

PENGARUH BORONISASI PADA PENINGKATAN KEKERASAN PERMUKAAN BAJA KARBON RENDAH

Hendro dan Erwin Siahaan

Jurusan Teknik Mesin, Universitas Tarumanegara, Jakarta

Jalan Letjen S Parman no.2 Jakarta Barat 11440 Indonesia

Phone : +62.21.5672548 ext 351, Fak.+62.21.5663277, Email : mkgg_siahaan@yahoo.co.uk

Abstrak

Faktor kekerasan permukaan baja karbon rendah masih dibutuhkan pada beberapa industri boronisasi adalah salah satu proses yang dapat dilakukan untuk meningkatkan kekerasan permukaan. Komposisi 60 % FeB, 3,5% NH₄Cl dan 36,5 % Al₂O₃ dengan variasi temperature pemanasan 850° C, 875° C dan 900° C dengan waktu penahanan 1,3 dan 5 jam dilakukan pada benda uji baja karbon rendah berbentuk balok ukuran (10 X 10X 10) mm. Dari hasil pengujian diperoleh bahwa nilai peningkatan kekerasan permukaan terjadi pada temperature 875° C sebesar 54,4 % dan nilai kekerasan maksimum pada temperature 875° dengan waktu penahanan 5 jam sebesar 1080 HV yang meningkat cukup signifikan disbanding awal sebelum proses sebesar 163 HV.

Kata kunci : Baja karbon, Boronisasi, Kekerasan, Komposisi.

I. Pendahuluan

Penggunaan baja karbon pada berbagai macam komponen di bidang pemesinan, industri, pertanian dan bidang otomotif cukup signifikan. Logam tersebut mempunyai keuntungan dan kekurangan. Khususnya ditinjau dari karakteristiknya, baja karbon dapat diklasifikasikan menjadi beberapa bagiannya yaitu :Baja karbon rendah, Baja karbon sedang dan Baja karbon tinggi.

Salah satu klasifikasi baja yang paling banyak digunakan adalah baja karbon rendah (*low carbon steel*). Dengan keunggulan, yang dimiliki baja seperti :

- mampu bentuk (*formability*) yang sangat baik
- mampu dikerjakan dengan pemesinan (*machinability*) cukup baik
- mampu di las (*weldability*) sangat baik

Penggunaan baja yang memiliki kekerasan permukaan tertentu cukup dominan kebutuhannya dan dapat dilakukan dengan berbagai cara antara lain :

- a) Proses yang dilakukan tanpa merubah komposisi kimia yaitu dengan perlakuan panas

termal (*thermal treatment*), misalnya; *flame hardening*, *induction hardening*

b) Proses yang dilakukan dengan merubah komposisi kimia yaitu dengan perlakuan panas termokimia (*thermochemical treatment*), misalnya karburisasi, nitridasi, karbonitridasi, nitrokarburisasi,

2. Kajian Pustaka

Difusi adalah proses *migrasi* atom-atom secara *individual* dalam material yang dapat dilakukan melalui media gas, cair dan padat. Difusi sangat penting dalam proses perlakuan panas. Oleh karena itu suatu pengetahuan dari mekanisme dan hukum difusi akan memudahkan pengertian dalam berbagai macam laku panas termasuk diantaranya : *karburisasi*, *dekarborisasi*, *nitridasi* dan *anil*. Atom-atom asing akan menempati ruang-ruang yang relatif tipenya sama, seperti kelompok atom-atom dalam kisi besi pada larutan padat substitusi yang bergerak bebas dengan bantuan ruang kosong atau yang disebut dengan *vancancies*.



Bila suhu naik, atom-atom bergetar dengan energi yang lebih besar, dan sejumlah kecil atom akan berpindah dalam kisi. menjelaskan energi aktivitas secara skematis atom karbon sangat kecil ($r = 0,007 \text{ nm}$) dan menduduki letak interstisi diantara atom besi. Atom ini bergerak diantara atom besi menuju letak interstisi berikutnya, bila ia bergerak dalam arah itu. Pada 20 oC kecil kemungkinannya bahwa atom karbon akan memiliki cukup energi pada suhu yang lebih tinggi kemungkinan meningkat. Bila semua atom memiliki ukuran yang sama, mekanisme kekosongan lebih menonjol. Kekosongan terjadi sebagai akibat struktur yang cacat atau akibat *agritasi* suhu. Bila atom mengisi kekosongan, maka terjadi lubang atau kekosongan baru. Kekosongan baru ini dapat diisi oleh atom lain yang berasal dari tetangga mana saja. Sebagai hasil akhir dapat dikatakan bahwa atom melakukan gerak acak dalam kristal. Mekanisme gerak acak dapat diterapkan pada atom karbon yang bergerak diantara atom besi dari posisi sisipan yang satu keposisi sisipan berikutnya, Proses difusi dipengaruhi oleh parameter yang dapat dilihat pada beberapa bentuk hubungan persamaan difusi. Umumnya secara kuantitatif proses difusi dalam kondisi keadaan tetap (*steady state*) di uraikan dalam *hukum Fick I* persamaan (1) :

$$J = -D \frac{\partial C}{\partial x}$$

Dimana :

- = Menunjukkan difusi bergerak dari konsentrasinya lebih tinggi ke lapisan yang lebih rendah, sehingga *gradient* difusi akan negatif.
- J = *Fluks* atom ($\text{atom/m}^2 \cdot \text{sec}$)
- D = *Koefisien* difusi (m^2/sec)
- $\partial C / \partial x$ = Gradien konsentrasi komponen ($\text{atom/m}^3/\text{m}$)

Selain dalam keadaan tetap, gradien konsentrasi atom berubah pada setiap titik, proses difusi ini

adalah dalam kondisi keadaan tidak tetap (*non steady state*).Maka dengan di kombinasikannya hukum ficks I dan koefisiennya akan dihasilkan hukum ficks II sesuai persamaan (2):

$$\frac{\partial C}{\partial t} = D \frac{\partial^2 C}{\partial x^2}$$

Dimana :

- $\partial C / \partial t$ = Perubahan konsentrasi terhadap waktu
- $\partial^2 C / \partial x^2$ = Gradien konsenrasi
- C = Konsentrasi karbon (gr/cm^2)
- t = Waktu difusi (detik)
- x = Jarak difusi (cm)

Beberapa faktor yang dapat mempengaruhi proses difusi, antara lain:

- Jenis material difusi (*Diffusion Species*)yaitu : besarnya koefisien difusi ditunjukkan oleh kecepatan atom-atom yang berdifusi. Koefisien difusi dan *interdiffusion* untuk masing-masing logam berbeda.
- Temperatur yaitu : perubahan temperatur sangat berpengaruh pada pergerakan atom dan akhirnya mempengaruhi laju difusi. Pengaruh temperatur terhadap difusifitas ditunjukan dalam persamaan(3):.

$$D = D_0 \cdot \text{Exp} \left(-\frac{Q}{RT} \right)$$

Dimana :

- D = *Koefisien* difusi (Nilai D dipengaruhi oleh temperatur)
- D_0 = *Koefisien* Difusivitas (cm^2/detik)
- Q = Energi aktivasi (kal/mol)
- T = Temperatur absolut (K)
- R = *Konstanta* gas ($1,987 \text{ kal/mol.K}$)

- Ukuran butir yaitu :proses difusi lebih mudah terjadi pada lapisan batas butir (*grain boundary*) dibandingkan pada matriks, karena pada butir banyak terdapat cacat kristal yang akan mempermudah proses pergerakan atom-atom. Semakin



kecil ukuran butir, maka akan semakin banyak cacat-cacat kristal pada logam tersebut. Dengan demikian laju difusivitasnya akan semakin meningkat.

- Boronisasi Proses perlakuan panas boronisasi adalah salah satu kelompok metode “*diffusion metallising*”, yaitu proses penjenuhan lapisan permukaan baja karbon atau benda kerja dengan baron

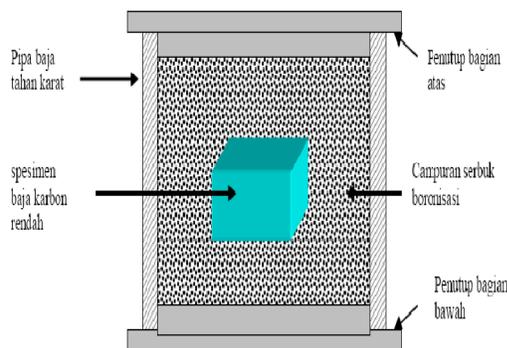
melalui mekanisme difusi atom-atom baron yang berlangsung pada temperatur tinggi. Tujuan utama proses ini adalah untuk mendapatkan permukaan yang keras dan tahan aus pada komponen-komponen mesin tetapi bagian dalamnya tetap lunak. Ini dapat dilakukan dengan memperkaya permukaan benda kerja dengan baron melalui proses peleburan panas.

3. Material dan Proses Pengujian

Bahan yang digunakan :

- Baja karbon rendah, dengan komposisi kimia terdiri dari : 0,21 %C, 0,27 % Si, 0,02 % P, 1,14 % Mn, 0,01 % Ni, 0,03 % Cr, 0,03 % Al, 98,26 % Fe
- Bahan boronisasi yang digunakan adalah campuran dari serbuk Fe-B (*high carbon*); NH_4Cl dan serbuk Al_2O_3 dengan perbandingan persen berat : 60 :3,5 : 36,5

Material baja karbon rendah disiapkan dalam bentuk specimen berdasarkan kebutuhan untuk pengujian. Adapun bentuk dan ukuran specimen tersebut adalah balok dengan ukuran 10 x 10 x 20 mm, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 1



Gambar 1 Bentuk proses pengujian specimen

Prosedur percobaan proses laku panas boronisasi dilakukan melalui tahapan, sebagai berikut :

Karakterisasi baja karbon rendah, meliputi : analisa komposisi kimia, struktur mikro dan

kekerasan. Benda kerja sebelumnya dibentuk melalui mesin frais menjadi bentuk balok yang mempunyai ukuran (10 x 10 x 20) mm, kemudian permukaannya diratakan dengan mesin perata (*surface grinding machine*). Selanjutnya masukkan kedalam tabung dari bahan baja tahan karat bersama-sama dengan campuran serbuk yang terdiri dari Fe-B, NH_4Cl dan Al_2O_3 dengan perbandingan yang telah ditentukan. Kemudian tutup rapat bagian atas tabung dengan penutup dari bahan yang sama, agar gas yang terbentuk pada saat pemanasan berlangsung tidak keluar atau bocor. Berikutnya proses laku panas boronisasi dilakukan pada temperatur pemanasan 850° C, 875° C dan 900° C dengan waktu penahanan selama 1, 3 dan 5 jam. Sedangkan pendinginan dilakukan di udara terbuka. Tabel di bawah ini menunjukkan kode sampel yang dipakai dalam penelitian.

Tabel 1. Penandaan specimen

No.	Kode Sampel	Kondisi Proses Boronisasi	
		Temperatur Boronisasi (°C)	Waktu Penahanan (jam)
1	BKR 850-1	850	1
2	BKR 850-3	850	3
3	BKR 850-5	850	5
4	BKR 875-1	875	1
5	BKR 875-3	875	3
6	BKR 875-5	875	5
7	BKR 900-1	900	1
8	BKR 900-3	900	3
9	BKR 900-5	900	5



Pengujian dilakukan pada pengamatan visual tampak muka yang terjadi pada benda kerja setelah

mengalami laku panas boronisasi. Selanjutnya Pengamatan Metalografi yang bertujuan untuk mengamati struktur mikro benda kerja awal dan benda kerja setelah mengalami laku panas boronisasi. Dan juga dilakukan pengujian Kekerasan. (Vickers Hardness).

4. Hasil Pengujian dan Pembahasan

Kekerasan

Nilai kekerasan spesimen material awal pada baja karbon rendah, seperti tabel 2 :

Tabel 2. Nilai kekerasan material sebelum proses boronisasi

Pengujian ke	Nilai kekerasan material awal
	Baja karbon rendah (HV)
1	153
2	169
3	167
Nilai rata-rata	163

Setelah dilakukan proses boronisasi pada temperatur 850°C, 875°C dan 900 °C dengan waktu penahan 1 jam, 3 jam dan 5 jam di dalam komposisi campuran bahan boronisasi yang terdiri atas : FeB, Al₂O₃, dan NH₄Cl pada perbandingan komposisi 60 : 36,5 : 3,5. Pada penelitian yang telah dilakukan dengan temperatur pemanasan 850°C, terlihat adanya lapisan boron yang terbentuk dan lapisan ini terjadi pada spesimen BKR dengan lama penahanan 1 jam. Tebal lapisan mencapai 22,4 mm, sehingga dapat disimpulkan bahwa proses difusi pada temperatur pemanasan

850°C dapat terjadi proses difusi. Untuk meningkatkan laju difusi (mempertebal lapisan yang terbentuk) dapat dilakukan dengan menahan waktu pemanasan lebih lama lagi (3 – 5 jam) atau dengan menaikkan energi aktivasinya dengan cara menaikkan temperature pemanasan (875°C). Hal ini dibuktikan pada spesimen dengan temperature pemanasan

875°C dan waktu penahanan yang sama (1 jam), dimana proses laju difusi jauh lebih cepat dari spesimen yang dipanaskan pada temperatur 850°C. Lapisan yang terbentuk menjadi lebih tebal mencapai 41,2 mm. Hal ini terjadi karena energi yang diperlukan untuk menggetarkan atom-atom baja pada jarak yang lebih besar tetap tercapai, sehingga memungkinkan atom-atom boron (B) berdifusi ke dalam atom baja lebih leluasa lagi. Sedangkan waktu penahanan berfungsi sebagai waktu berlangsungnya proses difusi. Ini sesuai dengan hukum difusi sederhana, dimana semakin lama waktu penahanan, kedalaman lapisan semakin tebal.

Adapun lapisan yang terbentuk dipermukaan spesimen adalah senyawa *ferroboronida* (Fe₂B). Lapisan senyawa ini terjadi berbentuk struktur gigi.

Fenomena lain dari proses perlakuan panas, disamping untuk meningkatkan energi aktivasi dari boron (B) agar dapat berlangsung proses difusi dengan baja, juga dapat menguraikan karbida-karbida lain atau menguraikan ferit. Fasa ferit dapat terurai menjadi perlit penuh atau mengubah struktur matriks dasar menjadi matriks perlit, Hal ini terjadi karena pengaruh temperature pemanasan. Dimana pada temperatur 850°C, 875°C, dan 900°C struktur mikro menunjukkan matriks perlit yang dominan. Ini disebabkan karena semakin tinggi temperatur pemanasan, energi bebas karbon akan menuju ke arah negatif sehingga reaksi yang terjadi spontan. Laju difusi karbon akan semakin besar untuk membentuk Fe₃C (perlit). Sedangkan dari laju

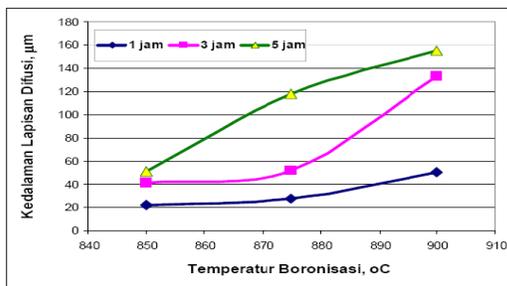
pendinginan dapat dianalisis bahwa semakin tinggi temperatur pemanasan, laju pendinginan akan semakin cepat dan sebaliknya.

Pengaruh Temperatur dan Waktu Proses Boronisasi terhadap kedalaman Lapisan Difusi Dari hasil pengukuran kedalaman lapisan difusi yang diperoleh dari Tabel dibawah ini yang di plot kedalam bentuk grafik seperti terlihat pada Gambar .2.

Pada Gambar.2 terlihat bahwa kedalaman lapisan difusi meningkat dengan semakin



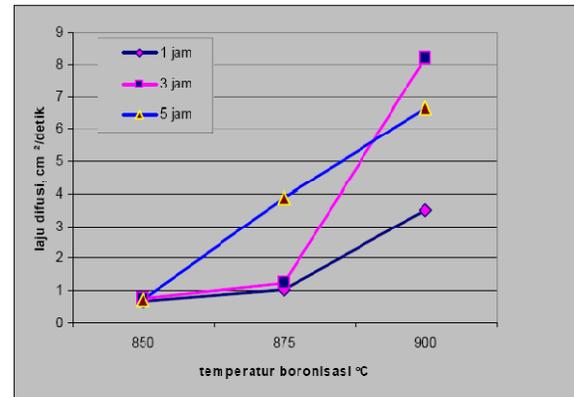
naiknya temperatur Boronisasi. Pada temperatur 850°C dengan waktu penahana 1 jam, kedalaman lapisan difusi mencapai 22,4 mm kemudian naik mencapai 50,4 mm pada temperature 900°C atau naik sekitar 122%. Pada temperatur 850°C dengan waktu penahana 3 jam, kedalaman lapisan difusi mencapai 41,2 mm kemudian naik mencapai 133 mm pada temperature 900°C atau naik sekitar 223%. Sedangkan pada temperature 850°C dengan waktu penahanan 5 jam, kedalaman lapisan difusi mencapai 51,2 μm kemudian naik mencapai 155 μm pada temperature 900°C pada waktu penahanan 3 jam



Gambar 2. Pengaruh temperature pada kedalaman difusi

Pengaruh Temperatur dan waktu boronisasi terhadap laju difusi. Berdasarkan hasil perhitungan menggunakan persamaan *Einstein* bahwa laju difusi meningkat dengan semakin lamanya waktu penahanan. Laju difusi pada temperature 850°C dengan waktu penahanan 1 jam mencapai $6,968 \times 10^{-9} \text{ Cm}^2/\text{detik}$, kemudian naik $7,281 \times 10^{-9} \text{ Cm}^2/\text{detik}$ pada waktu penahanan 5 jam atau naik sekitar 4,34 %. Laju difusi pada temperature 875°C dengan waktu penahanan 1 jam mencapai $1,058 \times 10^{-9} \text{ Cm}^2/\text{detik}$, kemudian naik $3,867 \times 10^{-9} \text{ Cm}^2/\text{detik}$ pada waktu penahanan 5 jam atau naik sekitar 259 %. Sedangkan laju difusi pada temperature 900°C dengan waktu penahanan 1 jam mencapai $3,528 \times 10^{-9} \text{ Cm}^2/\text{detik}$, kemudian naik $6,67 \times 10^{-9} \text{ Cm}^2/\text{detik}$ pada waktu penahanan 5 jam atau naik sekitar 80,8 %. Sehingga Laju difusi yang

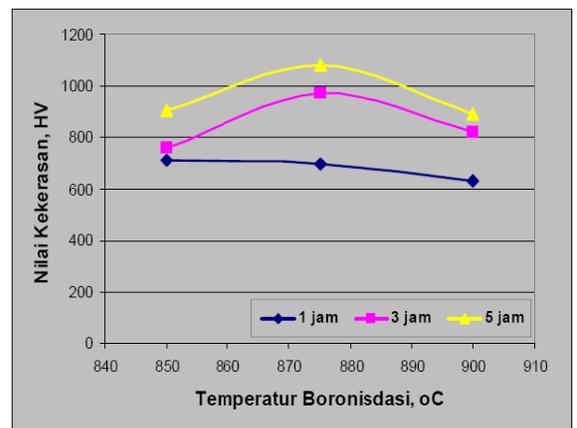
paling tinggi pada temperatur 875°C. Hal ini terlihat pada gambar 3 dibawah ini.



Gambar 3 : Pengaruh waktu tahan terhadap laju difusi.

Pengaruh temperatur dan waktu tahan terhadap kekerasan proses Boronisasi. Berdasarkan hasil pengujian kekerasan yang menggunakan metoda uji Vickers dapat dilihat bahwa nilai kekerasan meningkat dengan semakin lamanya waktu penahanan. Nilai kekerasan pada temperatur 850°C

dengan waktu penahanan 1 jam mencapai 713 HV, kemudian naik 904 HV pada waktu penahanan 5 jam atau naik sekitar 26,8 % seperti terlihat pada gambar 4 dibawah ini.



Gambar 4. Pengaruh temperature dan waktu tahan terhadap kekerasan



Nilai kekerasan pada temperatur 875°C dengan waktu penahanan 1 jam mencapai 699 HV, kemudian naik 1080 HV pada waktu penahanan 5 jam atau naik sekitar 54,4 %. Sedangkan nilai kekerasan pada temperature 900°C dengan waktu penahanan 1 jam mencapai 630 HV, kemudian naik 894 HV pada waktu penahanan 5 jam atau naik 41,9 %. Sehingga kenaikan nilai kekerasan yang paling tinggi diperoleh pada temperatur 875°C.

KESIMPULAN

1. Peningkatan kedalaman lapisan difusi tertinggi diperoleh pada 875°C yaitu 327,5%. Lapisan
2. difusi
3. tertinggi diperoleh pada temperature 900°C dengan penahanan waktu 5 jam yaitu 155µm.
4. -. Kenaikan laju difusi yang paling tinggi diperoleh pada temperatur 875°C yaitu 259 %.Difusi
5. tertinggi diperoleh pada temperatur 900°C dengan penahanan waktu 3 jam yaitu
6. $8,189 \times 10^{-9} \text{Cm}^2/\text{detik}$.
7. Kenaikan nilai kekerasan yang tertinggi diperoleh pada temperature 875°C yaitu 54,4
8. %.Sedangkan nilai kekerasan tertinggi diperoleh pada 875oC dengan penahanan waktu 5 jam
9. yaitu 1080 HV.

REFERENSI.

- [1] Lakhin, Y., *“Engineering Physical Metallurgy”*. Second printing. Publisher Moscow. 1964.
- [2] Sriati Djaprie., *“Ilmu dan Teknologi Bahan”*. Erlangga, Jakarta. 1983.
- [3] Kraus, G., *“Principles of Heat Treatment of Steel”*. America Society for Metal, Metal Park. Ohio, 1980.
- [4] ASM., *“Case Hardening Steel”*. Vol. 4. Metal Handbook, 9 th ed. Metal Park. Ohio, 1980.

[5] Zakharov, B., *“Heat Treatment of Metals”*. Foreign Languages Publishing House Moscow. Soviet Socialist Republics, Moscow, 1962.

[6] Avner., *“Introduction ti Physical Metallurgy”*. Second edition. McGraw- Hill. 1974.

[7] Karl-Erik Thelning., *“Steel and its Heat Treatment”*. Bofors Handbook, Butterworths, London – Boston, 1967.

[8] ASM., *“Heat Treatment”*. Metal Handbook Ninth edition, 1990.

[9] Yoshiyuki Saita., *“Fundamental Heat Treatment Processes Steel”*. Nagoya Municipal Industrial Research Institute, Nagoya. 1987.

[10] Suchy, Ivana., *“Handbook of Die Design”*. Copyright by McGraw-Hill Companies, Inc. 1998.

[11] Edward. M. Mielnik., *“Metal Working Science and Engineering”*.Copyright by McGraw-Hill Companies, Inc. 1991.

[12] American Foundrymen’s Society, Inc., *“Ductile Iron Handbook”*. Copyright 1993.

