

**PENINGKATAN KEKERASAN DAN KETAHANAN AUSPERMUKAAN BAJA
KARBON RENDAH DAN BESI COR KELABU MELALUI PROSES BORONISASI**

OLEH:

Bambang Pratowo

Staf Pengajar di Teknik Mesin Fakultas Teknik
Universitas Bandar Lampung

ABSTRACT

The surface hardening process is one of the high temperature treatment process which is applied only on the surface of the object of the treatment so that it results in an object with superficial hardness without changing the interior matrix shape of the object.

The materials used in this research are perlite gray cast iron and low carbon steel which are easily available on the market to increase the hardness and resistance of the surface of the object through boronisation.

As the diffusion material, boron, which was derived from ferro boron powder was used. The experiment was conducted by varying temperature of 800 °C and 875 °C, with the resisting periods of 1 hour, 3 hours, 5 hours. From this experiment, it was expected that there was an increase in hardness and resistance of the object surface without changing its interior matrix shape.

After conducting the experiment and some tests namely metallography test, hardness test, and resistance test, it showed that there was a diffusion process on the surface of the object.

Having been compared with the sample before the treatment, it can be seen: Based on the result of the metallography test there is a change in the exterior shape of the sample, but a constant interior matrix shape of it.

Based on the hardness test, there is an increase in hardness, maximally on the sample coded BCK-5/875 the rate of 1080 HV.

Based on the resistance test, there is an increase in rate. It can be seen from the lowest weight loss rate on the sample coded BKR-5/875 to 0,0113.

ABSTRAK

Proses pengerasan permukaan (surface hardening) adalah satu dari proses perlakuan panas dimana proses pengerasan dilakukan hanya pada permukaan benda kerja saja, sehingga diperoleh bahan yang memiliki sifat kekerasan pada permukaan tanpa perubahan bentuk matriks bagian dalam bahan.

Digunakan bahan besi cor kelabu perlitik dan baja karbon rendah yang mudah diperoleh dipasaran untuk meningkatkan kekerasan dan ketahanan aus pada permukaan bahan melalui proses boronisasi.

Sebagai bahan difusi digunakan boron yang diperoleh dari material ferro-boron serbuk. Percobaan dilakukan dengan bervariasi temperatur 800°C dan 875°C, waktu penahanan 1 jam, 3 jam, 5 jam. Dari percobaan ini diharapkan dihasilkan peningkatan kekerasan dan ketahanan aus dibagian permukaan bahan tanpa merubah bentuk matriks bagian dalam bahan.

Setelah dilakukan beberapa pengujian dari hasil percobaan, yaitu uji metallografi, uji kekerasan, uji keausan, memperlihatkan adanya proses difusi pada permukaan bahan.

Setelah dibandingkan dengan sampel awal, dapat dilihat

- Pada uji metallografi dapat terlihat perubahan bentuk matriks pada permukaan tetapi bentuk matriks bagian dalam tetap.
- Pada uji kekerasan dapat terlihat telah terjadi peningkatan kekerasan, dan maksimal pada kode sampai BCK – 5/875°C sebesar 1080 HV.

Pada uji ketahanan aus dapat terlihat telah terjadi peningkatan ketahanan aus, dapat terlihat dengan kehilangan berat terendah pada kode sampel BKR – 5 sebesar 0,0133%

Kata kunci : boron, *hardening process*, baja karbon rendah, besi cor kelabu

PENDAHULUAN

Penggunaan logam besi/baja (*ferro*) dan bukan besi (non ferro) pada berbagai macam komponen dibidang pemesinan, industri, pertanian dan bidang otomotif telah banyak digunakan. Ke dua kelompok logam tersebut mempunyai kelebihan dan keuntungan yang satu sama lain berbeda. Khususnya logam besi dan baja, ditinjau dari karakteristiknya sangat bervariasi, sehingga baik besi maupun baja diklasifikasikan menjadi beberapa bagian.

Salah satu dari klasifikasi besi adalah besi cor kelabu (*gray cast iron*). Dan berdasarkan struktur matriksnya, besi ini dapat dibedakan menjadi dua bagian yaitu besi cor kelabu perlitik dan besi cor feritik. Sedangkan salah satu klasifikasi baja yang paling banyak digunakan adalah baja karbon rendah (*low carbon steel*)

Besi cor kelabu perlitik (*perlitic gray cast iron*), mempunyai keunggulan seperti :

- ❖ Kekuatan yang cukup tinggi untuk menahan tekanan, sebanding dengan kekuatan baja.
- ❖ Mudah dikerjakan dengan pemesinan (*machinability*)
- ❖ Kemampuan meredam getaran yang baik walaupun lebih rendah dari besi cor bergrafik bulat (*moduler cast iron*).

Sedangkan baja karbon rendah, mempunyai beberapa keunggulan, seperti :

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

Namun disamping itu keterbatasan/kekurangan dari kedua material tersebut antara lain adalah :

- ❖ Nilai kekerasannya relatif rendah
- ❖ Ketahanan ausnya rendah

- ❖ Tidak tahan terhadap serangan korosi
- ❖ Mudah teroksidasi dan terjadi dekomposisi fasa perlit pada suhu tinggi

Proses pengerasan permukaan (*surface hardening*) adalah merupakan salah satu proses perlakuan panas dimana proses pengerasan yang dilakukan hanya pada permukaan benda kerja saja, sehingga diperoleh material yang memiliki kekerasan yang lebih tinggi dari kekerasan bahan awalnya tanpa terjadi perubahan fasa pada struktur matriksnya.

Proses pengerasan permukaan ini dapat dikelompokkan dalam dua cara, yaitu :

- Proses yang dilakukan tanpa merubah komposisi kimia yang disebut dengan perlakuan panas termal (*thermal treatment*), misalnya : *flame hardening*, *induction hardening*.
- Proses yang dilakukan dengan merubah komposisi kimia yang disebut dengan perlakuan panas termokimia (*thermochemical treatment*), misalnya karburisasi, nitridasi, karbonitridasi, nitrokarburisasi, dan banyak lagi.

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah jenis baja karbon rendah dan besi cor kelabu perlitik. Proses perlakuan panas menggunakan metode perlakuan panas termokimia (*thermochemical treatment*), yaitu dengan menambahkan unsur boron (B) melalui mekanisme difusi kepermukaan benda kerja.

Parameter yang divariasikan antara lain :

- Temperatur boronisasi ; 800 °C dan 875 °C
- Waktu penahanan ; 1,3 dan 5 jam
- Pendinginan dilakukan di udara terbuka

Pengujian yang di lakukan terhadap sampel hasil proses laku panas boronisasi meliputi ; uji tampak muka, pengukuran kedalaman lapisan

difusi yang diikuti dengan pengujian kekerasan dan pengujian tahanan aus.

METODE PENELITIAN

Tahapan Penelitian

Secara skematis tahapan penelitian yang dilakukan, ditunjukkan pada gambar diagram alir.

Material

Bahan-bahan yang digunakan dalam penelitian, adalah :

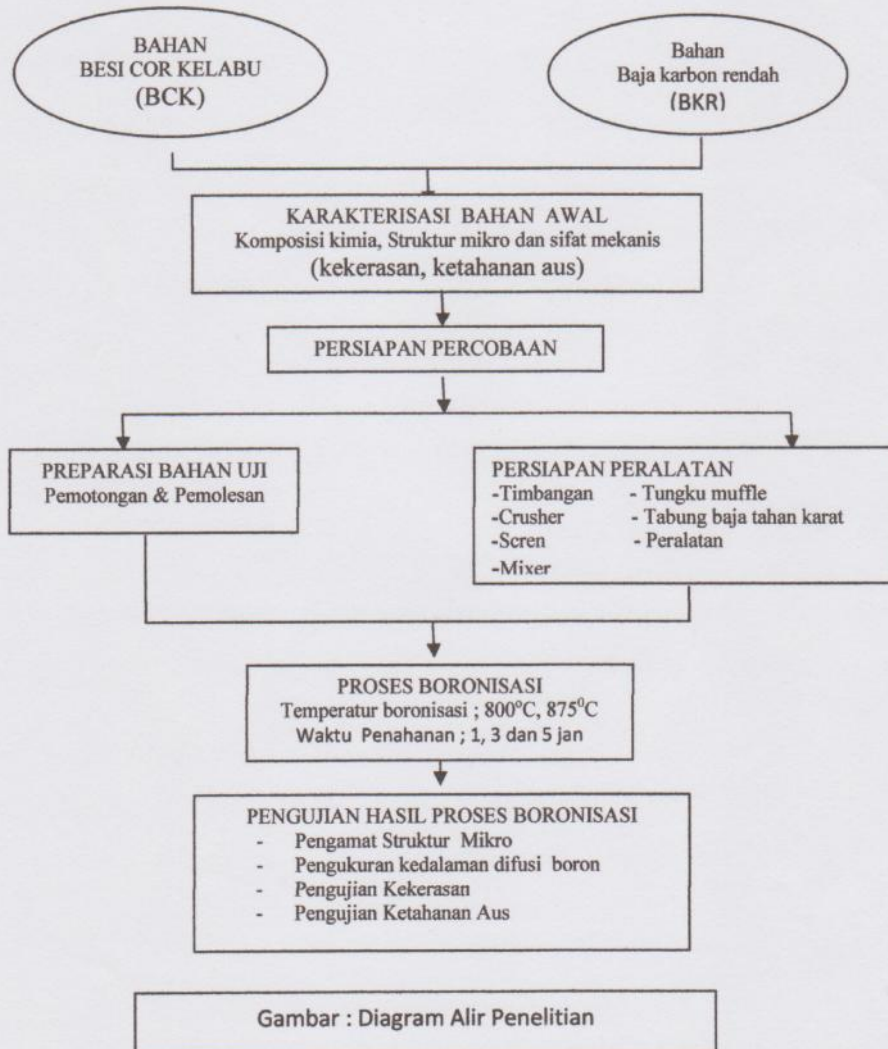
a). Besi cor kelabu perlitik, dengan komposisi kimia terdiri dari : 4,16 % C, 2,29 % Si, 0,05% S, 0,001% P, 0,56 % Mn, 0,019 % Ni, 0,03 % Cr, 0,02% Cu, 92,82 5Fe.

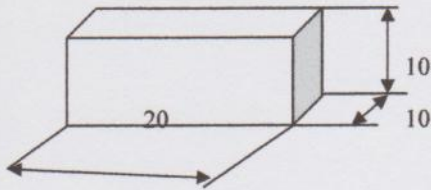
b). Baja karbon rendah, dengan komposisi kimia terdiri dari : 0,21 % C, 0,21 % Si, 0,02 % P, 1,14 % Mn, 0,019 % Ni, 0,03 % Cr, 0,03 % Al, 98,26 % Fe.

c). 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

Spesimen

Material besi cor kelabu perlitik disiapkan dalam bentuk spesimen berdasarkan kebutuhan untuk pengujian. Adapun bentuk dan ukuran spesimen tersebut adalah balok dengan ukuran 10 x 10 x 20 mm, seperti yang ditunjukkan pada gambar :





Gambar: Bentuk dan Ukuran Spesimen

Peralatan

Peralatan proses laku panas boronisasi, terdiri-dari :

- Mesin penggerus (Jaw Busher), digunakan untuk pemecah Ferro-Boron (Fe – B).
- Mesin pengayak, digunakan untuk mengatur kehalusan dan distribusi ukuran serbuk.
- Timbangan analitik, digunakan untuk menimbang serbuk sebelum dicampur.
- Mesin Mixer, digunakan untuk mencampur serbuk hingga homogen.
- Pipa baja tahan karat jenis 304, digunakan untuk menampung campuran serbuk bahan boronisasi dan benda kerja.
- Tungku listrik jenis muffle, digunakan untuk pemanasan proses boronisasi.

Peralatan pengujian

- Metallografi
- Mikro Hardness “ Vickers “
- Uji Keausan
- Spectrometer

Prosedur Percobaan

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

- a. Persiapan bahan awal
Karakterisasi besi cor kelabu perlitik, 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).

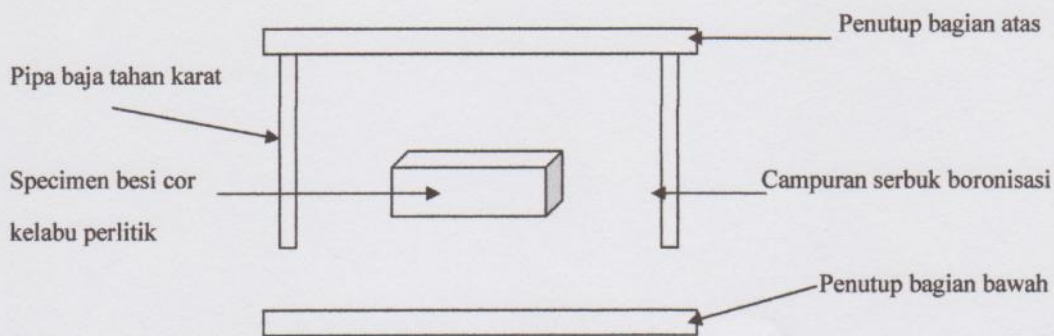
- b. Masukkan kedalam tabung dari bahan baja tahan karat bersama-sama dengan campuran serbuk yang terdiri-dari Fe-B, NH₄Cl dan Al₂O₃ dengan perbandingan yang telah ditentukan, kemudian tutup rapat bagian atas tabung dengan penutup dari bahan yang sama, agar gas yang terbentuk pada saat pemanasan berlangsung tidak keluar atau becor.
- c. Proses laku panas boronisasi dilakukan pada temperatur pemanasan 800 °C dan 875 °C dengan waktu penahan selama 1,2, dan 3 jam, Sedangkan perbandingan dilakukan di udara terbuka. Tabel di bawah ini menunjukkan kode sampel yang dipakai dalam penelitian.

Setelah proses boronisasi selesai, kemudian dilakukan pengujian yang meliputi pengukuran kedalaman lapisan yang terbentuk dipermukaan benda kerja, uji kekerasan dan uji ketahanan aus

Tabel : Pemberian Kode Sampel

No.	Kode Sampel	Kondisi Proses Boronisasi	
		Temperatur Boronisasi (° C)	Waktu Penahanan (jam)
1.	BCK 800 - 1	800	1
2.	BCK 800 - 3	800	3
3.	BCK 800 - 5	800	5
4.	BCK 875 - 1	875	1
5.	BCK 875 - 3	875	3
6.	BCK 875 - 5	875	5
7.	BKR 800 - 1	800	1
8.	BKR 800 - 3	800	3
9.	BKR 800 - 5	800	5
10.	BKR 875 - 1	875	1
11.	BKR 875 - 3	875	3
12.	BKR 875 - 5	875	5

Posisi benda kerja di dalam tabung baja tahan karat dan kurva proses laku panasnya, di tunjukan pada gambar.



Gambar. Pemasangan benda uji dalam cawang

Pengujian Hasil Percobaan

Pengamatan Visual

Pengamatan tampak muka yang terjadi pada benda kerja setelah mengalami laku panas boronisasi.

Pengujian Metalografi

Pengujian metalografi berujuan untuk mengamati struktur mikro benda kerja awal dan benda kerja setelah mengalami laku panas boronisasi. Di lakukan dan menggunakan peralatan mikroskop metalurgi.

Pengujian Kekerasan

Pengujian kekerasan di lakukan untuk mengetahui perubahan kekerasan yang terjadi akibat proses laku panas boronisasi. Pengujian dilakukan dengan menggunakan metode kekerasan mikro *Vickers* (HV). Harga kekerasan dengan metode *Vickers* (*Hardness*

Pengujian Kekerasan

Pengujian kekerasan di lakukan untuk mengetahui perubahan kekerasan yang terjadi akibat proses laku panas boronisasi. Pengujian dilakukan dengan menggunakan metode kekerasan mikro *Vickers* (HV). Harga kekerasan dengan metode *Vickers* (*Hardness Vickers Number*) di hitung dengan menggunakan rumus, sebagai berikut :

$$HVN = \frac{2P \sin(\theta/2)}{d^2} = \frac{1,854 P}{d^2}$$

dimana :

P ; beban yang digunakan, gf

d ; diagonal rata-rata dari bekas penekanan, μm

θ ; sudut puncak (136°)

Pengujian Keausan

Pengujian keausan dilakukan dengan menggunakan mesin uji "*Wear Tester*" Model US.01. Tujuan pengujian untuk mengetahui perbedaan ketahanan aus dari benda uji awal dan setelah mengalami laku panas boronisasi. Aturan atau persyaratan yang harus di perhatikan dalam melakukan pengujian keausan sesuai dengan tujuan di atas, antara lain :

- ukuran kekerasan kertas ampelas
- jumlah putaran
- beban yang di berikan

Untuk setiap pengujian harus dibuat dalam kondisi yang sama. Dari hasil pengujian, untuk mendapatkan harga atau nilai ketahanan aus dari benda uji diperoleh dengan menggunakan perhitungan sebagai berikut :

$$\text{Keausan}(\%) = \frac{\text{Berat awal} - \text{berat akhir}}{\text{berat awal}} \times 100\%$$

Data Hasil Penelitian dan Pembahasan

Komposisi Kimia

Berdasarkan hasil pengujian komposisi kimia dengan menggunakan spectrometer, diperoleh data spesimen awal sebagai berikut :

Tabel: komposisi kimia spesimen material awal besi cor kelabu perlitik (BCK) dan baja karbon rendah (BKR)

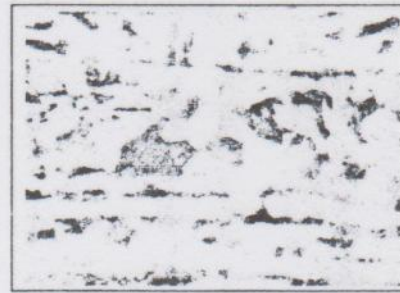
UNSUR	Komposisi Unsur, dalam % berat	
	Besi Cor Kelabu (BCK)	Baja Karbon Rendah (BKR)
Karbon (C)	4,16184	0,21198
Silikon (Si)	2,29009	0,27205
Sulfur (S)	0,0515	0,0037
Posfor (P)	0,0119	0,0176
Mangan (Mn)	0,56321	1,14606
Nikel (Ni)	0,01818	0,01415
Kromium (Cr)	0,02851	0,02840
Molibdenum (Mo)	0,00017	0,00084
Vanadium (V)	0,00218	0,00156
Tembaga (Cu)	0,01690	0,00767
Tungsten (W)	0,00121	0,00107
Titanium (Ti)	0,00888	0,00372
Timah putih (Sn)	0,00537	0,00094
Aluminium (Al)	0,00694	0,02785
Timah hitam (Pb)	0,00115	0,00016
Niobium (Nb)	0,00026	0,00213
Zirkonim (Zr)	0,00048	0,00055
Seng (Zn)	0,00715	0,00135
Besi (Fe)	92,8251	98,2602

Struktur Mikro

Berdasarkan hasil pemeriksaan terhadap struktur mikro spesimen material awal, seperti di tunjukan pada gambar adalah besi cor kelabu perlitik yang mengandung fasa perlit dan sedikit ferit dengan grafik berbentuk lamellar.



Gambar. Struktur mikro spesimen material awal. Besi cor kelabu perlitik. Pembesaran 500%. Larutan etsa : 3%



Gambar : Struktur mikro spesimen material awal. Baja karbon rendah. Pembesaran 500%. Larutan etsa : 3%

Kekerasan

Nilai kekerasan spesimen material awal pada besi cor kelabu perlitik dan baja karbon rendah, seperti ditunjukkan pada tabel dan berikut ini :

Tabel : Kekerasan spesimen material awal besi cor kelabu perlitik dan baja karbon rendah

Pengujian ke	Nilai kekerasan material awal	
	Besi cor kelabu perlitik (HB)	Baja karbon rendah (HV)
1	202	153
2	198	169
3	205	167
Nilai rata2	202	163

Ketahanan Aus

Hasil pengujian ketahanan aus pada spesimen material awal diperoleh data, sebagai berikut :

Tabel : Ketahanan aus spesimen material awal

Parameter Pengujian	Nilai pengujian material awal	
	Besi cor kelabu perlitik	Baja karbon rendah
Berat Awal (Wo)	10,9092 g	9,9583 g
Berat Akhir (Wi)	10,8732 g	9,9186 g
Prosentase Keausan	0,330 %	0,399 %

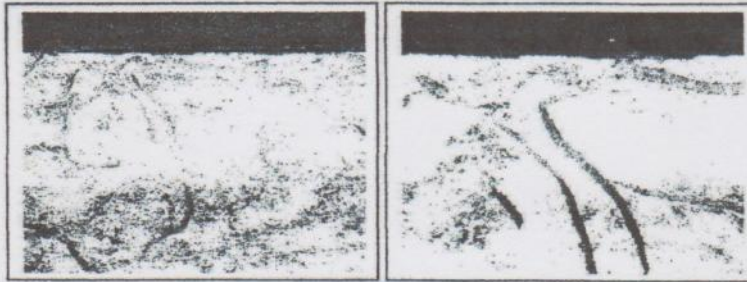
Data Hasil Penelitian

Struktur Mikro dan Tabel Lapisan

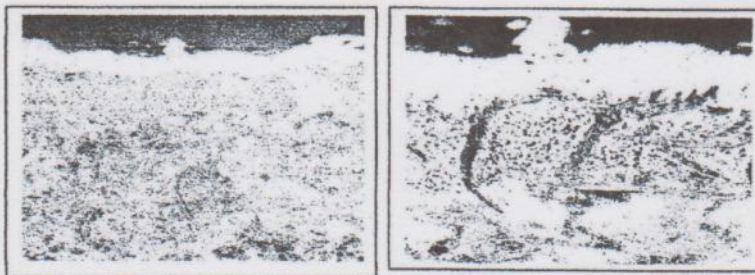
Berdasarkan hasil pemeriksaan struktur mikro dan pengukuran ketebalan lapisan putih (*white*

layer) hasil boronisasi, dapat dilihat pada Gambar sampai dengan Gambar, untuk spesimen material besi cor kelabu perlitik dan gambar sampai dengan gambar untuk spesimen material baja karbon rendah, sebagai berikut :

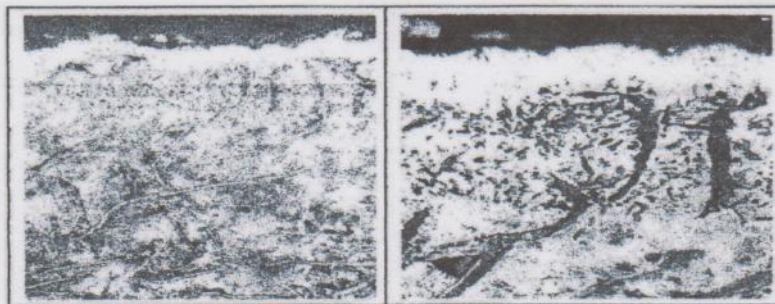
A. Spesimen Material Besi Cor Kelabu Perlitik (BCK)



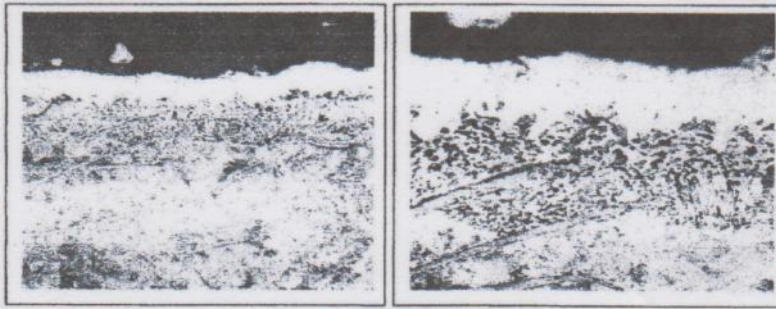
Gambar : Struktur mikro BCK dan ketebalan lapisan spesimen hasil Boronisasi pada temperatur 800°C dengan waktu penahanan 1 jam. Pembesaran 200x dan 500x. Larutan etsal Nital 3%. (tebal lapisan 6,2 μm).



Gambar : Struktur mikro BCK dan ketebalan lapisan spesimen hasil Boronisasi pada temperatur 800 °C dengan waktu penahanan 3 jam. Pembesaran 200x dan 500x, larutan etsa Nital 3 %. (tebal lapisan 36 μm)



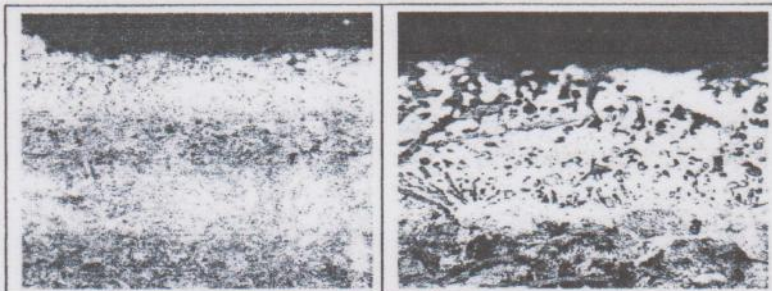
Gambar : Struktur mikro BCK dan ketebalan lapisan spesimen hasil Boronisasi pada temperatur 800 °C dalam waktu penahanan 5 jam. Pembesaran 200x dan 500x, larutan etsa Nital 3 %. (tebal lapisan 40,4 μm)



Gambar : Struktur mikro BCK dan ketebalan lapisan spesimen hasil Boronisasi pada temperatur 875°C dengan waktu penahanan 1 jam. Pembesaran 200x dan 500x, larutan etsa Nital 3 % (Tebal lapisan 46 μm)

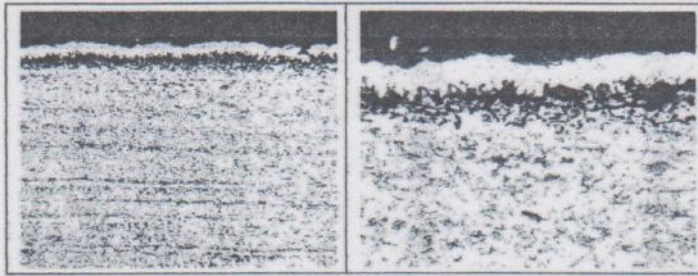


Gambar : struktur mikro BCK dan ketebalan lapisan spesimen hasil Boronisasi pada temperature 875° C dengan waktu penahanan 3 jam. Pembesaran 200x dan 500x, larutan etsal Nital 3%. (tebal lapisan 50 μm)



Gambar Struktur mikro BKR dan ketebalan lapisan spesimen hasil Boronisasi pada temperature 875°C dengan waktu penahanan 1 jam. Pembesaran 200x dan 500x, larutan etsa Nital 3 % (tebal lapisan 81,6 μm)

B. Spesimen Material Baja Karbon Rendah (BKR)



Gambar : Struktur mikro BKR dan ketebalan lapisan spesimen hasil Boronisasi pada temperatur 800°C dengan waktu penahanan 1 jam. Pembesaran 200x dan 500x, larutan etsa Nital 3 % (tebal lapisan $22,4\ \mu\text{m}$)



Gambar : Struktur mikro BKR dan ketebalan lapisan spesimen hasil boronisasi pada temperatur 800°C dengan waktu penahanan 3 jam. Pembesaran 200x dan 500x, larutan etsa Nital 3 % (tebal lapisan $41,2\ \mu\text{m}$)



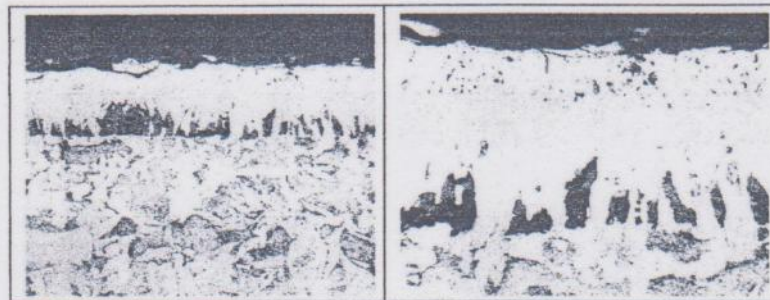
Gambar : Struktur mikro BKR dan ketebalan lapisan spesimen hasil Boronisasi pada temperatur 800°C dengan waktu penahanan 5 jam. Pembesaran 200x dan 500x, larutan etsa Nital 3%. (tebal lapisan $51,2\ \mu\text{m}$)



Gambar : struktur mikro BKR dan ketebalan lapisan spesimen hasil Boronisasi pada temperature 875° C dengan waktu penahanan 1 jam. Pembesaran 200x dan 500x, larutan etsal Nital 3%. (tebal lapisan 50,4 μm)



Gambar : struktur mikro BKR dan ketebalan lapisan spesimen hasil Boronisasi pada temperature 875° C dengan waktu penahanan 3 jam. Pembesaran 200x dan 500x, larutan etsal Nital 3%. (tebal lapisan 52 μm)



Gambar : struktur mikro BKR dan ketebalan lapisan spesimen hasil Boronisasi pada temperature 875° C dengan waktu penahanan 5 jam. Pembesaran 200x dan 500x, larutan etsal Nital 3%. (tebal lapisan 118 μm)

Kedalaman Lapisan Difusi

Hasil pengukuran kedalaman lapisan pada spesimen material hasil boronisasi, seperti di tunjukkan pada Tabel, berikut ini :

Data pengukuran kedalaman lapisan pada spesimen material hasil boronisasi

No.	Kode Sample	Kedalaman Lapisan (μm)
1	BCK 800-1	6,2 μm
2	BCK 800-3	36 μm
3	BCK 800-5	40,4 μm
4	BCK 875-1	46 μm
5	BCK 875-3	50 μm
6	BCK 875-5	81,6 μm
7	BKR 800-1	22,4 μm
8	BKR 800-3	41,2 μm
9	BKR 800-5	51,2 μm
10	BKR 875-1	50,4 μm
11	BKR 875-3	52 μm
12	BKR 875-5	118 μm

Kekerasan

Nilai kekerasan spesimen material hasil boronisasi, seperti di tunjukkan pada tabel di bawah ini :

Data pengukuran kedalaman lapisan pada spesimen material hasil boronisasi

No.	Kode Sample	Hardness Vickers (HV)
1	BCK 800-1	724,5
2	BCK 800-3	812,3
3	BCK 800-5	845,5
4	BCK 875-1	675,4
5	BCK 875-3	756,0
6	BCK 875-5	810,5
7	BKR 800-1	713,0
8	BKR 800-3	760,5
9	BKR 800-5	904,7
10	BKR 875-1	699,3
11	BKR 875-3	973,8
12	BKR 875-5	1080

Ketahanan Aus

Tabel. Nilai ketahanan aus pada spesimen material hasil boronisasi

Kode Sampel	Berat awal (gram)	Berat akhir (gram)	Selisih berat	
			(gram)	(%)
BCK - B - 800 - 1	8,1243	8,11794	0,00636	0,0783
BCK - B - 800 - 3	8,7739	8,76831	0,00559	0,0637
BCK - B - 800 - 5	8,7473	8,74209	0,00521	0,0596
BCK - B - 875 - 1	8,9526	8,94516	0,00744	0,0831
BCK - B - 875 - 3	8,4082	8,40235	0,00585	0,0696
BCK - B - 875 - 5	8,4717	8,46605	0,00565	0,0667
BCK - B - 800 - 1	10,2735	10,26989	0,00361	0,0351
BCK - B - 800 - 3	9,7586	9,75527	0,00333	0,0341
BCK - B - 800 - 5	10,6107	10,6085	0,0022	0,0207
BCK - B - 875-1	10,1344	10,13081	0,00359	0,0354
BCK - B - 875-3	10,3449	10,34344	0,00146	0,0141
BCK - B - 875-5	9,6207	9,61961	0,00109	0,0113

Kondisi Pengujian :

- Ukuran kekerasan kertas amplas = No. 120
- Jumlah putaran = 500 rpm
- Beban yang diberikan = 1 kg

Tabel. Hasil perhitungan laju difusi pada proses boronisasi

No.	Kode Sample	Laju difusi (Cm ² /detik)
1	BCK 800-1	$5,3389 \times 10^{-11}$
2	BCK 800-3	$6,0000 \times 10^{-10}$
3	BCK 800-5	$4,5337 \times 10^{-10}$
4	BCK 875-1	$2,3889 \times 10^{-9}$
5	BCK 875-3	$1,1574 \times 10^{-9}$
6	BCK 875-5	$1,8496 \times 10^{-9}$
7	BKR 800-1	$6,9689 \times 10^{-10}$
8	BKR 800-3	$7,8585 \times 10^{-10}$
9	BKR 800-5	$7,2818 \times 10^{-10}$
10	BKR 875-1	$3,5281 \times 10^{-9}$
11	BKR 875-3	$1,2518 \times 10^{-9}$
12	BKR 875-5	$3,8678 \times 10^{-9}$

Pembahasan

Struktur Mikro

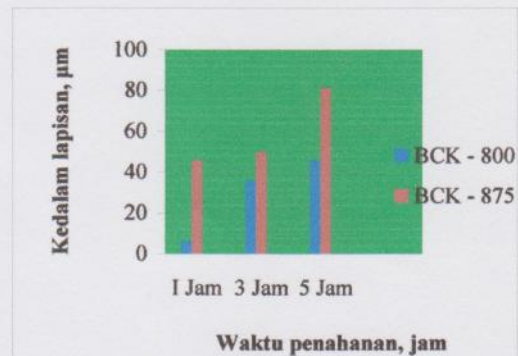
Berdasarkan data hasil pengujian yang telah dilakukan, maka dapat dibahas beberapa hal yang meliputi :

Struktur mikro material awal (besi cor kelabu dan baja karbon), seperti ditunjukkan pada gambar. Diperoleh bahwa struktur mikro besi cor (BCK) memiliki fasa dengan matriks perlit sedikit ferrit dan grafit lamellar dengan komposisi kimia (lihat tabel), sedangkan struktur mikro baja karbon rendah (BKR) memiliki fase dengan matriks ferrit dan perlit dengan komposisi kimia (lihat tabel).

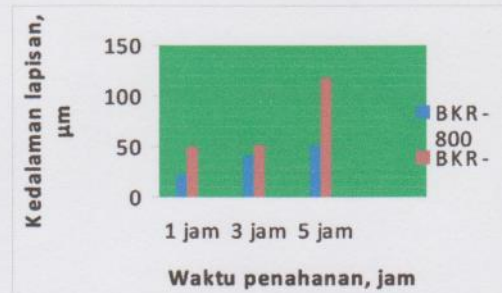
Dari hasil pengamatan struktur mikro material awal, besi cor kelabu adalah termasuk ke dalam jenis besi cor kelabu perlitik, sedangkan material baja karbon yang dipakai dalam penelitian ini tergolong jenis baja karbon rendah.

Setelah dilakukan proses boronisasi pada temperatur 800°C dan 875°C dengan waktu penahanan 1 jam, 3 jam dan 5 jam di dalam komposisi campuran bahan boronisasi yang terdiri atas : FeB, Al₂O₃, NH₄Cl pada perbandingan komposisi 60 : 36,5 : 3,5.

Pengaruh Waktu Penahanan terhadap Kedalaman Lapisan Boronisasi

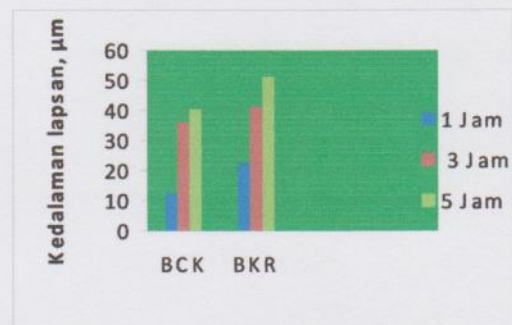


Grafik : Hubungan waktu penahanan pada masing-masing Temperatur boronisasi terhadap ke dalaman lapisan



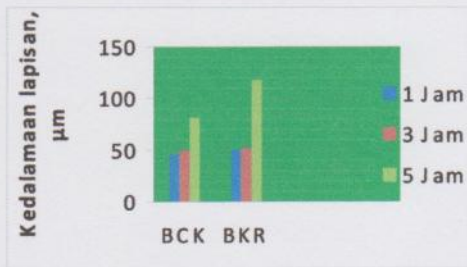
Grafik : Hubungan waktu penahanan pada masing-masing Temperatur boronisasi terhadap ke dalaman lapisan

Perbandingan ke dalaman lapisan pada BCK dan BKR Pada temperatur boronisasi 800°C



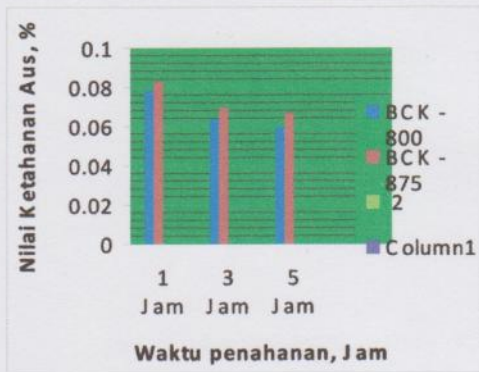
Grafik : Perbandingan ke dalaman lapisan pada BCK dan BKR dengan temperatur boronisasi 800°C

Perbandingan ke dalam lapisan pada BCK dan BKR Pada tempetur boronisasi 875°C



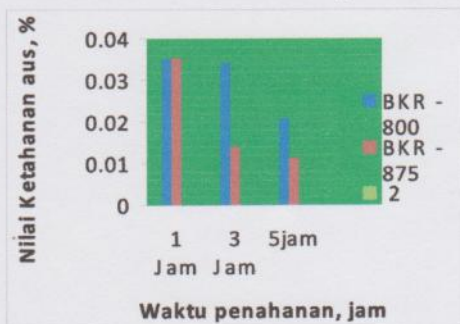
Grafik : Perbandingan ke dalam lapisan pada BCK dan BKR Dengan temperatur 875°C Pengaruh Waktu Penahanan terhadap Ketahanan Aus pada Lapisan Boronisasi

Pengaruh waktu penahanan terhadap ketahanan aus Pada variasi teperatur



Grafik : Waktu penahanan terhadap ketahanan aus Dengan variasi temperatur pada spesimen BCK

Pengaruh waktu penahanan terhadap ketahanan aus Pada variasi temperatur



Grafik : Pengaruh waktu penahanan terhadap ketahanan aus dengan variasi temperatur pada spesimen BKR

Perbandingan Nilai Kekerasan Pada BCK dan BKR Pada Temperatur Boronisasi 800°C



Grafik: Perbandingan Nilai Kekerasan Pada BCK dan BKR dengan Temperatur Boronisasi 800°

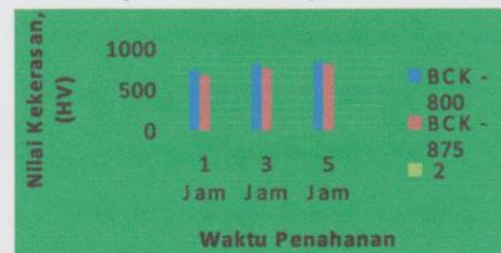
Perbandingan presentasi keausan BCK dan BKR pada Temperatur boronisasi 875°C



Grafik : Perbandingan presentasi keausan pada BCK dan BKR Dengan temperatur boronisasi 875°C

Pengaruh Waktu Penahanan Terhadap Kekerasan pada Lapisan Boronisasi

Pengaruh waktu penahanan terhadap kekerasan pada Variasi temperatur



Grafik : Pengaruh waktu penahanan terhadap kekerasan Dengan variasi temperatur pada spesimen BCK

Pengaruh Waktu Penahanan Terhadap Kekerasan Pada Variasi Temperatur

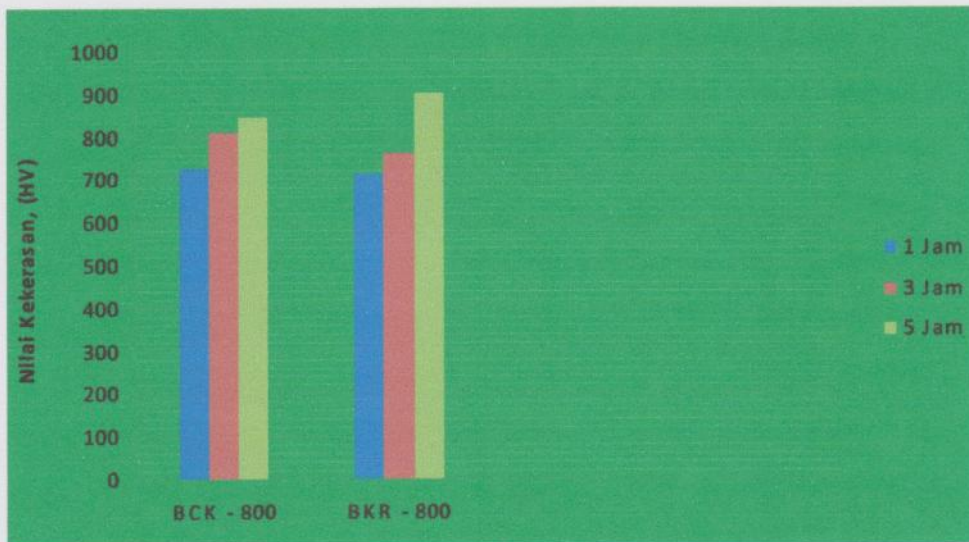


Gambar : Pengaruh Waktu Penahanan Terhadap Kekerasan dengan Variasi Temperatur Pada Spesimen BKR

Perbandingan Nilai Kekerasan Pada BCK dan BKR Pada Temperatur Boronisasi 800°C



Perbandingan Nilai Kekerasan Pada BCK dan BKR Pada Temperatur Boronisasi 800°C



Gambar: Perbandingan Nilai Kekerasan Pada BCK dan BKR dengan Temperatur Boronisasi 800°

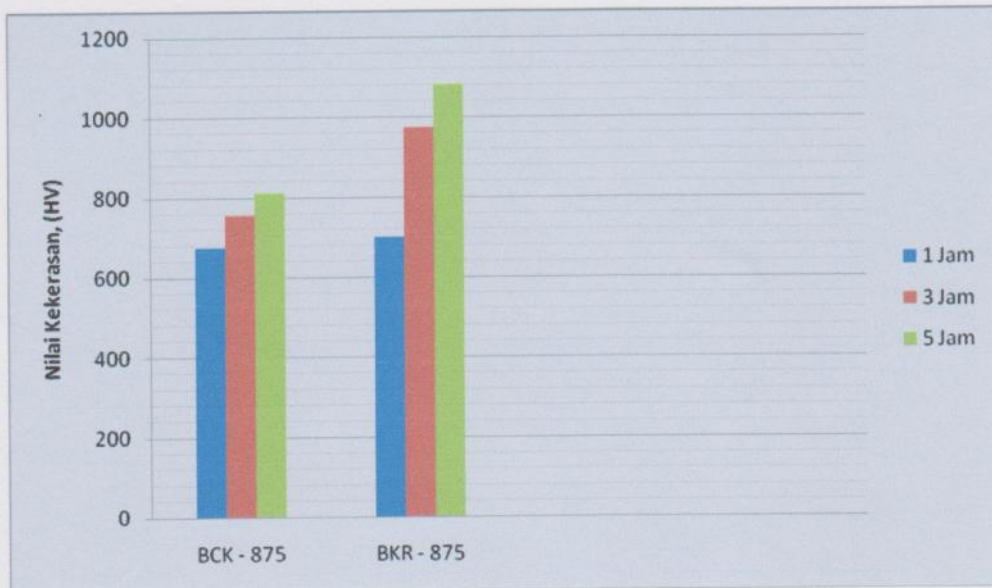
Grafik: Perbandingan Nilai Kekerasan Pada BCK dan BKR dengan Temperatur Boronisasi 800°

Perbandingan Nilai Kekerasan Pada BCK DAN BKR dengan temperatur Boronisasi 875°C



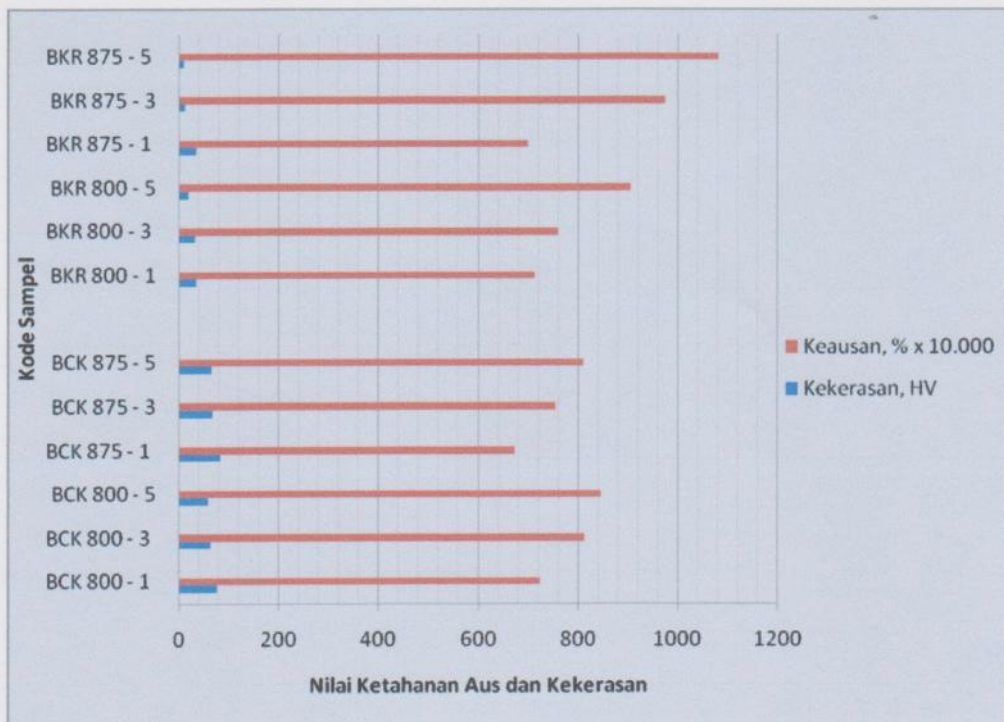
Grafik: Perbandingan Nilai Kekerasan Pada BCK dan BKR dengan Temperatur 875°C

Perbandingan Nilai Kekerasan Pada BCK DAN BKR dengan temperatur Boronisasi 875°C



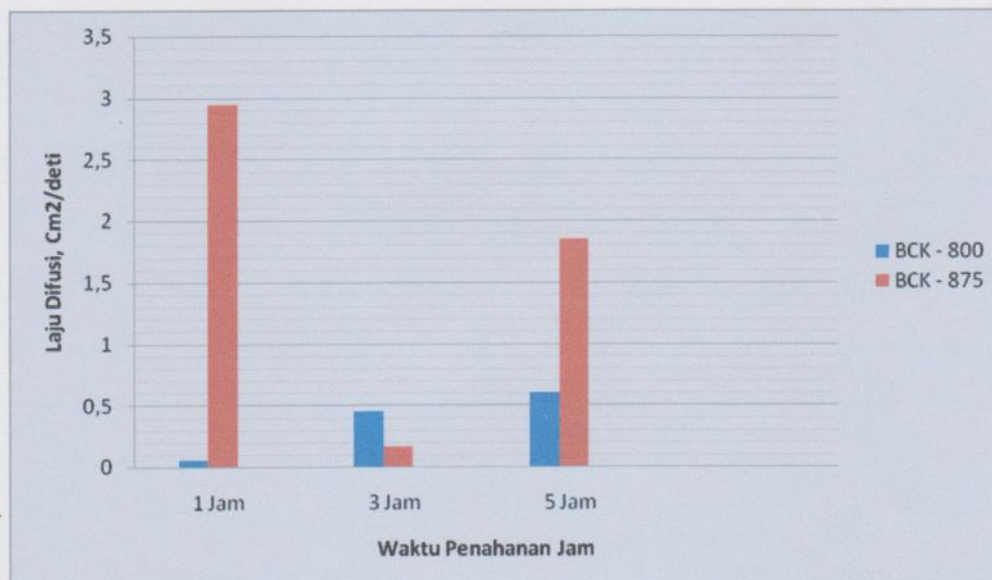
Grafik Perbandingan Nilai Kekerasan Pada BCK dan BKR dengan Temperatur 875°C

Kekerasan dan Ketahanan Aus



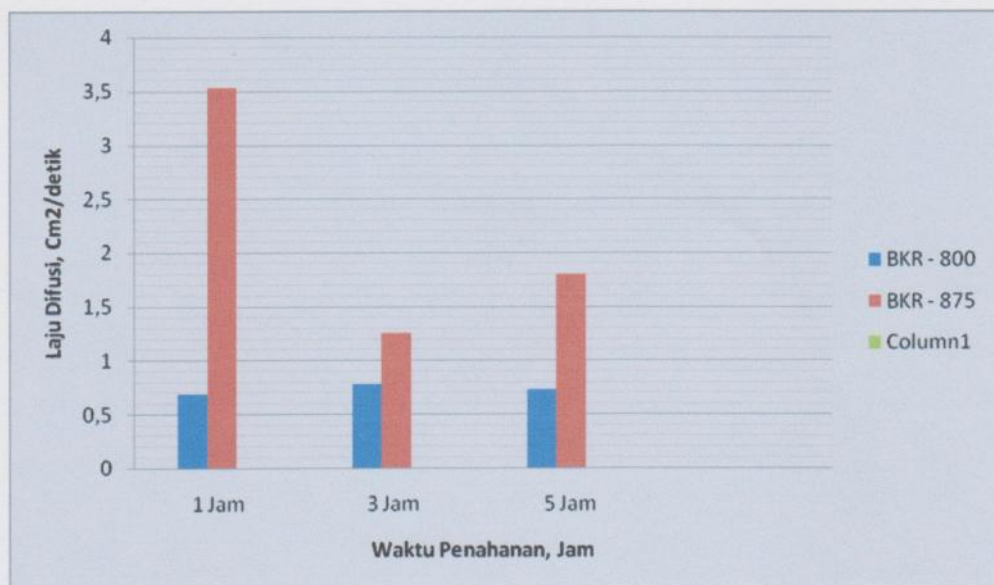
Grafik Grafik Hubungan Antara Ketahanan Aus dan Kekerasan

Pengaruh Temperatur dan Waktu Penahanan Terhadap Laju Difusi



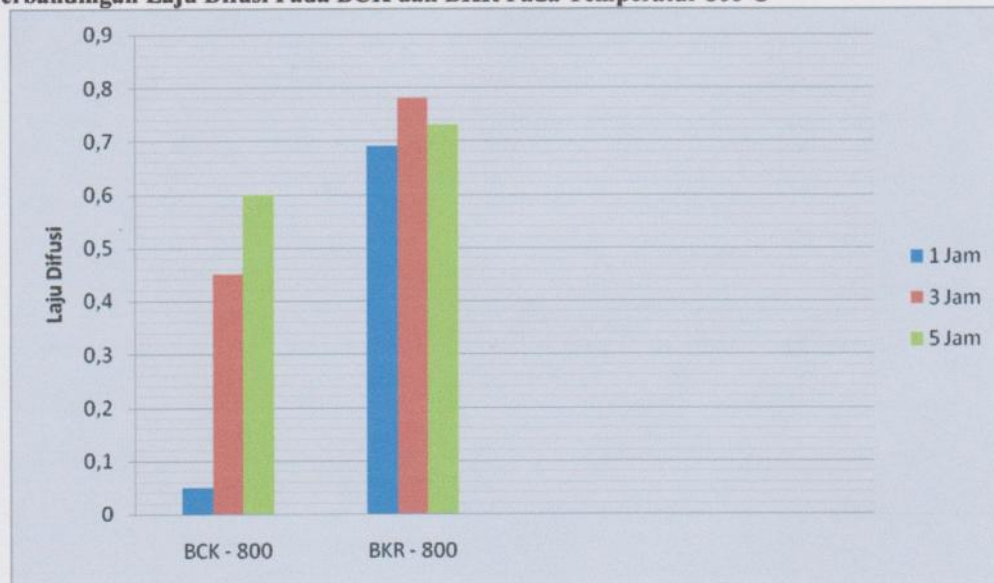
Grafik Pengaruh Temperatur dan Waktu Penahanan Terhadap Laju Difusi pada BCK

Pengaruh Temperatur dan Waktu Penahanan Terhadap Laju Difusi Pada BKR



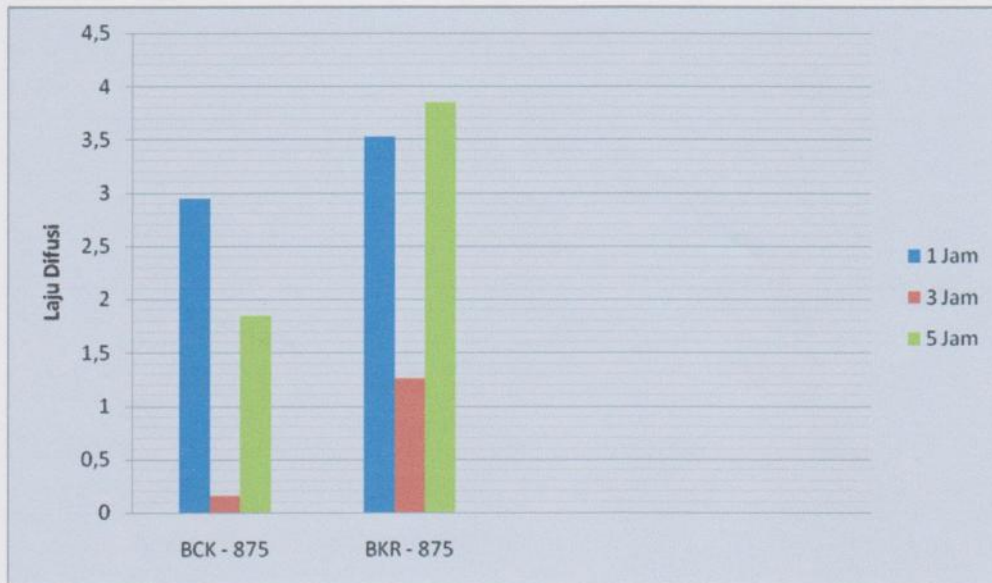
Grafik Pengaruh Temperatur dan Waktu Penahanan Terhadap Laju Difusi Pada BKR

Perbandingan Laju Difusi Pada BCK dan BKR Pada Temperatur 800°C



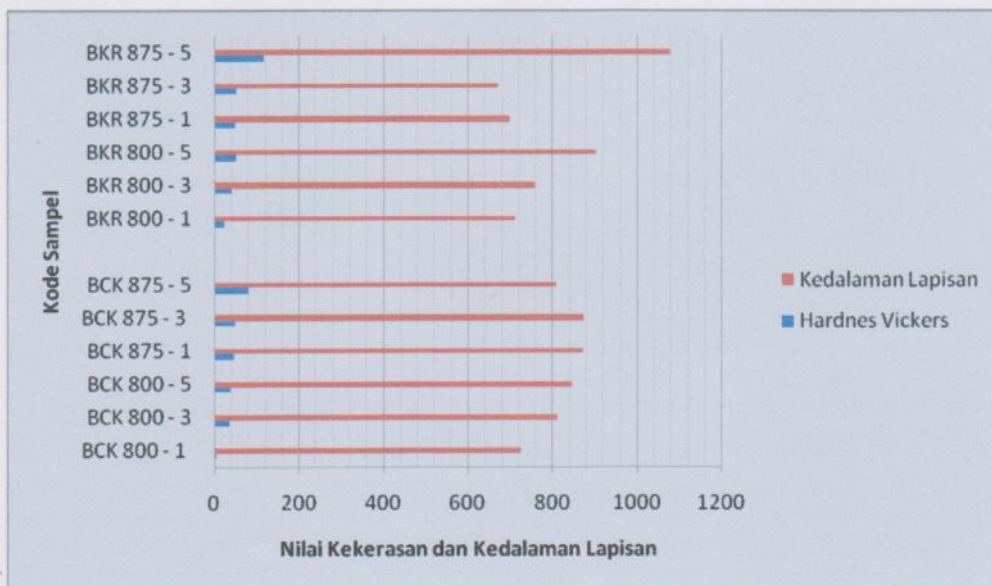
Grafik Perbandingan Laju Difusi Antara BCK dan BKR Pada Temperatur 800°C

Perbandingan Laju Difusi Pada BCK dan BKR Pada Temperatur 875°C



Grafik Perbandingan Laju Difusi Antara BCK dan BKR Pada Temperatur 875°C

Kekerasan dan Kedalaman Lapisan



Grafik Hubungan Antara Kedalaman Lapisan Dengan Kekerasan

Kesimpulan

Berdasarkan analisis dan pembahasan di atas maka dapat ditarik beberapa kesimpulan, sebagai berikut :

- a) Dengan kenaikan temperatur dan semakin lamanya waktu penahanan, akan memberikan nilai kekerasan yang semakin meningkat seiring dengan bertambahnya kedalaman lapisan ferroborena (Fe_2B).
- b) Ketebalan lapisan optimal (118 μm) pada baja karbon rendah diperoleh pada kondisi temperatur proses 875°C dengan waktu penahanan 5 jam.
- c) Ketebalan lapisan optimal (81,6 μm) pada besi cor kelabu diperoleh pada kondisi temperatur proses 875°C dengan waktu penahanan 5 jam.
- d) Dari hasil pengujian ketahanan aus, diperoleh persentase keausan maksimal untuk besi cor kelabu sebesar 0,0667% pada temperatur boronisasi 875°C dengan waktu penahanan 5 jam atau naik sekitar 80% dari material awal dan persentase keausan maksimum untuk baja karbon rendah sebesar 0,0113% pada temperatur boronisasi 875°C dengan waktu penahanan 5 jam atau naik sekitar 72% dari material awal.
- e) Dari hasil pengujian kekerasan, diperoleh nilai kekerasan maksimal untuk besi cor kelabu sebesar 810,5 HV pada temperatur boronisasi 875°C dengan waktu penahanan 5 jam atau naik sekitar 300% dari material awal dan nilai kekerasan maksimal untuk baja karbon rendah sebesar 1080 HV pada temperatur boronisasi 875°C dengan waktu penahanan 5 jam atau naik sekitar 562% dari material awal.
- f) Semakin tinggi temperatur pemanasan dan waktu penahan dalam proses boronisasi, nilai kekerasan akan semakin meningkat pula. Energi bebas reaksi dari pembentukan lapisan ferroborena (Fe_2B) semakin mengecil atau menuju kearah negatif (spontan), sehingga nilai laju difusi atom boron pada besi cor akan semakin besar.

Saran

Dari hasil penelitian yang telah dilakukan, maka beberapa saran yang dapat diusulkan sebagai berikut :

1. Pada saat pembuatan tabung (box kemasan boronisasi padat), hendaknya diperhitungkan kekuatan material pada suhu tinggi terhadap tekanan gas yang terbentuk, sehingga terhindar dari pecahnya material tabung yang dapat menimbulkan ledakan cukup berbahaya.
2. Dalam pengelasan tabung (box kemasan boronisasi padat) perlu ketelitian yang tinggi sehingga terhindar dari kebocoran. Bila perlu di disain tanpa ada pengerjaan lasan, misalnya dengan sistim ulir.

DAFTAR PUSTAKA

1. Bullens, I.K., "Steel and its Heat Treatment". Vol. III. Engineering and Special Purpose Steels. 5 th ed, Wiley, New York, 1979.
2. Gray, J.M., "Processing and Properties of Low Carbon Steel". The Metallurgical Society, New York, 1973.
3. Surdia Tata, Ir, Prof, M.S.Met.E., "Teknik Pengecoran Logam". Pradnya Paramita, Jakarta, 1982.
4. Sriati Djaprie, "Ilmu dan Teknologi Bahan". Erlangga, Jakarta, 1983.
5. Kraus, G., "Principles of Heat Treatment of Steel". America Society for Metal, Metal Park, Ohio, 1980.
6. Zakkharov, B., "Heat Treatment of Metals". Foreign Languages Publishing House Moscow. Soviet Socialist Republics, 1962.
7. Bela V. Kovacs, "Ductile Iron Heat Treatment". AFC Technical Center Livonia, Michigan, 1992.
8. Adjiantoro B., "Peningkatan Kekerasan dan Ketahanan Aus Besi Cor Kelabu Melalui Proses Perlakuan Panas Kromisasi Padat". Tesis Pasca Sarjana ISTN, Jakarta, 2004.