

## PENINGKATAN KEKERASAN DAN KETAHANAN AUS PERMUKAAN BESI COR KELABU MELALUI PROSES BORONISASI

**Bambang Pratowo  
dan Kunarto**

Staf Pengajar Jurusan Teknik  
Mesin, Fakultas Teknik UBL  
Bandar Lampung

*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 result an object with superficial hardness without changing the interior matrix shape of the object.*

*The materials used in this reseach are perlitics gray cast iron and low carbon steel wich are easily available an yhe market to increase the hardness and resistance of the surface of the object throught borodisation.*

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

*After conducting the experiment and some test namely metallography test, hardness test, and resistance test, it showed that there was 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 metallgraphy test there is 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 on hardness, maximally on the sample caded BCK-5/875 the rate of 1080 HV.*

**Kata kunci : Kekerasan, Aus, Permukaan, Besi Cor, Boronisasi**

### I. PENDAHULUAN

Salah satu dari klasifikasi besi adalah besi cor kelabu (gray cost 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 :

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

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

1. Nilai kekerasannya relatif rendah
2. Ketahanan ausnya rendah
3. Tidak tahan terhadap serangan korosi
4. 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 dikelompokan dalam dua cara, yaitu :

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

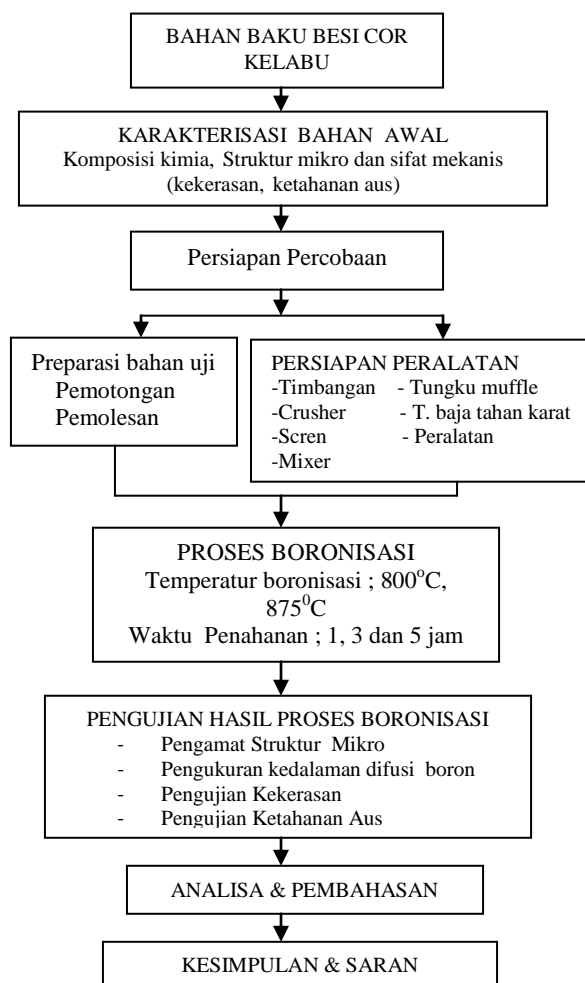
Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah jenis baja karbon rendah dan besi cor kelabu perlitik. Proses perlakuan panas menggunakan metode perlakuan panas termokimia (*thermochemical treatment*), yaitu dengan menambahkan unsur boron (B) melalui mekanisme difusi kepermukaan benda kerja.

- Parameter yang divariasikan antara lain :
1. Temperatur boronisasi ; 800 °C dan 875 °C
  2. Waktu penahanan ; 1,3 dan 5 jam
  3. 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.

## II. METODE PENELITIAN

### Tahapan Penelitian



Gambar 1. Diagram Alir Penelitian

### Material

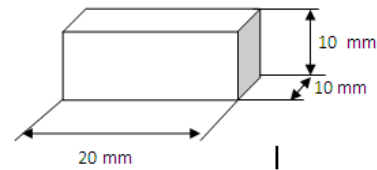
Bahan-bahan yang digunakan dalam penelitian, adalah :

1. 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 % Fe.

2. Bahan boronisasi yang digunakan adalah campuran dari serbuk Fe-B ( high carbon); NH<sub>4</sub> Cl dan serbuk Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 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 2 :



Gambar 2. Benda 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

Peralatan pengujian yang digunakan adalah : Metallografi, Mickro Hardness “ Vickers “ Uji Keausan, Spectrometer

### Prosedur Percobaan

Prosedur percobaan proses laku panas boronisasi dgian atas tabung lakukan melalui tahapan, sebagai berikut :

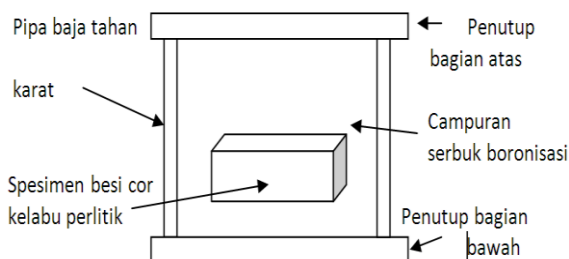
1. Persiapan bahan awal, karekteristerisasi besi cor kelabu perlitik, meliputi : analisa komposisi kimia, struktur mikro dan kekerasan. Benda kerja sebelumnya dibentuk melalui mesin frais menjadi bentuk balok yang mempunyai ukuran 10 x 10 x 20 mm, kemudian permukaannya diratakan dengan mesin perata ( surface grinding machine ).

2. Masukkan kedalam tabung dari bahan baja tahan karat bersama-sama dengan campuran serbuk yang terdiri-dari Fe-B, NH<sub>4</sub>Cl dan Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> dengan perbandingan yang telah di tentukan, kemudian tutup rapat bagian atas tabung dengan penutup dari bahan yang sama, agar gas yang terbentuk pada saat pemanasan berlangsung tidak keluar atau bocor.
3. Proses laku panas boronisasi dilakukan pada temperatur pemanasan 800<sup>0</sup> C dan 875<sup>0</sup> 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.
4. Setelah proses boronisasi selesai, kemudian dilakukan pengujian yang meliputi pengukuran kedalaman lapisan yang terbentuk dipermukaan benda kerja, uji kekerasan dan uji ketahanan aus

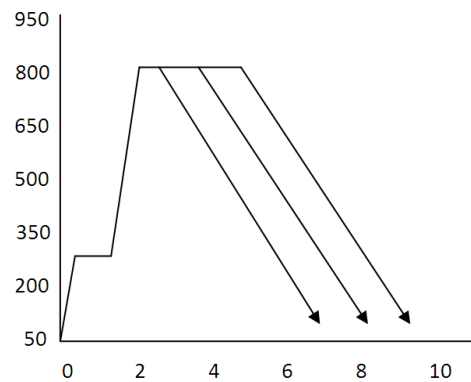
**Tabel 1.** Pemberian Kode Sampel

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

Posisi benda kerja di dalam tabung baja tahan karat dan kurva proses laku panasnya, di tunjukan pada gambar 3.



**Gambar 3.** Pemasangan benda uji dalam cawang



**Gambar 4.** Kurva pemanasan dan pendinginan pada proses laku panas

### 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 Vickers Number*)

### 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.

## III. DATA HASIL DAN PEMBAHASAN

### Data Spesimen Material Awal

#### Komposisi Kimia

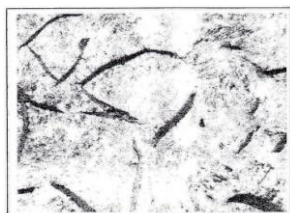
Berdasarkan hasil pengujian komposisi kimia dengan menggunakan spectrometer, diperoleh data spesimen awal sebagai berikut :

**Tabel 2.** komposisi kimia spesimen material awal besi cor kelabu perlitik (BCK)

UNSUR	Komposisi Unsur, dalam % berat Besi Cor Kelabu (BCK)
Karbon (C)	4,16184
Silikon (Si)	2,29009
Sulfur (S)	0,0515
Posfor (P)	0,0119
Mangan (Mn)	0,56321
Nikel (Ni)	0,01818
Kromium (Cr)	0,02851
Molibdenum (Mo)	0,00017
Vanadium (V)	0,00218
Tembaga (Cu)	0,01690
Tungsten (W)	0,00121
Titanium (Ti)	0,00888
Timah putih (Sn)	0,00537
Aluminium (Al)	0,00694
Timah hitam (Pb)	0,00115
Niobium (Nb)	0,00026
Zirkonim (Zr)	0,00048
Seng (Zn)	0,00715
Besi (Fe)	92,8251

**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 5.** Struktur mikro spesimen material awal. Basi cor kelabu perlitik. Pembesaran 500%. Larutan etsa : 3%

**Kekerasan**

Nilai kekerasan spesimen material awal pada besi cor kelabu perlitik dan baja karbon rendah adalah 202 HB.

**Ketahanan Aus**

Hasil pengujian ketahanan aus pada spesimen material awal diperoleh data 0.330%.

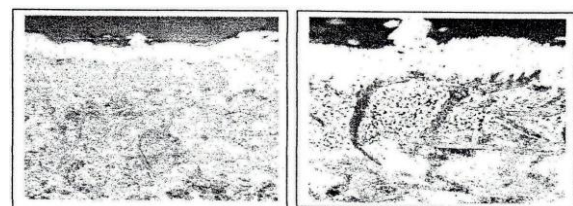
**1. Data Hasil Penelitian Struktur Mikro dan Tebal Lapisan**

Berdasarkan hasil pemeriksaan struktur mikro dan pengukuran ketebalan lapisan putih (*white layer*) hasil boronisasi, dapat dilihat pada

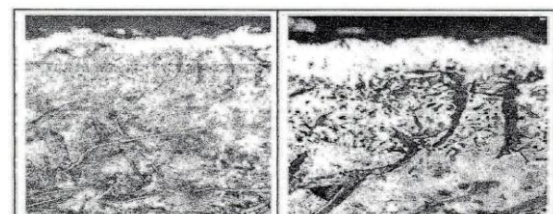
Gambar 6, untuk spesimen material besi cor kelabu perlitik



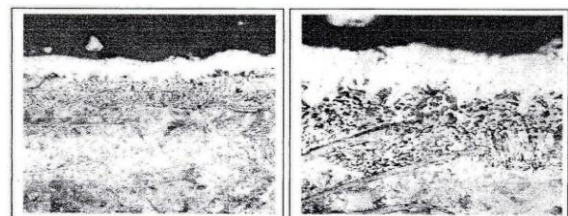
**Gambar 6.** Struktur mikro BCK dan ketebalan lapisan spesimen hasil Boronisasi pada temperatur 800oC dengan waktu penahanan 1 jam. Pembesaran 200x dan 500x. Larutan etsal Nital 3%. (tebal lapisan 6,2 µm).



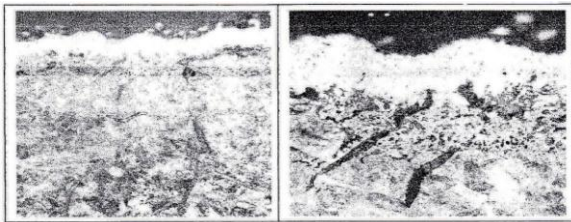
**Gambar 6.** Struktur mikro BCK dan ketebalan lapisan spesimen hasil Boronisasi pada temperatur 800 o C dengan waktu penahanan 3 jam. Pembesaran 200x dan 500x, larutan etsa Nital 3 %. ( tebal lapisan 36 µm)



**Gambar 7.** Struktur mikro BCK dan ketebalan lapisan spesimen hasil Boronisasi pada temperatur 800 o C dalam waktu penahanan 5 jam. Pembesaran 200x dan 500x, larutan etsa Nital 3 %. ( tebal lapisan 40,4 µm)



**Gambar 8.** Struktur mikro BCK dan ketebalan lapisan spesimen hasil Boronisasi pada temperatur 875oC dengan waktu penahanan 1 jam. Pembesaran 200x dan 500x, larutan etsa Nital 3 % (Tebal lapisan 46 µm)



**Gambar 9.** Struktur mikro BCK dan ketebalan lapisan spesimen hasil Boronisasi pada temperature 875o C dengan waktu penahanan 3 jam. Pembesaran 200x dan 500x, larutan etsal Nital 3%. ( tebal lapisan 50 µm )

### Kedalaman Lapisan Difusi

Hasil pengukuran kedalaman lapisan pada spesimen material hasil boronisasi, seperti di tunjukkan pada Tabel 2.

**Tabel 3.** 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

### Kekerasan

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

**Tabel 4.** 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

### Ketahanan Aus

**Tabel 5.** Nilai ketahanan aus pada spesimen material hasil boronisasi

Kode Sampel	Berat awal (gr)	Berat akhir (gr)	Selisih berat	
			(gr)	(%)
BCK – B – 800 -1	8,12	8,1179	0,006	0,07
BCK – B – 800 -3	8,77	8,7683	0,005	0,06
BCK – B – 800 -5	8,74	8,7420	0,005	0,05
BCK – B – 875 -1	8,95	8,9451	0,007	0,08
BCK – B – 875 -3	8,40	8,4023	0,005	0,06
BCK – B – 875 -5	8,47	8,4660	0,005	0,06

Kondisi Pengujian : Putaran motor, Ukuran kekerasan kertas amplas = No. 120 Jumlah putaran = 500 Beban yang diberikan = 1 kg

**Tabel 6.** Hasil perhitungan laju difusi pada proses boronisasi

No.	Kode Sample	Laju difusi ( cm <sup>2</sup> /detik)
1	BCK 800-1	5,3389 x 10 <sup>-11</sup>
2	BCK 800-3	6,0000 x 10 <sup>-10</sup>
3	BCK 800-5	4,5337 x 10 <sup>-10</sup>
4	BCK 875-1	2,3889 x 10 <sup>-9</sup>
5	BCK 875-3	1,1574 x 10 <sup>-9</sup>
6	BCK 875-5	1,8496 x 10 <sup>-9</sup>

## 2. Pembahasan Struktur Mikro

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

Struktur mikro material awal ( besi cor kelabu ), 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).

Dari hasil pengamatan struktur mikro material awal, besi cor kelabu adalah termasuk ke dalam jenis besi cor kelabu perlitik.

Setelah dilakukan proses boronisasi pada temperatur 800<sup>o</sup>C dan 875<sup>o</sup>C dengan waktu penahanan 1 jam, 3 jam dan 5 jam di dalam komposisi campuran bahan boronisasi yang terdiri atas : FeB, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, NH<sub>4</sub>Cl pada perbandingan komposisi 60 : 36,5 : 3,5.

Pada penelitian yang telah dilakukan pada temperatur 800 °C, terlihat adanya lapisan boron yang terbentuk, sehingga untuk meningkatkan lapisan boron maka menahan lagi waktu penahanan selama 3 jam sampai 5 jam dan begitu pula dengan temperatur 875°C sampai penahanan 1, 3 dan 5 jam.

#### **Kekerasan dan ketahanan Aus**

Berdasarkan data hasil pengujian dari kekerasan dan Ausan, dari hasil penelitian di atas bahwa temperatur dan waktu penahanan sangat pengaruh dari hasil kekerasan dan ketahanan aus dimana pada temperatur 800oC pada penahanan 1 jam di dapat 724,5 HV dan pada temperatur 875 °C pada penahanan 5 jam di dapat nilai kekerasannya 810,5 HV, begitu pula dengan nilai kekerasannya dimana pada saat temperatur 800 oC pada penahanan 1 jam di dapat selisih berat 0,00783 % dan pada suhu 875 oC pada penahanan 5 jam di dapat selisih berat 0,0667 %.

#### **IV. KESIMPULAN DAN SARAN**

##### **Kesimpulan**

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

1. Dengan kenaikan temperatur dan semakin lamanya waktu penahanan, akan memberikan nilai kekerasan yang semakin meningkat seiring dengan bertambahnya kedalaman lapisan ferrobordanida (Fe<sub>2</sub>B).
2. Ketebalan lapisan optimal (81,6 µm) pada besi cor kelabu diperoleh pada kondisi temperatur proses 875°C dengan waktu penahanan 5 jam.
3. 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
4. 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.
5. Semakin tinggi temperatur pemanasan dan waktu penahan dalam proses boronisasi, nilai kekerasan akan semakin meningkat pula. Energi bebas reaksi dari pembentukan lapisan *ferroboronida* (Fe<sub>2</sub>B) semakin mengecil atau menuju kearah negatif

(spontan), sehingga nilai laju difusi atom boron pada besi cor akan semakin besar.

#### **Saran-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.

#### **V. 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.