

## BAB II

### TINJAUAN PUSTAKA

#### 2.1 Penelitian Sebelumnya

**Mujiyono dan Arianto (2005)**, melakukan penelitian tentang peningkatan efektifitas karburisasi padat pada baja karbon rendah dengan optimasi ukuran serbuk arang tempurung kelapa. Penelitian ini bertujuan 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  $\mu\text{m}$ , 60  $\mu\text{m}$ , 50  $\mu\text{m}$ , 30  $\mu\text{m}$ , 20  $\mu\text{m}$ , sampai ukuran *mesh* 10  $\mu\text{m}$ . Dari penelitian ini disimpulkan bahwa serbuk tempurung kelapa dengan ukuran antara *mesh* 60  $\mu\text{m}$  hingga *mesh* 30  $\mu\text{m}$  efektif digunakan untuk proses karburising padat pada baja karbon rendah.

**Mohamad Machfudz (2003)**, melakukan penelitian tentang pengaruh jenis media pendingin pada proses *pack carburizing sprocket* sepeda motor disimpulkan bahwa jenis media pendingin air memiliki rata-rata nilai kekerasan tertinggi dan telah meningkatkan kekerasan *sprocket* non-orisinil diatas kekerasan rata-rata *sprocket* orisinil.

#### 2.2 Pengertian Carburizing

*Carburizing* adalah sebuah proses penambahan unsur karbon pada permukaan logam dengan cara difusi untuk meningkatkan sifat fisis dan mekanisnya (Budinski (1988 : 80). *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). *Carburizing* umumnya diterapkan pada jenis baja yang tidak mudah dikeraskan atau baja yang mengandung karbon (C) kurang dari 0,3% dengan demikian agar baja tersebut dapat dikeraskan permukaannya. Perubahan komposisi baja terjadi dengan jalan melarutkan karbon pada permukaan baja, cara seperti itu dapat meningkatkan komposisi karbon pada baja berkisar antara 0,3 sampai 0,9% C (Suratman, 1994 : 131). Unsur karbon dalam proses *carburizing* bisa berasal dari karbon arang kayu, arang tempurung kelapa, batu bara, dll. Pada umumnya proses *carburizing* diikuti dengan perlakuan pendinginan cepat (*quenching*) untuk meningkatkan kekerasannya sehingga permukaan logam memiliki kekerasan dan ketahanan aus yang lebih baik.

*Carburizing* dapat dilakukan dalam tiga cara, yaitu :

1. *Pack Carburizing* ( Karburising Padat)
2. *Liquid Carburizing* ( Karburising Cair)
3. *Gas Carburizing* ( Karburising Gas)

### 2.3 *Pack Carburizing*

*Pack Carburizing* merupakan salah satu perlakuan dari *case 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 (Budinski, 1988 : 87).

Proses ini merupakan metode 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:

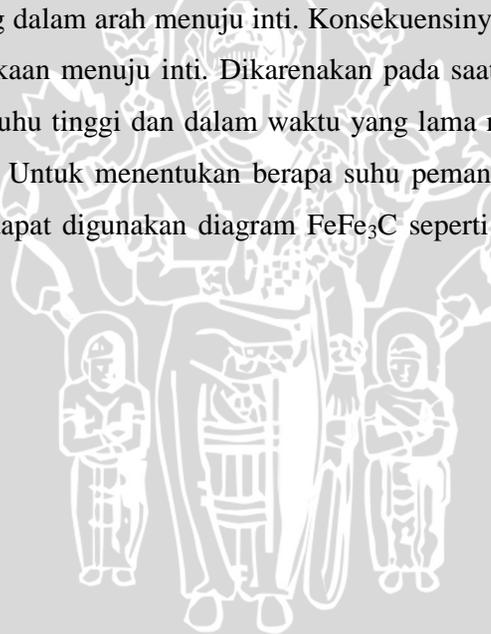
- Permukaan dari benda kerja kotor.
- Umumnya hanya digunakan pada produk yang kecil.
- Waktu yang dibutuhkan lebih lama.

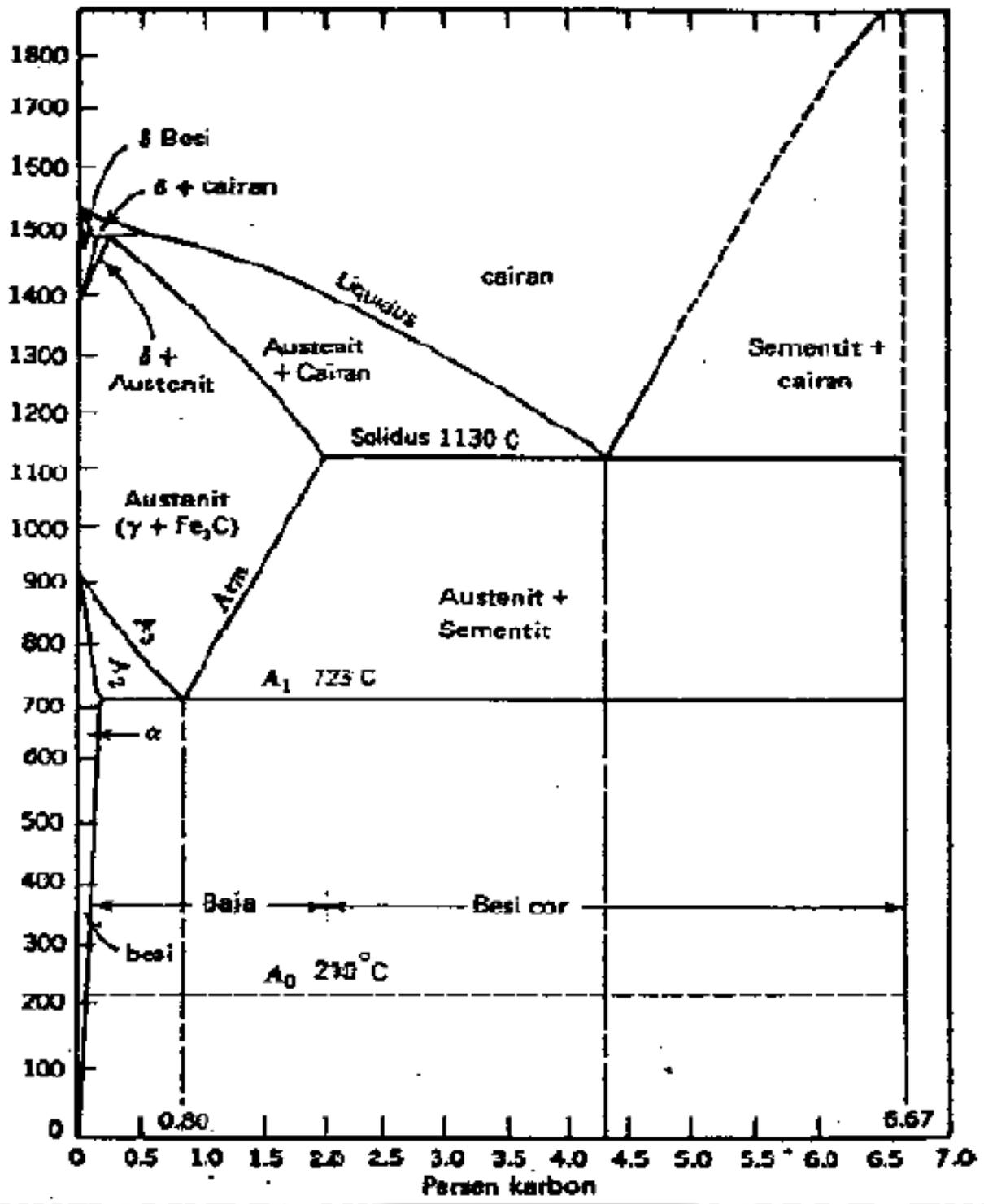
Pada proses ini caranya adalah benda kerja dimasukkan ke dalam suatu kotak atau peti yang terbuat dari plat baja dan dikelilingi dengan bahan karbonisasi.

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 serta arang kulit.

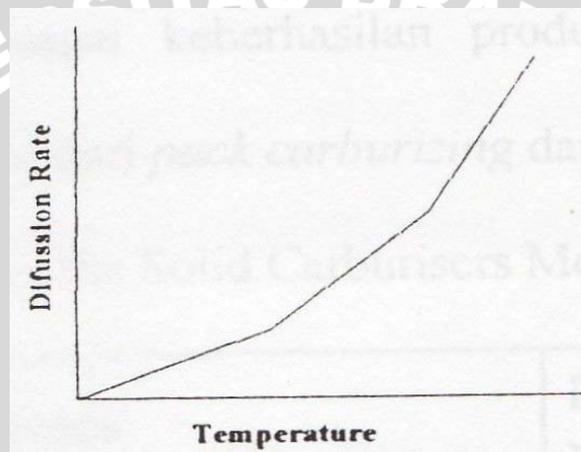
Temperatur pemanasan pada *pack carburizing* adalah temperatur *austenite*, yaitu temperatur dimana baja dapat mencapai fasa *austenite*. Hal ini dikarenakan untuk mendapatkan *martensite* pada proses ini harus dicapai fasa *austenite*, karena *martensite* terbentuk dari pendinginan cepat dari fasa *austenite*. Temperatur *austenite* dapat ditentukan dari diagram fasa/diagram Fe-Fe<sub>3</sub>C berdasarkan kandungan karbon dalam baja tersebut. Temperatur *austenite* paduan besi-karbon yang mempunyai bentuk kisi kristal kubik pemusatan sisi ( FCC ). Bentuk kisi ini mempunyai jarak atom yang lebih besar, sehingga interstisnya 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. Untuk menentukan berapa suhu pemanasan yang digunakan pada penelitian kali ini dapat digunakan diagram FeFe<sub>3</sub>C seperti gambar 2.1 dibawah ini.





Gambar 2.1. Diagram Fase Fe-Fe<sub>3</sub>C  
Sumber: Surdia. (1977 : 70)

Dari diagram Fase Fe-Fe<sub>3</sub>C dapat dilihat bahwa pada baja karbon menengah (0,35% - 0,5%C) fasa *austenite* 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. Penyebaran angka difusi rata-rata meningkat dengan temperatur yang naik seperti yang ditunjukkan pada gambar 2.2 di bawah ini.

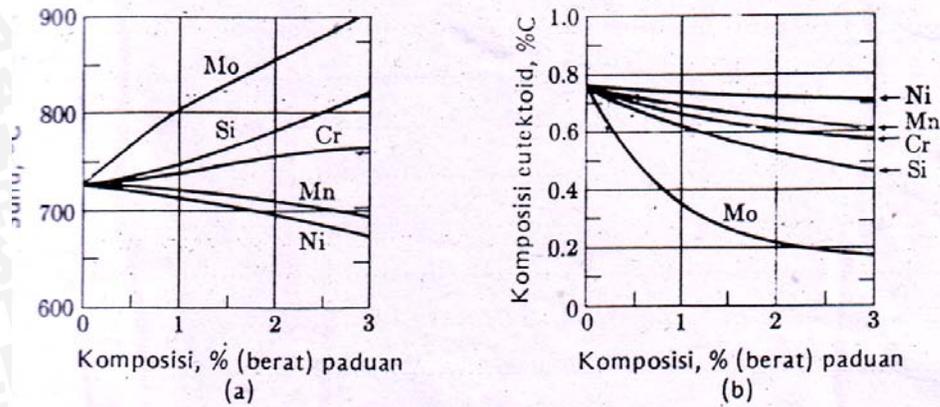


Gambar 2.2. Diagram kecepatan difusi dan temperatur  
Sumber : Zakharof, (1992 : 43).

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 *cementite* yang kasar terbentuk didalamnya.

### 2.3.1 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 yang ditunjukkan pada gambar 2.3 dibawah ini:



Gambar 2.3. Pengaruh komposisi paduan terhadap suhu dan terhadap komposisi eutektoid

Sumber : Djaprie (1983 : 388)

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

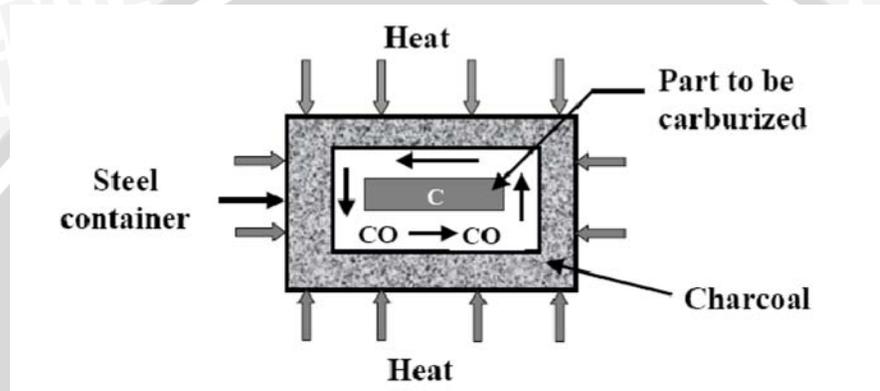
Pergeseran diagram fase dapat dihitung dari pergeseran titik eutektoid (perpotongan  $AC_3$  dan  $AC_m$ ) dengan rumus dibawah ini:

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

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

### 2.3.2 Reaksi Kimia pada *Pack Carburizing*

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. Ilustrasi diatas dapat dilihat pada gambar 2.4 di bawah ini.

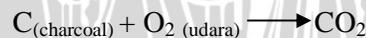


Gambar 2.4. : Proses *Pack Carburizing*  
Sumber : [www.mahidol.com/pack\\_carburizing](http://www.mahidol.com/pack_carburizing)

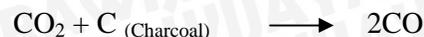
Selama pemanasan di dalam kotak *carburizing* terjadi dua macam gas yaitu:

- Gas karbondioksida (CO<sub>2</sub>)
- Gas karbon monoksida (CO)

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



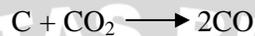
Dari gas CO<sub>2</sub> yang dihasilkan akan menguap dan membakar lapisan *birch charcoal* yang ada dalam kotak. Selama pemanasan, *carburizer* dalam kotak mengalami reaksi yang menghasilkan gas karbon monoksida (CO) dan karbon dioksida (CO<sub>2</sub>). Gas-gas ini terutama diperoleh sebagai hasil oksidasi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



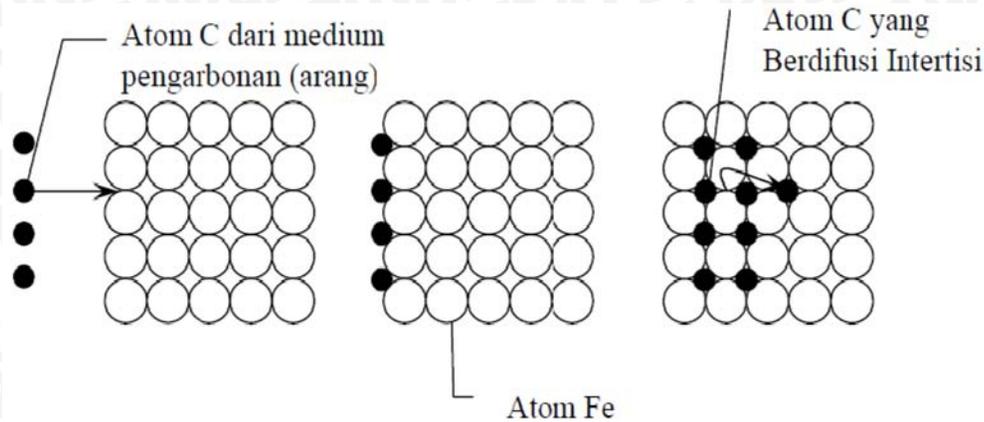
Akibat semakin tingginya temperatur pemanasan maka CO akan lebih banyak terbentuk dari pada CO<sub>2</sub>, sehingga akan terjadi reaksi kimia sebagai berikut (Palallo, 1995):



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



Gas CO<sub>2</sub> yang terbentuk dari reaksi diatas kemudian bereaksi dengan BaO dan membentuk BaCO<sub>3</sub>, dengan demikian BaCO<sub>3</sub> senantiasa ada selama proses sehingga reaksi-reaksi dapat berjalan terus. 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). Mekanisme karbonisasi pada proses *pack carburizing* dikenal dengan difusi *interstisi*, dimana atom karbon menempati ruang antara atom – atom besi dan dengan menaikkan temperatur maka meningkatkan energi aktivasi yang memungkinkan berpindahnya atom karbon ke posisi *interstisi* berikutnya. Tempat yang ditinggalkan diisi oleh atom karbon yang lainnya. Mekanisme difusi *interstisi* ditunjukkan seperti gambar 2.5 di bawah ini.



Gambar 2.5. Mekanisme difusi pada *pack carburizing*  
 Sumber : [www.wikipedia.com/carburizing](http://www.wikipedia.com/carburizing)

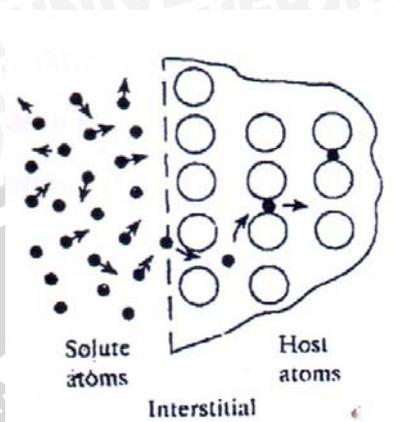
### 2.3.3 Difusi Karbon

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.

Dalam *pack carburizing* ini difusi terjadi pada benda padat, yang dapat terjadi karena adanya perbedaan konsentrasi atom yang aktif yaitu atom karbon dalam proses ini.

Atom karbon sangat kecil ( $r = 0,07 \text{ nm}$ ) dan menduduki letak intertisi 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. 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 menemui 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 seperti yang terlihat pada gambar 2.6 di bawah ini.



Gambar 2.6. Mekanisme terjadinya difusi  
 Sumber : Budinski, (1983 : 279).

Difusi yang terjadi akan mudah atau sulit tergantung pada seberapa besar material dan kuran dari atom-atom yang kita harapkan akan berdifusi ke dalamnya. Pada karbon memiliki ukuran atom yang sangat kecil sehingga dapat mudah berdifusi ke dalam besi.

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

$$J = -D \frac{dC}{dx}$$

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.

, dan koefisien difusi dapat dinyatakan dengan persamaan :

$$D = D_0 \cdot e^{-\frac{Q}{RT}}$$

Dengan :

Do: Faktor frekwensi ( cm<sup>2</sup>/detik )

Q: Energi pengaktif ( cal/mol )

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

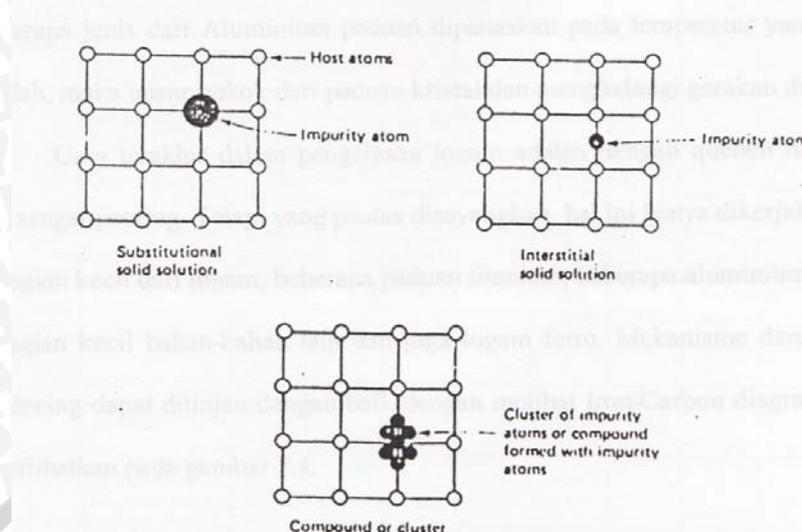
T: Temperatur gas (°K)

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

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

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

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 2.7 di bawah ini.



Gambar 2.7. : Macam-macam *solid solution* dalam kristal padat  
 Sumber : Budinski, (1983 : 82).

### 2.3.4 Carburizer

Bahan *carburizing* aktif (*carburizer*) biasanya adalah arang atau campuran antara arang kayu, norit, dan arang kulit. Arang kayu sendiri setelah dipotong-potong sesuai ukuran, dikeringkan dan disaring untuk menghilangkan debunya. Arang kayu yang telah disaring dicampur sempurna dengan energi pengaktif (Sacharosa, Barium Karbonat, atau Natrium Karbonat) kemudian disimpan dalam tempat penyimpanan arang yang kering. Pada penelitian kali ini menggunakan arang bambu jenis ampel sebagai *carburizer* nya yang ditunjukkan pada gambar 2.8 dibawah ini :



Gambar 2.8. : Contoh *carburizer* yang digunakan pada *pack carburizing*, (a) Tanaman Bambu Ampel , (b) Arang Bambu  
 Sumber : [www.greenflip.in/blog/bamboo-innovations-charcoal-activated-carbon/](http://www.greenflip.in/blog/bamboo-innovations-charcoal-activated-carbon/)

Penurunan ketersediaan kayu dan kebutuhan yang lebih besar untuk penggunaan berkelanjutan memerlukan penggunaan sumber-sumber energi 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. 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.

Senyawa *carburizing* yang lama biasanya digunakan lagi setelah diperbaharui atau dilengkapi dengan menambah kira-kira satu bagian senyawa baru dan dua senyawa lama (bekas). Bahan tersebut biasanya berupa bubuk atau butiran-butiran. Komposisi dari *pack carburizing* sangat banyak karena itu diperlukan kejelian agar tercapai keberhasilan proses.

Kelembapan atau kandungan air *carburizer* tidak boleh lebih dari 5-7%. Komposisi dari *carburizer* sendiri bervariasi, tiap-tiap industri menerapkan standar yang berbeda-beda. Macam-macam komposisi *carburizer* pada *pack carburizing* dapat dilihat di tabel 2.2.

Tabel 2.2. Macam-macam komposisi *carburizer* pada *pack carburizing*  
( 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	-	-	-	-	-

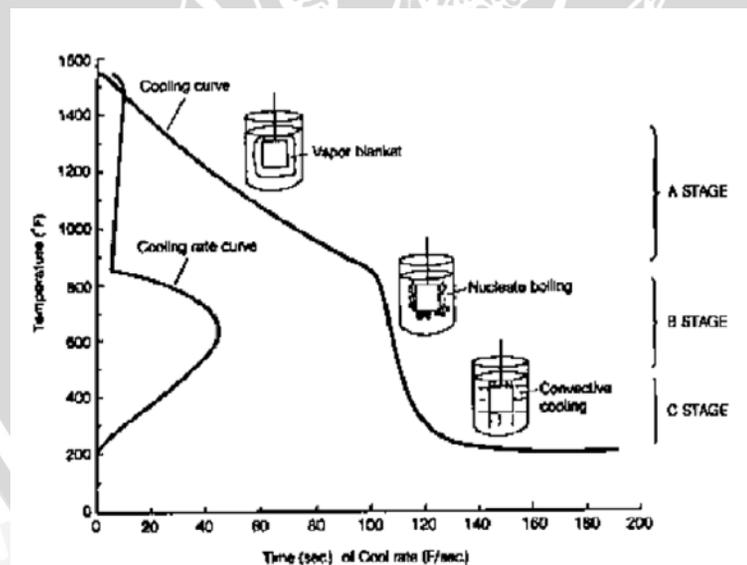
Sumber : Kamenichny, (1985)

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*, dikarenakan luas bidang kontak serbuk dengan spesimen sangat kecil dan menyebabkan difusivitas karbon menurun. Oleh sebab itu, ukuran butir serbuk yang efektif pada proses *pack carburizing* perlu ditentukan agar proses menjadi optimal.

#### 2.4. Quenching

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 cementit, maka diperlukan pendinginan cepat atau *quenching*. *Quenching* adalah sebuah upaya pendinginan secara cepat setelah baja mengalami sebuah perlakuan pemanasan. Mekanisme *quenching* dapat dilihat pada gambar 2.9 di bawah ini.

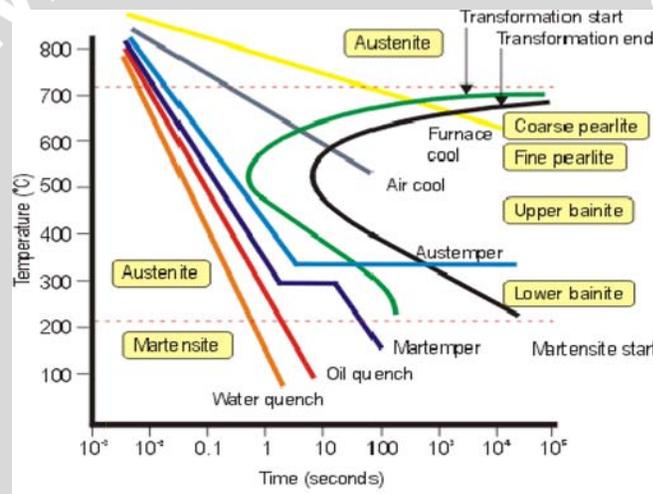


Gambar 2.9. Mekanisme Pendinginan

Sumber : Totten,(1993 : 70)

Pada Gambar 2.8. 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. Pembentukan *martensite* terjadi jika laju transformasi tidak menyetuh *colling critical rate* seperti yang tergambar pada gambar 2.10 dibawah ini.



Gambar 2.10. Diagram TTT  
Sumber : [www.azom.com/](http://www.azom.com/) diagram TTT

Pada perlakuan *quenching* terjadi percepatan pendinginan dari temperatur akhir perlakuan dan mengalami perubahan dari *austenite* menjadi *ferrite* dan *martensite* untuk menghasilkan kekuatan dan kekerasan yang tinggi. Perkerasan 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* yang biasa digunakan meliputi air dan oli. Air sebagai media *quenching* mempunyai beberapa keuntungan. Air banyak tersedia/mudah didapat, dan tidak berbahaya. Air mempunyai efek pendinginan yang

lebih besar dibandingkan dengan minyak (oli) karena air dapat dengan mudah menyerap panas yang dilewatinya dan panas yang terserap cepat menjadi dingin, sebab kemampuan panas yang dimiliki oleh air besarnya 10 kali dari minyak (Schanmentz, 1985)

Penggunaan oli yang mempunyai unsur hidrokarbon bila digunakan sebagai media pendingin dalam proses perlakuan panas akan menyebabkan timbulnya lapisan karbon pada bagian permukaan spesimen yang menjadikan unsur keras pada spesimen.

## 2.5 Ketebalan Difusi Karbon *Pack Carburizing*

Untuk mengetahui ketebalan lapisan hasil difusi karbon kedalam baja ini, cara yang digunakan adalah :

1. Pengujian kekerasan spesimen

Dari pengukuran kekerasan spesimen dari lapisan terluar hingga mendekati inti/pusat maka akan dapat diketahui seberapa jauh lapisan yang telah mengalami pengerasan.

2. Pengujian Komposisi Kimia

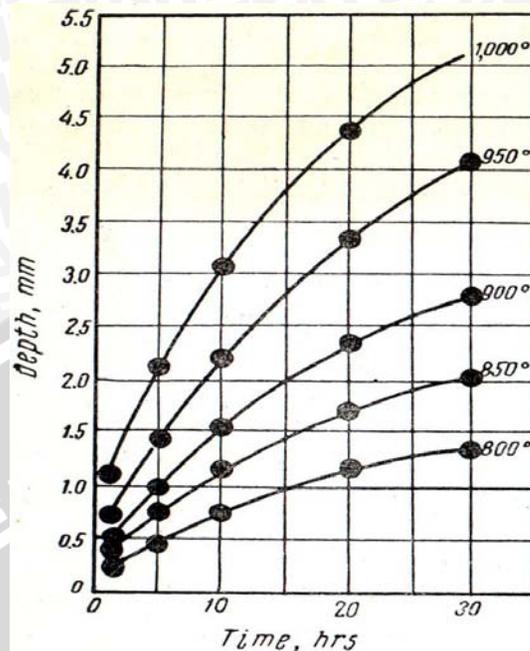
Dengan cara membandingkan komposisi kimia awal dan akhir spesimen uji, maka akan dapat dihitung ketebalan difusi karbonnya

3. Pengujian mikroskopis

Specimen yang telah mengalami pelakuan dipotong melintang. Permukaan yang telah dipotong tersebut digosok sampai halus dan difoto menggunakan mikroskop logam. Dari pengujian makroskopis ini akan diketahui seberapa dalam pemasukan karbon kedalam permukaan material.

*Base material* yang tidak di karburising 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.

Kedalaman difusi carbon pada *pack carburizing* sendiri dipengaruhi oleh temperatur *carburizing*, yang ditunjukkan dalam gambar 2.11 di bawah ini.



Gambar 2.11. Pengaruh temperatur *carburizing* terhadap kedalaman difusi karbon  
Sumber :Lakhtin, (1980 : 264).

## 2.6 Baja AISI 3115

Baja AISI 3115 merupakan jenis baja paduan rendah, menurut standarisasi AISI (*American Iron and Steel Institute*) Baja AISI 3115 mengandung unsur-unsur paduan 0,14-0,19% C ; 0,15-0,25% Si ; 0,4-0,6% Mn ; 0,55-0,75% Cr ; 1-1,2% Ni (Smallman, 2000). Baja paduan ini digunakan pada pemakaian yang membutuhkan kekerasan yang tinggi pada permukaan seperti roda gigi, ring dll. Oleh karena itu peningkatan kekerasan pada bagian permukaan baja sangat diperlukan.

## 2.7 Hipotesa

Ukuran *carburizer* dan media *quenching* mempunyai pengaruh terhadap ketebalan difusi karbon pada material yang di proses *pack carburizing*. Semakin kecil ukuran *carburizer* akan meningkatkan ketebalan difusi karbon hasil *pack carburizing* dengan menggunakan media *quenching* air.

## BAB III

### METODOLOGI PENELITIAN

#### 3.1 Metode Penelitian

Penelitian yang dilakukan menggunakan metode eksperimental. Metode ini dilakukan dengan pengamatan secara langsung untuk mengetahui pengaruh ukuran *carburizer* dan media *quenching* proses *pack carburizing* terhadap ketebalan difusi karbon baja AISI 3115.

#### 3.2 Variabel Penelitian

##### 3.2.1 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) Ukuran *carburizer* (serbuk arang bambu), yaitu *mesh* 560-500  $\mu\text{m}$ , 280-250  $\mu\text{m}$ , 125-100  $\mu\text{m}$  dan 90-60  $\mu\text{m}$
- 2) Media *quenching*, yaitu air dan oli SAE 20.

##### 3.2.2 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 kedalaman difusi karbon.

#### 3.3. Tempat dan Waktu Penelitian

1. Laboratorium Pengujian Bahan, Jurusan Teknik Mesin Universitas Brawijaya Malang, untuk proses *pack carburizing* dan pengujian material.
2. Laboratorium Uji Material, Jurusan Teknik Mesin Institut Teknologi Nasional Malang, untuk pengujian material.
3. Laboratorium Pengecoran Logam, Jurusan Teknik Mesin Universitas Brawijaya Malang, untuk menentukan ukuran serbuk *carburizer*.
4. PT. BARATA INDONESIA, untuk pengujian komposisi kimia spesimen sesudah proses *pack carburizing*.
5. Desa Kedok Turen Kabupaten Malang untuk mendapatkan arang dari bambu.

#### 3.4. Rancangan Penelitian

Model rancangan penelitian dengan melibatkan dua variabel yaitu:

1. Ukuran *carburizer* (serbuk arang bambu), yaitu *mesh* 560-500  $\mu\text{m}$ , 280-250  $\mu\text{m}$ , 125-100  $\mu\text{m}$  dan 90-60  $\mu\text{m}$
2. Media *quenching*, yaitu Air dan Oli SAE 20 dengan masing-masing volume 1,5 liter.

Tabel 3.1 Data Rancangan Penelitian *Raw Material* yang Proses *Hardening* dengan *Quenching* Air dan Oli SAE 20

Jarak ( $\mu\text{m}$ )	<i>Hardening Quenching</i> Oli / Air	
	Kekerasan (HV)	
	Data	Rata-Rata
50		
250		
450		
650		
850		
1050		
1250		
1450		
1650		
1850		



Tabel 3.2 Data Rancangan Penelitian Material Proses *Pack carburizing*

Jarak (µm)	Mesh 560-500 µm		Mesh 280-250 µm		Mesh 125-100 µm		Mesh 90-60 µm	
	Kekerasan (HV)		Kekerasan (HV)		Kekerasan (HV)		Kekerasan (HV)	
	Data	Rata-Rata	Data	Rata-Rata	Data	Rata-Rata	Data	Rata-Rata
50								
250								
450								
650								
850								
1050								
1250								
1450								
1650								
1850								

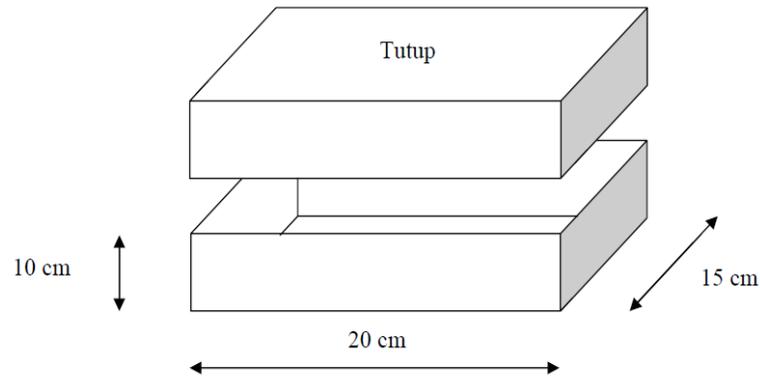


### 3.5. Alat dan Bahan Penelitian

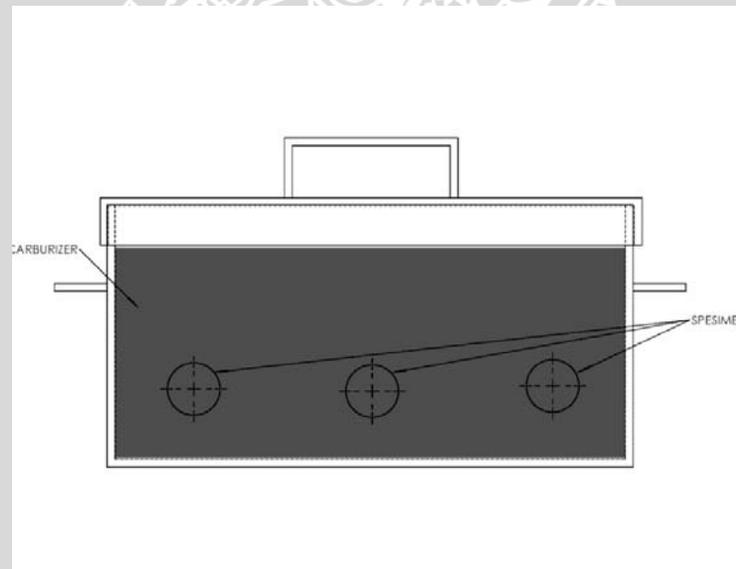
Alat yang digunakan dalam penelitian :

#### 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 3.1. Kotak *Carburizing*



Gambar 3.2. Peletakan spesimen dalam kotak *carburizing*

## 2. Dapur Listrik

Digunakan dalam proses pemanasan dan *holding*.



Gambar 3.3. Dapur Listrik

Spesifikasi :

- Merk : OPENBAU HOFMAN
- Tipe : E/90
- Suhu Maks. : 1.100° C
- Buatan : Austria
- Voltage/ Daya : 220 volt / 3,3 kW

## 3. Blender atau pengaduk

Digunakan untuk membuat serbuk arang dari arang bambu.

## 4. Mesin penggancang rotap

Digunakan untuk memisahkan serbuk arang kayu berdasarkan ukuran *mesh*.



Gambar 3.4. Mesin Penggancang Rotap

## Spesifikasi

- Jenis : Rotap
- Tipe : VS 1
- Merk : Retsch
- Volatse : 220 V
- Daya : 430 Watt
- Buatan : Jerman Barat
- 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.

## 8. Ampelas

Digunakan untuk menghaluskan permukaan spesimen.

## 9. Alat uji kekerasan



Gambar 3.5. *Microvickers Hardness Tester*

## Spesifikasi :

- Code No. : 810 – 100E
- Serial No. : 555186
- Model : Mitutoyo MVK – E3 *Akashi Corporation Japan*
- Timer : 10 detik
- Beban : 100 gf

- Identor : Diamond 136°

#### 10. Mikroskop Logam



Gambar 3.6. Mikroskop Logam

##### Spesifikasi :

- Merk : NIXON
- Buatan : JEPANG
- Pembesaran : 450 X

#### 11. Mesin Uji Komposisi Kimia

Digunakan untuk menguji komposisi kadar karbon spesimen



Gambar 3.7 Mesin Spectrometer

##### Spesifikasi :

- Type : GVM - 514S
- Merk : SHIMADZU
- Kapasitas penangkapan unsur : 21 unsur

12. Centrifugal Paper Machine



Gambar 3.8. Centrifugal Paper Machine

Spesifikasi :

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

13. Media Quenching

- Air
- Oli SAE 20

Bahan yang digunakan :

1) Baja AISI 3115

Digunakan baja AISI 3115 dengan komposisi kimia pada tabel 3.2.

Tabel 3.3. Komposisi kimia baja AISI 3115

Elemen	C	Mn	Cr	Ni
Prosentase (%)	0.17	0.53	1,51	1,4

Sumber : PT. Tira Austenite Surabaya



Gambar 3.9. Baja AISI 3115

- 2) Arang bambu pada komposisi 90% dengan ukuran *mesh* 560-500  $\mu\text{m}$ , 280-250  $\mu\text{m}$ , 125-100  $\mu\text{m}$  dan 90-60  $\mu\text{m}$



Gambar 3.10. Arang dengan ukuran *Mesh* 560-500  $\mu\text{m}$



Gambar 3.11. Arang dengan ukuran *Mesh* 280-250  $\mu\text{m}$



Gambar 3.12. Arang dengan ukuran *Mesh* 125-100  $\mu\text{m}$



Gambar 3.13. Arang dengan ukuran *Mesh* 90-60  $\mu\text{m}$

- 3) Barium karbonat dengan komposisi 10%.



Gambar 3.14. Barium karbonat

#### 4) Batu hijau dan Autosol

Digunakan untuk mengkilapkan permukaan spesimen.

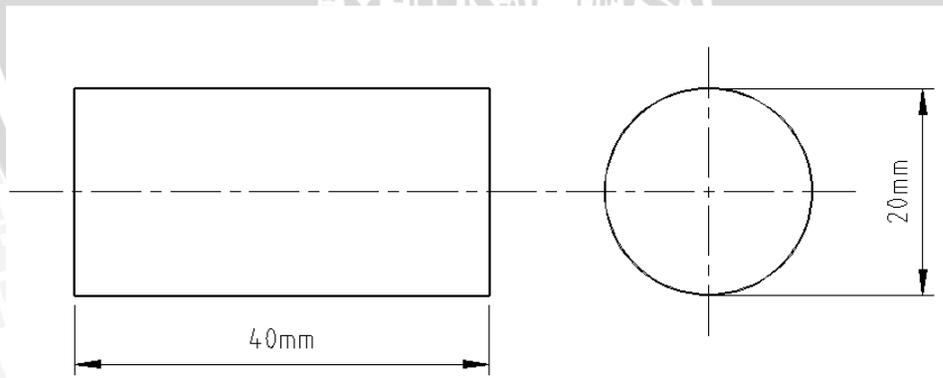
### 3.6. Prosedur Penelitian

#### 3.6.1 Pembuatan Spesimen Uji

Pada penelitian ini dilakukan pengujian kekerasan, uji komposisi kimia dan mikrostruktur untuk memperoleh ketebalan difusi karbon. Untuk pengujian tersebut, digunakan spesimen berbentuk silinder dengan diameter 20 mm dan panjang 40 mm.

Spesimen yang digunakan ada 30 buah, dengan ketentuan:

- 3 buah spesimen *raw material* yang telah di *hardening* dengan *quenching* air
- 3 buah spesimen *raw material* yang telah di *hardening* dengan *quenching* oli SAE 20
- 12 buah spesimen, 1 variabel 3 spesimen dan perlakuan *pack carburizing* pada suhu  $950^{\circ}\text{C}$ , *holding time* 5 jam, variasi ukuran serbuk arang ukuran *mesh* 560-500  $\mu\text{m}$ , 280-250  $\mu\text{m}$ , 125-100  $\mu\text{m}$  dan 90-60  $\mu\text{m}$  dengan variasi media *quenching* air.
- 12 buah spesimen, 1 variabel 3 spesimen dan perlakuan *pack carburizing* pada suhu  $950^{\circ}\text{C}$ , *holding time* 5 jam, variasi ukuran serbuk arang *mesh* 560-500  $\mu\text{m}$ , 280-250  $\mu\text{m}$ , 125-100  $\mu\text{m}$  dan 90-60  $\mu\text{m}$  dengan variasi media *quenching* oli SAE 20.



Gambar 3.15. Ukuran dan dimensi spesimen uji

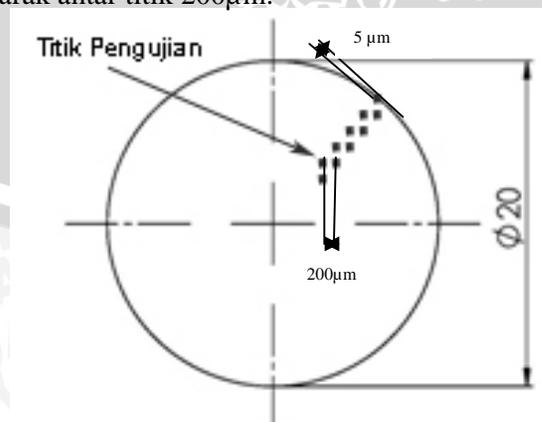
### 3.6.2. Pelaksanaan *Pack Carburizing*

1. Siapkan kotak baja dan bersihkan dari terak-terak yang masih menempel.
2. Siapkan arang bambu dengan ukuran *mesh* sesuai dengan variabel yang sudah ditentukan (*mesh* 560-500  $\mu\text{m}$ , 280-250  $\mu\text{m}$ , 125-100  $\mu\text{m}$  dan 90-60  $\mu\text{m}$ ).
3. Siapkan barium karbonat, serta alat penimbang.
4. Bersihkan benda uji dari terak / kotoran yang masih menempel.
5. Timbang arang bambu dan  $\text{BaCO}_3$  sesuai dengan komposisi yang ditentukan.
6. Campurkan arang bambu dan  $\text{BaCO}_3$  yang telah ditimbang dan masukkan kedalam kotak baja.
7. Masukkan benda uji kedalam kotak baja.
8. Setelah semua bahan dimasukkan ke dalam kotak baja, masukkan kotak baja ke dalam dapur dan dilakukan pemanasan pada suhu 950°C serta *holding* selama 5 Jam.
9. Setelah selesai *holding*, dilakukan pendinginan cepat pada media pendinginan/*quenching* menggunakan air dan oli SAE 20.

### 3.6.3. Pelaksanaan Pengujian Ketebalan Difusi Karbon

Untuk mengetahui ketebalan lapisan pada *pack carburizing*, pengujian yang dilakukan antara lain 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 proses *polishing* pada permukaan spesimen sampai menyerupai *mirror*.
3. Dilakukan pengujian kekerasan pada permukaan spesimen dengan menentukan titik indentasi sebanyak 10 titik dari lapisan permukaan tepi hingga mendekati ke pusat inti dan jarak antar titik 200 $\mu\text{m}$ .

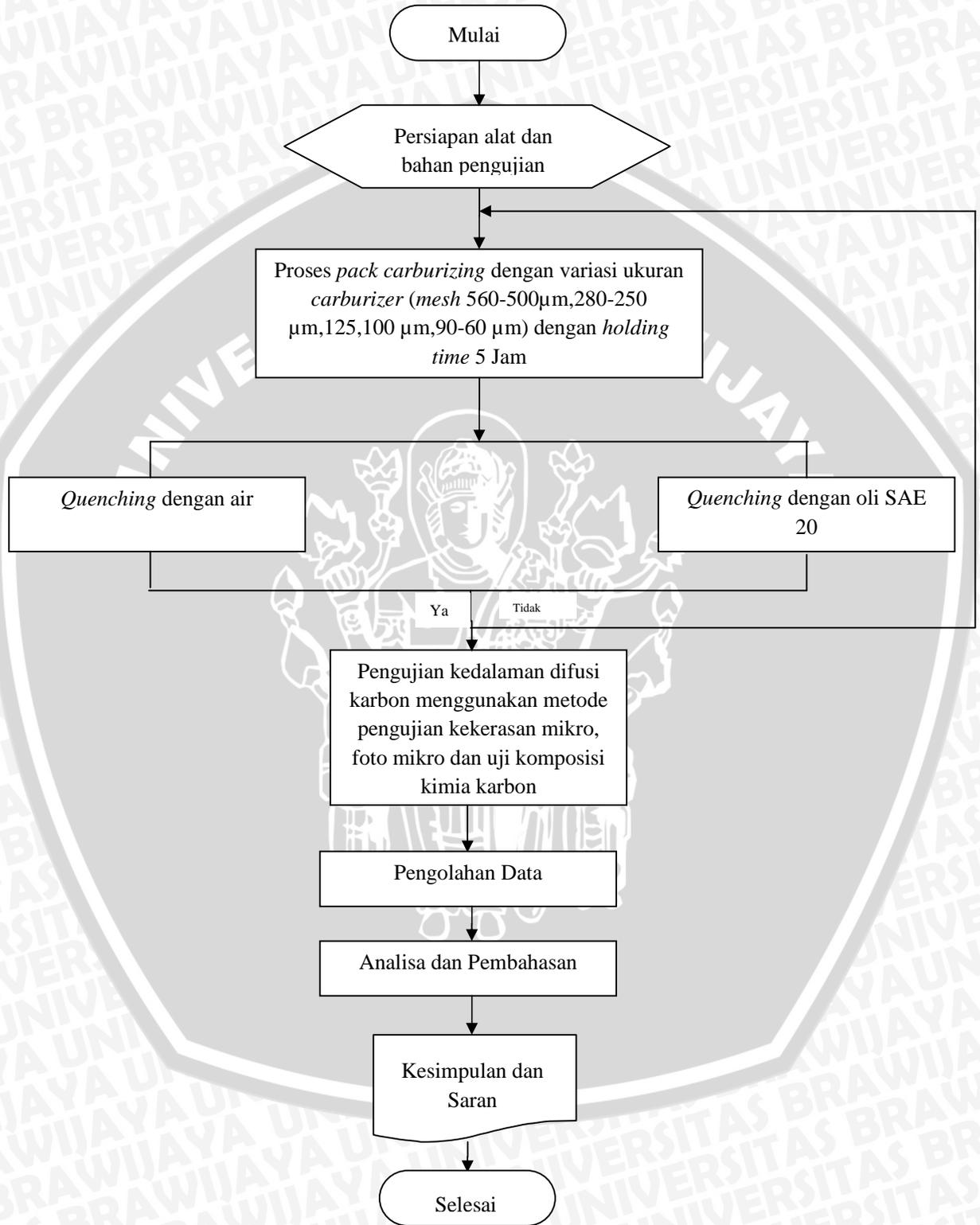


Gambar 3.16. Cara pengukuran kekerasan spesimen dan penentuan titik indentasinya

4. Hasil pengujian ditunjukkan dalam bentuk grafik dan dibandingkan dengan hasil pengujian pada spesimen yang di *hardening* dengan *quenching* air dan oli SAE 20.
5. Dari perbandingan tersebut akan terlihat pada jarak pengukuran berapa spesimen tidak mengalami peningkatan kekerasan, dan jarak tersebut diambil sebagai nilai ketebalan difusi karbon.
6. Dilakukan pengujian komposisi kimia kadar karbon pada spesimen sesudah diproses *pack carburizing* untuk mengetahui ada tidaknya pengaruh variasi yang diberikan.
7. Dilakukan pengujian foto mikro untuk melihat sejauh mana karbon tersebut terdifusi.



3.7 Diagram Alir Penelitian



Gambar 3.16 Diagram Alir Penelitian