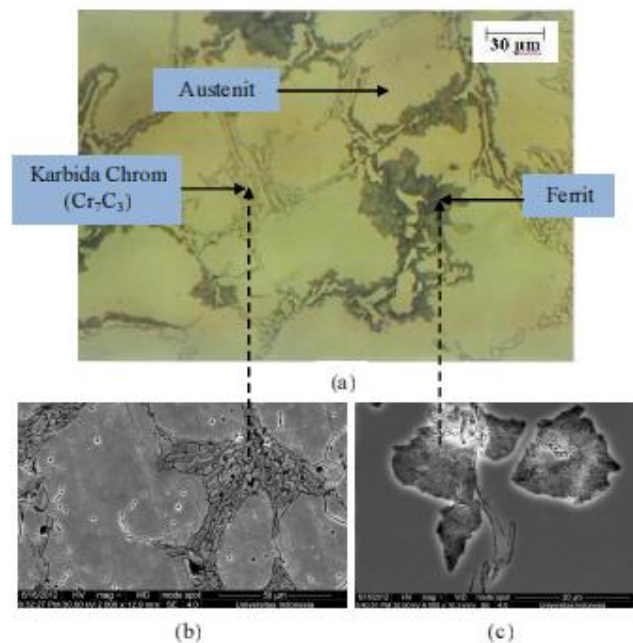
Harga kekerasan material besi tuang putih paduan krom tinggi (ASTM A532 Type II-A) ditunjukkan pada Tabel 2, dimana pada kondisi *as-cast* harga kekerasan adalah 410 BHN. Struktur yang terbentuk pada material *as-cast* berupa matriks austenit, ferit, dan karbida krom sepanjang batas butir austenit, seperti tampak pada Gambar 3(a). Tingginya nilai kekerasan material ASTM A532 Type II-A pada kondisi *as-cast* ini diakibatkan oleh adanya struktur karbida krom. Dalam referensi, harga kekerasan karbida krom adalah berkisar 1365-1620 BHN, dimana nilai kekerasan lebih tinggi dibandingkan dengan karbida sementit (Fe_3C), yaitu 925-1100 BHN pada besi tuang putih tanpa paduan^[13].

Dari hasil foto struktur mikro pada besi tuang putih paduan krom tinggi dengan SEM (Gambar 3b) tampak bahwa karbida krom memiliki struktur berlapis-lapis (*lamellar*) dan berukuran sangat halus (*fine*). Struktur *lamellar* halus memiliki ketangguhan yang lebih baik jika dibandingkan dengan karbida yang memiliki struktur *massive* dan kasar (*coarse*), seperti halnya karbida sementit (Fe_3C)^[14].

Gambar 4 menunjukkan puncak-puncak hasil pengujian XRD pada material besi tuang putih paduan krom tinggi hasil cor (*as-cast*) dan material hasil proses *thermal hardening*.

Tabel 2. Nilai kekerasan besi tuang putih paduan krom tinggi (ASTM A532 type II-A) pada berbagai media *quench* dan variasi temperatur tempering.

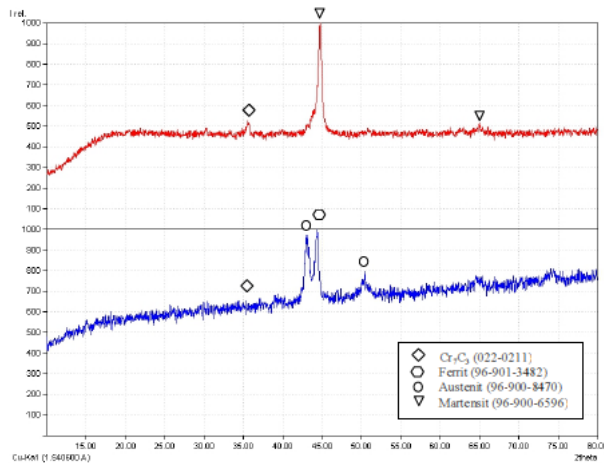
Jenis Perlakuan	Kekerasan Rerata (BHN)	
	Oli	Udara Paksa
As-Cast	410	
Media Quenched	Oli	Udara Paksa
As-Quenched	660	619
Tempering, 250 °C	688	642
Tempering, 300 °C	723	603
Tempering, 350 °C	690	566



Gambar 3. Struktur mikro sampel material besi tuang putih paduan krom tinggi (ASTM A532 Type II-A); (a) Foto dengan OM pada kondisi *as-cast*, (b) Foto SEM struktur karbida krom (Cr_7C_3), (c) Foto SEM struktur ferit. Etsa Nital 3%

Dari hasil analisa XRD pada Gambar 4(a), teramati bahwa pada material *as cast*, puncak-puncak tersebut menunjukkan adanya fasa-fasa austenit, ferit, dan karbida krom, yaitu Cr_7C_3 . Keberadaan karbida krom (Cr_7C_3), pada material besi tuang putih paduan krom tinggi dalam percobaan ini, juga diperkuat oleh hasil penelitian *Da Li, et al.*^[15], yang menyatakan bahwa pembentukan senyawa Cr_7C_3 lebih stabil dibandingkan dengan Cr_{23}C_6 untuk material besi tuang putih paduan krom tinggi dengan komposisi 2-2,5 %C dan 10-15%Cr. Dari hasil analisa XRD pada Gambar 4(b), setelah proses *thermal*

hardening, tampak struktur yang terbentuk adalah martensit dan karbida krom (Cr_7C_3). Tampak pula dari hasil analisa XRD di atas terjadi kenaikan intensitas karbida krom setelah dilakukan proses *quenching*. Hal tersebut diakibatkan oleh unsur krom yang terlarut dalam austenit pada kondisi *as-cast* bereaksi dengan karbon pada temperatur austenisasi, menyebabkan terjadinya pembentukan karbida krom baru (Cr_7C_3) atau karbida sekunder^[14].



Gambar 4. Hasil analisa XRD material besi tuang putih paduan krom tinggi (ASTM A532 Type-IIA): (a) Pada kondisi *as-cast*, (b) *As-quenched*, dengan media *quench* udara paksa (fan)

Pengaruh Variasi Temperatur Tempering dengan Media *Quench* Oli

Pada proses *thermal hardening-temper* dengan berbagai variasi temperatur *tempering*, seperti tampak pada Tabel 2, bahwa material ASTM A532 Type II-A dengan media *quench oli* memiliki nilai kekerasan optimal sebesar 723 BHN, yang diperoleh pada temperatur *tempering* 300 °C.

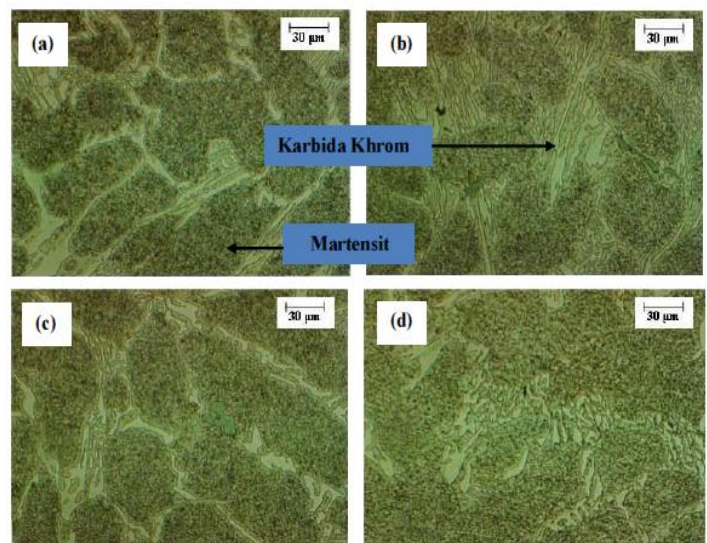
Dari Tabel 3 ditunjukkan bahwa volume karbida khom (Cr_7C_3) dari besi tuang putih paduan krom tinggi pada temperatur *tempering* 250 °C memiliki volume karbida krom sedikit lebih besar dibandingkan pada temperatur *tempering* 300 °C, namun memiliki struktur karbida krom yang lebih kasar (*coarse*), seperti tampak pada Gambar 5, dimana struktur karbida krom pada temperatur *tempering*

300 °C memiliki struktur yang lebih halus, jika dibandingkan dengan temperatur *tempering* 250 °C dan 350 °C.

Struktur karbida krom kasar cenderung akan berdampak negatif terhadap sifat mekanik material logam. Pada besi tuang putih paduan krom tinggi, struktur karbida halus dalam matriks akan memberikan kombinasi yang sangat baik antara kekerasan dan ketangguhan jika dibandingkan dengan struktur karbida kasar^[16]. Sifat kombinasi yang baik antara kekerasan dan ketangguhan menjadi faktor utama dari material besi tuang putih paduan krom tinggi (ASTM A532 Type II-A) untuk aplikasinya sebagai *grinding ball*, dikarenakan tingginya beban impact dan gesek pada saat *grinding ball* bekerja.

Tabel 3. Volume karbida material besi tuang putih paduan krom tinggi (ASTM A532 Type II-A) pada berbagai temperatur *tempering* dengan media *quench oli*

Quench Oli	
Tempering	Volume Karbida
As-Quenched	Tidak dianalisa
250 °C	14,88%
300 °C	13,75%
350 °C	9,63%



Gambar 5. Foto mikroskop optik material ASTM A532 Type-IIA pada berbagai kondisi *as-tempered* dengan media *quench oli*; (a) *as-quenched*, (b) *as-tempered* 250 °C, (c) *as-tempered* 300 °C, (d) *as-tempered* 350 °C. Etsa Nital 3%

Pada temperatur *tempering* 350 °C, seperti ditunjukkan dalam Tabel 3, rendahnya nilai kekerasan diakibatkan oleh rendahnya volume karbida krom (Cr_7C_3). Semakin rendah volume karbida maka akan semakin rendah pula nilai kekerasan dari material tersebut^[8]. Rendahnya volume karbida krom pada temperatur 350 °C ini disebabkan oleh terdegradasinya karbida tersebut menjadi struktur austenit akibat temperatur *tempering* yang terlalu tinggi^[16].

Pengaruh Variasi Temperatur Tempering dengan Media Quench Udara Paksa (*Fan*)

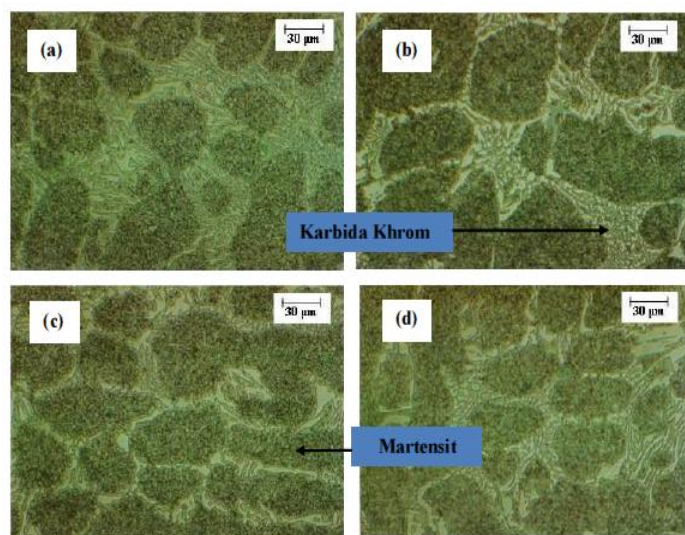
Tabel 4 menunjukkan volume karbida krom (Cr_7C_3), pada besi tuang putih paduan krom tinggi hasil *thermal hardening* dengan media *quench* udara paksa pada berbagai variasi temperatur *tempering*. Harga kekerasan rata-rata tertinggi yang diperoleh dari proses *thermal hardening* dengan media *quench* udara paksa, sesuai dengan Tabel 2 adalah sebesar 642 BHN, yang diperoleh pada temperatur *tempering* 250 °C, dengan nilai volume karbida terbesar dibandingkan dengan temperatur *tempering* lainnya. Dari Tabel 2, ditunjukkan bahwa harga kekerasan berbanding lurus dengan volume karbida khom.

Gambar 6 menunjukkan struktur mikro dari material besi tuang putih paduan krom tinggi (ASTM A532 Type-IIA) hasil proses *thermal hardening-temper* dengan media *quench* udara paksa pada berbagai temperatur *tempering*. Dari gambar tersebut, tampak bahwa pada temperatur *tempering* 250 °C (Gambar 6b), karbida krom berukuran kecil/halus membentuk koloni pada daerah batas butir diantara matriks martensit temper. Sedangkan pada temperatur *tempering* 300 °C (Gambar 6c) dan 350 °C (Gambar 6d), karbida krom yang terbentuk pada daerah batas butir berbentuk *single lamellar* berukuran besar/kasar.

Struktur yang terbentuk pada temperatur *tempering* 250 °C dengan media *quench* udara paksa (Gambar 6b) memiliki kesamaan dengan struktur hasil proses *thermal hardening-temper* menggunakan media *quench* oli pada temperatur *tempering* 300 °C (Gambar 5c), yaitu struktur karbida krom (Cr_7C_3), diantara matriks martensit temper, yang lebih halus jika dibandingkan dengan pada kondisi *as-tempered* lainnya.

Tabel 4. Volume karbida material besi tuang putih paduan krom tinggi (ASTM A532 Type-IIA) pada berbagai kondisi perlakuan panas dengan media *quench* udara paksa (*fan*)

Quench Udara Paksa (<i>Fan</i>)	
Tempering	Volume Karbida
250 °C	14,50%
300 °C	14,00%
350 °C	12,75%



Gambar 6. Foto mikroskop optik material besi tuang putih paduan krom tinggi (ASTM A532 Type-IIA) pada berbagai kondisi *as-tempered* dengan media *quench* udara paksa; (a) *as-quenched*, (b) *as-tempered* 250 °C, (c) *as-tempered* 300 °C, (d) *as-tempered* 350 °C. Etsa Nital 3%

KESIMPULAN

Proses *thermal hardening-temper* pada besi tuang putih paduan krom tinggi (ASTM A532 Type-IIA) mampu meningkatkan nilai kekerasan melalui

pembentukan struktur martensit temper dan peningkatan intensitas/volume karbida krom melalui pembentukan karbida sekunder.

Nilai kekerasan optimal dari proses *thermal hardening-temper* terhadap material ASTM A532 Type II-A dengan media *quench* oli adalah 723 BHN pada temperatur *tempering* 300 °C, sedangkan untuk media *quench* udara paksa adalah 642 BHN pada temperatur *tempering* 250 °C. Kedua nilai kekerasan optimal tersebut diperoleh akibat tingginya volume karbida krom (Cr_7C_3) serta struktur karbida krom yang halus (*fine carbide*) diantara matriks martensit temper.

Temperatur *tempering* lebih dari 300 °C akan menghasilkan volume karbida yang rendah, diakibatkan oleh terdegradasinya karbida krom (Cr_7C_3), dimana hal tersebut akan berdampak negatif terhadap nilai kekerasan, dan ketahanan aus dari material ASTM A532 Type II-A.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Kartikasari, R., Soekrisno, R., Noer. Iman, M., Suharno, dan Hestiawan, H. 2007.,Karakterisasi Ball Mill Import pada Industri Semen di Indonesia”. *Jurnal Teknik Mesin.*: 9 (1), hal. 18-24.
- [2] Zhang, M. X., Kelly, P. M. and Gates, J. D. 2001.,The Effect of Heat Treatment on The Toughness, Hardness and Microstructure of Low Carbon White Cast Irons”. *Journal of Materials Science.*: 36(16), pp. 3865-3875.
- [3] Agunsoye, J. V. Aigbodion and O. Sanni. 2011.,Effect of Heat Treatment on Microstructure and Mechanical Properties of NF6357A Cast Alloy for Wear Resistance Application”. *Journal of Minerals and Materials Characterization and Engineering.*: 10(11), pp. 1077-1086.
- [4] Standar Industri Indonesia. 1983.,Bola Pelumat Logam Ferro”. *SII-0789-83 (SNI-1069)*.
- [5] Wahyudin dan Surasno. 1997.,Bola Gerus (Grinding Ball) dan Permasalahannya”. *Jurnal Berita Teknologi Bahan dan Barang Teknik.*: 10, hal. 35-37.
- [6] Matsubara, Y. 2001.,Solidification and abrasion wear of white cast iron alloyed with 20% carbide forming elements”. *Wear.*: 250, pp. 502-510.
- [7] Zhao, S.Y. et al. 1994.,The Optimal Mating of Balls and Lining Plates in Ball Mills”. *Wear.*: 178, pp. 79-84.
- [8] 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, pp. 492-501.
- [9] Karl-Heinz Zum Gahr. 1980.,Abrasive Wear of White Cast Iron”. *Wear.*: 64, pp. 175-194.
- [10] Havva Kaydal Zeytin, Hakan Yildirim, Banu Berme, Salim Duduoglu, Gurkan Kazdal, and Adem Deniz. 2011.,Effect of Boron and Heat Treatment on Mechanical Properties of White Cast Iron for Mining Application”. *Journal of Iron and Steel Research.*: 18(11), pp. 31-39.
- [11] Scandian, C., Boher, C., de Mello, J. D. B., Rezai-Aria, F. 2009.,Effect of molybdenum and chromium Contents in Sliding Wear of High-Chromium White Cast Iron: The Relationship between Microstructure and Wear”. *Wear.*: 267, pp. 401-408.
- [12] Huard, C., Hartley, M., Lechkun, S., Menking, M. 2009. Lab. Report: Quantitative Metallography.
- [13] Hinckley, B., Dolman, K. F., Wuhner, R., Yeung, W., and Ray, A. 2008.,SEM Investigation of Heat Treated High Chromium Cast Iron”. *Materials Forum.*: 32.
- [14] Bedolla-Jacuinde, A., Arias, L., and Hernandez, B. 2003.,Kinetics of Secondary Carbides Precipitation in a High-Chromium White Irons”.

Journal of Materials Engineering and Performance.: 12, pp. 371-382.

- [15] Da Li, et al. 2009.,,Phase Diagram Calculation of High Chromium Cast Irons and Influence of It's Chemical Composition". *Materials and Design*.: (30), pp. 340-345.
- [16] Zhou Jiyang. 2011.,,Serial Report: Colour Metallography of Cast Iron": pp. 337-349.