

**PENGARUH TEMPERATUR PEMANASAN DAN UKURAN  
SERBUK *CARBURIZER* PADA *PACK CARBURIZING* TERHADAP  
KETEBALAN DIFUSI KARBON BAJA AISI 3115**

**SKRIPSI  
KONSENTRASI TEKNIK MATERIAL**

Diajukan untuk memenuhi sebagian persyaratan  
memperoleh gelar Sarjana Teknik



Disusun oleh :

**NINIS NING RATRI  
NIM. 0610620084 – 62**

**KEMENTERIAN PENDIDIKAN NASIONAL  
UNIVERSITAS BRAWIJAYA  
FAKULTAS TEKNIK  
MALANG  
2010**

**LEMBAR PERSETUJUAN**

**PENGARUH TEMPERATUR PEMANASAN DAN UKURAN SERBUK  
CARBURIZER PADA *PACK CARBURIZING* TERHADAP KETEBALAN  
DIFUSI KARBON BAJA AISI 3115**

**SKRIPSI  
KONSENTRASI TEKNIK MATERIAL**

Diajukan untuk memenuhi persyaratan  
memperoleh gelar Sarjana Teknik

**UNIVERSITAS BRAWIJAYA**



Disusun oleh :

**NINIS NING RATRI  
NIM. 0610620084-62**

**Telah diperiksa dan disetujui oleh :**

**Dosen Pembimbing I**

**Dosen pembimbing II**

**Ir. Winarno Yahdi Atmodjo, MT  
NIP. 19460804 198303 1 001**

**Putu Hadi Setyarini, ST., MT  
NIP. 19770806 200318 2 001**

**LEMBAR PENGESAHAN**

**PENGARUH TEMPERATUR PEMANASAN DAN UKURAN  
SERBUK CARBURIZER PADA PACK CARBURIZING  
TERHADAP KETEBALAN DIFUSI KARBON  
BAJA AISI 3115**

**SKRIPSI  
KONSENTRASI TEKNIK MATERIAL**

Diajukan untuk memenuhi persyaratan  
memperoleh gelar Sarjana Teknik

Disusun oleh:

**NINIS NING RATRI  
NIM. 0610620084-62**

Skripsi ini telah diuji dan dinyatakan lulus pada  
Tanggal 3 Agustus 2010

Skripsi 1

Skripsi 2

Sugiarto, ST., MT.

NIP. 19690417 199512 1 001

Prof. Ir. I.N.G. Wardana, M.Eng., Ph.D.

NIP. 19590703 198303 1 002

Komprehensif

Dr. Eng. Yudy Surya Irawan, ST., M.Eng.

NIP. 19750710 199903 1 004

Mengetahui  
Ketua Jurusan Teknik Mesin

Dr. Slamet Wahyudi, ST., MT.

NIP. 19720903 199702 1 001

## KATA PENGANTAR

Puji syukur Alhamdulillah penulis panjatkan kehadiran Allah SWT yang telah melimpahkan rahmat, berkah dan hidayah-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan Skripsi dengan judul **“Pengaruh Temperatur Pemanasan dan Ukuran Serbuk Carburizer Pada Pack Carburizing Terhadap Ketebalan Difusi Karbon Baja AISI 3115”**, yang diajukan untuk memenuhi sebagian persyaratan akademik memperoleh gelar Sarjana Teknik.

Pada kesempatan ini Penulis tidak lupa mengucapkan terimakasih yang sebesar-besarnya kepada :

1. Kedua orang tua tercinta Bapak Mudjiran dan Ibu Sutrami yang telah memberi segalanya yang terbaik untuk penulis.
2. Bapak Dr. Slamet Wahyudi, ST., MT., selaku Ketua Jurusan Teknik Mesin Universitas Brawijaya Malang.
3. Bapak Dr. Eng. Anindito Purnowidodo, ST., M. Eng., selaku Sekretaris Jurusan Teknik Mesin Universitas Brawijaya Malang.
4. Bapak Ir. Winarno Yahdi Atmodjo, MT., selaku Pembimbing I, yang telah banyak memberikan kritik dan saran yang konstruktif sehingga sangat penting dalam penulisan skripsi ini.
5. Ibu Putu Hadi Setyarini, ST., MT., selaku Pembimbing II yang telah banyak memberikan bimbingan dan saran yang sangat membantu dalam penulisan skripsi ini.
6. Seluruh Staf Pengajar dan Administrasi Jurusan Teknik Mesin
7. Keluarga Besar Laboratorium Pengujian Bahan, Ibu Putu Hadi Setyarini, ST., MT., (Kalab), Pak Hastomo (Laboran), serta rekan-rekan asisten.
8. Rekan-rekan seperjuangan dalam pengerjaan skripsi Ival, Riwon, dan Doni, yang selalu menemani, mendukung dan menghibur.
9. Keluarga Besar Mahasiswa Mesin Universitas Brawijaya khususnya Mesin 2006 yang secara langsung maupun tidak langsung ikut membantu dalam menyelesaikan skripsi ini.
10. Semua pihak yang telah membantu terselesaikannya skripsi ini, yang tidak bisa penulis sebutkan satu-persatu.

Akhir kata, penulis mengharapkan skripsi ini dapat memberikan manfaat yang positif pada pembaca. Semoga memunculkan ide-ide baru, saran dan kritik yang membangun untuk kedepannya.

Malang, Juli 2010

Penulis



## DAFTAR ISI

<b>KATA PENGANTAR</b> .....	i
<b>DAFTAR ISI</b> .....	iii
<b>DAFTAR TABEL</b> .....	v
<b>DAFTAR GAMBAR</b> .....	vi
<b>DAFTAR LAMPIRAN</b> .....	viii
<b>RINGKASAN</b> .....	ix
<b>I. PENDAHULUAN</b>	
1.1. Latar Belakang .....	1
1.2. Rumusan Masalah .....	2
1.3. Batasan Masalah .....	2
1.4. Tujuan Penelitian .....	2
1.5. Manfaat Penelitian .....	2
<b>II. TINJAUAN PUSTAKA</b>	
2.1. Penelitian Sebelumnya .....	4
2.2. Pengertian <i>Carburizing</i> .....	4
2.2.1 <i>Pack Carburizing</i> .....	5
2.2.2 <i>Gas Carburizing</i> .....	6
2.2.3. <i>Liquid Carburizing</i> .....	7
2.3. Proses <i>Pack Carburizing</i> .....	7
2.3.1 <i>Heating</i> (pemanasan).....	7
2.3.2 <i> Holding</i> .....	9
2.3.3 Pendinginan.....	10
2.3.4 Mekanisme Difusi Karbon.....	12
2.4. Temperatur Pemanasan .....	14
2.5. <i>Carburizer</i> .....	16
2.6. Ketebalan Lapisan <i>Pack Carburizing</i> .....	18
2.7. Baja.....	19
2.7.1 Klasifikasi Baja .....	19
2.7.2 <i>Alloyed Steels</i> .....	20
2.7.3 Penamaan Baja Dalam Standar AISI( <i>American Iron and Steel Institute</i> )...22	

2.7.4 Baja AISI 3115 .....	22
2.8 Hipotesa.....	23

### III. METODE PENELITIAN

3.1. Metodologi Penelitian .....	24
3.2. Variabel Penelitian .....	24
3.3. Tempat dan Waktu Penelitian.....	24
3.4. Rancangan Penelitian .....	24
3.5. Alat dan Bahan Penelitian.....	26
3.6. Prosedur Penelitian.....	30
3.6.1 Pembuatan Spesimen Uji.....	30
3.6.2 Pelaksanaan <i>Pack Carburizing</i> .....	31
3.6.3 Pelaksanaan Pengujian Ketebalan Lapisan .....	32
3.7. Diagram Alir Penelitian.....	33

### IV. ANALISA DAN PEMBAHASAN

4.1. Data Hasil Penelitian.....	34
4.1.1 Data Hasil Pengujian Kekerasan.....	34
4.1.2 Data Hasil Pengujian Komposisi Kimia.....	41
4.2. Pembahasan .....	41

### V. KESIMPULAN DAN SARAN

5.1. Kesimpulan .....	44
5.2. Saran.....	44

### DAFTAR PUSTAKA

### LAMPIRAN



## DAFTAR TABEL

NO	JUDUL	HALAMAN
Tabel 2.1	Nilai Do dan Q untuk Beberapa Bahan.....	15
Tabel 2.2	Kandungan Air dari Berbagai Jenis Arang Bambu.....	17
Tabel 2.3	Macam-macam Komposisi <i>Carburizer</i> ( berdasarkan % dari berat ).....	18
Tabel 2.4	Penamaan Baja.....	22
Tabel 3.1	Data Rancangan Penelitian .....	25
Tabel 3.2	Komposisi Kimia Baja AISI 3115.....	29
Tabel 4.1	Data Pengujian Kekerasan <i>Raw Material</i> dan Spesimen dengan Perlakuan Hardening pada Variasi Temperatur.....	34
Tabel 4.2	Data Pengujian Kekerasan pada Temperatur 800°C dan Variasi Ukuran <i>Carburizer</i> .....	35
Tabel 4.3	Data Pengujian Kekerasan pada Temperatur 850°C dan Variasi Ukuran <i>Carburizer</i> .....	35
Tabel 4.4	Data Pengujian Kekerasan pada Temperatur 900°C dan Variasi Ukuran <i>Carburizer</i> .....	36
Tabel 4.5	Data Pengujian Kekerasan pada Temperatur 950°C dan Variasi Ukuran <i>Carburizer</i> .....	36
Tabel 4.6	Kandungan Karbon pada Material .....	41
Tabel 4.7	Nilai Ketebalan Difusi Karbon pada Variasi Temperatur dan Ukuran <i>Carburizer</i> .....	41



## DAFTAR GAMBAR

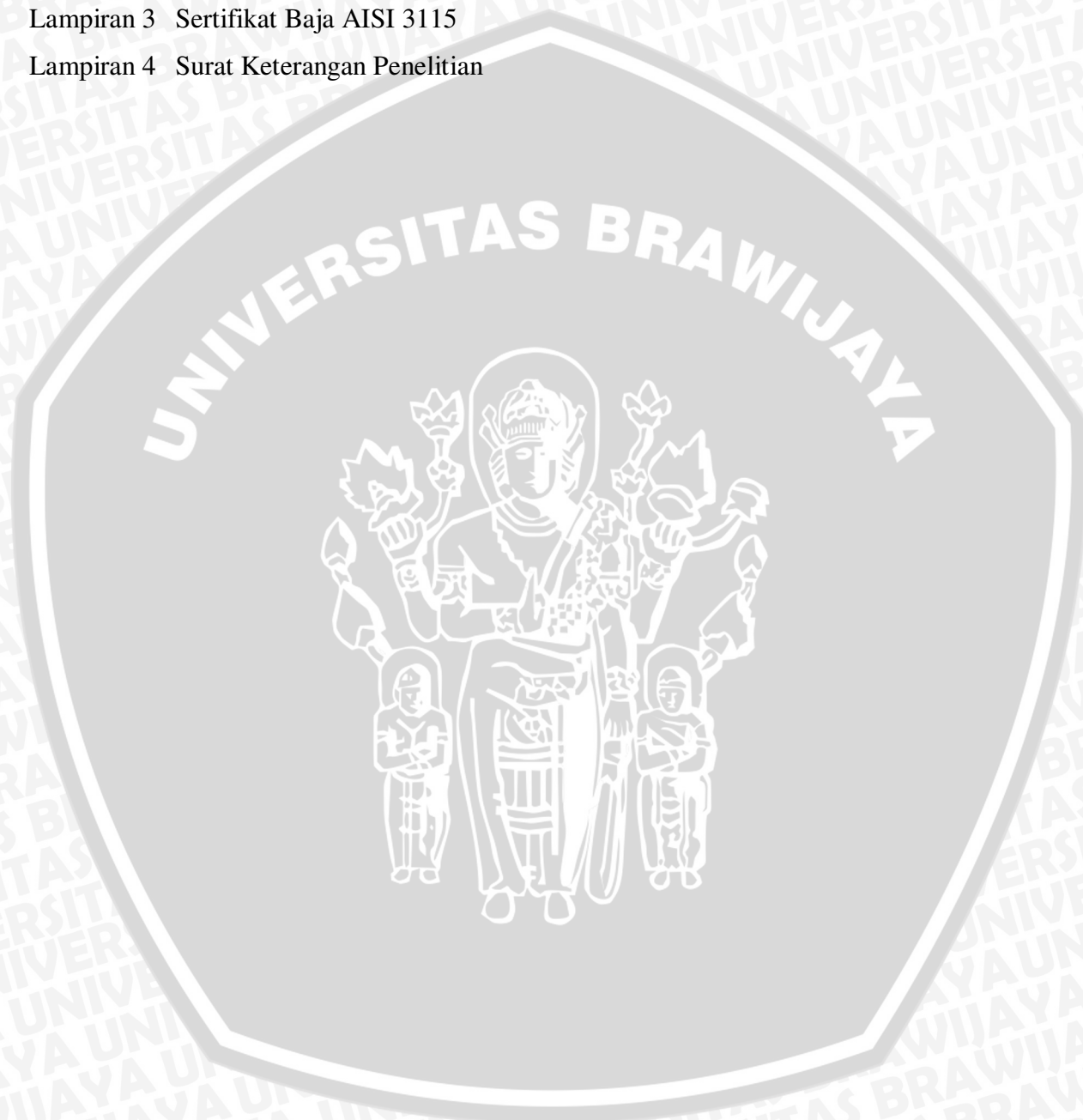
NO	JUDUL	HALAMAN
Gambar 2.1	Mekanisme Difusi pada <i>Pack Carburizing</i> .....	6
Gambar 2.2	Proses <i>Pack Carburizing</i> .....	7
Gambar 2.3	Pengaruh Temperatur <i>Carburizing</i> terhadap Kedalaman Difusi Karbon.....	10
Gambar 2.4	Mekanisme Pendinginan.....	11
Gambar 2.5	Mekanisme Terjadinya Difusi.....	13
Gambar 2.6	Macam-macam <i>Solid Solution</i> dalam Kristal Padat .....	13
Gambar 2.7	Diagram Fase Fe-Fe <sub>3</sub> C.....	14
Gambar 2.8	Diagram Kecepatan Difusi dan Temperature.....	16
Gambar 2.9	Contoh <i>Carburizer</i> yang Digunakan pada <i>Pack Carburizing</i> .....	17
Gambar 3.1	Diagram Hasil Penelitian .....	25
Gambar 3.2	Kotak <i>Carburizing</i> .....	26
Gambar 3.3	Peletakan Spesimen dalam Kotak <i>Carburizing</i> .....	26
Gambar 3.4	Dapur Listrik .....	26
Gambar 3.5	Mesin Pengguncang Rotap.....	27
Gambar 3.6	Mesin Pemotong.....	28
Gambar 3.7	<i>Sentrifugal Sand Paper Machine</i> .....	28
Gambar 3.8	<i>Vickers Microhardness Tester</i> .....	29
Gambar 3.9	Ukuran dan Dimensi Spesimen Uji .....	30
Gambar 3.10	Spesimen Uji .....	30
Gambar 3.11	Serbuk Arang Ukuran Mesh 500-560µm.....	31
Gambar 3.12	Serbuk Arang Ukuran Mesh 60-100 µm.....	31
Gambar 3.13	Barium Karbonat .....	31
Gambar 3.14	Titik-titik Pengujian dalam Pengujian Kekerasan dengan <i>Vickers Microhardness</i> .....	32
Gambar 3.5	Diagram Alir Penelitian .....	33
Gambar 4.1	Grafik Perbandingan Nilai Kekerasan spesimen <i>Carburizing</i> pada mesh 100-60 dengan Spesimen Hardening pada Temperatur 800°C.....	37
Gambar 4.2	Grafik Perbandingan Nilai Kekerasan spesimen <i>Carburizing</i> pada mesh 500-560 dengan Spesimen Hardening pada Temperatur 800°C .....	37
Gambar 4.3	Grafik Perbandingan Nilai Kekerasan spesimen <i>Carburizing</i> pada mesh 100-60 dengan Spesimen Hardening pada Temperatur 850°C.....	38

Gambar 4.4	Grafik Perbandingan Nilai Kekerasan spesimen <i>Carburizing</i> pada mesh 500-560 dengan Spesimen Hardening pada Temperatur 850°C .....	38
Gambar 4.5	Grafik Perbandingan Nilai Kekerasan spesimen <i>Carburizing</i> pada mesh 100-60 dengan Spesimen Hardening pada Temperatur 900°C .....	39
Gambar 4.6	Grafik Perbandingan Nilai Kekerasan spesimen <i>Carburizing</i> pada mesh 500-560 dengan Spesimen Hardening pada Temperatur 900°C .....	39
Gambar 4.7	Grafik Perbandingan Nilai Kekerasan spesimen <i>Carburizing</i> pada mesh 100-60 dengan Spesimen Hardening pada Temperatur 950°C .....	40
Gambar 4.8	Grafik Perbandingan Nilai Kekerasan spesimen <i>Carburizing</i> pada mesh 500-560 dengan Spesimen Hardening pada Temperatur 950°C .....	40
Gambar 4.9	Pengaruh Temperatur Pemanasan Ukuran <i>Carburizer</i> terhadap Ketebalan Difusi Karbon .....	42
Gambar 4.10	Pengaruh Temperatur Pemanasan dan Ukuran Serbuk <i>Carburizer</i> terhadap Peningkatan Kadar Karbon .....	43



## DAFTAR LAMPIRAN

NO	JUDUL
Lampiran 1	Foto Mikro Spesimen
Lampiran 2	Data Hasil Pengujian
Lampiran 3	Sertifikat Baja AISI 3115
Lampiran 4	Surat Keterangan Penelitian



## RINGKASAN

**Ninis Ning Ratri**, Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik Universitas Brawijaya, Juli 2010, *Pengaruh Temperatur Pemanasan dan Ukuran Serbuk Carburizer pada Pack Carburizing terhadap Ketebalan Difusi Karbon Baja AISI 3115*, Dosen Pembimbing: Winarno Yahdi Atmodjo dan Putu Hadi Setyarini.

Selama ini banyak dilakukan pengembangan-pengembangan dalam dunia industri yang bertujuan untuk memperoleh bahan yang memiliki sifat-sifat yang mampu memenuhi kebutuhan konsumen. Misalnya suatu logam yang memiliki kekuatan tarik, kekerasan, ketahanan lelah, serta ketahanan aus yang tinggi sehingga produk yang terbuat dari logam tersebut lebih awet. Pada beberapa komponen dibutuhkan suatu bahan yang memiliki kekerasan lebih tinggi di bagian permukaan, dan keuletan di bagian dalamnya. Salah satu proses yang dapat dilakukan untuk memperbaiki sifat mekanik tersebut adalah *carburizing*. *Carburizing* adalah suatu proses yang bertujuan untuk meningkatkan kekerasan pada bagian permukaan logam dengan cara memanaskan logam dalam lingkungan yang kaya karbon, sehingga kandungan karbon pada logam tersebut meningkat yang mengakibatkan kekerasannya juga meningkat. *Carburizing* juga bisa dianggap sebagai *pre-treatment* bagi baja karbon rendah sebelum dilakukan proses *hardening*, agar dapat menghasilkan struktur martensit ketika dilakukan proses *hardening*. Pada baja paduan proses *pack carburizing* dilakukan untuk meningkatkan ketahanan aus.

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh temperatur pemanasan dan ukuran serbuk *carburizer* pada *pack carburizing* terhadap ketebalan difusi karbon baja AISI 3115. Variasi temperatur pemanasan yang digunakan adalah 800°C, 850°C, 900°C dan 950°C serta variasi ukuran *carburizer* yang digunakan adalah mesh 100-60µm dan mesh 500-560µm. Ketebalan difusi karbon didapatkan dengan melakukan pengujian kekerasan metode *Micro Vickers Hardness* dari permukaan spesimen menuju kedalam. Hasil pengujian kekerasan tersebut dibandingkan dengan pengujian komposisi kimia untuk membuktikan adanya peningkatan kadar karbon yang mengakibatkan peningkatan kekerasan.

Pada penelitian ini didapatkan pengaruh temperatur pemanasan dan ukuran serbuk *carburizer* terhadap ketebalan difusi karbon yaitu ketebalan difusi karbon mengalami peningkatan sebanding dengan peningkatan temperatur pemanasan. Sedangkan ukuran serbuk *carburizer* yang lebih kecil akan menghasilkan ketebalan difusi karbon yang lebih dalam. Ketebalan difusi karbon maksimal sedalam 1700µm dari permukaan dengan peningkatan kadar karbon sebesar 1,21% dari 0,166% didapatkan pada spesimen *pack carburizing* dengan temperatur pemanasan 950°C dan ukuran serbuk pada mesh 100-60µm.

**Kata kunci** : ketebalan difusi karbon, *pack carburizing*, temperatur pemanasan, ukuran *carburizer*.

## BAB I

### PENDAHULUAN

#### 1.1 Latar Belakang

Selama ini banyak dilakukan pengembangan-pengembangan dalam dunia industri yang bertujuan untuk memperoleh bahan yang memiliki sifat-sifat yang mampu memenuhi kebutuhan konsumen. Misalnya suatu logam yang memiliki kekuatan tarik, kekerasan, ketahanan lelah, serta ketahanan aus yang tinggi sehingga produk yang terbuat dari logam tersebut lebih awet. Pada beberapa komponen dibutuhkan suatu bahan yang memiliki kekerasan lebih tinggi di bagian permukaan, dan keuletan di bagian dalamnya. Salah satu proses yang dapat dilakukan untuk memperbaiki sifat mekanik tersebut adalah *carburizing*. *Carburizing* adalah suatu proses yang bertujuan untuk meningkatkan kekerasan pada bagian permukaan logam dengan cara memanaskan logam dalam lingkungan yang kaya karbon, sehingga kandungan karbon pada logam tersebut meningkat yang mengakibatkan kekerasannya juga meningkat.

Terdapat beberapa jenis *carburizing* yang dapat dilakukan, salah satunya adalah *pack carburizing*. Keberhasilan dari proses *pack carburizing* dapat diketahui melalui beberapa jenis pengujian, salah satunya dengan pengujian kekerasan untuk mengetahui ketebalan difusi karbon. *Pack carburizing* sendiri dipengaruhi oleh beberapa faktor seperti temperatur pemanasan, waktu tahan (*holding*), pengaturan *carburizer*, media pendingin. Temperatur pemanasan akan mempengaruhi proses difusi karbon pada baja selama proses, karena struktur baja akan ikut berubah dengan adanya perubahan temperatur. Pengaturan ukuran serbuk *carburizer* dilakukan untuk mengoptimalkan proses *carburizing*, karena ukuran serbuk yang terlalu besar akan mengurangi kontak antara media *carburizer* dengan komponen sedangkan ukuran serbuk yang terlalu kecil akan mengurangi efektivitas dari proses *carburizer* sendiri.

Banyak media *carburizing* (*carburizer*) yang dapat digunakan dalam *pack carburizing*, misalnya arang kayu, arang tempurung kelapa, maupun batu bara. Pada banyak penelitian tentang *pack carburizing*, arang kayu sering digunakan sebagai *carburizer*. Pada penelitian kali ini digunakan arang bambu sebagai *carburizer*, selain sebagai bahan alternatif juga karena arang bambu memiliki beberapa kelebihan dibandingkan dengan arang kayu. Berdasarkan uraian di atas peneliti mengambil permasalahan pengaruh temperatur pemanasan dan ukuran serbuk *carburizer* pada proses *pack carburizing* terhadap ketebalan difusi karbon baja AISI 3115. Dari

penelitian ini diharapkan dapat diketahui efektivitas proses *pack carburizing* pada baja paduan dengan kadar karbon rendah.

### 1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang masalah tersebut di atas, maka rumusan masalah pada penelitian ini adalah: Bagaimana pengaruh temperatur pemanasan dan ukuran serbuk *carburizer* pada *pack carburizing* terhadap ketebalan difusi karbon baja AISI 3115 ?

### 1.3 Batasan Masalah

Agar permasalahan tidak terlalu luas, maka perlu adanya batasan masalah sebagai berikut:

1. Proses *pack carburizing* ini menggunakan media arang bambu pada komposisi 90% dengan 10%  $\text{BaCO}_3$  sebagai *energizer*.
2. *Holding time* yang digunakan adalah 5 jam.
3. Variasi temperatur pemanasan adalah 800°C, 850°C, 900°C dan 950°C.
4. Dapur pemanas yang digunakan adalah jenis dapur listrik.
5. Variasi ukuran serbuk *carburizer* adalah mesh 60-100 $\mu\text{m}$  dan mesh 500-560 $\mu\text{m}$ .
6. Media *quenching* adalah oli SAE 30.
7. Material yang digunakan adalah baja AISI 3115.

### 1.4 Tujuan Penelitian

Tujuan yang ingin dicapai dalam penelitian ini adalah mengetahui pengaruh temperatur pemanasan dan ukuran serbuk *carburizer* pada *pack carburizing* terhadap ketebalan difusi karbon baja AISI 3115.

### 1.5 Manfaat Penelitian

Manfaat yang diharapkan dari penelitian ini adalah:

1. Mengetahui temperatur pemanasan optimal pada proses *pack carburizing*.
2. Mengetahui ukuran serbuk *carburizer* yang paling efektif dalam proses *pack carburizing*.
3. Hasil penelitian ini selanjutnya akan direkomendasikan sebagai perbaikan proses *pack carburizing* kepada dunia pendidikan maupun dunia industri.

## BAB II

### TINJAUAN PUSTAKA

#### 2.1 Penelitian Sebelumnya

**Mujiyono dan Arianto, 2005**, melakukan penelitian tentang Meningkatkan Efektifitas Karburisasi Padat pada Baja Karbon Rendah dengan Optimasi Ukuran Serbuk Arang Tempurung Kelapa. Tujuan penelitian tersebut adalah untuk mengetahui ukuran serbuk arang tempurung kelapa yang optimal dalam proses *pack carburizing*. Penelitian dilakukan dengan variasi ukuran serbuk arang mulai dari ukuran mesh 100, 60, 50, 30, 20, sampai ukuran mesh 10. Dari penelitian tersebut disimpulkan bahwa serbuk tempurung kelapa dengan ukuran antara 250  $\mu\text{m}$  (mesh 60) hingga 600  $\mu\text{m}$  (mesh 30) efektif digunakan untuk proses *carburizing* padat pada baja karbon rendah.

**Ahmad Aniq, 2007**, melakukan penelitian dengan judul Pengaruh Suhu *Carburizing* Menggunakan Media Arang Batok Kelapa Terhadap Kekerasan dan Ketahanan Aus Roda Gigi Baja AISI 4140. Tujuan penelitian tersebut adalah untuk mengetahui pengaruh variasi suhu pemanasan *carburizing* terhadap nilai kekerasan dan keausan, struktur mikro dan makro pada baja AISI 4140. Kesimpulan dalam penelitian tersebut adalah, pengujian kekerasan dan keausan maupun perhitungan laju keausan hasil paling baik adalah pada suhu pemanasan *carburizing* 950°C.

#### 2.2 Pengertian *Carburizing*

*Carburizing* adalah sebuah proses penambahan unsur karbon pada permukaan logam dengan cara difusi untuk meningkatkan sifat mekaniknya. *Carburizing* atau karbonisasi dilakukan dengan memanaskan benda kerja dalam lingkungan yang banyak mengandung karbon aktif sehingga karbon berdifusi masuk ke permukaan bahan (Suherman, 1998 : 147). Pada umumnya proses *carburizing* diikuti dengan pendinginan cepat (*quenching*) untuk meningkatkan kekerasannya sehingga permukaan logam memiliki kekerasan dan ketahanan aus yang lebih baik. Unsur karbon dalam proses *carburizing* bisa berasal dari karbon arang kayu, arang tempurung kelapa, batu bara, dll.

*Carburizing* dapat dilakukan dalam tiga cara, yaitu *Pack carburizing* (*Carburizing* Padat), *Liquid Carburizing* (*Carburizing* Cair), *Gas Carburizing* (*Carburizing* Gas).

### 2.2.1 Pack carburizing

*Pack carburizing* merupakan salah satu perlakuan dari *surface hardening*, dengan cara menambahkan karbon dalam bentuk padat ke baja yang berkadar karbon rendah dengan mekanisme difusi. Proses difusi itu akan berlangsung apabila terjadi gradien konsentrasi dari karbon pada lingkungan dengan karbon yang dikandung baja, dimana konsentrasi karbon pada lingkungan lebih besar daripada konsentrasi karbon pada baja sehingga terjadi proses pemindahan atom karbon aktif dari lingkungan ke dalam baja.

*Carburizing* jenis ini merupakan yang paling banyak digunakan dalam proses pengerasan permukaan karena mempunyai beberapa keuntungan yaitu:

- Prosesnya lebih sederhana dan pengoperasiannya lebih mudah.
- Media *carburizing* (*carburizer*) mudah didapat.
- Dapat menggunakan hampir kebanyakan tipe dapur.
- Peralatan yang dibutuhkan sangat minimal.
- Relatif tidak berbahaya bagi kesehatan.

Tetapi metode ini juga memiliki beberapa kekurangan, yaitu:

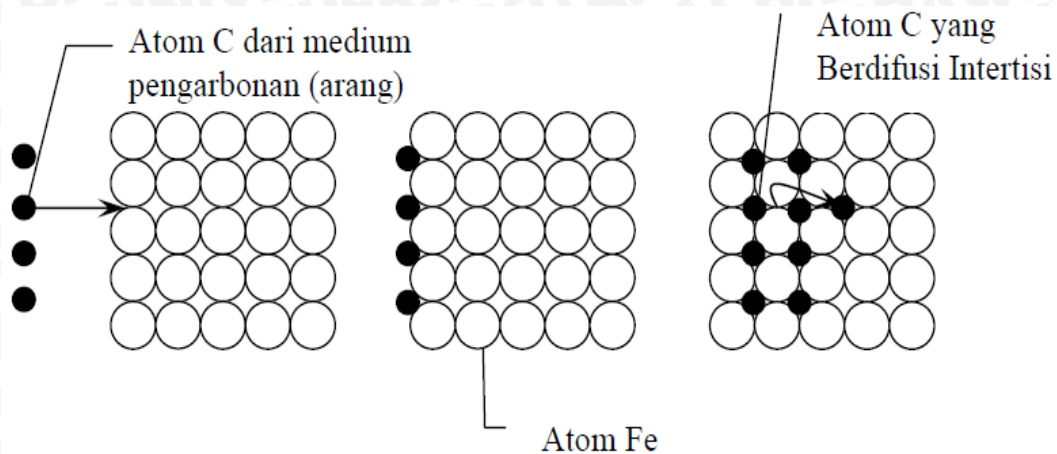
- Permukaan dari benda kerja kotor.
- Umumnya hanya digunakan pada produk yang kecil.
- Waktu yang dibutuhkan lebih lama.

Pada proses ini caranya adalah benda kerja dimasukkan ke dalam suatu kotak yang terbuat dari plat baja dan berisi *carburizer*.

Kotak untuk *pack carburizing* ini terbuat dari lembaran/plat baja yang dilas dengan bagian atasnya terbuka dan diberi sebuah *flens* atau penyekat (biasanya asbes), dengan tujuan untuk meminimalkan aliran gas yang keluar dari kotak selama proses berlangsung. Kotak diisi dengan bahan *carburizing* (*carburizer*), berupa bubuk atau butiran-butiran arang yang diaktifkan dengan bahan-bahan kimia seperti: kalsium karbonat, barium karbonat, sodium karbonat yang membantu dalam pembentukan karbon monoksida (CO). Bahan yang biasanya digunakan adalah arang kayu, arang batok kelapa, arang tulang, arang kulit. Mekanisme *carburizing* terjadi dengan difusi intersisi dimana atom karbon menempati ruang antara atom – atom besi dan dengan menaikkan temperatur maka meningkatkan energi aktivasi yang memungkinkan berpindahnya atom karbon ke posisi intersisi berikutnya. Tempat yang ditinggalkan



diisi oleh atom karbon yang lainnya. Mekanisme difusi intersisi ditunjukkan seperti gambar 2.1.



Gambar 2.1 Mekanisme difusi pada *pack carburizing*  
Sumber : [www.wikipedia.com/carburizing](http://www.wikipedia.com/carburizing)

### 2.2.2 Gas Carburizing

*Gas carburizing* adalah proses *carburizing* dengan menggunakan gas alam, hidrokarbon, atau gas karbit. Prosesnya yaitu benda yang akan dipanaskan dimasukkan dalam oven atau *furnace* pada temperatur  $870^{\circ}\text{C}$  -  $950^{\circ}\text{C}$ . Atmosfer gas diproduksi dari cairan (metanol, isopropanol) atau gas hidrokarbon (metana, propana).

Komposisi gas dalam *gas carburizing* adalah:

- Nitrogen 40%
- Hidrogen 40%
- Karbon monoksida 20%
- Karbon Dioksida 0,3%
- Metana 0,5%
- Uap Air 0,8%
- Oksigen sisanya hingga 100%

Prosesnya dengan mengalirkan gas karbon ke dalam *furnace* sehingga atom-atom karbon akan menembus ke dalam logam dan menyebabkan permukaan logam lebih kaya karbon.

Kelebihan dari *gas carburizing* adalah prosesnya lebih cepat bila dibandingkan dengan *pack carburizing*, tetapi peralatan yang dibutuhkan lebih mahal.

### 2.2.3. Liquid Carburizing

*Carburizing* jenis ini menggunakan lelehan sianida (CN) pada logam berkarbon rendah yang dipanaskan dengan menggunakan belerang pemanas. Permukaan lelehan ditutup dengan grafit atau batubara untuk mengurangi hilangnya radiasi dan dekomposisi sianida yang berlebihan. Selain sodium dan potasium sianida, lelehan juga menggunakan barium klorida sebagai *aktifator*.

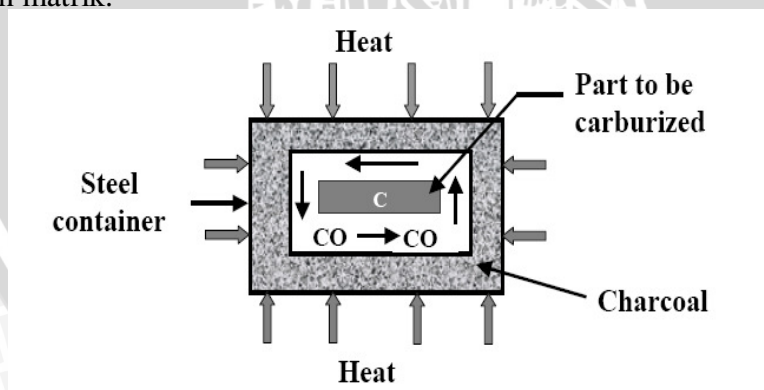
Pada umumnya proses ini mampu menghasilkan ketebalan difusi karbon kurang dari 0,64 mm. Kelebihan dari proses ini adalah pengerasan permukaan yang dihasilkan lebih merata, tetapi dalam proses ini ada kemungkinan nitrogen ikut terserap bersama karbon yang dapat menyebabkan pengerasan mendadak.

### 2.3 Proses Pack carburizing

Proses *pack carburizing* memiliki tiga tahapan sama seperti pada perlakuan panas fisik lainnya. Prosesnya meliputi *heating* (pemanasan), *holding* (penahanan), dan *cooling* (pendinginan).

#### 2.3.1 Heating (pemanasan)

Setiap proses pengarbonan mencakup tiga proses dasar (Lakhtin, 1965), yang meliputi: proses yang terjadi pada medium eksternal berupa pembebasan elemen difusi menjadi atom (ion), kontak elemen difusi dengan permukaan matrik membentuk ikatan kimia, dan penetrasi elemen difusi menuju inti setelah menjadi keadaan jenuh dipermukaan matrik.



Gambar 2.2 : Proses *Pack carburizing*

Sumber : [www.wikipedia.com/carburizing](http://www.wikipedia.com/carburizing)

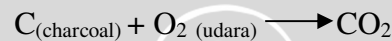
Pada proses pemanasan temperatur yang digunakan adalah temperatur austenit dimana paduan besi-karbon mempunyai bentuk kisi kristal kubik pemusatan sisi (fcc). Bentuk kisi ini mempunyai jarak atom yang lebih besar, sehingga intersisinya

memungkinkan ditempati oleh atom karbon, dengan demikian permukaan baja akan mempunyai kadar karbon yang tinggi. Kandungan karbon akan bervariasi arahnya dalam menuju inti. Pada permukaan, kandungan karbon tinggi dan akan berkurang dalam arah menuju inti. Konsekuensinya struktur mikro akan berubah pula dari permukaan menuju inti. Dikarenakan pada saat proses pengarbonan terjadi pemanasan pada suhu tinggi dan dalam waktu yang lama maka akan dihasilkan struktur baja yang kasar. Dimensi struktur mikro juga sangat berpengaruh terhadap kekerasan baja.

Selama pemanasan di dalam kotak *carburizing* terjadi dua macam gas yaitu:

- Gas karbondioksida (CO<sub>2</sub>)
- Gas karbonmonoksida (CO)

Pada pemanasan awal terjadi pembakaran pada arang sehingga terjadi ikatan antara zat arang dengan zat asam menurut persamaan di bawah ini :



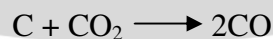
Dari gas CO<sub>2</sub> yang dihasilkan akan menguap dan membakar lapisan *birch charcoal* yang ada dalam kotak. Selama pemanasan, *carburizer* dalam kotak mengalami reaksi yang menghasilkan gas karbon monoksida (CO) dan karbon dioksida (CO<sub>2</sub>). Gas-gas ini terutama diperoleh sebagai hasil oksidasi karbon dari *carburizer* padat. Proses ini ditunjukkan dengan persamaan reaksi sebagai berikut :



Sebagai sumber CO<sub>2</sub> diperoleh dari bahan tambah yang berupa BaCO<sub>3</sub> atau Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> sehingga akan terjadi proses:



Akibat semakin tingginya temperatur pemanasan maka CO akan lebih banyak terbentuk dari pada CO<sub>2</sub>, sehingga akan terjadi reaksi kimia sebagai berikut (Palallo, 1995):



Pada suhu pengarbonan reaksi ini selalu berlangsung ke kanan. Karbon monoksida bebas bereaksi dengan besi, kondisi ini seperti pada reaksi di bawah ini :



Semakin banyak kandungan karbon dipermukaan, atom karbon mulai berpindah menuju inti melalui mekanisme difusi. Masuknya karbon ke dalam baja tergantung pada temperatur, waktu penahanan (*holding time*), dan bahan pengarbonan (Clark, 1961).

Pada pengarbonan padat dipakai arang yang dicampur dengan 10 % - 40 %  $\text{Na}_2\text{CO}_3$ ,  $\text{BaCO}_3$ , baja dimasukkan ke dalam campuran ini, ditempatkan dalam suatu kotak dan ditutup rapat kemudian dipanaskan pada temperatur  $850^\circ\text{C} - 950^\circ\text{C}$  (Surdia, 2000).

### 2.3.2 Holding

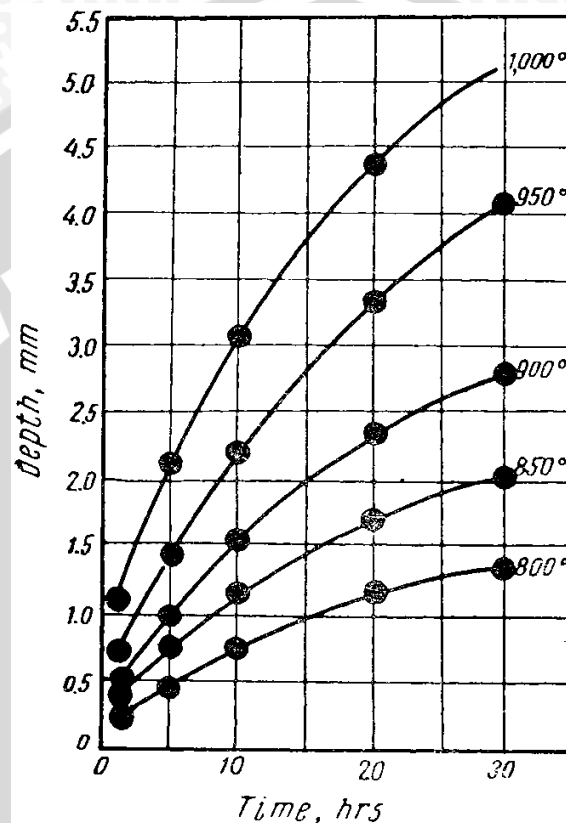
*Holding time* dilakukan untuk mendapatkan kekerasan maksimum dari suatu bahan pada proses perlakuan panas dengan menahan pada temperatur pengerasan untuk memperoleh pemanasan yang homogen sehingga struktur austenitnya homogen atau terjadi kelarutan karbida ke dalam austenit dan difusi karbon dan unsur paduannya. Pedoman untuk menentukan *holding time* dari berbagai jenis baja:

- **Baja Konstruksi dari Baja Karbon dan Baja Paduan Rendah**  
Mengandung karbida yang mudah larut, maka diperlukan *holding time* yang singkat, 5 - 15 menit setelah mencapai temperatur pemanasannya dianggap sudah memadai.
- **Baja Konstruksi dari Baja Paduan Menengah**  
Dianjurkan menggunakan *holding time* 15 -25 menit, tidak tergantung ukuran benda kerja.
- **Low Alloy Tool Steel**  
Memerlukan *holding time* yang tepat, agar kekerasan yang diinginkan dapat tercapai. Dianjurkan menggunakan 0,5 menit permilimeter tebal benda, atau 10 sampai 30 menit.
- **High Alloy Chrome Steel**  
Membutuhkan *holding time* yang paling panjang di antara semua baja perkakas, juga tergantung pada temperatur pemanasannya. Juga diperlukan kombinasi temperatur dan *holding time* yang tepat. Biasanya dianjurkan permilimeter tebal benda dengan minimum 10 menit, maksimum 1 jam.
- **Hot-Work Tool Steel**  
Mengandung karbida yang sulit larut, baru akan larut pada  $1000^\circ\text{C}$ . Pada temperatur ini kemungkinan terjadinya pertumbuhan butir sangat besar, karena itu *holding time* harus dibatasi, 15 - 30 menit.

- *High Speed Steel*

Memerlukan temperatur pemanasan yang sangat tinggi, 1200°C-1300°C. Untuk mencegah terjadinya pertumbuhan butir *holding time* diambil hanya beberapa menit saja.

Pada *pack carburizing*, *holding time* akan mempengaruhi ketebalan difusi karbon, seperti ditunjukkan pada gambar 2.3.



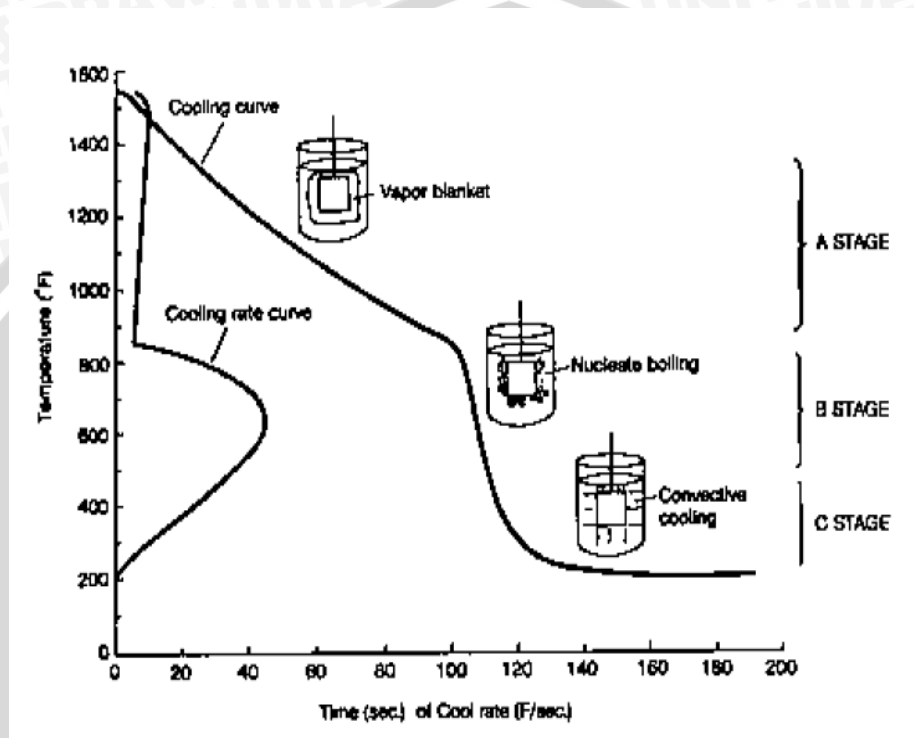
Gambar 2.3. Pengaruh temperatur carburizing terhadap kedalaman difusi karbon  
Sumber : Lakhtin (1953, 264).

### 2.3.3 Pendinginan

Proses *carburizing* selalu diikuti oleh proses *quenching* atau pendinginan cepat, karena tujuan *carburizing* adalah sebagai salah satu metode pengerasan permukaan. Untuk menghasilkan permukaan yang memiliki kekerasan tinggi harus terbentuk martensit atau sementit, maka diperlukan pendinginan cepat atau *quenching*. *Quenching* adalah sebuah upaya pendinginan secara cepat setelah baja mengalami sebuah perlakuan pemanasan.

Pada perlakuan *quenching* terjadi percepatan pendinginan dari temperatur akhir perlakuan dan mengalami perubahan dari austenit menjadi ferit dan martensit untuk menghasilkan kekuatan dan kekerasan yang tinggi. Kekerasan maksimum yang dapat

dicapai baja yang di-*quenching* hampir sepenuhnya ditentukan oleh konsentrasi karbon dan kecepatan pendinginan yang sama atau lebih tinggi dengan kecepatan pendinginan kritis untuk paduan tersebut. Banyak *material* dan cara yang dapat digunakan dalam proses *quenching* pada baja. Media *quenching* meliputi: air, air asin, oli, air – *polymer*, dan beberapa kasus digunakan *inert gas*. Air sebagai media *quenching* mempunyai beberapa keuntungan. Air banyak tersedia/mudah didapat, murah, dan tidak berbahaya.



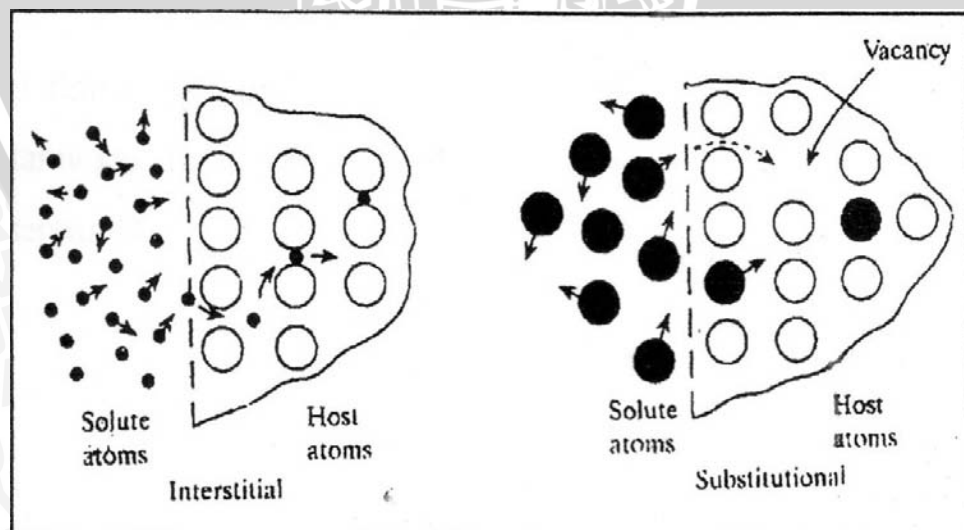
Gambar 2.4. Mekanisme Pendinginan  
Sumber : Totten (1993, 70).

Pada Gambar 2.4 memperlihatkan laju pendinginan panas dari logam sebagai fungsi dari temperatur permukaan logam. Awal pencelupan tahap A, logam akan diselubungi selubung uap yang akan pecah saat logam mendingin. Perpindahan panas saat terbentuknya selubung uap ini buruk, dan logam akan mendingin dengan lambat pada tahap ini. Stabilitas dan lamanya proses pendinginan tahap A sangat dipengaruhi oleh agitasi, umumnya waktu pendinginan tahap ini berkurang dengan peningkatan agitasi. Kemudian tahap B, pada tahap ini logam masih sangat panas dan air akan mendidih. Kecepatan pembentukan uap air menunjukkan sangat tingginya laju perpindahan panas. Tahap C, merupakan tahap pendinginan konveksi dan konduksi. Dimana permukaan logam telah bertemperatur di bawah titik didih air. Secara umum perpindahan panasnya lebih cepat daripada konveksi alamiah laju pendinginan.

### 2.3.4 Mekanisme Difusi Karbon

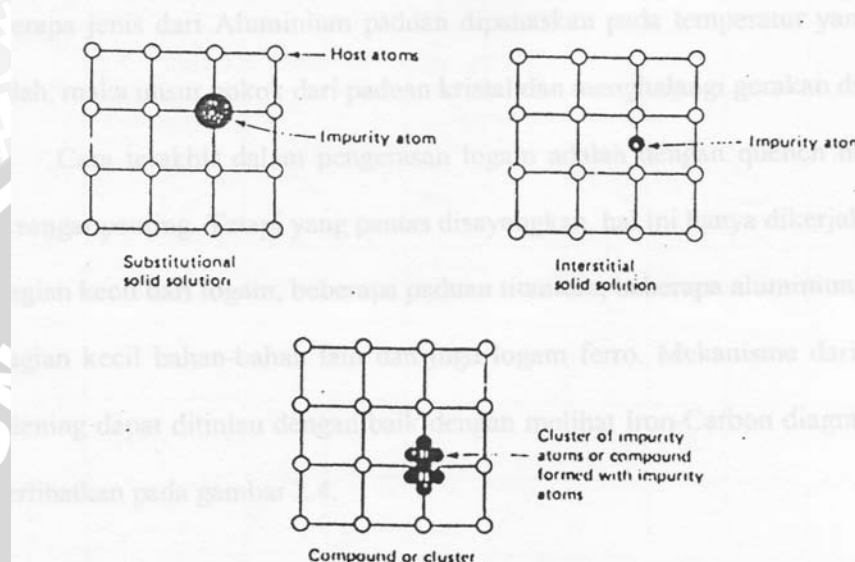
Pada proses *pack carburizing*, baja karbon rendah dipanaskan dalam lingkungan yang mengandung karbon yang jenuh sehingga karbon akan berdifusi ke dalam baja dan menghasilkan selubung luar yang kaya akan karbon yang keras. Ketika temperatur meningkat, atom-atom akan bergetar dengan energi yang lebih besar, dan sejumlah kecil atom akan berpindah dalam kisi. Energi yang diperlukan sebuah atom untuk berpindah tempat disebut energi aktivasi.

Atom karbon sangat kecil ( $r \approx 0,07 \text{ nm}$ ) dan menduduki letak intersisi di antara atom besi fcc. Bila energinya cukup (sekitar  $34000 \text{ cal/mol}$  ;  $0,24 \cdot 10^{-18} \text{ J/atom}$ ) atom ini dapat bergerak di antara atom besi menuju letak intersisi berikutnya. Bila atom mengisi kekosongan, maka terjadi “lubang” atau kekosongan baru. Kekosongan baru ini dapat diisi oleh atom lain yang berasal dari mana saja. Sebagai hasil akhir dapat dikatakan bahwa atom melakukan “gerak acak” dalam kristal. Mekanisme “gerak acak” dapat diterapkan pada atom karbon yang bergerak di antara atom besi, dari posisi sisipan yang satu ke posisi sisipan berikutnya. Tetapi dalam *pack carburizing*, sering kali kita temui gradien konsentrasi. Hal ini dapat dijelaskan jika kita misalkan dalam setiap 20 sel satuan fcc besi terdapat satu atom karbon pada titik (1) dan pada titik (2) yang letaknya 1mm dari titik (1) terdapat satu atom karbon setiap 30 sel satuan. Karena pergerakan acak dari atom karbon, kita akan memperoleh fluks atom karbon dari titik (1) ke titik (2), karena lebih banyak atom meloncat di sekitar titik (1). Hasil aliran atom atau molekul ini disebut difusi.



Gambar 2.5. Mekanisme terjadinya difusi  
Sumber : Budinski (1983, 279).

Ketika elemen dari struktur yang akan berdifusi menuju kepada larutan padat pada salah satu dari susunan kristal ini dapat dilakukan pertukaran pada sejumlah atomnya yang disebut *substitutional solid solution* atau dengan perpindahan sejumlah atom pada tempat di antara atom yang lain yang disebut *interstitial solid solution* atau dengan bergabung/bergerombol dengan atom yang lain, yang dapat dilihat pada gambar 2.6 .



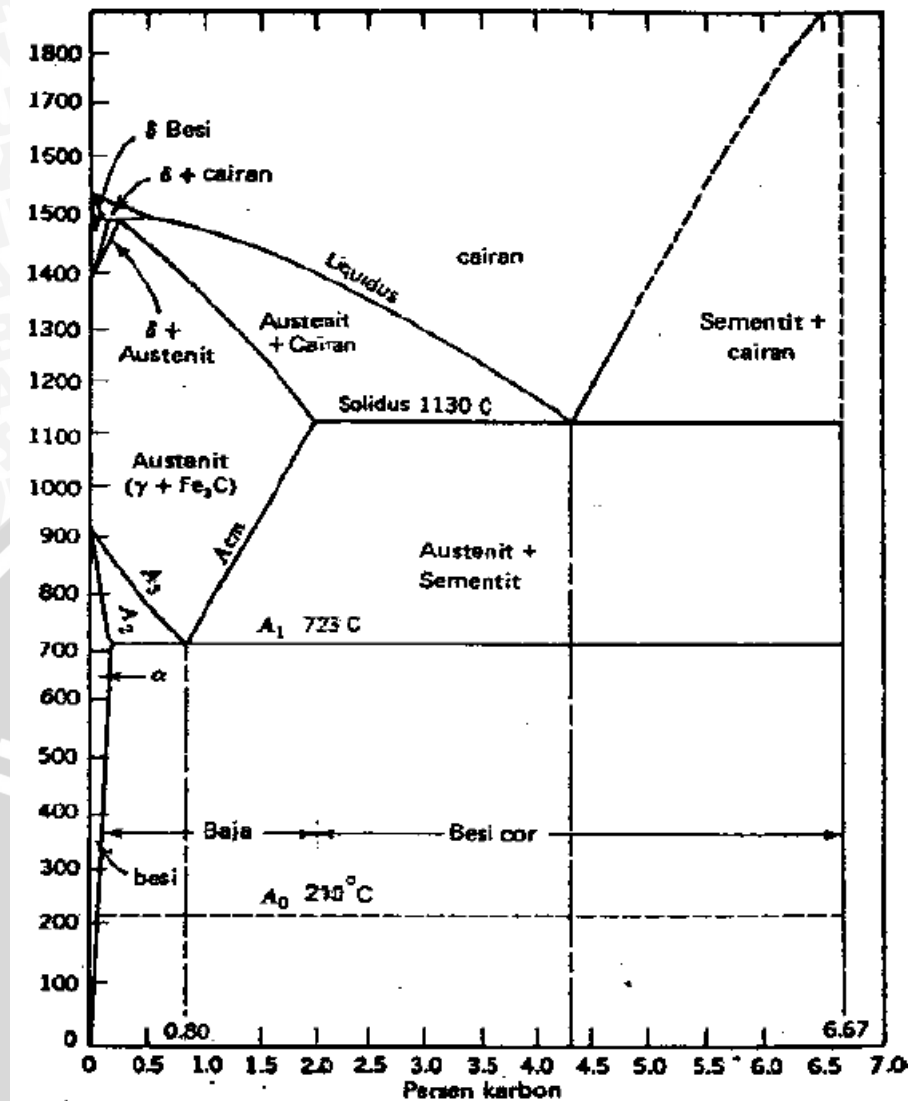
Gambar 2.6 : Macam-macam *solid solution* dalam kristal padat  
Sumber : Budinski (1983, 82).

## 2.4 Temperatur Pemanasan

Temperatur pemanasan pada *pack carburizing* adalah temperatur austenit, yaitu temperatur dimana baja dapat mencapai fasa austenit. Karena untuk mendapatkan martensit pada proses ini harus dicapai fasa austenit, karena martensit terbentuk dari pendinginan cepat dari fasa austenit.

Temperatur austenit dapat ditentukan dari diagram fasa/diagram Fe-Fe<sub>3</sub>C berdasarkan kandungan karbon dalam baja tersebut.



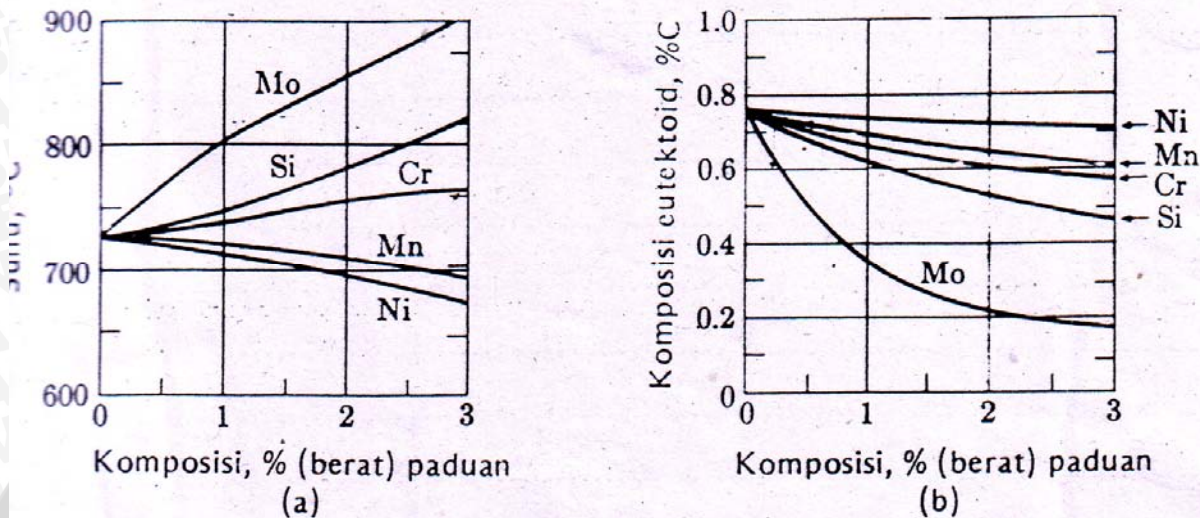


Gambar 2.7. Diagram Fase Fe-Fe<sub>3</sub>C  
Sumber: Surdia, (1984, 70)

Dari diagram Fase Fe-Fe<sub>3</sub>C dapat dilihat bahwa pada baja karbon menengah (0,35% - 0,5%C) fasa austenit dapat dicapai pada temperatur di atas 850°C. Daya larut dari elemen-elemen pada *pack carburizing* meningkat bersamaan dengan naiknya temperatur, hal ini terutama terjadi pada karbon. Daya larut maksimum dalam besi *alpha* adalah sekitar 0,02% karbon pada temperatur 723°C, pada temperatur yang sama besi *gamma* bisa menyerap sekitar 0,8% karbon, dan dengan demikian kenaikan temperatur sekitar 1130°C bisa menyerap sekitar 2% karbon.

### Pergeseran Titik Eutectoid

Diagram fase Fe-Fe<sub>3</sub>C dibuat tanpa unsur paduan. Jika terdapat unsur paduan maka diagram akan mengalami pergeseran sedangkan pergeseran yang terjadi pada diagram ini dapat ditentukan dengan bantuan diagram berikut:



Gambar 2.8. Pengaruh Unsur Paduan, (a) Terhadap suhu *eutectoid*, (b) Terhadap Komposisi *Eutectoid*.

Sumber : Surdia ( 1884, 56)

Dari diagram di atas terlihat komposisi unsur paduan mempengaruhi komposisi *eutectoid* dan suhu pada gambar (b). Unsur paduan menggeser temperatur *eutectoid* dari 723°C menjadi naik atau turun tergantung jenis dan besarnya prosentase komposisi kandungan karbon *eutectoid* dari tergantung dari jenis dan besarnya unsur paduan yang ditambah.

Pergeseran diagram fase dapat dihitung dari pergeseran titik *eutectoid* (perpotongan AC<sub>3</sub> dan AC<sub>m</sub>) dengan rumus:

$$TC = \frac{\sum_{C=A}^{\infty} (TCx\%C)}{\sum_{C=A}^{\infty} \%C} \tag{2-1}$$

$$\%C = \frac{\sum_{C=A}^{\infty} (TCx\%C)}{\sum_{C=A}^{\infty} TC} \tag{2-2}$$

Dengan adanya pergeseran titik *eutectoid* maka garis AC1 dan AC3 yang membatasi fase austenit pada diafram Fe-Fe<sub>3</sub>C akan ikut mengalami pergeseran. Hal ini akan mempengaruhi penentuan temperatur pada proses *pack carburizing*.

Proses difusi sendiri dinyatakan dengan fluks atom (J) yang nilainya sebanding dengan konsentrasi  $(C_2 - C_1) / (x_2 - x_1)$ . Rumus matematisnya :

$$J = D \frac{dC}{dx} \quad (2-3)$$

Dengan :

J : Fluks atom ( atom/m<sup>2</sup>.detik)

D : Difusifitas atau koefisien difusi ( m<sup>2</sup>/detik )

C : Konsentrasi ( atom/m<sup>3</sup> )

X : Jarak atom (m)

Tanda negatif menandakan bahwa fluks bergerak berlawanan dengan arah gradien. Sedangkan difusi itu sendiri tergantung dari besarnya temperatur yang digunakan pada proses, dan koefisien difusi dapat dinyatakan dengan persamaan:

$$D = D_0 \cdot e^{\frac{-Q}{RT}} \quad (2.4)$$

Dengan :

D<sub>0</sub>: Faktor frekwensi ( cm<sup>2</sup>/detik )

Q : Energi pengaktif ( cal/mol )

R : Konstanta gas ( cal/mol<sup>o</sup>K ) = 1,987 kal/mol<sup>o</sup>K

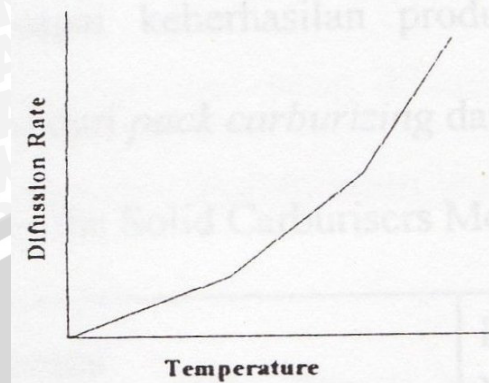
T : Temperatur gas (°K)

Tabel 2.1. Nilai D<sub>0</sub> dan Q untuk beberapa bahan

<i>Diffusing Element</i>	<i>Diffusing Through</i>	Do cm <sup>2</sup> /s	Q cal/mol
<i>Carbon</i>	<i>α-iron</i>	0,0079	18100
<i>Carbon</i>	<i>γ-iron</i>	0,21	33800
<i>Nickel</i>	<i>γ-iron</i>	0,5	66100
<i>Manganese</i>	<i>γ-iron</i>	0,35	67000
<i>Chromium</i>	<i>α-iron</i>	30000	82000
<i>Chromium</i>	<i>γ-iron</i>	18000	97000

Sumber : [www.books.google.co.id/booksRekMaterial](http://www.books.google.co.id/booksRekMaterial)

Penyebaran angka difusi rata-rata meningkat dengan temperatur yang naik. Kenaikan temperatur dari temperatur 925°C sampai dengan 1100°C menghasilkan angka penyebaran difusi karbon ke dalam besi meningkat sekitar 7 kali.



Gambar 2.9. Diagram kecepatan difusi dan temperatur  
Sumber : Zakhrov, (1992, 43).

Hasil dari *pack carburizing* dalam baja adalah kandungan karbon dalam proses tersebut, yang tidak boleh melebihi 1% karbon. Dengan kandungan karbon > 1% maka permukaan akan menjadi sangat rapuh karena jaringan sementit yang kasar terbentuk didalamnya.

## 2.5 Carburizer

Bahan *carburizing* aktif (*carburizer*) biasanya adalah arang atau campuran antara arang kayu, arang bambu, norit, dan arang kulit. Arang sendiri setelah dipotong-potong sesuai ukuran, dikeringkan dan disaring untuk menghilangkan debunya. Arang yang telah disaring dicampur sempurna dengan energi pengaktif (sakarosa, barium karbonat, atau natrium karbonat) kemudian disimpan dalam tempat penyimpanan arang yang kering.

### 2.5.1 Arang

Arang adalah bahan yang paling sering digunakan pada proses *pack carburizing*. Proses pembuatan arang saat ini sudah banyak dikembangkan melalui cara-cara yang lebih praktis, seperti pembuatan arang didalam drum. Tetapi cara tradisional dengan metode lubang tanah masih banyak diterapkan. Langkah awal yang dilakukan dalam pembuatan arang metode lubang tanah yaitu pembuatan lubang tanah, ukuran yang digunakan untuk lubang tanah ini adalah 2 x 3, dengan kedalaman kira-kira 50 cm. Kemudian bahan kayu yang akan digunakan ditata dalam lubang tanah tersebut sampai melebihi lubang tanah kira-kira 50 cm di atasnya, (Krisdianto, 1998).

Setelah bahan baku kayu selesai disusun, disela-sela antara kayu dengan dinding tanah diberi ranting dan daun kering sebagai umpan awal pembakaran, dan tidak lupa juga dibuatkan lubang sebagai tempat pembakaran. Kemudian beri sedikit minyak tanah untuk memudahkan penyalaan. Setelah api dinyalakan, jaga agar bara tetap menyala dan merembet ke dalam lubang. Selama proses pembakaran, perlu adanya penambahan lapisan tanah agar tidak ada kebocoran lubang udara. Untuk mengurangi suhu panas yang keluar, sebelum ditutup tanah tumpukan kayu tersebut dilapisi lembaran daun basah yang disusun saling menyilang. Setelah lapisan daun, ranting kering, dan daun hijau menutupi kayu, langkah selanjutnya adalah menutupnya dengan lapisan tanah, (Krisdianto, 1998).

Setelah satu hari proses pembakaran berjalan, asap yang dihasilkan akan semakin tebal dan berwarna putih. Perlu untuk selalu diadakan pengontrolan terhadap ketebalan lapisan tanah penutup untuk mengurangi kebocoran. Setelah 3 hari, ketebalan tanah penutup terlihat menurun. Selanjutnya yaitu proses pendinginan. Apabila tidak ada hujan, maka proses pendinginan dilakukan dengan penyiraman air ke tempat pembakaran tersebut. Setelah 1 sampai 2 hari proses pendinginan berjalan dan suhu permukaan tanah tidak panas, maka lubang tanah bisa dibongkar untuk mengeluarkan arang kayu. Pembongkaran harus dilakukan hati-hati, agar arang kayu tidak hancur dan dapat diambil dalam kondisi utuh, (Krisdianto, 1998).

Penurunan ketersediaan kayu dan kebutuhan yang lebih besar untuk penggunaan berkelanjutan memerlukan penggunaan sumber-sumber alternatif. Arang Bambu merupakan salah satu sumber tersebut. Arang bambu memiliki nilai kalor tinggi dan dapat diproduksi dengan menggunakan peralatan sederhana yang dapat dibuat secara lokal. Arang bambu memiliki kandungan air 4% - 7% seperti ditunjukkan dalam tabel 2.2. Sedangkan kelembapan atau kandungan air *carburizer* tidak boleh lebih dari 7%. Dibandingkan dengan arang kayu, arang bambu memiliki sekitar empat kali lebih banyak rongga, 3 kali lebih banyak unsur mineral dan 4 kali tingkat penyerapan yang lebih baik. Material zat padat yang berpori merupakan salah satu hal yang penting karena kemampuan mereka untuk bereaksi dengan gas dan cairan tidak hanya pada bagian permukaan tapi diseluruh bagian.



(a)

(b)

Gambar 2.10 . Contoh *carburizer* yang digunakan pada *pack carburizing* :

(a) Tanaman Bambu Andong ,

(b) Arang Bambu.

Sumber : [www.greenflip.in/blog/bamboo-innovations-charcoal-activated-carbon/](http://www.greenflip.in/blog/bamboo-innovations-charcoal-activated-carbon/)

Tabel 2.2. Kandungan Air dari Berbagai Jenis Arang Bambu

No	Jenis Bambu	Kadar Air (%)
1	Andong	4,60
2	Ater	6,60
3	Bitung	4,28
4	Tali	7,08

Sumber : Nurhayati, 1998

Komposisi dari *carburizer* sendiri bervariasi, tiap-tiap industri menerapkan standar yang berbeda-beda. Macam-macam komposisi *carburizer* pada *pack carburizing* dapat dilihat di tabel 2.3.

Tabel 2.3. Macam-macam komposisi *carburizer* ( berdasarkan % dari berat )

No.	Charcoal	Barium carbonate	Soda ash	Calcium carbonate	Coke	Turf coke	Fuel oil
1	74-78	12-15	1.0-1.5	3.5	-	-	4.5-5.0
2	65	10	1	1	20	-	3
3	87	-	10	3	-	-	-
4	85-90	-	10-15	-	-	-	-
5	90	10	-	-	-	-	-
6	-	-	10-15	-	-	85-90	-
7	60	40	-	-	-	-	-
8	45	12	-	-	43	-	-
9*	98	2	-	-	-	-	-

Sumber : Kamenichny, (1969, 105)

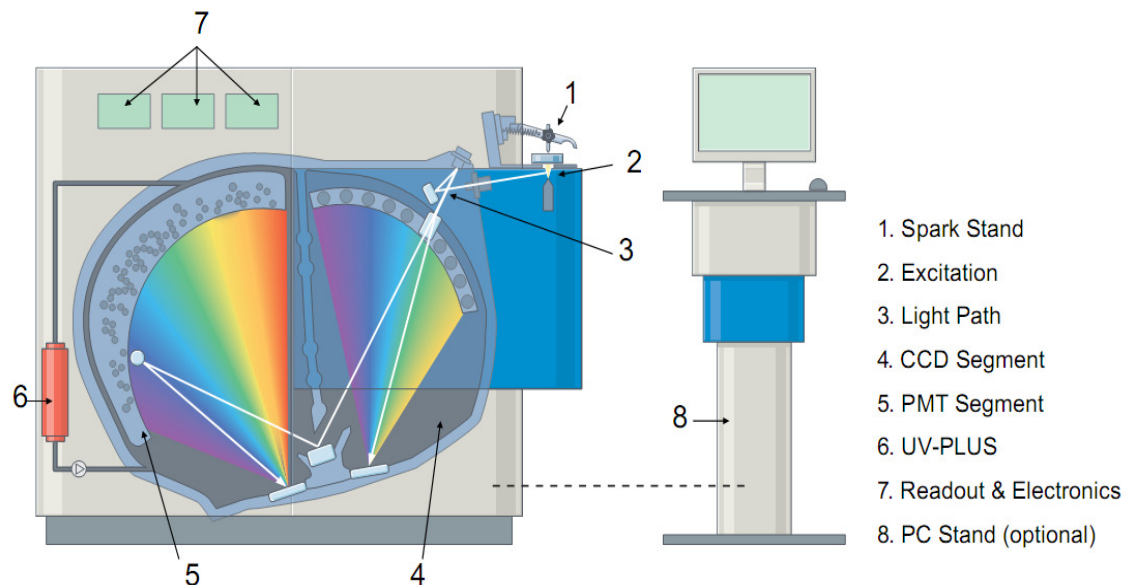
Pada *pack carburizing* dengan *carburizer* berupa serbuk arang, ukuran serbuk arang akan mempengaruhi produk hasil *pack carburizing*. Hal tersebut karena pada proses *pack carburizing*, gas CO<sub>2</sub> dalam reaksi kimia sebagian akan bereaksi kembali dengan karbon dari media *carburizer* membentuk CO dan sebagian lagi akan menguap. Ini berarti bahwa oksigen harus tersedia cukup dalam kotak agar proses dapat berlangsung dengan baik. Media *carburizing* yang berbentuk serbuk akan memunculkan rongga-rongga di dalam kotak. Semakin besar ukuran serbuk maka semakin besar rongganya, namun akan semakin sedikit kontak antara media *carburizing* dengan permukaan komponen. Ukuran serbuk yang besar juga akan mengurangi efektifitas proses *pack carburizing*, terutama jika komponen yang dikarburisasi memiliki bentuk yang rumit. Di sisi lain, semakin kecil ukuran serbuk semakin kecil rongganya sehingga mengurangi jumlah oksigen dalam kotak. Bagaimanapun juga, rongga ini diperlukan untuk menjamin pergerakan gas-gas yang muncul selama proses di dalam kotak. Oleh sebab itu, ukuran butir serbuk yang efektif pada proses *pack carburizing* perlu ditentukan agar memberi hasil optimal.

## 2.6 Ketebalan Lapisan *Pack carburizing*

Untuk mengetahui kedalaman lapisan keras struktur martensit yang terbentuk akibat proses *carburizing* dan pengerasan dapat dilakukan dengan melakukan uji kekerasan *Micro Vickers hardness Tester*. Struktur martensit ini mengindikasikan kedalaman difusi karbon, karena sebelum dikarburisasi, baja dengan kandungan karbon

yang rendah, tidak dapat membentuk martensit sehingga pada kedalaman tertentu terjadi perbedaan kekerasan. *Base material* yang tidak dicarburizing memiliki kekerasan yang hampir sama baik di permukaan maupun di kedalaman tertentu meskipun sudah dikeraskan karena tidak terbentuk martensit. Ukuran butiran serbuk arang mempunyai pengaruh terhadap difusi karbon ke dalam permukaan bahan. Semakin dalam, kekerasannya menurun karena jumlah karbon yang berdifusi semakin sedikit. Pada kedalaman tertentu tidak terjadi perbedaan kekerasan dengan *base material* yang mengindikasikan tidak ada penambahan karbon selama proses *carburizing* sehingga tidak dapat membentuk martensit lagi.

Ketebalan difusi karbon juga dapat diketahui dari peningkatan kadar karbon pada material tersebut. Peningkatan kadar karbon dapat diketahui dengan melakukan uji komposisi kimia material dengan menggunakan *Spectrometer*.



Gambar 2.11 Prinsip Kerja *Spectrometer*

Sumber : <http://www.cifor.cgiar.org/ntfpcd/pdf/books15.pdf>

Prinsip kerja alat uji *spectrometer* adalah dengan metode analisa spektrofotometri stasioner's logam emisi optik. Contoh material menguap ketika terkena percikan (tembakan) dengan mengalirkan busur atau percikan. Atom dan ion yang terkandung dalam uap tersebut mengalir ke emisi radiasi. Radiasi yang dipancarkan akan diteruskan ke spektrometer optik melalui serat optik, di mana ia menyebar ke dalam komponen spektralnya. Dari berbagai panjang gelombang yang dipancarkan oleh masing-masing elemen, gelombang yang paling sesuai diukur berdasarkan jenisnya.



Intensitas radiasi, yang sebanding dengan konsentrasi elemen dalam sampel, dihitung ulang secara internal dari disimpan dalam set kurva kalibrasi dan dapat ditampilkan secara langsung sebagai konsentrasi prosentasi.

## 2.7 Baja

Di dunia industri baja mempunyai peranan yang sangat penting. Baja sebagai bahan baku pelat, pipa, lembaran, profil dan sebagainya. Pembentukan baja dapat melalui proses pengecoran, penempaan, pencanaian. Karbon merupakan salah satu unsur penting dalam baja, karena dapat meningkatkan kekerasan dan kekuatan baja.

### 2.7.1 Klasifikasi Baja

Menurut komposisi kimianya dapat dibagi menjadi 2 kelompok besar yaitu baja karbon (baja tanpa paduan) dan baja paduan. Suatu baja akan dapat dikatakan sebagai baja paduan bila mengandung sejumlah unsur paduan dalam jumlah tertentu sehingga mempengaruhi sifatnya. Unsur paduan yang sering digunakan pada baja paduan selain silikon dan mangan, antara lain krom, nikel, tungsten, molybdenum, vanadium, titanium, aluminium dan lain-lain.

Penambahan unsur paduan pada baja biasanya dimaksudkan untuk memperbaiki sifat mekanik (terutama kekuatan, keuletan, ketangguhan), sifat tahan aus, sifat tahan korosi, *machinability* atau untuk memperbaiki sifat *hardenability*.

Baja paduan mengandung unsur lain yang ditambahkan untuk tujuan tertentu (Alexander, 1985).

Ada 3 fungsi pokok unsur paduan, yaitu :

- Sebagai substitusi atom besi dalam larutan padat atau dalam sementit untuk meningkatkan kekuatan, kekerasan, dan ketangguhan. Selain itu, elemen paduan dapat dimanfaatkan guna membatasi pertumbuhan butir dan kristal selama proses transformasi atau perlakuan panas. Unsur lainnya ditambahkan untuk meningkatkan kotoran atau ketidakmurnian dalam besi seperti belerang atau nitrogen.
- Untuk menjamin terbentuknya martensit pada laju pendinginan yang lebih rendah daripada laju pendinginan celup air. Panas dari tengah benda logam dapat merambat ke permukaan dengan kecepatan tertentu, dan bila bentuk benda tak teratur, laju pendinginan di pusat benda mungkin terlalu lambat untuk menjamin terbentuknya martensit. Sejumlah kecil unsur paduan (kurang dari 5%) seperti krom, nikel,

molybdenum, dan vanadium, khususnya bila digunakan dalam kondisi tertentu dapat mendorong pembentukan struktur martensit dipusat benda.

- Untuk membentuk karbida yang lebih keras dan tahan aus daripada sementit ( $\text{Fe}_3\text{C}$ ) dan disamping itu untuk mengatur penemperan martensit. Fungsi penambahan unsur untuk memperbaiki ketangguhan martensit temper sangat berarti untuk penerapan dalam rekayasa.

Dengan menggabungkan 2 klasifikasi (berdasarkan tujuan dan komposisi kimianya) dalam klasifikasi umum akan diperoleh 5 kelompok baja (Zakharov, 1962), yaitu :

- *Carbon structural steels*
- *Carbon tool steels*
- *Alloyed structural steels*
- *High alloyed structural steels* denganpropterti fisik spesial dan *ico-chemical*.

Selain diklasifikasikan berdasarkan tujuan dan komposisi kimianya, baja juga diklasifikasikan berdasarkan kualitas karakteristiknya (Zakharov, 1962), yaitu :

- *Ordinary quality steels*
- *Higher quality steels*
- *Quality steels*
- *High-quality steels*.

### 2.7.2 Alloyed Steels

Berdasarkan standar Amerika, klasifikasi *alloyed steels* terdiri dari :

- *Low-alloy steels*, jika total jumlah elemen paduannya tidak mencapai 2,5%.
- *Medium-alloy steels*, jika jumlahnya berkisar antara 2,5% sampai 10%.
- *High-alloy steels*, jika jumlahnya mencapai 10%.

Prosentase dari unsur-unsur paduan dapat mempengaruhi kualitas dan karakteristik baja dan tergantung pada jenis paduannya sehingga dapat menentukan sifat baja yang dikehendaki.

Pengaruh unsur paduan dalam baja adalah sebagai berikut(Schonmetz, 1985).

1. *Silisium* (Si), terkandung dalam jumlah kecil di dalam semua bahan besi dan dibubuhkan dalam jumlah yang lebih besar pada jenis-jenis istimewa. Meningkatkan kekuatan, kekerasan, kekenyalan, ketahanan aus, ketahanan terhadap panas dan karat, tetapi menurunkan regangan, kemampuan ditempa dan dilas.

2. *Mangan* (Mn), meningkatkan kekuatan, kekerasan, kemampuan temper menyeluruh, ketahanan aus, penguatan pada pembentukan dingin, tetapi menurunkan kemampuan serpih.
3. *Nikel* (Ni), meningkatkan keuletan, kekuatan, pengerasan menyeluruh, ketahanan karat, tahanan listrik (kawat pemanas), tetapi menurunkan kecepatan pendinginan regangan panas.
4. *Krom* (Cr), meningkatkan kekerasan, kekuatan, batas rentang ketahanan aus, kemampukerasan, kemampuan menyeluruh, ketahanan panas, kerak, karat dan asam, kemudahan pemolesan, tetapi menurunkan regangan (dalam tingkat kecil).
5. *Molibdenum* (Mo), meningkatkan kekuatan tarik, batas rentang, kemampuan untuk dapat ditemper menyeluruh, batas rentang panas, ketahanan panas dan batas kelelahan, suhu pijar pada perlakuan panas, tetapi menurunkan regangan, kerapuhan pelunakan.
6. *Cobalt* (Co), meningkatkan kekerasan, ketahanan aus, ketahanan karat dan panas, daya hantar listrik.
7. *Vanadium* (V), meningkatkan kekuatan, kekuatan panas dan ketahanan lelah, suhu pada perlakuan panas, tetapi menurunkan kondultifitas terhadap panas yang melewati batas pada perlakuan panas.

### 2.7.3 Penamaan Baja Dalam Standar AISI (*American Iron and Steel Institute*)

1. Angka pertama menunjukkan jenis baja.

Tabel 2.4 Penamaan Baja

SAE designation	Type
1xxx	<i>Carbon steels</i>
2xxx	<i>Nickel steels</i>
3xxx	<i>Nickel-chromium steels</i>
4xxx	<i>Molybdenum steels</i>
5xxx	<i>Chromium steels</i>
6xxx	<i>Chromium-vanadium steels</i>
7xxx	<i>Tungsten steels</i>
8xxx	<i>Nickel-chromium-vanadium steels</i>
9xxx	<i>Silicon-manganese steels</i>

Sumber : [www.wikipedia.com/SAE\\_steel\\_grades.htm](http://www.wikipedia.com/SAE_steel_grades.htm)

2. Angka kedua menunjukkan:

a. Kadar unsur paduan untuk baja paduan sederhana.

misal: AISI 31xx = Ni 1.25%, Cr 0.65% or 0.80%.

b. Modifikasi jenis baja paduan untuk baja paduan yg kompleks.

misal: AISI 40xx = baja molybdenum ; AISI 41xx = baja krom-molybdenum

3. Dua angka atau tiga angka terakhir menunjukkan kadar karbon perseratus persen.

misal: AISI 3115= Baja nikel-krom dengan 0,15 % C

4. Bila terdapat huruf didepan angka maka huruf tersebut menunjukkan proses pembuatan bajanya.

misal: B = *Acid bessemer carbon steel*

C = *Basic open-hearth carbon steel*

E = *Basic electric furnace process*

#### 2.7.4 Baja AISI 3115

Baja AISI 3115 merupakan jenis baja paduan rendah, menurut standarisasi AISI (*American Iron and Steel Institute*) Baja AISI 3115 merupakan baja paduan yang mengandung unsur-unsur paduan 0,13-0,18% C; 0,15-0,25% Si; 0,4-0,6% Mn; 0,55-0,75% Cr; 1-1,2% Ni (Smallman, 2000:333). Baja paduan ini sebagian besar digunakan sebagai bahan pembuat komponen-komponen otomotif dan konstruksi.

#### 2.8 Hipotesa

Semakin tinggi temperatur pemanasan *pack carburizing* akan meningkatkan ketebalan difusi karbon. Ukuran serbuk *carburizer* akan mempengaruhi ketebalan difusi karbon. *Pack carburizing* pada temperatur yang lebih tinggi dan ukuran serbuk *carburizer* yang optimal akan meningkatkan ketebalan difusi karbon.

## BAB III METODE PENELITIAN

### 3.1 Metodologi Penelitian

Penelitian yang dilakukan menggunakan metode eksperimental. Metode ini dilakukan dengan pengamatan secara langsung untuk mengetahui pengaruh temperatur pemanasan dan ukuran serbuk *carburizer* terhadap ketebalan difusi karbon baja AISI 3115.

### 3.2 Variabel Penelitian

#### 1. Variabel Bebas (*independent variable*)

Variabel bebas adalah variabel yang besarnya ditentukan sebelum penelitian. Variabel bebas diubah-ubah untuk mendapatkan hubungan antara variabel bebas dengan variabel terikat. Dalam penelitian ini, ada dua variabel bebas yang digunakan, yaitu:

- 1) Temperatur pemanasan, yaitu sebesar 800°C, 850°C, 900°C dan 950°C.
- 2) Ukuran serbuk *carburizer*, yaitu mesh 60-100µm dan mesh 500-560µm.

#### 2. Variabel Terikat (*dependent variable*)

Variabel terikat adalah variabel yang nilainya tergantung dari variabel bebas dan diketahui setelah penelitian dilakukan. Variabel terikat yang diamati dalam penelitian ini adalah ketebalan difusi karbon.

#### 3. Variabel Terkontrol

Variabel terkontrol adalah variabel yang besarnya ditentukan selama penelitian. Variabel terkontrol dalam penelitian ini antara lain:

- 1) Komposisi *carburizer* yang digunakan dalam penelitian adalah 90% arang bambu dan 10% barium karbonat.
- 2) Media *quenching* yang digunakan oli SAE 30.
- 3) *Holding time* selama 5 jam.
- 4) Pembebanan yang digunakan ketika pengujian kekerasan adalah 100gf.

### 3.3 Tempat Penelitian

1. Laboratorium Pengujian Bahan, Jurusan Teknik Mesin Universitas Brawijaya Malang, untuk proses *pack carburizing* dan pengujian material.
2. Laboratorium Pengecoran Logam, Jurusan Teknik Mesin Universitas Brawijaya Malang, untuk menentukan ukuran serbuk *carburizer*.

3. Laboratorium Uji Material Institut Teknologi Nasional Malang, untuk pengujian kekerasan.
4. Desa Kedok Turen Kabupaten Malang untuk mendapatkan arang dari bambu.
5. PT. BARATA INDONESIA untuk pengujian material.

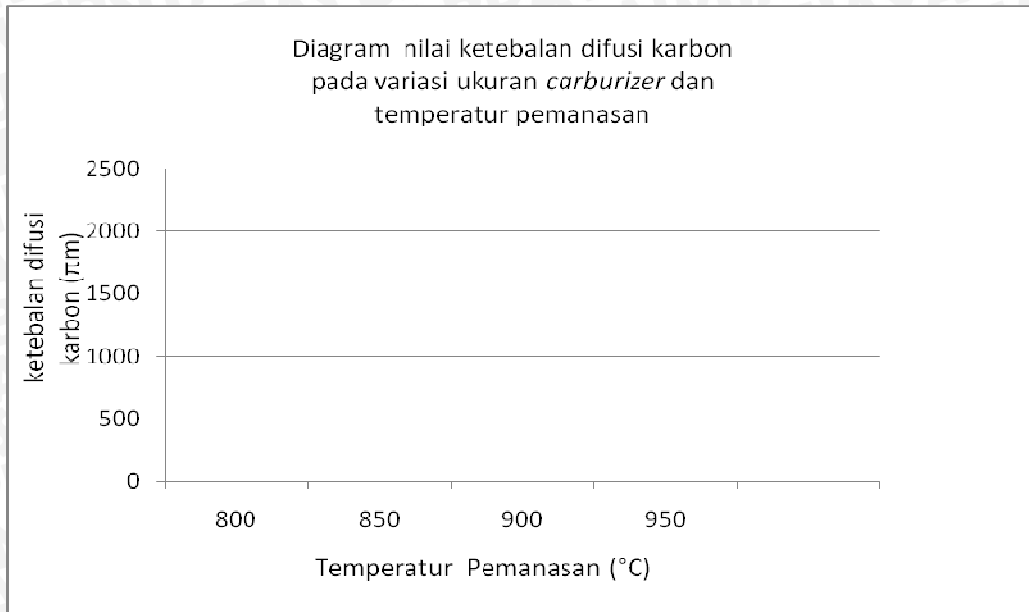
### 3.4 Rancangan Penelitian

Model rancangan penelitian dengan melibatkan dua variabel yaitu:

1. Temperatur pemanasan, yaitu sebesar 800°C, 850°C, 900°C dan 950°C.
2. Ukuran serbuk *carburizer*, yaitu mesh 60-100  $\mu\text{m}$  dan mesh 500-560  $\mu\text{m}$ .

Tabel 3.1 Data Rancangan Penelitian

Jarak ( $\mu\text{m}$ )	Nilai Kekerasan (HV)							
	Mesh 100-60 $\mu\text{m}$				Mesh 500-560 $\mu\text{m}$			
	I	II	III	Rata-rata	I	II	III	Rata-rata
50								
250								
450								
650								
850								
1050								
1250								
1450								
1650								
1850								



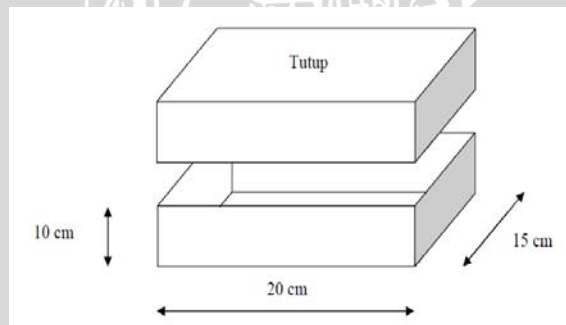
Gambar 3.1. Diagram hasil penelitian

### 3.5 Alat dan Bahan Penelitian

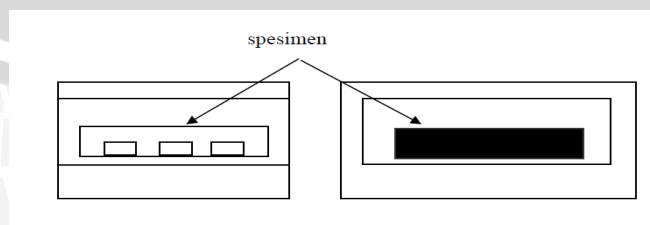
Alat yang digunakan dalam penelitian :

1. Kotak carburizing

Kotak carburizing yang digunakan dalam penelitian ini dibuat dari pelat dengan tebal 3 mm. Bentuk dari kotak dan dimensi diperlihatkan pada gambar di bawah ini:



Gambar 3.2. Kotak Carburizing



Gambar 3.3. Peletakan spesimen dalam kotak carburizing

2. Dapur Listrik

Digunakan dalam proses pemanasan dan *holding*.



Gambar 3.4. Dapur Listrik

Spesifikasi :

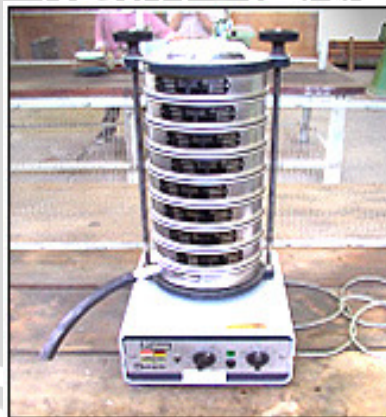
- Merk : OPENBAU HOFMAN
- Tipe : E/90
- Suhu Maks. : 1.100° C
- Buatan : Austria
- Voltage/ Daya : 220 volt / 3.3 kW

3. Penumbuk dan pengaduk

Digunakan untuk membuat serbuk arang dari arang bambu.

4. Mesin pengguncang rotap

Digunakan untuk memisahkan serbuk arang kayu berdasarkan ukuran meshnya.



Gambar 3.5. Mesin Pengguncang Rotap



## Spesifikasi :

- Jenis : Rotap
- Tipe : VS 1
- Merk : Retsch
- Volatse : 220 V
- Daya : 430 Watt
- Buatan : Jerman Barat
- Artikel : 30 40 0010
- No Seri : 01849038
- Frekuensi : 50 Hz

## 5. Timbangan

Digunakan untuk menentukan prosentasi bahan-bahan *carburizer*.

6. *Timer*

Digunakan untuk mengukur waktu pemanasan serta waktu *holding*.

## 7. Mesin pemotong (gergaji)

Digunakan untuk memotong spesimen.



Gambar 3.6. Mesin Pemotong

## Spesifikasi :

- Tipe : BSM 210 14240
- Produksi : Kast Maschinenbau Gmbh – German

8. *Sentrifugal Sand Paper Machine*

Digunakan untuk menghaluskan permukaan spesimen.



Gambar 3.7. *Sentrifugal Sand Paper Machine*

Spesifikasi :

- Merk : Saphir
- Buatan : Jerman
- Diameter : 15 cm
- Putaran : 1200 rpm

9. Alat uji kekerasan (*Micro Vickers Hardness Tester*)



Gambar 3.8. *Micro Vickers Hardness Tester*

Spesifikasi :

- *Code No.* : 810 – 100E
- *Serial No.* : 555186
- *Model* : Mitutoyo MVK – E3 Akashi Corporation Japan
- *Identor* : Diamond 136°

Bahan yang digunakan :

- 1) Baja AISI 3115

Digunakan baja AISI 3115 dengan komposisi kimia pada tabel 3.2.

Tabel 3.2. Komposisi kimia baja AISI 3115

No	Nama Unsur	Simbol	Prosentase Berat (%)
1	<i>Iron</i>	Fe	95,778
2	<i>Carbon</i>	C	0,166
3	<i>Silicon</i>	Si	0,258
4	<i>Manganase</i>	Mn	0,486
5	<i>Phosphorus</i>	P	0,018
6	<i>Sulphur</i>	S	0,007
7	<i>Chromium</i>	Cr	1,154
8	<i>Nickel</i>	Ni	1,481
9	<i>Molybdenum</i>	Mo	0,019
10	<i>Copper</i>	Cu	0,271
11	<i>Vanadium</i>	V	0,002

### Pergeseran Titik *Eutectoid* pada baja AISI 3115

Table 3.3 Pengaruh Unsur Paduan terhadap Suhu dan Komposisi *Eutectoid*

No	Unsur Paduan	Komposisi (%)	Suhu <i>Eutectoid</i> (°C)	Komposisi <i>Eutectoid</i> (%)
1	Si	0,258	725	0,7
2	Mn	0,486	710	0,72
3	Cr	1,154	748	0,67
4	Ni	1,481	700	0,75
5	Mo	0,019	726	0,75

- Temperatur *Eutectoid*

$$TC = \frac{\sum_{C=A}^{\infty} (TCx\%C)}{\sum_{C=A}^{\infty} \%C}$$

$$= \frac{2589,36}{3,59}$$

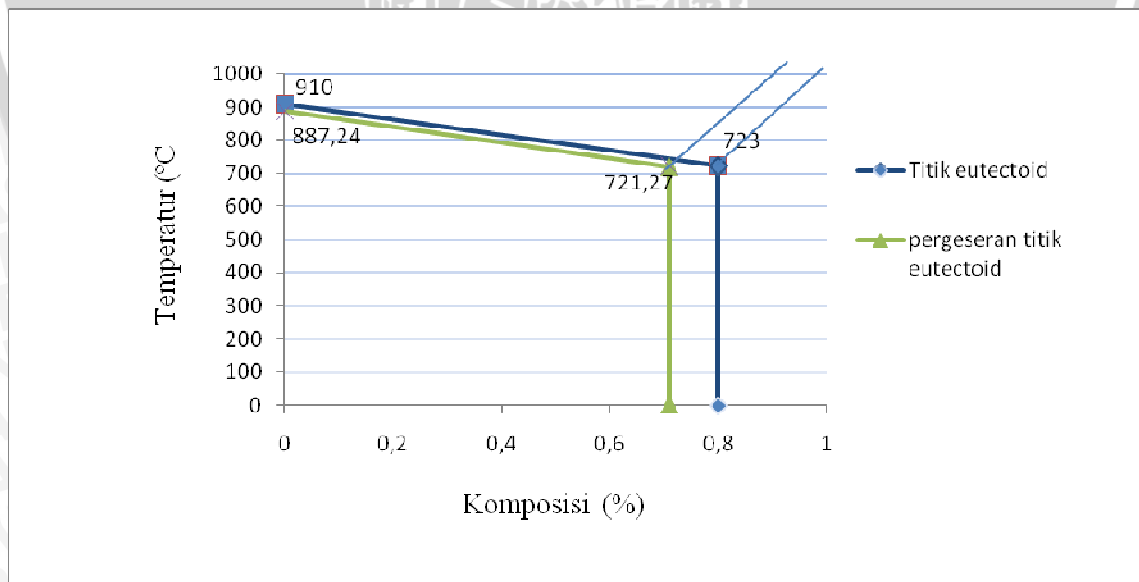
$$= 721,27^{\circ}\text{C}$$

- Komposisi *Eutectoid*

$$\%C = \frac{\sum_{C=A}^{\infty} (TCx\%C)}{\sum_{C=A}^{\infty} TC}$$

$$= \frac{2589,36}{3609}$$

$$= 0,71\%$$



Gambar 3.9. Pergeseran Titik *Eutectoid*

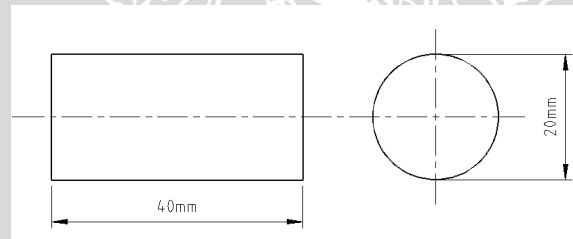
4. Arang bambu andong pada komposisi 90% dengan ukuran mesh 60-100  $\mu\text{m}$  dan mesh 500-560  $\mu\text{m}$ .
5. Barium Karbonat dengan komposisi 10%.
6. Batu hijau dan Autosol  
Digunakan untuk mengkilapkan permukaan spesimen.

### 3.6 Prosedur Penelitian

#### 3.6.1 Pembuatan Spesimen Uji

Pada penelitian ini dilakukan pengujian kekerasan dan mikrostruktur. Untuk pengujian tersebut, digunakan spesimen berbentuk silinder dengan diameter 25 mm dan tebal 40 mm. Spesimen yang digunakan ada 28 buah, dengan ketentuan:

- 4 buah spesimen dengan perlakuan *hardening* pada variasi temperatur 800°C, 850°C, 900°C dan 950°C.
- 24 buah spesimen dengan perlakuan *pack carburizing* pada temperatur 800°C, 850°C, 900°C dan 950°C dengan variasi ukuran serbuk pada mesh 60-100  $\mu\text{m}$ , dan 500-560  $\mu\text{m}$ .



Skala: 1:1

Gambar 3.10. Ukuran dan Dimensi Spesimen Uji



(a)

(b)

Gambar 3.11. Spesimen uji:  
(a) Spesimen tanpa perlakuan,  
(b) Spesimen setelah *pack carburizing*.

### 3.6.2. Pelaksanaan *Pack carburizing*

1. Kotak baja disiapkan dan dibersihkan dari terak-terak yang masih menempel.
2. Arang bambu disiapkan dengan ukuran mesh sesuai dengan variabel yang sudah ditentukan.



Skala: 5:1

Gambar 3.12 Serbuk arang ukuran mesh 500-560  $\mu\text{m}$ .



Skala: 5:1

Gambar 3.13 Serbuk arang ukuran mesh 60-100  $\mu\text{m}$ .

3. Barium karbonat disiapkan.



Skala: 5:1

Gambar 3.14 Barium Karbonat.

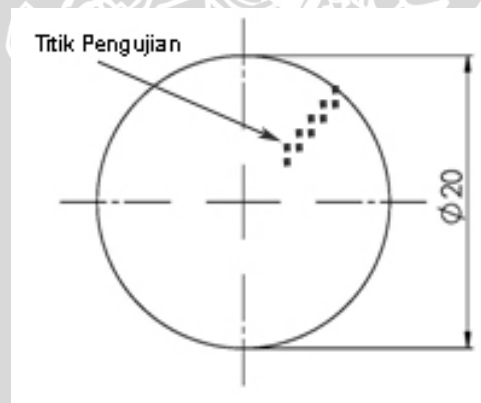
4. Benda uji dibersihkan dari terak / kotoran yang masih menempel.
5. Serbuk arang dan barium karbonat ditimbang sesuai dengan komposisi yang ditentukan.

6. Serbuk arang dan barium karbonat yang telah ditimbang dicampur dengan merata dan masukkan kedalam kotak baja.
7. Benda uji dimasukkan kedalam kotak baja.
8. Setelah semua bahan dimasukkan ke dalam kotak baja, masukkan kotak baja ke dalam *Furnace* dan dilakukan pemanasan pada suhu yang ditentukan dan *holding* selama 5 jam.
9. Setelah selesai *holding*, dilakukan pendinginan cepat pada media pendinginan oli.

### 3.6.3. Pelaksanaan Pengujian Ketebalan Lapisan

Untuk mengetahui ketebalan lapisan pada *pack carburizing*, pengujian yang dilakukan adalah pengujian kekerasan dengan jarak pengukuran yang sudah ditentukan. Langkah-langkah yang dilakukan dalam pengujian ini adalah :

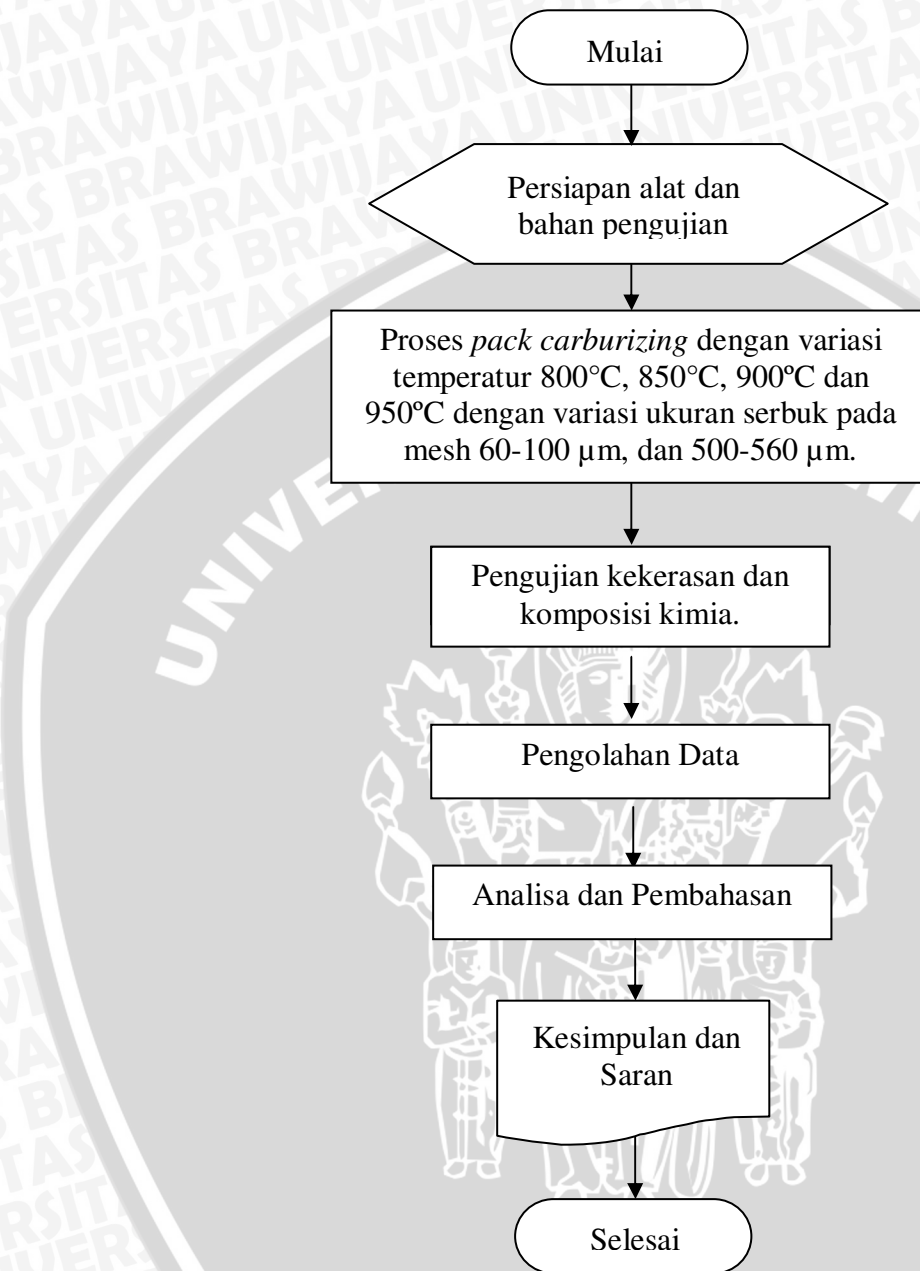
1. Spesimen uji dipotong secara mendatar menjadi dua bagian.
2. Dilakukan pengujian kekerasan pada permukaan spesimen dengan jarak pengukuran 200 $\mu\text{m}$  antar titik pengujian dengan titik pertama pengujian berjarak 50 $\mu\text{m}$  dari tepi spesimen.



Gambar 3.15 Titik-titik pengujian dalam pengujian kekerasan dengan *MicroVickers Hardness*.

3. Hasil pengujian ditunjukkan dalam bentuk grafik dan dibandingkan dengan hasil pengujian pada spesimen dengan perlakuan *hardening* pada variasi temperatur yang sama.
4. Dari perbandingan tersebut akan terlihat pada jarak pengukuran berapa spesimen tidak mengalami peningkatan kekerasan, dan jarak tersebut diambil sebagai nilai ketebalan difusi karbon.

## 3.7 Diagram Alir Penelitian





## BAB IV DATA DAN PEMBAHASAN

### 4.1 Data Hasil Penelitian

Pada penelitian kali ini untuk memperoleh ketebalan difusi karbon dilakukan dengan dua metode pengujian yaitu pengujian kekerasan *Micro Vickers Hardness* dan pengujian komposisi kimia material.

#### 4.1.1 Data Hasil Pengujian Kekerasan

Metode pengujian ketebalan difusi karbon yang pertama dilakukan dengan pengujian kekerasan dengan metode *Micro Vickers Hardness* pada permukaan spesimen uji yang telah di *carburizing* pada variasi temperatur dan ukuran *carburizer*. Hasilnya dibandingkan dengan spesimen yang telah di *hardening* dalam grafik untuk memperoleh nilai ketebalan difusi karbonnya.

Pengujian dilakukan pada 10 titik tiap spesimen dengan jarak pengujian yang telah ditentukan dan dilakukan dengan 3 kali pengulangan. Data hasil pengujian kekerasan ditunjukkan pada tabel dibawah ini:

Tabel 4.1 Data pengujian kekerasan *raw material* dan spesimen dengan perlakuan *hardening* pada variasi temperatur.

Jarak ( $\mu\text{m}$ )	Temperatur <i>Hardening</i> ( $^{\circ}\text{C}$ )				Raw Material
	800	850	900	950	
50	218	255	325	355	190
250	222	250	327	357	187
450	217	248	330	350	185
650	220	250	319	355	187
850	220	250	326	349	189
1050	218	251	322	348	191
1250	214	249	325	351	179
1450	225	247	323	350	186
1650	220	255	329	350	187
1850	218	252	320	348	190

Tabel 4.2 Data pengujian kekerasan pada temperatur 800°C dan variasi ukuran carburizer.

Jarak (µm)	Nilai Kekerasan (HV)							
	Mesh 100-60 µm				Mesh 500-560 µm			
	I	II	III	Rata-rata	I	II	III	Rata-rata
50	300	294	302	299	272	275	270	272
250	285	280	287	284	257	255	250	254
450	250	255	244	250	228	225	219	224
650	220	210	225	218	225	227	216	223
850	225	220	224	223	220	217	225	221
1050	219	207	224	217	222	225	217	221
1250	220	216	222	219	224	225	218	222
1450	224	208	218	217	220	218	222	220
1650	222	217	225	221	220	226	219	222
1850	224	220	216	220	225	220	218	221

Tabel 4.3 Data pengujian kekerasan pada temperatur 850°C dan variasi ukuran carburizer.

Jarak (µm)	Nilai Kekerasan (HV)							
	Mesh 100-60 µm				Mesh 500-560 µm			
	I	II	III	Rata-rata	I	II	III	Rata-rata
50	500	503	497	500	423	425	440	429
250	435	437	440	437	390	387	391	389
450	345	350	354	350	320	325	327	324
650	290	287	293	290	285	283	289	286
850	250	254	253	252	248	245	244	246
1050	252	250	255	252	249	252	240	247
1250	249	247	250	249	250	245	239	245
1450	250	247	251	249	248	247	250	248
1650	247	249	250	249	255	251	241	249
1850	250	246	247	248	250	252	240	247

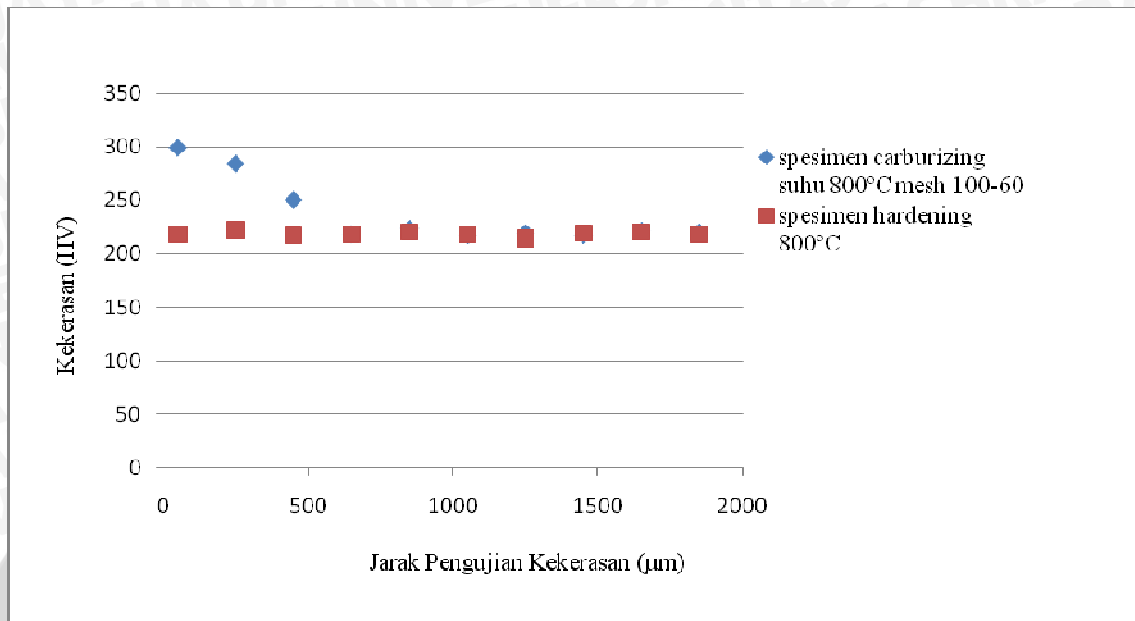
Tabel 4.4 Data pengujian kekerasan pada temperatur 900°C dan variasi ukuran carburizer.

Jarak ( $\mu\text{m}$ )	Nilai Kekerasan (HV)							
	Mesh 100-60 $\mu\text{m}$				Mesh 500-560 $\mu\text{m}$			
	I	II	III	Rata-rata	I	II	III	Rata-rata
50	570	568	574	571	535	541	537	538
250	557	558	552	556	520	523	525	523
450	520	523	519	521	475	472	470	472
650	485	490	493	489	395	390	397	394
850	390	397	401	396	350	352	356	353
1050	330	332	337	333	310	319	314	314
1250	325	324	326	325	320	321	319	320
1450	324	327	325	325	325	328	327	327
1650	310	318	321	316	320	322	319	320
1850	315	324	325	321	323	319	321	321

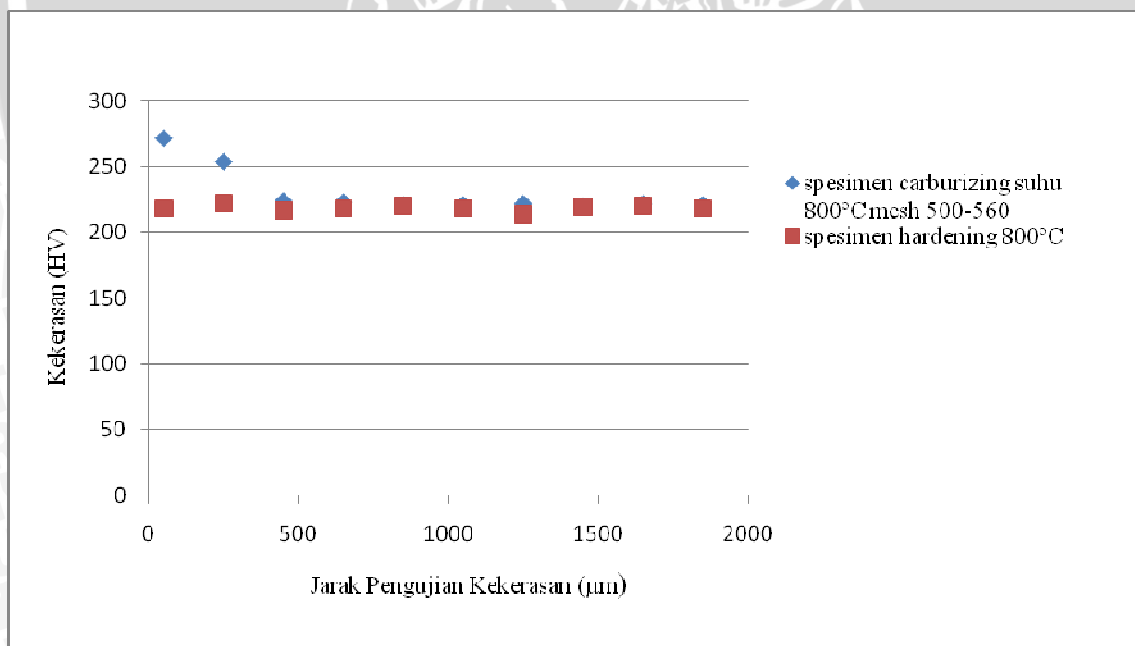
Tabel 4.5 Data pengujian kekerasan pada temperatur 950°C dan variasi ukuran carburizer.

Jarak ( $\mu\text{m}$ )	Nilai Kekerasan (HV)							
	Mesh 100-60 $\mu\text{m}$				Mesh 500-560 $\mu\text{m}$			
	I	II	III	Rata-rata	I	II	III	Rata-rata
50	630	637	628	632	600	597	605	601
250	600	603	601	601	575	573	577	575
450	577	581	579	579	550	542	557	550
650	520	523	519	521	505	502	499	502
850	485	487	490	487	480	481	483	481
1050	420	421	423	421	407	409	410	409
1250	402	407	397	402	385	389	383	386
1450	375	381	383	380	365	367	367	366
1650	355	349	350	351	350	353	355	353
1850	352	347	353	351	355	357	350	354

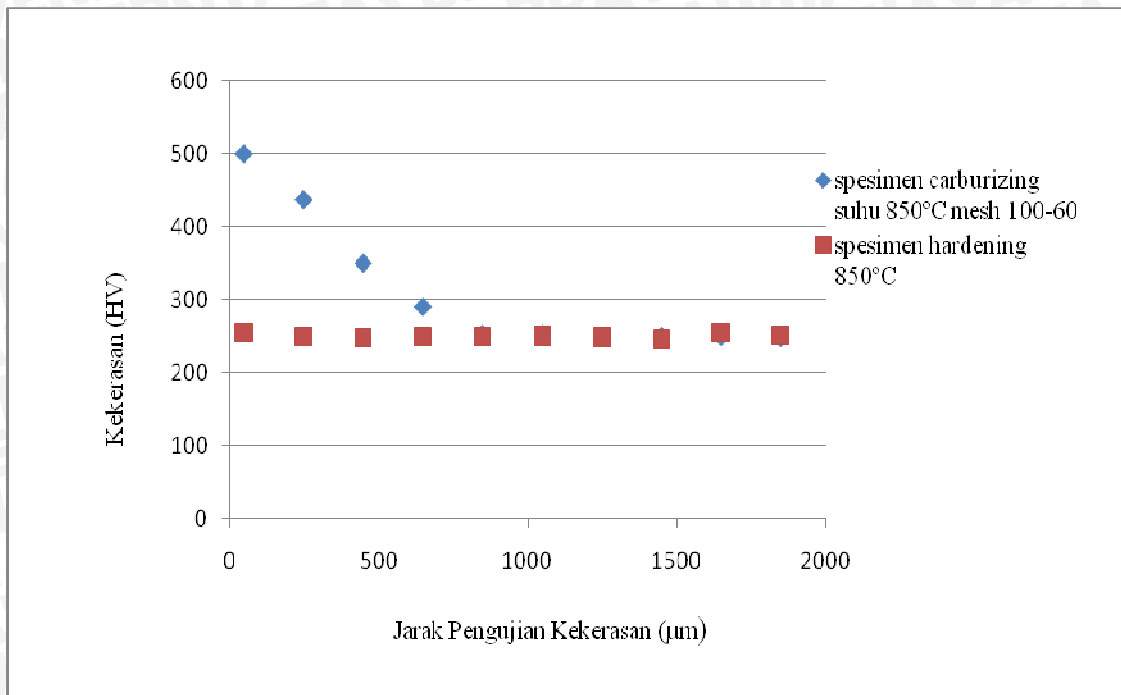
Data hasil pengujian kekerasan yang telah diperoleh dibandingkan dalam tiap grafik berdasarkan variasi temperatur pada spesimen yang di *carburizing* dan di *hardening*.



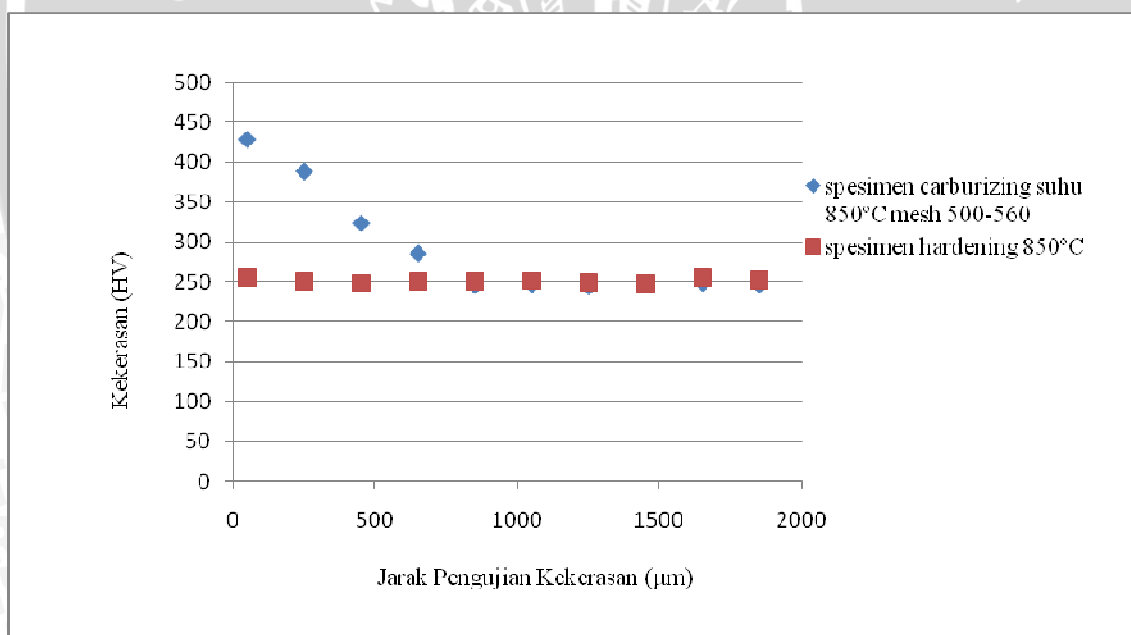
Gambar 4.1 Grafik Perbandingan Nilai Kekerasan spesimen *Carburizing* pada mesh 100-60µm dengan Spesimen *Hardening* pada Temperatur 800°C.



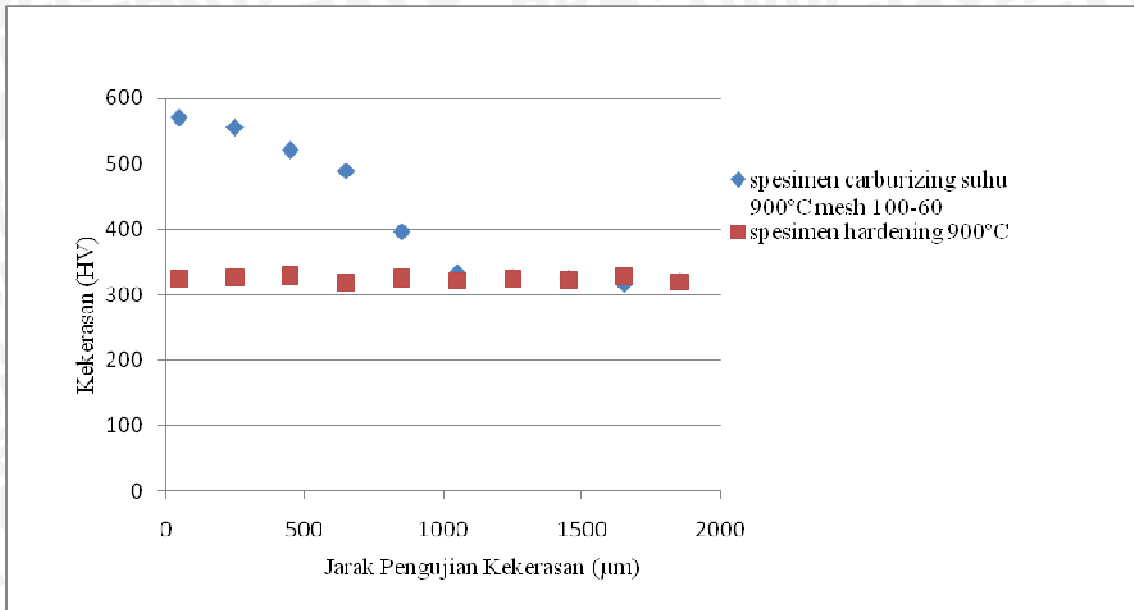
Gambar 4.2 Grafik Perbandingan Nilai Kekerasan spesimen *Carburizing* pada mesh 500-560 µm dengan Spesimen *Hardening* pada Temperatur 800°C.



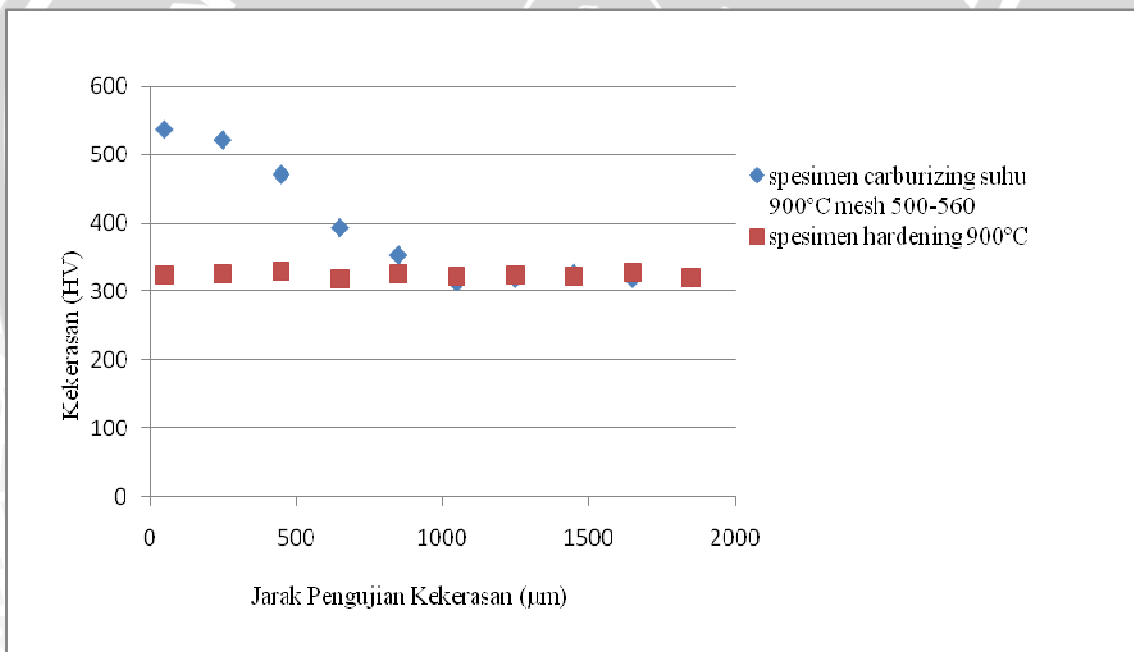
Gambar 4.3 Grafik Perbandingan Nilai Kekerasan spesimen *Carburizing* pada mesh 100-60  $\mu\text{m}$  dengan Spesimen *Hardening* pada Temperatur  $850^{\circ}\text{C}$ .



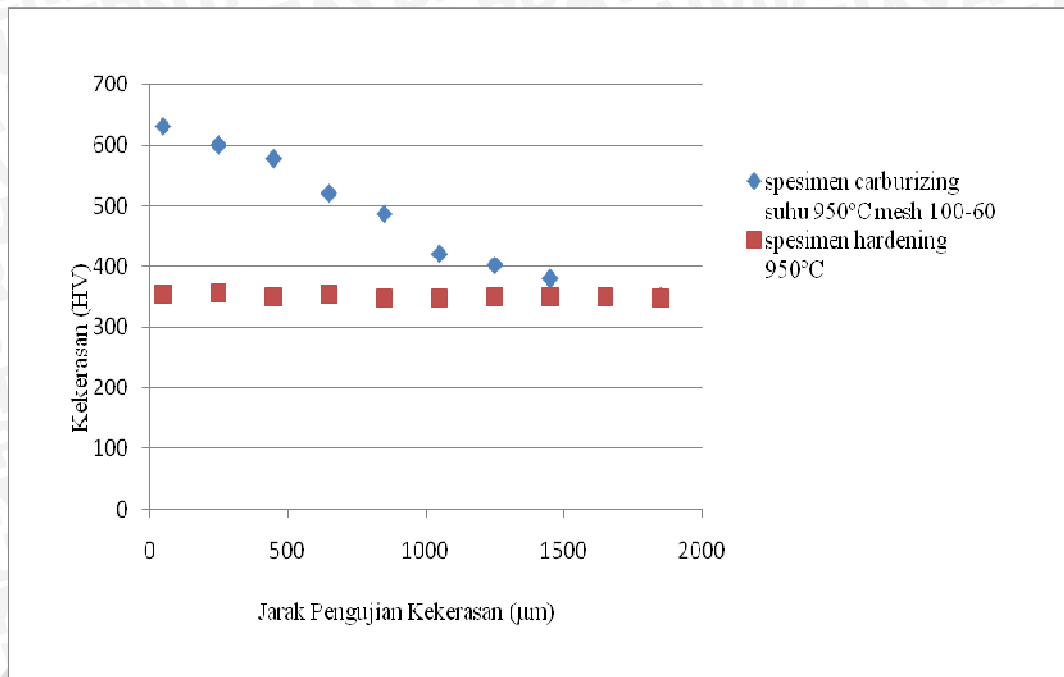
Gambar 4.4 Grafik Perbandingan Nilai Kekerasan spesimen *Carburizing* pada mesh 500-560  $\mu\text{m}$  dengan Spesimen *Hardening* pada Temperatur  $850^{\circ}\text{C}$ .



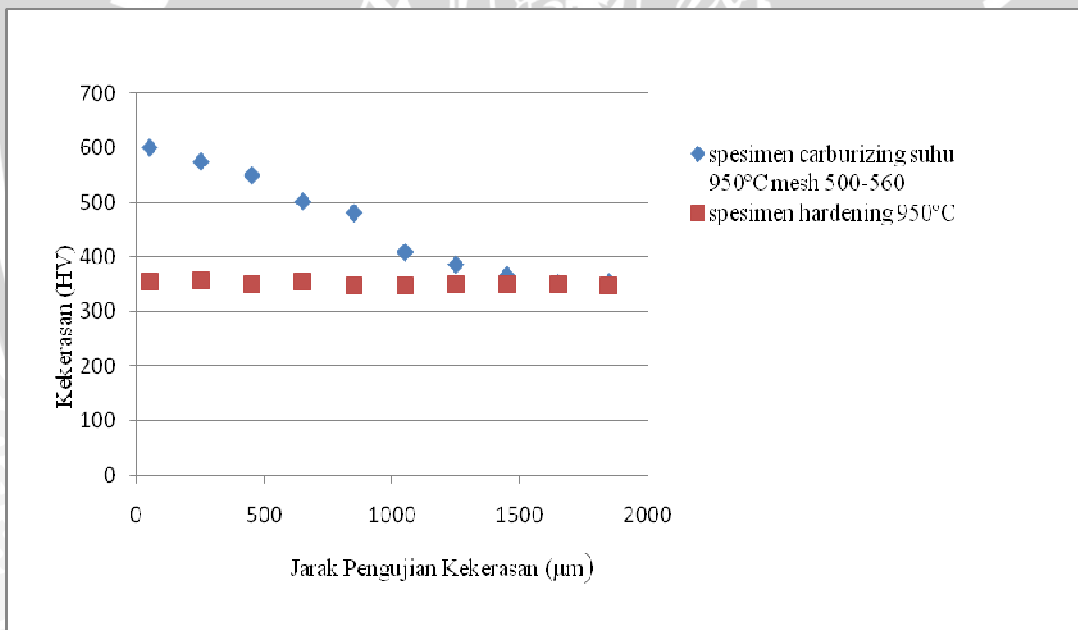
Gambar 4.5 Grafik Perbandingan Nilai Kekerasan spesimen *Carburizing* pada mesh 100-60 µm dengan Spesimen *Hardening* pada Temperatur 900°C.



Gambar 4.6 Grafik Perbandingan Nilai Kekerasan spesimen *Carburizing* pada mesh 500-560 µm dengan Spesimen *Hardening* pada Temperatur 900°C.



Gambar 4.7 Grafik Perbandingan Nilai Kekerasan spesimen *Carburizing* pada mesh 100-60 µm dengan Spesimen *Hardening* pada Temperatur 950°C.



Gambar 4.8 Grafik Perbandingan Nilai Kekerasan spesimen *Carburizing* pada mesh 500-560 µm dengan Spesimen *Hardening* pada Temperatur 950°C.

#### 4.1.2 Data Hasil Pengujian Komposisi Kimia

*Pack carburizing* dalam penelitian kali ini adalah sebuah proses perlakuan panas kimiawi yang bertujuan untuk meningkatkan kekerasan permukaan pada permukaan material dengan cara penambahan kadar karbon. Dalam proses ini material akan mengalami peningkatan karena dua hal, yang pertama karena adanya proses pemanasan (*heating*) yang diikuti dengan proses pendinginan cepat (*quenching*). Kedua karena adanya peningkatan kadar karbon yang tentunya dapat meningkatkan kekerasannya. Adanya peningkatan kadar karbon ini dapat diketahui dengan pengujian *spektrometri*.

Dari pengujian yang dilakukan di PT.BARATA INDONESIA didapatkan data yang menunjukkan adanya peningkatan kadar karbon dari material yang mengalami proses *pack carburizing*, sebagai berikut:

Tabel 4.6 Kandungan Karbon pada Material

Temperatur (°C)	Kandungan Karbon(%)	
	Mesh 100-60 $\mu\text{m}$	Mesh 500-560 $\mu\text{m}$
800	0,323	0,288
850	0,885	0,692
900	0,941	0,937
950	1,210	1,155

#### 4.2 Pembahasan

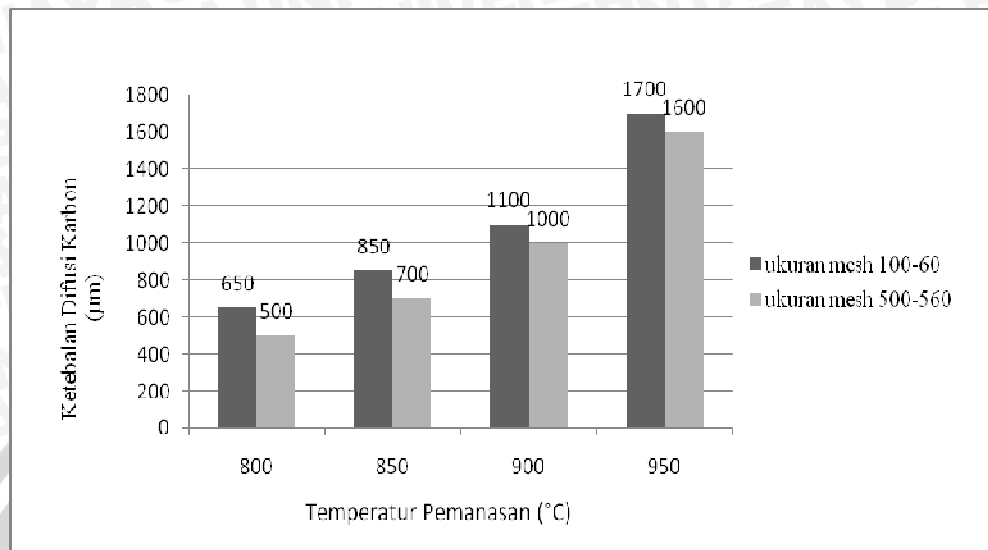
Dari grafik perbandingan nilai kekerasan antara spesimen *carburizing* dengan spesimen *hardening* di atas, di dapatkan nilai ketebalan difusi karbon seperti terlihat pada tabel di bawah ini.

Tabel 4.7 Nilai Ketebalan Difusi Karbon pada Variasi Temperatur dan Ukuran *Carburizer*.

Temperatur (°C)	Ketebalan Difusi Karbon	
	Mesh 100-60 $\mu\text{m}$	Mesh 500-560 $\mu\text{m}$
800	650	500
850	850	700
900	1100	1000
950	1700	1600



Dari tabel di atas dibuat diagram yang menggambarkan hubungan antara dua variabel bebas yaitu temperatur pemanasan dan ukuran *carburiizer* terhadap ketebalan lapisan.



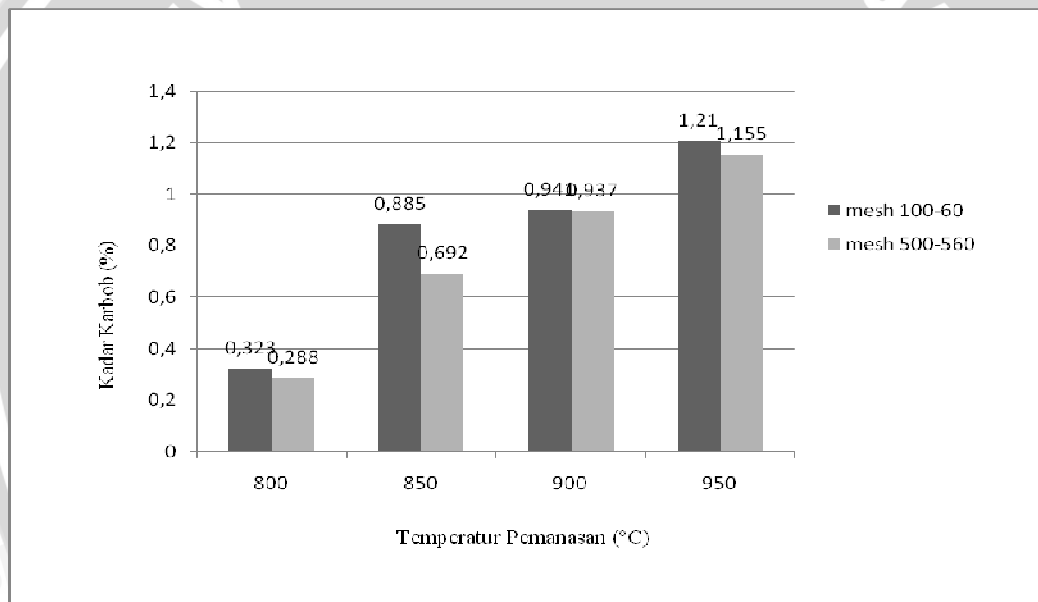
Gambar 4.9 Pengaruh Temperatur Pemanasan Ukuran *Carburiizer* terhadap Ketebalan Difusi Karbon.

Dari diagram di atas dapat dilihat bahwa nilai ketebalan difusi karbon mengalami peningkatan sebanding dengan adanya peningkatan temperatur, dan ketebalan difusi karbon tertinggi dimiliki oleh spesimen *pack carburizing* pada suhu 950°C. Hal ini dapat dijelaskan karena dalam proses difusi intersisi atom-atom karbon membutuhkan energi untuk pergerakannya dari permukaan menuju bagian dalam spesimen (Budinski, 1983). Energi ini diperoleh dari panas pada proses pemanasan, semakin tinggi temperatur pemanasan maka energi yang dimiliki atom karbon semakin besar sehingga pergerakan atom karbon dari permukaan luar menuju kedalam material akan semakin dalam. Hal ini akan menghasilkan ketebalan difusi karbon yang semakin dalam. Pada temperatur 800°C dan 850°C menghasilkan ketebalan difusi karbon yang paling rendah karena pada temperatur tersebut spesimen uji belum mencapai fasa austenit 100% sehingga proses difusi karbon tidak maksimal.

Sedangkan pada temperatur yang sama terjadi perbedaan ketebalan difusi karbon akibat pengaruh ukuran dari serbuk *carburiizer*. Ukuran serbuk yang lebih kecil yaitu pada mesh 100-60 µm menghasilkan ketebalan difusi karbon yang lebih dalam dibandingkan pada *pack carburizing* dengan ukuran *carburiizer* yang besar yaitu pada mesh 500-560 µm. Sesuai dengan pengertian proses *carburizing* yaitu bahwa setiap

proses pengarbonan mencakup tiga proses dasar (Lakhtin, 1965), yang meliputi: proses yang terjadi pada medium eksternal berupa pembebasan elemen difusi menjadi atom (*ion*), kontak elemen difusi dengan permukaan matrik membentuk ikatan kimia, dan penetrasi elemen difusi menuju inti setelah menjadi keadaan jenuh dipermukaan matrik. Dari pengertian tersebut jelas bahwa serbuk *carburizer* dengan ukuran mesh yang lebih kecil akan mempermudah proses pembebasan elemen difusi menjadi atom, sehingga akan meningkatkan jumlah elemen difusi yang mengalami kontak dengan permukaan logam untuk membentuk ikatan kimia. Adanya kontak elemen difusi yang lebih tinggi pada proses *pack carburizing* dengan ukuran serbuk yang kecil akan meningkatkan kedalaman difusi karbon.

Hasil yang sama juga didapat dari pengujian komposisi kimia seperti ditunjukkan dalam diagram di bawah ini.



Gambar 4.10 Pengaruh Temperatur Pemanasan dan Ukuran Serbuk *Carburizer* terhadap Peningkatan Kadar Karbon.

Dari pengujian komposisi kimia didapat hasil yang mendukung hasil pengujian kekerasan untuk memperoleh ketebalan difusi karbon. Dari diagram di atas terlihat bahwa peningkatan kadar karbon tertinggi yaitu pada spesimen *pack carburizing* dengan temperatur pemanasan 950°C. Pada variasi ukuran serbuk *carburizer* yang diberikan, juga menunjukkan hasil bahwa ukuran serbuk yang lebih kecil menghasilkan peningkatan kadar karbon yang lebih tinggi yang berarti menghasilkan ketebalan difusi karbon yang lebih dalam.

## BAB V PENUTUP

### 5.1 Kesimpulan

Pada penelitian ini dapat ditarik sebuah kesimpulan tentang pengaruh temperatur pemanasan dan ukuran *carburizer* terhadap ketebalan difusi karbon pada proses *pack carburizing*. Dari hasil penelitian ini didapat bahwa pada temperatur yang lebih tinggi akan menghasilkan difusi karbon yang lebih dalam. Sedangkan ukuran *carburizer* yang lebih kecil menghasilkan difusi karbon yang lebih dalam. Dari hasil penelitian didapat bahwa nilai ketebalan difusi karbon teringgi yaitu sedalam 1700 $\mu\text{m}$  pada spesimen dengan variasi temperatur 950 $^{\circ}\text{C}$  dan ukuran *carburizer* pada mesh 100-60 $\mu\text{m}$  dengan peningkatan kadar karbon dari 0,166 % menjadi 1,21%.

### 5.2 Saran

Dari hasil penelitian ini didapatkan beberapa saran untuk proses *pack carburizing*, antara lain :

1. Proses *pack carburizing* pada temperatur 950 $^{\circ}\text{C}$  dengan holding 5 jam dapat menghasilkan ketebalan difusi karbon hingga 1700  $\mu\text{m}$ .
2. Ukuran serbuk *carburizer* yang lebih kecil dapat meningkatkan efektifitas proses *pack carburizing*.
3. Arang bambu dapat digunakan sebagai pengganti arang kayu pada proses *pack carburizing* dengan menggunakan serbuk arang.
4. Untuk penelitian selanjutnya disarankan untuk mencoba proses *carburizing* lain selain *pack carburizing*, misalnya *vacuum carburizing* atau gas *carburizing*.

## DAFTAR PUSTAKA

- Budinski, K. 1983. *Engineering Material Properties and Selection*. Reston Ohio : Mc Millan Publishing Company.
- Dani, Agus. 2003. *Pengaruh Temperatur Heating dan Waktu Holding Terhadap Kekerasan Pada Proses Pack Carburizing Sprocket Sepeda Motor*. Malang : Universitas Brawijaya.
- [http:// www.books.google.co.id/booksRekMaterial](http://www.books.google.co.id/booksRekMaterial) (di akses tanggal 22 juni 2010).
- [http:// www.greenflip.in/blog/bamboo-innovations-charcoal-activated-carbon/](http://www.greenflip.in/blog/bamboo-innovations-charcoal-activated-carbon/) (di akses tanggal 12 maret 2010).
- [http:// www.wikipedia.com/SAE\\_steel\\_grades.htm](http://www.wikipedia.com/SAE_steel_grades.htm) (di akses tanggal 7 februari 2010).
- Mujiyono, 2005. *Meningkatkan Efektifitas Karburisasi Padat pada Baja Karbon*. Yogyakarta : Universitas Negeri Yogyakarta.
- Prabudhev, K.H. 1988. *Handbook of Heat Treatment*. Banglore : Mc graw Hill Inc.
- Surdia, Tata, 2000. *Pengetahuan Bahan Teknik*, PT. Pradnya Paramita, Jakarta.
- Wiryosumarto, Harsono. 1994. *Teknologi Pengelasan Logam*. Jakarta : Pradnya Paramitha.
- Wisuda, O.A. 2002. *Pengaruh Komposisi Carburizer Pada Proses Pack Carburizing Terhadap Kekerasan Material Sprocket Sepeda Motor*. Malang : Universitas Brawijaya.
- Zakharov, B. 1992. *Heat Treatment of Metal*. Moscow : Foreign Language Publishing House.

Lampiran 1. Foto Mikro Spesimen

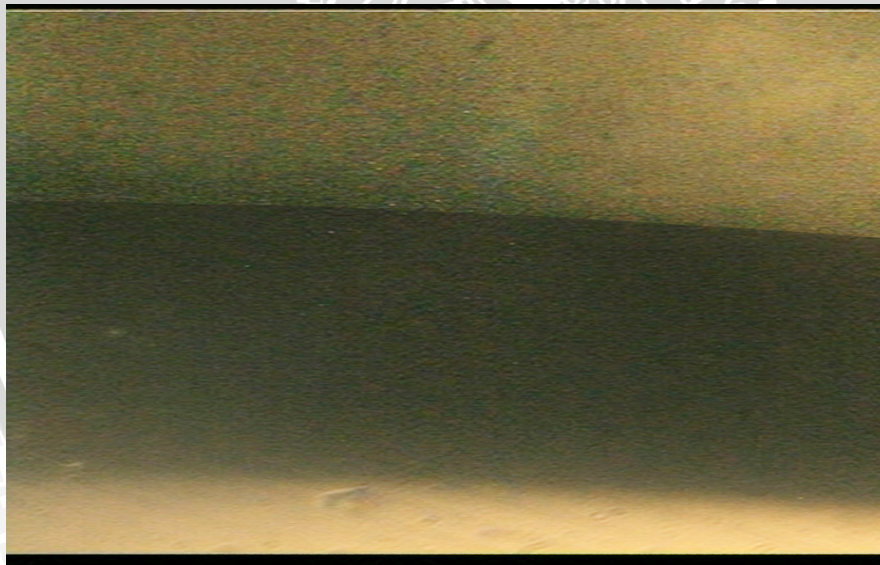
Skala 1 : 450



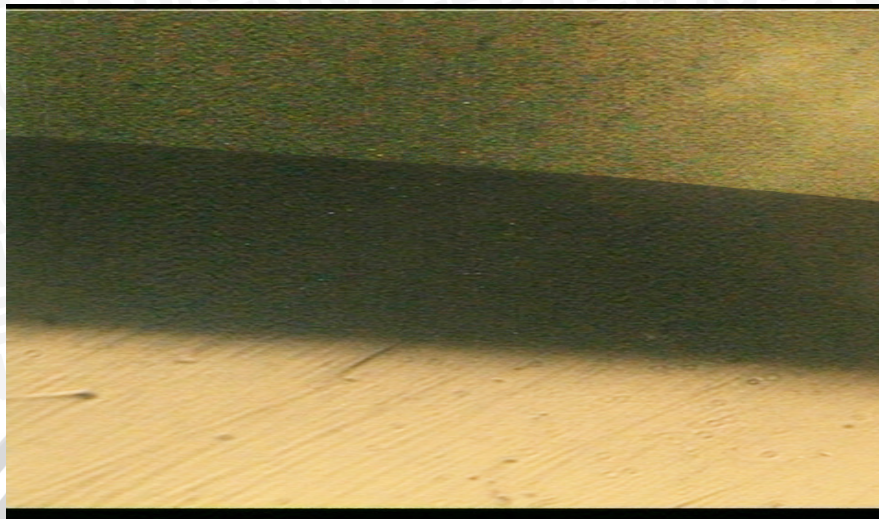
Daerah yang mengalami difusi karbon

Base metal

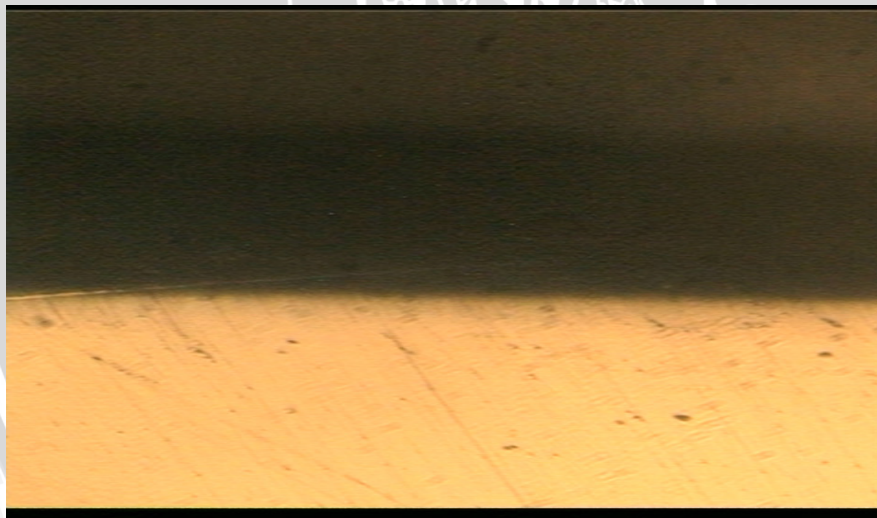
Spesimen *pack carburizing* pada temperatur 950°C pada mesh 60-100  $\mu\text{m}$ .



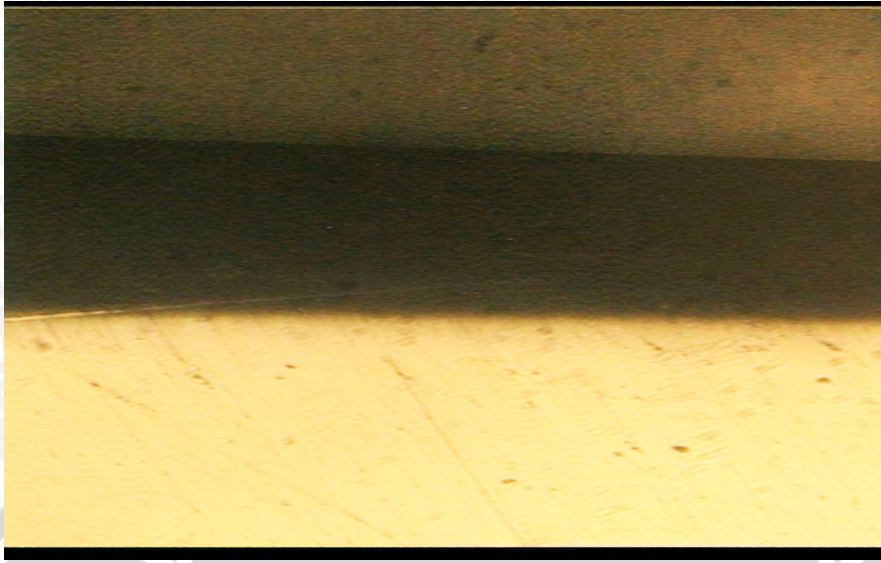
Spesimen *pack carburizing* pada temperatur 950°C pada mesh 500-560  $\mu\text{m}$ .



Spesimen *pack carburizing* pada temperatur 900°C pada mesh 60-100 µm.



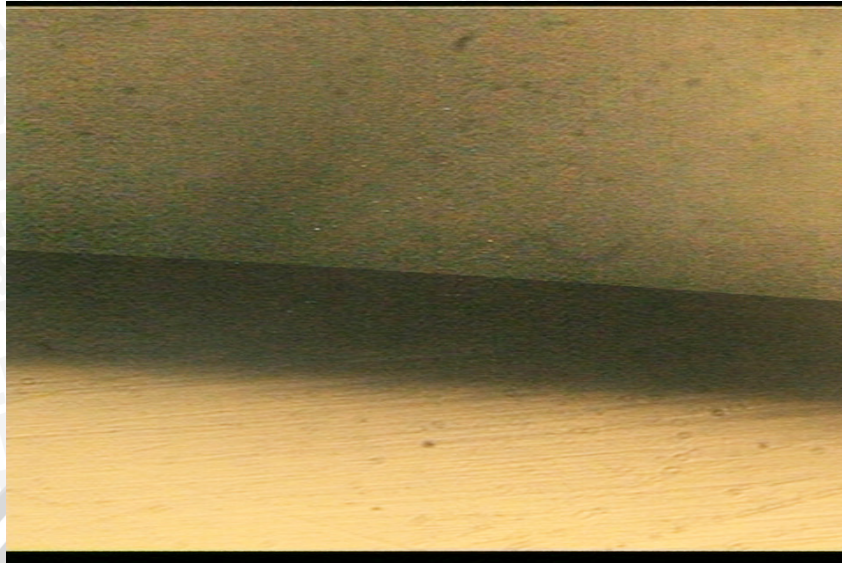
Spesimen *pack carburizing* pada temperatur 900°C pada mesh 500-560 µm.



Spesimen *pack carburizing* pada temperatur 850°C pada mesh 60-100  $\mu\text{m}$ .



Spesimen *pack carburizing* pada temperatur 850°C pada mesh 500-560  $\mu\text{m}$ .



Spesimen *pack carburizing* pada temperatur 800°C pada mesh 60-100 µm.



Spesimen *pack carburizing* pada temperatur 800°C pada mesh 500-560 µm.



## Lampiran 2. Data Hasil Pengujian



INSTITUT TEKNOLOGI NASIONAL MALANG  
 FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI JURUSAN TEKNIK MESIN  
**LABORATORIUM PENGUJIAN MATERIAL**  
 Jl. Raya Karanglo Km. 2 Telp. (0341) 417636 Ext. 511 Malang

Nama : Ninis Ning Ratri  
 NIM / Jurusan : 0610620084 / Teknik Mesin  
 Hari / Tanggal : 19 Juni 2010  
 Micro Vickers Hardness Tester  
 Code No. : 810 – 100E  
 Serial No. : 555186  
 Model : Mitutoyo MVK – E3 Akashi Corporation Japan  
 Timer : 10 detik  
 Beban : 100 gf  
 Identor : Diamond 136 °

Jarak ( $\mu\text{m}$ )	Spesimen				Raw Material
	1	2	3	4	
50	218	255	325	355	190
250	222	250	327	357	187
450	217	248	330	350	185
650	220	250	319	355	187
850	220	250	326	349	189
1050	218	251	322	348	191
1250	214	249	325	351	179
1450	225	247	323	350	186
1650	220	255	329	350	187
1850	218	252	320	348	190

Jarak ( $\mu\text{m}$ )	Spesimen							
	A1	B1	C1	D1	E1	F1	G1	H1
50	300	272	500	423	570	535	630	600
250	285	257	435	390	557	520	600	575
450	250	228	345	320	520	475	577	550
650	220	225	290	285	485	395	520	505
850	225	220	250	248	390	350	485	480
1050	219	222	252	249	330	310	420	407
1250	220	224	249	250	325	320	402	385
1450	224	220	250	248	324	325	375	365
1650	222	220	247	255	310	320	355	350
1850	224	225	250	250	315	323	352	355





INSTITUT TEKNOLOGI NASIONAL MALANG  
 FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI JURUSAN TEKNIK MESIN  
**LABORATORIUM PENGUJIAN MATERIAL**  
 Jl. Raya Karanglo Km. 2 Telp. (0341) 417636 Ext. 511 Malang

Jarak ( $\mu\text{m}$ )	Spesimen							
	A2	B2	C2	D2	E2	F2	G2	H2
50	294	275	503	425	568	541	637	597
250	280	255	437	387	558	523	603	573
450	255	225	350	325	523	472	581	542
650	210	227	287	283	490	390	523	502
850	220	217	254	245	397	352	487	481
1050	207	225	250	252	332	319	421	409
1250	216	225	247	245	324	321	407	389
1450	208	218	247	247	327	328	381	367
1650	217	226	249	251	318	322	349	353
1850	220	220	246	252	324	319	347	357

Jarak ( $\mu\text{m}$ )	Spesimen							
	A3	B3	C3	D3	E3	F3	G3	H3
50	302	270	497	440	574	537	628	605
250	287	250	440	391	552	525	601	577
450	244	219	354	327	519	470	579	557
650	225	216	293	289	493	397	519	499
850	224	225	253	244	401	356	490	483
1050	224	217	255	240	337	314	423	410
1250	222	218	250	239	326	319	397	383
1450	218	222	251	250	325	327	383	367
1650	225	219	250	241	321	319	350	355
1850	216	218	247	240	325	321	353	350

Malang, 14 Juni 2010  
 Kepala Laboratorium

**Ir. H. Basuki Widodo, MT**  
 NIP. Y : 1018100037



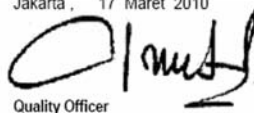
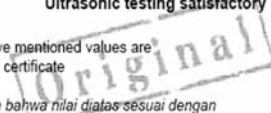
Lampiran 3. Sertifikat Material

<b>Customer</b> <b>Pelanggan :</b> <b>UNIVERSITAS BRAWIJAYA</b> MALANG
---

## Material Certificate

Extract of test report according to DIN 50049/EN 10204/2.3  
 Dikutip dari laporan hasil uji yang mengacu kepada standar DIN 50049/EN 10204/2.3

Certificate Number : TA-STEEL/0118/2010

Your Order No :															
Our Bp No :		427/TA-SBY/III/10													
Pos	Product	Size	Heat Number	Quantity	Unit										
1	AISI 3115	25	38407	700 MM	4 PCS										
2															
3															
4															
5															
Chemical Analysis															
Pos	C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Mo	Sn	Cu	Al	V	N2	Ce	%
1	0.17	0.28	0.53	0.009	0.029	1.51	1.4	-	-	-	0.026	-	-	-	-
2															
3															
4															
5															
Mechanical Values															
Pos	Yield Stress N/mm <sup>2</sup>	Tensile Strength N/mm <sup>2</sup>	Elongation A <sub>5</sub> %	Reduction Of Area	Impact V J.	Hardness HBN	Grain Size								
1	-	-	-	-	-	184	-								
2															
3															
4															
5															
Jakarta , 17 Maret 2010										<b>Ultrasonic testing satisfactory</b>					
 Quality Officer Petugas Administrasi Quality										Hereby we declare that above mentioned values are accordance with original mill certificate  Dengan ini kami menyatakan bahwa nilai diatas sesuai dengan nilai yang ada di mill certificate yang asli					

Lampiran 4. Surat Keterangan Penelitian



**LABORATORIUM PENGECORAN LOGAM  
FAKULTAS TEKNIK JURUSAN MESIN  
UNIVERSITAS BRAWIJAYA**

Jl. MT Haryono 167 Malang Telp. (0341) 551611 – 551430 Pes.157 Malang 65145



**SURAT KETERANGAN**  
No.3 /LAB.PL/V/2010

Yang bertanda tangan di bawah ini :

N A M A : Dr.Eng.Yudy Surya Irawan, ST., M.Eng.  
N I P : 19750710 199903 1 004

Menerangkan bahwa :

N A M A : Ninis Ning Ratri  
N I M : 0610620084-62  
MAHASISWA : Jurusan Teknik Mesin Universitas Brawijaya

Mahasiswa tersebut diatas telah selesai menggunakan Fasilitas Laboratorium Pengecoran Logam guna Penelitian / pengambilan data dalam rangka pengerjaan Skripsi.

Dengan Judul : Pengaruh Temperatur Pemanasan dan Ukuran serbuk Carburizer Proses Pack Carburizing Terhadap Ketebalan Difasi Karbon Bata AISI 3115

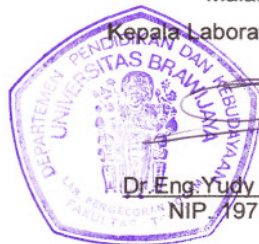
Fasilitas yang dipergunakan : Mesin Rotap

Waktu Pelaksanaan : 23 April s/d 17 Mei 2010

Demikian Surat Keterangan ini dibuat dengan sebenarnya untuk dapat dipergunakan seperlunya.

Malang ,25 Mei 2010

Kepala Laboratorium Pengecoran Logam



Dr.Eng.Yudy Surya Irawan, ST., M.Eng.  
NIP. 19750710 199903 1 004

