

PERBANDINGAN KEKERASAN DAN KETAHANAN ABRASI PROSES PELAPISAN KROMISASI, BORONISASI DAN VANADISASI PADA BESI COR KELABU

Toni Bambang Romijarso
Pusat Penelitian Metalurgi LIPI
Kawasan Puspiptek Serpong Tangerang Selatan Banten
E-mail : tonibr2000@yahoo.com

Masuk tanggal : 06-09-2013, revisi tanggal : 01-11-2013, diterima untuk diterbitkan tanggal : 18-11-2013

Intisari

PERBANDINGAN KEKERASAN DAN KETAHANAN ABRASI PROSES PELAPISAN KROMISASI, BORONISASI DAN VANADISASI PADA BESI COR KELABU. Untuk meningkatkan kekerasan dan ketahanan abrasi pada besi cor kelabu dilakukan proses *diffusion coating* pada suhu 875 °C di dalam media padat dari kromisasi, vanadisasi dan boronisasi dengan waktu penahanan bervariasi selama 1; 3 dan 5 jam. Proses pelapisan boronisasi, vanadisasi dan kromisasi menghasilkan lapisan putih (*white layer*) pada permukaan material, dimana ketebalan lapisan tersebut meningkat seiring dengan meningkatnya waktu penahanan proses. Pada proses kromisasi selama 5 jam, lapisan putih yang terbentuk adalah karbida khrom (Cr_xC_y) dengan ketebalan mencapai 85 μm dan harga kekerasan 1250 VHN serta ketahanan abrasi 0,0029 g/m. Lapisan putih pada permukaan besi cor kelabu hasil proses vanadisasi dan boronisasi dengan waktu penahanan proses selama 5 jam adalah berupa ferrovanadida (Fe_2V) dan ferroboronida (Fe_2B) dengan ketebalan mencapai 19,26 μm dan 50 μm . Harga kekerasan proses vanadisasi dan boronisasi adalah 742 dan 810,5 VHN, sedangkan ketahanan abrasi untuk proses tersebut berturut-turut mencapai 0,0061 g/m dan 0,0102 g/m. Laju difusi paling tinggi diperoleh pada proses kromisasi mencapai $1,254 \times 10^{-9} \text{ cm}^2/\text{detik}$, sedangkan laju difusi yang diperoleh pada vanadisasi dan boronisasi mencapai $1,034 \times 10^{-10}$ dan $1,157 \times 10^{-9} \text{ cm}^2/\text{detik}$. Dari ketiga proses *diffusion coating* yang dilakukan, proses kromisasi menghasilkan kekerasan dan ketahanan abrasi yang lebih tinggi dibandingkan proses lainnya.

Kata kunci : Kromisasi, Boronisasi, Vanadisasi, Besi cor kelabu, Kekerasan, Ketahanan abrasi

Abstract

COMPARISON OF HARDNESS AND ABRASSION RESISTANT OF BORONIZING VANADIZING AND CHROMIZING COATED GRAY CAST IRON. In order to increase the hardness and abrasion resistance of gray cast iron, chromizing, vanadizing and boronizing treatments were carried out at 875°C and holding time variously for 1; 3 and 5 h. Chromizing, vanadizing and boronizing treatments obtained white layer on the surface of gray cast iron. This layer increase due to increasing holding time. A thickness for chromizing layer that contain of chromium carbide (Cr_xC_y) is 85 μm with hardness value 1250 VHN and abrasion resistant 0.0029 g/m. The layer thickness of vanadizing and boronizing that contain of ferrovanadida (Fe_2V) and ferroboronida (Fe_2B) were 19.26 μm and 50 μm for 5 h holding time, respectively. Hardness values of vanadizing and boronizing were 742 and 810.5 VHN, while abrasion resistant for both of these processes were 0.0061 g/m and 0.0102 g/m. Chromized has higher diffusion rate compared to vanadizing and boronizing. Diffusion rates reached approximately $1,254 \times 10^{-9}$; $1,034 \times 10^{-10}$ and $1,157 \times 10^{-9} \text{ cm}^2 \text{ s}^{-1}$, respectively. The results showed that chromizing obtained hardness and abrasion resistance more higher than others.

Keywords : Chromizing, Boronizing, Vanadizing, Gray cast iron, Hardness, Abrasion resistant

PENDAHULUAN

Besi cor kelabu (BCK) dengan kandungan karbon (C) 2,5-5% dan silikon (Si) 0,8-3% adalah material yang paling

banyak digunakan dalam pembuatan komponen mesin karena material tersebut memiliki beberapa keuntungan^[1-4]. Sampai saat ini BCK masih digunakan hampir 65% untuk bagian komponen mesin yang dicor

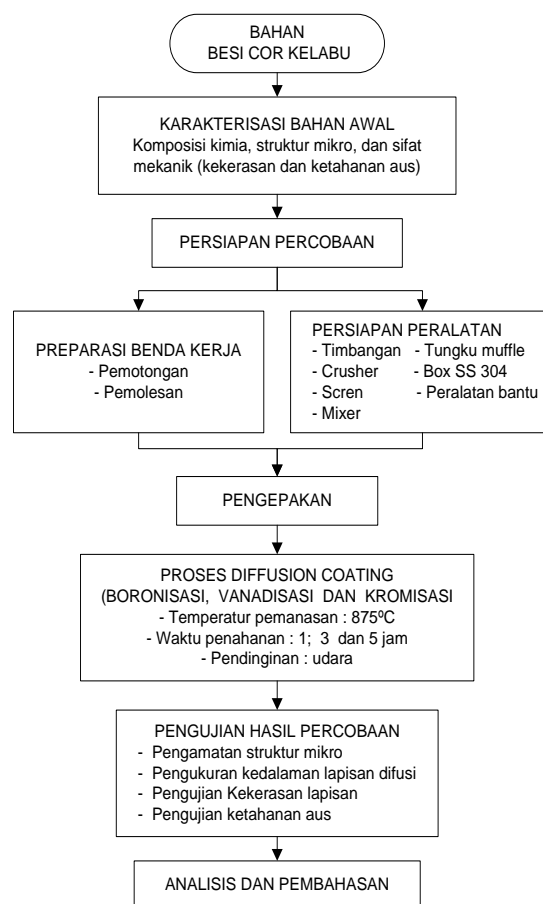
karena kualitas permukaan yang lebih baik dan biaya yang tidak begitu mahal. Grafit dalam BCK menghasilkan material yang memiliki ketahanan abrasi dan kekerasan yang tinggi, kemampuan dimesin yang baik (*machine ability*), akan tetapi ketahanan pelapisan yang rendah (*low lubrication-friction resistance*)^[5-7]. BCK juga mudah teroksidasi dan terjadi dekomposisi fasa perlit pada suhu tinggi^[8].

Boronizing, *vanadizing* dan *chromizing* adalah proses difusi panas pada permukaan material secara kimia (*thermochemical diffusion surface treatment*). Proses-proses pelapisan ini banyak dilakukan pada baja, dan juga dikembangkan untuk besi cor dikarenakan rendahnya ketahanan aus dari besi cor. Pada proses *boronizing* atom-atom boron akan berdifusi pada permukaan material untuk membentuk lapisan *boride* dan biasanya mengandung fasa *boride* yang sangat keras seperti FeB dan Fe₂B. Terbentuknya fasa-fasa tersebut sangat dipengaruhi oleh aktivitas boron, dan boron yang terkandung dalam temperatur substrat dari proses yang dilakukan^[9-11]. Proses *vanadizing* dengan karbida vanadium (VC) merupakan proses yang sangat banyak digunakan dengan pertimbangan dapat meningkatkan ketahanan aus pada permukaan material terutama untuk bagian-bagian mesin yang mendapat tegangan sangat tinggi pada bagian permukaan. Bila dilakukan pada baja yang mengandung karbon rendah, nilai kekerasan permukaan meningkat hingga 25%, sedangkan bila dilakukan pada baja yang mengandung karbon tinggi nilai kekerasan permukaan naik mencapai 60 – 70%. Hal ini terjadi karena atom-atom diffuser (B, V, Cr) larut dalam struktur α -Fe dan juga membentuk senyawa karbida yang keras. Pada proses *chromizing* atom-atom Cr akan berdifusi pada permukaan material. Material yang mengandung karbon tinggi akan membentuk lapisan senyawa karbida Cr_xC_y, sedangkan pada material yang sedikit mengandung karbon akan membentuk lapisan senyawa (Cr,Fe₂)₇^[12].

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk membandingkan proses *diffusion coating* boronisasi, vanadisasi dan kromisasi terhadap kekerasan dan ketahanan abrasi besi cor kelabu. Dari ketiga proses tersebut akan terlihat proses mana yang optimal dapat meningkatkan sifat mekanik dari besi cor kelabu dikaitkan dengan waktu penahanan dari proses yang dilakukan, sehingga proses tersebut dapat dikembangkan untuk meningkatkan ketahanan aus dari besi cor kelabu pada komponen automotif.

METODA PENELITIAN

Secara skematis tahapan penelitian yang dilakukan ditunjukkan pada Gambar 1.



Gambar 1. Diagram alir penelitian proses *diffusion coating* pada besi cor kelabu

Material Awal dan Bahan Baku Proses

Material yang digunakan adalah besi cor kelabu yang diperoleh dari komponen

disc brake pada mobil sedan yang beredar di pasaran, dengan komposisi kimia ditunjukkan pada Tabel 1.

Tabel 1. Komposisi kimia besi cor kelabu yang digunakan dalam penelitian

Unsur	C	Si	S	P	Mn	Ni
% berat	3,162	2,290	0,052	0,012	0,563	0,018
Unsur	Cr	Cu	Ti	Sn	Al	Fe
% berat	0,028	0,017	0,009	0,005	0,007	Bal

Untuk proses *diffusion coating*, bahan yang digunakan adalah sebagai berikut :

- Proses Boronisasi menggunakan campuran serbuk Fe-B (*high carbon*); NH₄Cl dan serbuk Al₂O₃ dengan perbandingan persen berat : 60 : 3,5 : 36,5
- Proses Vanadisasi menggunakan campuran serbuk Fe-V (*high carbon*); NH₄Cl dan serbuk Al₂O₃ dengan perbandingan persen berat : 60 : 3,5 : 36,5
- Proses Kromisasi menggunakan campuran serbuk Fe-Cr (*high carbon*); NH₄Cl dan serbuk Al₂O₃ dengan perbandingan persen berat : 50 : 7 : 43

Peralatan Proses dan Alat Uji

Proses *diffusion coating* menggunakan mesin *jaw crusher* untuk pemecah Fe-B, Fe-V dan Fe-Cr. *Screen* digunakan untuk mengatur kehalusan dan distribusi ukuran serbuk. *Mixer* digunakan untuk mencampur serbuk hingga homogen. Untuk menampung campuran serbuk boronisasi, vanadisasi, kromisasi dan BCK digunakan boks yang terbuat dari baja tahan karat SS 304. Proses *diffusion coating* dilakukan menggunakan tungku *muffle* dengan temperatur maksimum tungku berkisar 1200 °C.

Material hasil proses kemudian diuji keras, metalografi dan uji abrasi. Uji keras dilakukan menggunakan metoda Brinell untuk material awal, sedangkan kekerasan permukaan hasil *coating* diuji dengan Vicker's. Metalografi menggunakan

mikroskop optik metalurgi dengan larutan etsa yang digunakan adalah nital 2%.

Uji abrasi dilakukan untuk mengetahui ketahanan abrasi dari material sebelum dan setelah mengalami proses *diffusion coating*. Pengujian ini dihitung melalui kehilangan berat material. Kertas ampelas yang digunakan untuk pengujian menggunakan ukuran 400 grit. Putaran mesin berkecepatan 54 rpm, gaya penekanan dari kertas ampelas yang berputar adalah 6 kg, dan waktu uji abrasi dilakukan selama 30 menit. Harga keausan abrasi dihitung dengan menggunakan rumus sebagai berikut^[12] :

$$\Delta W = W_{(awal)} - W_{(akhir)}$$

$$Keausan \cdot abrasi = \frac{\Delta W}{2 \times \pi \times R \times t \times rpm} \times \left(\frac{g}{m} \right)$$

dimana :

- W : berat benda uji, g
- ΔW : total kehilangan berat, g
- R : jarak antara benda uji dengan pusat sumbu rotasi, mm
- T : waktu, menit
- m : meter

Prosedur Percobaan

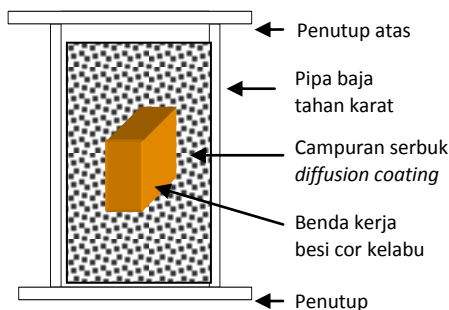
Prosedur percobaan proses *diffusion coating* dilakukan melalui tahapan sebagai berikut :

- a. Persiapan material awal
BCK diuji kekerasannya dan dilakukan metalografi untuk mengetahui struktur yang ada dalam material. Material sebelumnya dibentuk menjadi balok dengan ukuran 10 x 5 x 20 mm menggunakan mesin frais, kemudian setiap permukaannya diratakan dengan mesin *polishing*.
- b. Material dimasukkan ke dalam boks baja tahan karat SS 304 bersama-sama dengan campuran serbuk untuk proses boronisasi, vanadisasi dan kromisasi. Kemudian bagian atas tabung tersebut ditutup rapat dengan menggunakan penutup dari bahan yang sama, agar gas yang terbentuk pada saat proses

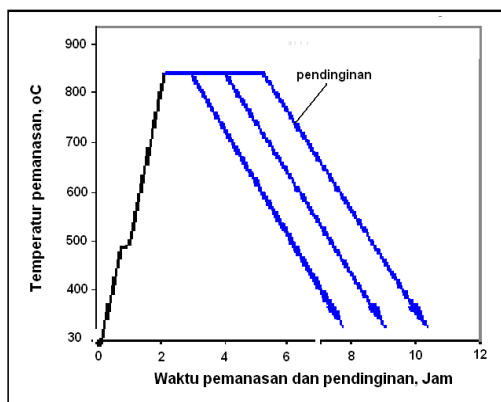
pemanasan berlangsung tidak keluar/bocor.

- c. Proses *diffusion coating* dilakukan pada suhu pemanasan 875°C (pada daerah austenit + sementit, karena pada umumnya pengerasan besi cor dilakukan pada suhu 860 – 900°C) [13] dengan waktu penahanan selama 1, 3 dan 5 jam. Sedangkan pendinginan dilakukan di udara.
- d. Setelah proses *diffusion coating* dilakukan pengukuran kedalaman lapisan yang terbentuk di permukaan material, dilakukan uji kekerasan dan uji ketahanan aus.

Posisi material di dalam boks SS 304 ditunjukkan pada Gambar 2, sedangkan alur proses *diffusion coating* pada BCK ditunjukkan pada Gambar 3.



Gambar 2. Pengemasan besi cor kelabu di dalam boks SS 304.

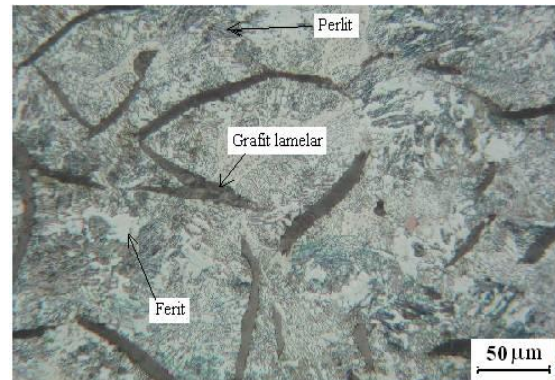


Gambar 3. Alur proses pemanasan dan pendinginan pada proses *diffusion coating* yang dilakukan.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Karakterisasi Material Awal

Hasil pengamatan struktur mikro material awal ditunjukkan pada Gambar 4. BCK tergolong ke dalam jenis besi cor kelabu perlitik yang mengandung fasa perlit, grafit lamelar, dan fasa ferit.



Gambar 4. Struktur mikro material awal dari besi cor kelabu dengan OM. Etsa Nital 2%

Nilai kekerasan BCK sebelum proses *diffusion coating* ditunjukkan pada Tabel 2. Harga kekerasan rata-rata yang diperoleh untuk material awal BCK adalah sebesar 202 HB.

Tabel 2. Kekerasan besi cor kelabu sebelum proses *diffusion coating*

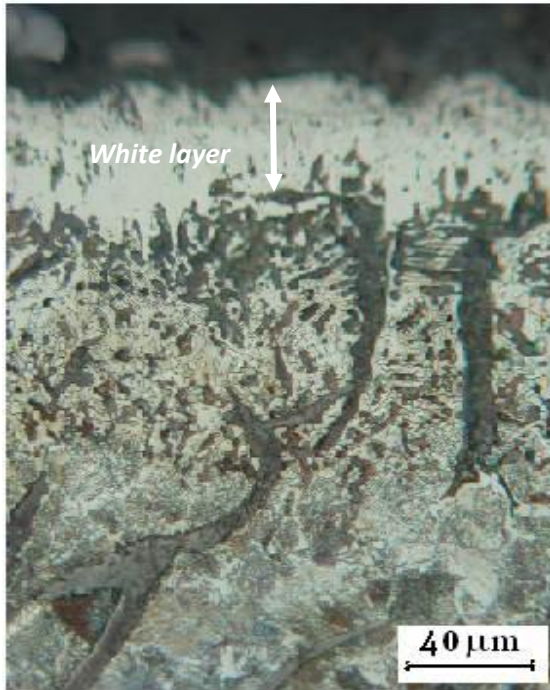
Posisi Indentasi	Harga Kekerasan (HB)
1	202
2	198
3	205
Kekerasan rata-rata	202

Hasil Proses *Diffusion Coating*

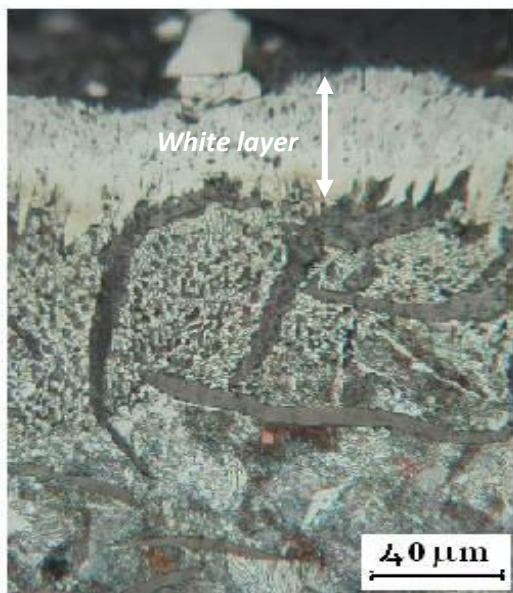
Struktur mikro dan pengukuran ketebalan lapisan putih (*white layer*) dari proses *diffusion coating* ditunjukkan pada Gambar 5 - 7.

Proses Boronisasi

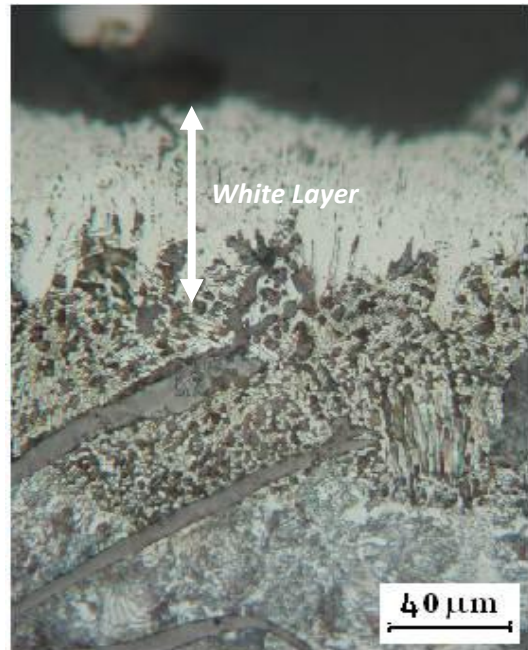
Struktur mikro proses boronisasi pada BCK dapat dilihat pada Gambar 5(a)-5(c). Tampak lapisan putih hasil boronisasi memiliki tampilan seperti gerigi gergaji (*sawtooth morphology*)^[14], hal ini sangat dipengaruhi oleh morfologi pertumbuhan dan komposisi kimia dari lapisan (Gambar 5(a)-5(c)).



(a)



(b)

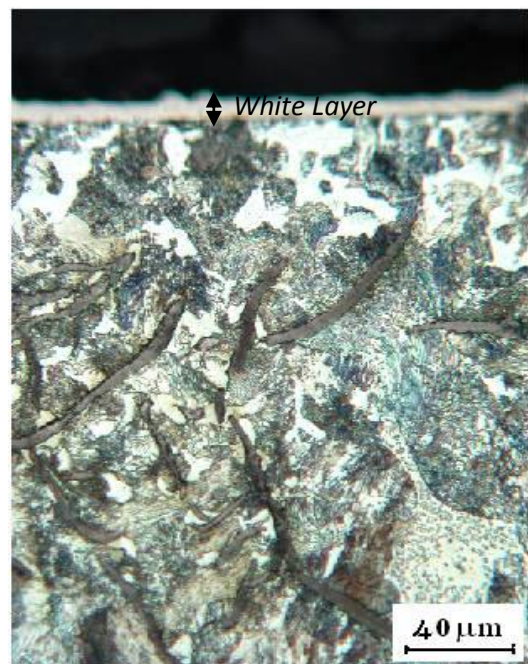


(c)

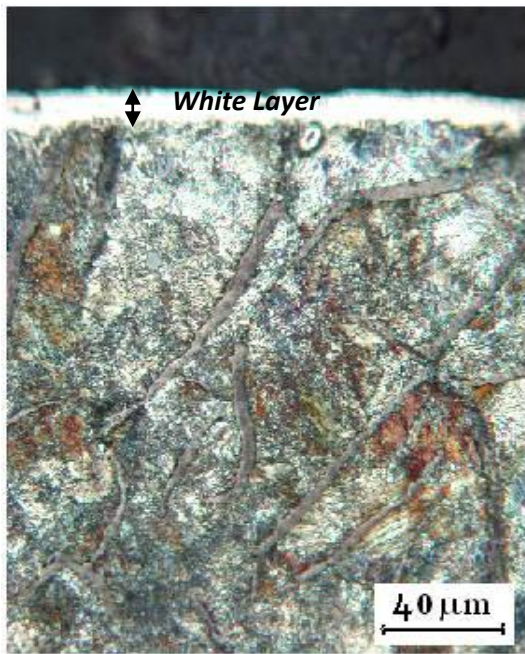
Gambar 5. Struktur mikro hasil OM setelah proses boronisasi pada suhu 875°C dengan waktu penahanan dan ketebalan lapisan putih rata-rata sebesar ; (a) 1 jam dan 36 μm; (b) 3jam dan 40,4 μm; (c) 5 jam dan 50 μm. Etsa Nital 2%

Proses Vanadisasi

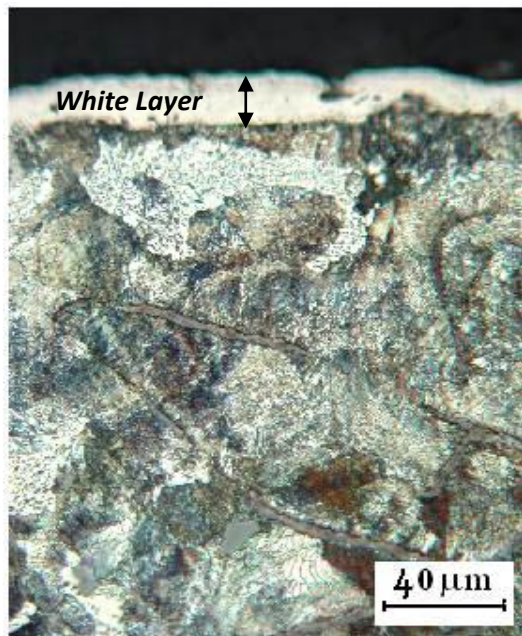
Struktur mikro dan lapisan putih hasil proses vanadisasi pada BCK ditunjukkan pada Gambar 6(a)-6(c).



(a)



(b)

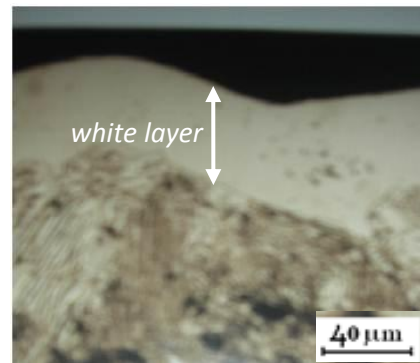


(c)

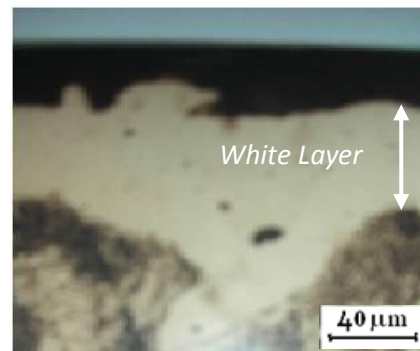
Gambar 6. Struktur mikro hasil OM setelah proses vanadisasi pada suhu 875 °C dengan waktu penahanan dan ketebalan lapisan putih rata-rata sebesar ; (a) 1 jam dan 8,58 μm; (b) 3 jam dan 14,14 μm; (c) 5 jam dan 19,26 μm. Etsa Nital 2%

Proses Kromisasi

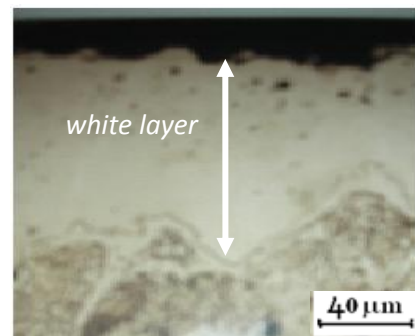
Gambar 7(a)-7(c) menunjukkan struktur mikro dan lapisan putih pada permukaan BCK hasil proses kromisasi.



(a)



(b)



(c)

Gambar 7. Struktur mikro hasil OM setelah proses kromisasi pada suhu 875 °C dengan waktu penahanan dan ketebalan lapisan putih rata-rata sebesar ; (a) 1 jam dan 32 μm; (b) 3 jam dan 36 μm; (c) 5 jam dan 85 μm. Etsa Nital 2%

Hasil Uji Abrasi

Hasil pengujian abrasi setelah proses boronisasi, vanadisasi dan kromisasi pada permukaan BCK dapat dilihat pada Tabel 3.

Tabel 3. Hasil pengujian abrasi pada permukaan besi cor kelabu sebelum dan setelah proses *diffusion coating*.

Kode Sampel	Berat (g)		Selisih Berat	
	Awal	Akhir	G	%
Bahan Awal	10,91	10,87	0,0400	4
B (875-1)	8,126	8,12	0,0064	0,0783
B (875-3)	8,776	8,77	0,0056	0,0637
B (875-5)	8,745	8,74	0,0052	0,0596
V (875-1)	9,953	9,95	0,0034	0,0341
V (875-3)	9,973	9,97	0,0032	0,0323
V (875-5)	9,843	9,84	0,0031	0,0316
K (875-1)	10,33	10,33	0,0026	0,0130
K (875-3)	10,46	10,46	0,0020	0,0099
K (875-5)	10,94	10,94	0,0015	0,0078

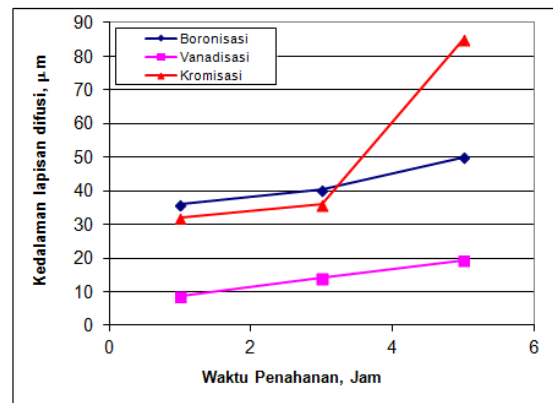
PEMBAHASAN

Hasil pengamatan struktur mikro pada *raw material* menunjukkan bahwa material BCK tergolong ke dalam besi cor kelabu perlitik, dimana sebagian besar struktur mikro besi cor ini terdiri dari fasa perlit dan grafit lamelar (Gambar 4). Berdasarkan perhitungan *carbon equivalent* (CE meter), BCK ini memiliki harga CE 3,89. Pada besi cor, CE sangat penting karena digunakan untuk memprediksi bagaimana unsur-unsur yang terkandung akan berpengaruh terhadap karakteristik hasil cor dan proses perlakuan panas yang akan dilakukan. CE akan memberikan informasi kekuatan mekanik dari besi cor berhubungan dengan jumlah austenit dan grafit yang dihasilkan pada produk akhir dari besi cor. Pada penelitian ini, besi cor yang digunakan memiliki CE yang tidak lebih dari 4,3 % C (komposisi *eutectic* besi cor) sehingga grafit yang dihasilkan tidak tergolong dalam grafit tipe C, yaitu *kish graphite (hypereutectic composition)* dimana material besi cor yang dihasilkan akan bersifat sangat getas [15].

Proses *diffusion coating* menghasilkan lapisan putih pada permukaan BCK.

Lapisan putih tersebut semakin tebal seiring dengan bertambahnya waktu proses. Pada proses boronisasi lapisan putih yang terbentuk di permukaan material adalah ferroborida (Fe_2B) (Gambar 5(a)-5(c)). Sedangkan lapisan yang terbentuk dari proses kromisasi adalah karbida kromium (Cr_xCy) (Gambar 6(a)-6(c)). Untuk proses vanadisasi lapisan yang terbentuk adalah ferrovandida atau Fe_2V (Gambar 7(a)-7(c))^[16].

Kedalaman lapisan difusi hasil proses *diffusion coating* pada BCK adalah bervariasi (Gambar 5-7). Gambar 8 menunjukkan grafik hubungan antara waktu penahanan dengan kedalaman lapisan putih yang dihasilkan dari proses boronisasi, vanadisasi dan kromisasi. Terlihat bahwa dengan bertambahnya waktu penahanan, maka kedalaman lapisan difusi tersebut cenderung meningkat.



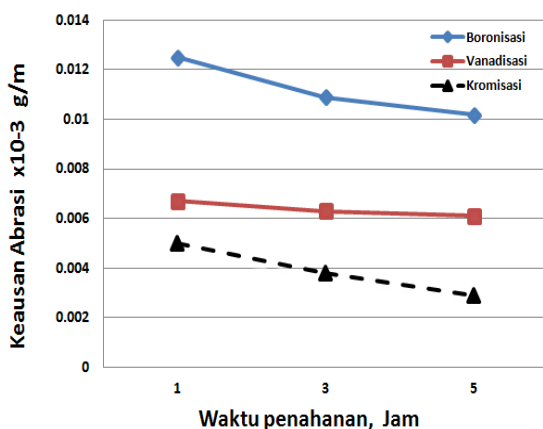
Gambar 8. Hubungan waktu penahanan terhadap kedalaman lapisan putih hasil boronisasi, vanadisasi dan kromisasi

Proses boronisasi pada temperatur 875 °C dengan waktu penahanan 1 jam tebal lapisan mencapai 36 μm (Gambar 5(a)), kemudian dengan waktu penahanan 3 dan 5 jam, tebal lapisan putih meningkat mencapai 40,4 μm dan 50 μm (Gambar 5(b)-5(c)). Hal ini terjadi karena energi yang diperlukan untuk menggerakkan atom-atom besi pada jarak yang lebih besar tetap tercapai sehingga atom-atom boron dapat berdifusi diantara atom besi pada suhu 875 °C^[17].

Pada proses vanadisasi tebal lapisan putih yang mengandung ferrovanadida (Fe_2V)^[16] mencapai 8,58 μm dengan waktu penahanan 1 jam (Gambar 6(a)). Dengan meningkatnya waktu penahanan menjadi 3 dan 5 jam, ketebalan lapisan putih juga meningkat masing-masing mencapai kedalaman 14,14 μm dan 19,26 μm (Gambar 6(b)-6(c)).

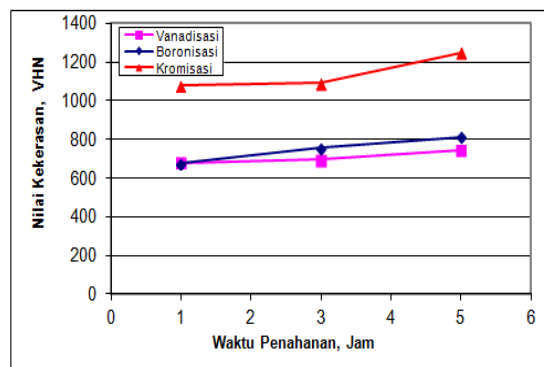
Untuk proses kromisasi, tebal lapisan putih yang terbentuk pada $T = 875^\circ\text{C}$ dengan waktu penahanan 1 ; 3 dan 5 jam berturut-turut mencapai kedalaman 32 μm ; 36 μm dan 85 μm (Gambar 7(a)-7(c)).

Grafik hubungan antara waktu penahanan terhadap keausan abrasi pada proses *diffusion coating* besi cor kelabu ditunjukkan pada Gambar 9. Terlihat bahwa pada umumnya keausan abrasi lapisan difusi cenderung meningkat dengan bertambahnya waktu penahanan atau dengan meningkatnya ketebalan lapisan hasil proses *diffusi coating*. Ketahanan aus paling baik diperoleh pada proses kromisasi besi cor kelabu dengan waktu penahanan 5 jam, yaitu sekitar 0,0029 g/m. Ketahanan aus yang paling rendah diperoleh pada proses vanadisasi dan boronisasi, yaitu berkisar 0,0061 g/m dan 0,0102 g/m, dengan waktu penahanan 5 jam (Gambar 9).



Gambar 9. Grafik hubungan antara waktu penahanan dengan keausan abrasi pada proses boronisasi, vanadisasi dan kromisasi besi cor kelabu

Grafik hubungan antara waktu penahanan terhadap kekerasan lapisan pada proses *diffusion coating* BCK ditunjukkan pada Gambar 10. Terlihat dalam seluruh proses *diffusion coating* bahwa harga kekerasan lapisan difusi cenderung meningkat dengan bertambahnya waktu penahanan.



Gambar 10. Grafik hubungan antara kekerasan dengan waktu penahanan pada proses boronisasi, vanadisasi dan kromisasi besi cor kelabu.

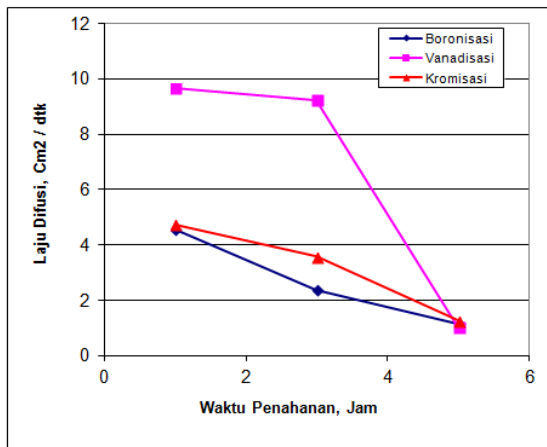
Harga kekerasan tertinggi dalam grafik pada Gambar 10, diperoleh pada proses kromisasi BCK dengan waktu penahanan 5 jam, yaitu sebesar 1250 VHN. Tingginya harga kekerasan dimungkinkan karena terbentuknya lapisan krom karbida (Cr_xC_y). Harga kekerasan terendah diperoleh pada proses vanadisasi, yaitu sekitar 742 VHN akibat terbentuknya lapisan *ferrovanadida* (Fe_2V). Lapisan boronisasi besi cor kelabu dengan waktu penahanan 5 jam kekerasannya mencapai 810,5 VHN dan terbentuknya lapisan *ferroboronida* (Fe_2B).

Berdasarkan hasil pengukuran kedalaman lapisan yang terbentuk, maka dapat ditentukan laju difusi dengan perhitungan rumus jarak rata-rata difusi menurut *Einstein*^[17-18] :

$$\bar{x} = \sqrt{2 \times Dt}$$

Data hasil perhitungan laju difusi kemudian diplot ke dalam bentuk grafik, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 11. Dari grafik tersebut terlihat dengan

bertambahnya waktu penahanan maka laju difusi akan cenderung semakin menurun.



Gambar 11. Pengaruh waktu penahanan terhadap laju difusi pada proses boronisasi, vanadisasi dan kromisasi besi cor kelabu

Proses kromisasi pada suhu pemanasan 875 °C dengan waktu penahan 5 jam, laju difusinya relatif rendah, yaitu sekitar $1,254 \times 10^{-9} \text{ cm}^2/\text{detik}$. Proses vanadisasi dan boronisasi pada suhu dan waktu penahanan yang sama laju difusinya masing-masing mencapai $103,041 \times 10^{-12} \text{ cm}^2/\text{detik}$ dan $1,157 \times 10^{-9} \text{ cm}^2/\text{detik}$.

KESIMPULAN

Proses *diffusion coating* boronisasi, vanadisasi dan kromisasi dari besi cor kelabu pada $T = 875 \text{ }^\circ\text{C}$ dan waktu penahanan selama 1, 3 dan 5 jam dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut;

1. Ketiga proses *diffusion coating* menghasilkan lapisan putih pada permukaan material, dimana ketebalan lapisan meningkat seiring dengan meningkatnya waktu penahanan, akan tetapi laju difusi akan semakin menurun.
2. Proses *diffusion coating* yang optimal pada permukaan besi cor kelabu adalah kromisasi yang menghasilkan ketebalan lapisan 85 μm dengan kekerasan sebesar 1250 VHN dan ketahanan abrasi 0,0029 g/m pada waktu penahanan 5 jam.

3. Proses yang menghasilkan kekerasan dan ketahanan aus terendah adalah vanadisasi yaitu sebesar 742 VHN dan 0,0061 g/m. Kedalaman lapisan putih pada proses vanadisasi dengan waktu penahanan 5 jam mencapai 19,26 μm .

DAFTAR PUSTAKA

- [1] H. Berns. 2003., „Comparison of wear resistant MMC and white cast iron”. *Wear.*: vol. 254, no. 1-2, pp. 47–54.
- [2] C. Kowandy, C. Richard, Y.-M. Chen, and J.-J. Tessier. 2007. „Correlation between the tribological behaviour and wear particle morphology-case of grey cast iron 250 versus Graphite and PTFE”. *Wear.*: vol. 262, no. 7-8, pp. 996–1006.
- [3] E. Albertin and A. Sinatora. 2001. „Effect of carbide fraction and matrix microstructure on the wear of cast iron balls tested in a laboratory ball mill”. *Wear.*: vol. 250-251, no. 1, pp. 492–501.
- [4] J. Asensio, J. A. Pero-Sanz, and J. I. Verdeja. 2002., „Microstructure selection criteria for cast irons with more than 10 wt.% chromium for wear applications”. *Materials Characterization.*: vol. 49, no. 2, pp. 83–93.
- [5] B. K. Prasad, O. P. Modi, and H. K. Khaira. 2004., „High-stress abrasive wear behaviour of a zinc-based alloy and its composite compared with a cast iron under varying track radius and load conditions”. *Materials Science and Engineering A.*: vol. 381, no. 1-2, pp. 343–354.
- [6] T. Murakami, T. Inoue, H. Shimura, M. Nakano, and S. Sasaki. 2006. „Damping and tribological properties of Fe-Si-C cast iron prepared using various heat treatments”. *Materials Science and Engineering A.*: vol. 432, no. 1-2, pp. 113–119.
- [7] A. K. Tieu and Y. J. Liu. 2004., „Friction Variation in the Cold-

- Rolling Process". *Tribology International*.: vol. 37, No. 2, pp. 177–183.
- [8] William A Henning & Jerry Mercer. 1993., „Ductile Iron Handbook”. *Revised Edition Illinois*. USA.
- [9] Martini C and Palombarini G. 2004. „Carbucicchio”. *M.J Mater Sci*.: 39, 933-937.
- [10] Xu C.H., Xi J. K. And Gao, J Mater. 1997. „Process Technol”.: 65, 94-98
- [11] Keddam M. and Chentouf S. M. 2005. „Appl Surf Sci”.: 252, 393-399
- [12] Zakharov, B. 1962. „Heat treatment of Metals”. *Foreign Languages Publishing House Moscow*.: Soviet Socialist Republics.
- [13] *Heat Treatment*. ASM Handbook Ninth Edition : vol 4
- [14] Sen S., Ozbek I., Sen U. and Bindal C. 2001., „Surf Coat Technol”.: (135) 173-177.
- [15] Rudnev, Valery. 2003. *Handbook of induction heating*. CRC Press : ISBN 978-0-8247-0848-1.
- [16] Kawalec M. and Fra’s E. 2008., „Structure, Mechanical Properties and Wear Resistance of High Vanadium Cast Iron”. *ISIJ International*.
- [17] Lakhtin, Y. 1964. *Engineering Physical Metallurgy*. Publisher Moscow : Second printing.
- [18] Karus, G. 1980., „Principle of Heat Treatment of Steel”. *American Society of Metal*.: Metal Part Ohio.