

# BAB I

## PENDAHULUAN

### 1.1. Latar Belakang

Baja Karbon Rendah merupakan baja karbon dengan kekuatan tinggi yang sangat dibutuhkan di industri manufaktur, serta memiliki sifat kuat dan relatif ringan, sehingga aplikatif untuk bidang transportasi dan disain struktur[1]. Salah satu parameter penting yang mempengaruhi sifat mekanis baja karbon paduan rendah adalah besar butir *Prior Austenit* (besar butir austenit saat *reheating* sebelum mengalami deformasi) dan besar butir austenit setelah deformasi.

Saat ini, dalam aplikasi di industri, diameter *Prior Austenit* sebagai dasar perhitungan hanya didapatkan melalui *trial-error* dengan memanaskan baja hingga temperatur *reheating*, dengan kondisi yang ada pada industri, sehingga ada beberapa faktor yang diabaikan seperti kecepatan pemanasan (*heating rate*), lama pemanasan, dan waktu tahan. Akibatnya perhitungan besar butir *prior austenit* tidak konsisten, yang mengakibatkan perhitungan besar butir austenit setelah proses canai panas tidak tepat dan sifat mekanis tidak sesuai dengan yang diharapkan. Besar butir pada mikrostruktur akhir ditentukan oleh butir *Prior Austenit* pada proses pemanasan awal (*reheating*), dimana untuk mendapatkan butir ferit yang halus, dibutuhkan butir austenit yang berukuran kecil saat proses pemanasan awal.

Penelitian yang diajukan melalui tulisan ini adalah untuk mendapatkan hasil dari Pengaruh Pemanasan dan Media Pendingin Air Es Terhadap Sifat Mekanis dan Struktur Mikro Baja Karbon Rendah.

## 1.2. Tujuan Penelitian

Adapun tujuan dari penelitian ini adalah:

1. Mendapatkan pendekatan teori metalurgi mekanik dan fisik yang dapat digambarkan dalam bentuk model empiris dari hubungan antara variabel pemanasan (temperatur, laju pemanasan dan waktu tahan) terhadap besar butir austenit ( $\gamma$ ) pada proses *reheating* isothermal pada baja karbon paduan rendah pada proses pemanasan awal (*reheating*).
2. Mengetahui pengaruh temperatur, laju pemanasan dan waktu tahan terhadap besar butir austenit baja karbon paduan rendah dan sifat mekaniknya.

## 1.3. Manfaat Penelitian

Manfaat Penelitian ini adalah:

1. Bagi peneliti menambah wawasan pengetahuan, wawasan pengalaman tentang pengaruh temperatur dan *holding time* terhadap pertumbuhan butir.
2. Bagi akademik, penelitian ini dapat digunakan sebagai referensi tambahan untuk penelitian berikutnya.
3. Bagi industri, memberikan wawasan bagi perancangan elemen mesin dan pengembangan ilmu bahan dan konstruksi.

## 1.4. Batasan Masalah

Mengingat metode yang akan dilakukan adalah proses *Heat Treatment* maka penulis mebatasi masalah yaitu:

1. Proses yang dilakukan adalah proses pemanasan dan pendinginan (*Heat Treatment*).
2. *Temperature* pemanasan 950°C, 1000°C, 1050°C.
3. Laju pemanasan 5°C/menit, 10°C/menit.
4. *Holding time* 30 menit.
5. Media pendinginan yang digunakan adalah air es.
6. Pengujian sifat mekanik yang dilakukan adalah pengujian kekerasan dengan menggunakan metode *Vickers* sebanyak 6 titik.
7. Pengamatan struktur mikro dengan menggunakan *Mikroskop Optic* standar ASTM E112 dengan pembesaran 200x.

## **1.5. Sistematika Penulisan**

Sistematika penulisan ini disajikan dalam tulisan yang terdiri dari 5 bab.

### **BAB I : PENDAHULUAN**

Bab ini memberikan gambaran menyeluruh mengenai tugas akhir yang meliputi, pembahasan tentang latar belakang, tujuan, manfaat, batasan masalah dan sistematika penulisan.

### **BAB II : TINJAUAN PUSTAKA**

Landasan teori yang berisi tentang mekanisme penguatan pada logam, pemanasan awal (reheating), baja, diagram fasa besi carbon(Fe-C), struktur logam, *water quenching*, media pendingin, pengujian kekerasan, dan pengamatan struktur mikro.

### **BAB III : METODE PENELITIAN**

Bab ini berisi tentang spesimen yang digunakan, variable penelitian, langkah langkah penelitian serta metode analisis data.

### **BAB IV : PEMBAHASAN**

Berisikan penyajian hasil data dan pembahasan yang diperoleh dari uji keras, dan foto mikro.

### **BAB V : KESIMPULAN DAN SARAN**

Berisikan jawaban dari tujuan penelitian.

## **DAFTAR PUSTAKA**

## **LAMPIRAN**

## BAB II

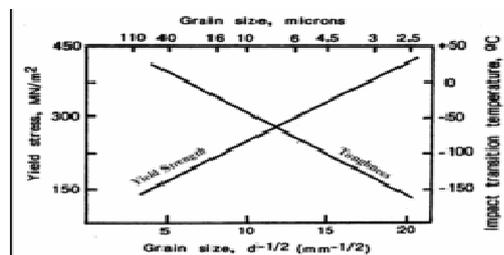
### TINJAUAN PUSTAKA

#### 2.1. Mekanisme Penguatan Pada Logam

Bidang rekayasa metalurgi dan material, sering dibutuhkan dalam mendesain suatu logam yang memiliki kekuatan tinggi, keuletan dan ketangguhan. Biasanya, keuletan dikorbankan ketika kita menginginkan logam dengan kekuatan yang lebih.

Penting untuk dimengerti bahwa mekanisme penguatan adalah hubungan antara pergerakan dislokasi dan sifat mekanik dari logam. Karena deformasi plastis makroskopis berhubungan dengan pergerakan dislokasi dalam jumlah besar, kemampuan logam untuk diubah secara plastis tergantung pada kemampuan dislokasi untuk dapat bergerak. Dengan mengurangi pergerakan dislokasi, kekuatan mekanik dapat ditingkatkan.

Penghalusan butir adalah salah satu cara yang efektif bagi penguatan yang dihasilkan dengan menghalangi pergerakan dislokasi di sekitar batas butir[2]. Dengan mengecilnya ukuran dari butir akan meningkatkan batas butir per unit volume dan mengurangi garis edar bebas dari slip yang berkelanjutan. Pergerakan selanjutnya membutuhkan tegangan yang tinggi untuk membuka atau menghasilkan suatu dislokasi baru pada butir tetangganya. Penghalusan butir adalah mekanisme penguatan yang paling diinginkan karena merupakan satu-satunya mekanisme penguatan yang dapat meningkatkan kekuatan dan ketangguhan Charpy.



Gambar 2.1. Efek dari besar butir ferit terhadap kekuatan luluh dan temperatur impak[3].

Mikrostruktur dari material logam dapat diubah dengan mengatur ukuran, bentuk dan orientasi dari butir-butirnya, dimana bentuk dan ukuran butir

merupakan hasil dari pertumbuhan butir yang umumnya bergantung pada orientasi kristalin dari butir ketika terjadi pertumbuhan.

Ukuran dari butir atau diameter butir rata-rata, dalam logam polikristal mempengaruhi sifat mekanisnya. Logam dengan butir yang halus lebih keras dan kuat dibandingkan logam dengan butir kasar, karena butir halus memiliki area batas butir total yang lebih luas untuk menghalangi pergerakan dislokasi.

Ukuran butir dapat diatur oleh laju solidifikasi dari fasa cair, dan juga oleh deformasi plastis yang diikuti dengan perlakuan panas yang sesuai. Salah satu metode pembentukan dalam proses deformasi plastis ini adalah melalui proses termomekanik.

## **2.2. Pemanasan Awal (*Reheating*)**

Pada proses pemanasan awal (*reheating*) pelat baja dipanaskan hingga temperatur austenit dengan tujuan antara lain untuk melarutkan berbagai paduan yang terdapat dalam baja, dan untuk mencapai besar austenit yang optimum, sehingga dapat mencapai kekuatan baja yang optimum setelah pengerjaan panas. Proses pemanasan awal ini sangat penting dalam menghasilkan sifat mekanis benda jadi karena dengan pemanasan awal dapat diprediksi mikrostruktur akhir yang terbentuk.

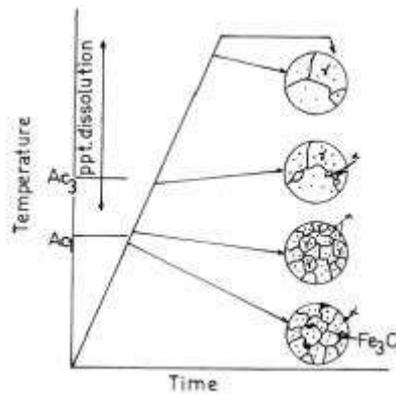
Proses *reheating* adalah proses pemanasan awal yang dilakukan sebelum baja diberikan proses deformasi panas. Menurut Tianjun Liu[4], selama proses reheating pada proses TMCP terjadi :

- a. Transformasi dari fasa Ferit dan Perlit menjadi Austenit
- b. Terjadi kelarutan endapan dalam matriks austenit
- c. Terjadi pertumbuhan butir Austenit

### **2.2.1. Transformasi Fasa Ferit + Perlit Menjadi Austenit**

Selama proses *reheating* untuk baja karbon rendah pada temperatur di bawah  $Ac_1$ , strukturnya adalah ferit dan perlit. Semakin tinggi temperatur melewati  $Ac_1$ , dibawah  $Ac_3$  terjadi transformasi perlit menjadi austenit. Sehingga pada daerah tersebut fasa yang ada adalah austenit dan ferit. Pada temperatur di atas  $Ac_3$ , seluruh struktur mikro baja bertransformasi menjadi austenit. Hal ini

dapat dilihat pada gambar di bawah ini. Untuk menentukan besarnya temperatur  $A_{c1}$  maupun  $A_{c3}$  dapat diketahui dengan melihat diagram kesetimbangan baja karbon dibawah ini.

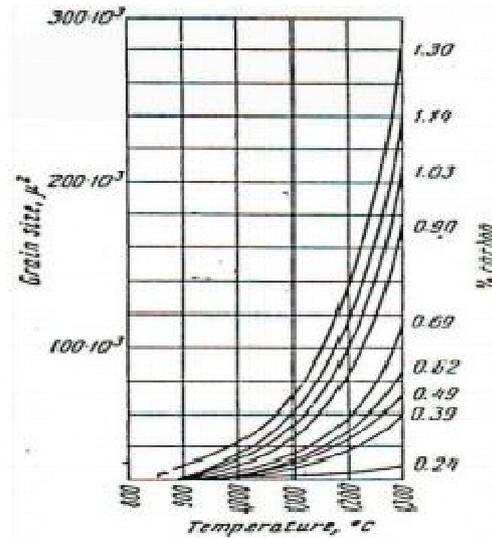


Gambar 2.2. Pengaruh Proses Reheating pada perubahan struktur mikro baja.

### 2.2.2. Pertumbuhan Butir Austenit

Pertumbuhan butir terjadi karena adanya pembesaran butir tertentu dan terdifusinya butir yang lebih kecil. Batas butir memiliki atom-atom dengan energi bebas yang lebih tinggi daripada atom-atom yang terdapat dalam butir. Agar tercapai kondisi yang stabil, maka atom-atom pada batas butir mengurangi energi bebasnya yang tinggi dengan cara mengurangi luas permukaan batas butir, sehingga terjadi migrasi batas butir. Migrasi batas butir pada dasarnya adalah difusi atom-atom pada batas butir. Energi minimum yang dibutuhkan agar atom-atom dapat berdifusi untuk memperoleh keadaan yang lebih stabil dinamakan energi aktivasi untuk pertumbuhan butir ( $Q$ ). Migrasi batas butir akan mengurangi energi bebas batas butir serta meningkatkan ukuran butir.

Butir austenit muncul secara langsung begitu terjadi proses transformasi dari perlit ke austenit. Ukurannya bergantung dari kecepatan pertumbuhan serta jumlah inti (*nuclei*) yang ada pada volume dan waktu tertentu. Semakin banyak fasa karbida yang tersebar pada struktur awal, maka semakin kecil ukuran butir austenitnya, karena karbida (partikel fasa kedua) tersebut menghambat batas butir.



Gambar 2.3. Pengaruh temperatur dan persen karbon pada pertumbuhan Butir Prior Austenit[5].

Pertumbuhan butir austenit dipengaruhi oleh temperatur dan waktu pemanasan, kadar karbon, dan jumlah paduan dalam baja. Peningkatan waktu dan temperatur pemanasan akan meningkatkan difusi karbon pada saat pembentukan inti austenit sehingga butir austenit yang dihasilkan menjadi lebih besar. Dengan meningkatnya temperatur dan kadar karbon, maka ukuran butir semakin besar (Gambar 2.3). Selain pertumbuhan yang normal di atas, kadang-kadang terjadi pertumbuhan butir tidak normal. Pertumbuhan butir abnormal ditandai dengan pertumbuhan dari hanya beberapa butir sehingga memiliki diameter yang amat besar. Butir ini terus membesar “memakan” butir-butir disekitarnya, sampai butir halus digantikan oleh butir besar[6]. Ukuran butir austenit sangat berpengaruh terhadap sifat mekanik dan kekuatan impak baja setelah perlakuan panas.

Pertumbuhan butir selama pemanasan lambat dalam dapur telah diteliti secara ekstensif oleh berbagai peneliti. Dua metode yang secara luas digunakan untuk memodelkan pertumbuhan butir adalah persamaan empiris yang didasarkan pada suatu hukum energi dan model fisik yang didasarkan pada pematangan Zener[7].

Beberapa persamaan empiris untuk pertumbuhan butir dari baja karbon dan mikroalloy dapat dilihat pada tabel 2.1. berikut.

**Tabel 2.1. Persamaan yang memperlihatkan pertumbuhan butir austenite[8]**

Baja	Kondisi Austenit	Persamaan
C – Mn	Statik rekristalisasi	$n=10, k_2=3,87 \cdot 10^{12}, Q_{gg} = 400 \text{kJ/Mol} (T > 1273 \text{ K})$
		$n=10, k_2=5,02 \cdot 10^{53}, Q_{gg} = 914 \text{kJ/Mol} (T < 1273 \text{ K})$
low C – Mn	Statik rekristalisasi	$n = 2, k_2 = 4,27 \cdot 10^{12}, Q_{gg} = 278,4 \text{ kcal/mol}$
0.22C – 0.9Mn	Statik rekristalisasi	$n = 2, k_2 = 1,44 \cdot 10^{12}, Q_{gg} = 266,6 \text{ kcal/mol}$
C – Mn	Statik atau metadinamik rekristalisasi	$n = 7, k_2 = 1,45 \cdot 10^{27}, Q_{gg} = 400 \text{ kJ/mol}$
C – Mn – V		
C – Mn – Ti	Statik atau metadinamik rekristalisasi	$n = 10, k_2 = 2,6 \cdot 10^{28}, Q_{gg} = 437 \text{ kJ/mol}$
C – Mn – Nb	Statik atau metadinamik rekristalisasi	$n = 4,5, k_2 = 4,1 \cdot 10^{23}, Q_{gg} = 435 \text{ kJ/mol}$

### 2.3. Baja

Baja merupakan paduan yang terdiri dari besi, karbon dan unsur yang lainnya. Seperti : *Silicon (Si)*, *Fospor (S)*, *Tembaga (Cu)*. Karbon merupakan suatu unsur terpenting karena dapat meningkatkan kekerasan dan kekuatan baja. Baja merupakan logam yang paling banyak digunakan dalam dunia teknik, dalam bentuk pelat, lembaran, pipa batang, profil dan sebagainya. Baja dapat dibentuk melalui pengecoran pencairan dan penempaan. Secara garis besar baja dapat dikelompokkan sebagai berikut :

#### 1. Baja Karbon (*Carbon Steel*)

##### a) Baja Karbon Rendah (*Low Carbon Steel*)

Baja karbon rendah ini disebut dengan baja lunak atau baja yang bukan keras. Baja karbon rendah memiliki kandungan karbon kurang dari 0,25% C. Baja karbon rendah digunakan untuk kawat, baja profil, mur, baut, ulir sekrup, dan lain-  
lain.

b. Baja Karbon Sedang ( *Medium Carbon Steel* )

Baja karbon sedang memiliki kandungan karbon diatas 0,25% C - 0,6% C ditambah dengan unsur paduan tertentu biasanya digunakan untuk rel kereta api dan sejumlah peralatan mesin seperti roda gigi otomotif, poros bubutan, poros engkol, sikrup dan alat angkat presisi.

c. Baja Karbon Tinggi ( *High Carbon Steel* )

Baja karbon tinggi memiliki kandungan karbon diatas 0,6% C - 1,4% C dibuat dengan roll panas. Baja karbon tinggi digunakan untuk perkakas seperti pisau, gurdi, tap dan bagian-bagian yang tahan gesekan. Apabila baja ini digunakan untuk bahan khusus, maka harus dikerjakan dalam keadaan panas dan digunakan untuk peralatan mesin-mesin berat, batang-batang pengontrolan, alat tangan seperti palu, obeng, tang, dan lain-lain.

2. Baja Paduan

Baja yang mengandung unsur C tidak akan memiliki sifat seperti yang diinginkan, dengan penambahan unsur-unsur paduan seperti Si, Mn, Ni, V, W, dan lain sebagainya dapat menolong untuk mencapai sifat-sifat yang diinginkan.

Penambahan beberapa unsur paduan spesifikasi terhadap sifat baja antara lain:

a. Unsur Silikon (Si)

Silikon merupakan unsur paduan yang ada pada setiap baja dengan jumlah kandungan lebih dari 0,4% yang mempunyai pengaruh kenaikan tegangan tarik dan menurunkan kecepatan pendinginan kritis (laju pendinginan minimal yang dapat menghasilkan 100 *martensite*).

b. Unsur Mangan (Mn)

Unsur mangan dalam proses pembuatan baja berfungsi sebagai *deoxider* (pengikat O<sub>2</sub>) sehingga proses peleburan dapat berlangsung baik. Kadar Mn yang rendah dapat menurunkan kecepatan pendinginan kritis.

c. Unsur Nikel (Ni)

Nikel memberi pengaruh sama seperti Mn yaitu menurunkan suhu kritis dan kecepatan pendinginan kritis. Ni membuat struktur butiran menjadi halus dan menambah keuletan.

d. Unsur Krom (Cr)

Unsur krom meninggikan kekuatan tarik dan keplastisan, menambah mampu keras, meningkatkan tahan korosi dan tahan suhu tinggi.

e. Unsur Vanadium (V) dan Wolfram (W)

Unsur vanadium dan wolfram membentuk karbidat yang sangat keras dan memberikan baja dengan kekerasan yang tinggi, kemampuan potong dan daya tahan panas yang cukup tinggi pada baja yang sangat diperlukan untuk pahat potong dengan kecepatan tinggi.

### 3. Baja HSLA

Baja HSLA adalah salah satu kelompok baja karbon rendah yang memanfaatkan sebagian kecil elemen paduan untuk mencapai nilai *yield strength* lebih dari 275 MPa (40 ksi) pada kondisi *as-rolled*. Baja jenis ini mempunyai sifat mekanik dan ketahanan korosi yang lebih baik dibandingkan baja karbon lainnya pada kondisi yang sama. Dengan kekuatannya yang lebih tinggi tersebut, baja HSLA dapat dihasilkan dengan kadar karbon yang rendah sehingga kemampuan lasnya lebih baik dari *mild steel*. Komposisi kimia dari baja HSLA dapat bervariasi bergantung pada sifat yang ingin dicapai.

Baja HSLA dalam bentuk lembaran biasanya memiliki kadar karbon yang rendah berkisar antara 0.05% C hingga 0.25% C dengan tujuan meningkatkan mampu bentuk dan mampu lasnya. unsur Mangan (Mn), Chromium (Cr), Nikel, Molybdenum, Nitrogen, Vanadium, Niobium, Titanium, dan Zirconium juga biasanya ditambahkan ke dalam baja jenis ini dalam perbandingan dan kombinasi yang beragam. Baja HSLA mempunyai beberapa tipe dan standar yang digunakan bergantung pada sifat-sifat yang dimilikinya seperti ketangguhan, mampu bentuk, mampu las, dan ketahanan korosinya. Baja ini tidak dapat digolongkan ke dalam baja paduan meskipun sifat-sifat yang diinginkan dapat tercapai dengan hanya

penambahan sedikit paduan. Adapun penggolongan baja HSLA adalah sebagai berikut.

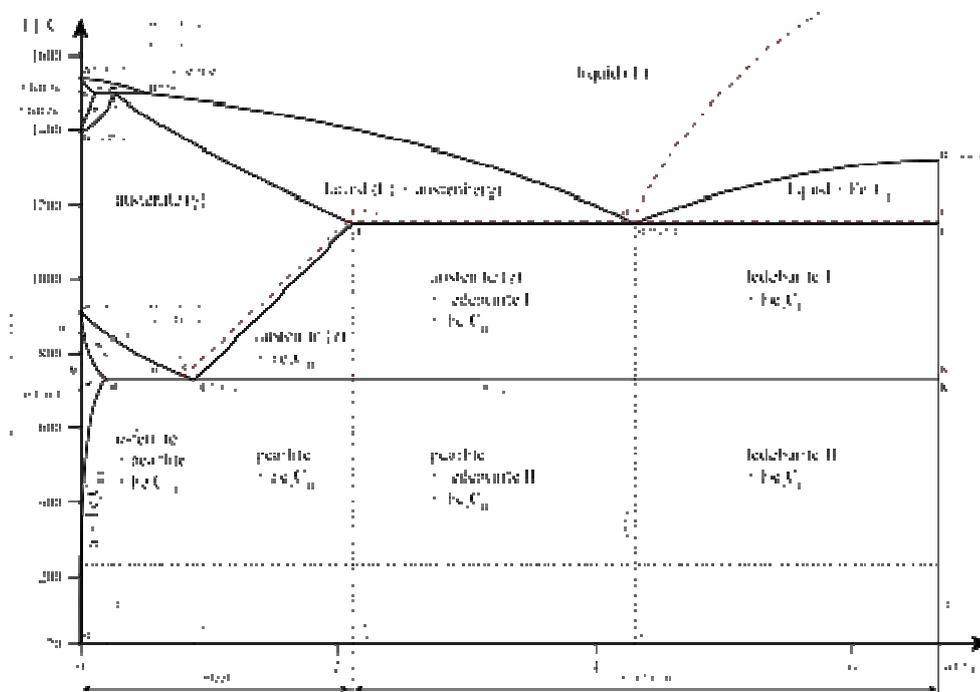
- *Weathering steels*, baja yang ditambahkan sedikit Tembaga (Cu) dan Fosfor (P) untuk meningkatkan ketahanan terhadap korosi atmosferik dan kemampuan untuk dikuatkan melalui mekanisme penguatan larutan padat
- *Microalloyed ferrite-pearlite steels*, baja yang ditambahkan sedikit (kurang dari 0.10%) elemen pembentuk Karbida dan Karbonitrida seperti Niobium, Vanadium, dan atau Titanium untuk penguatan presipitat, penghalus butir, dan kontrol terhadap perubahan temperatur.
- *As-rolled pearlitic steels*, disebut juga baja C-Mn tetapi dengan penambahan elemen paduan lain untuk meningkatkan kekuatan, ketangguhan, mampu bentuk, dan kemampulan.
- *Acicular Ferrite (Low carbon bainite) steels*, baja dengan kandungan karbon di bawah 0.05% C dan memiliki kombinasi tegangan luluh, mampu bentuk, ketangguhan, kemampulan yang sangat baik.
- *Dual Phase Steels*, baja dengan mikrostruktur martensit yang tersebar di matriks ferrit dan memiliki kombinasi yang baik dari keuletan dan tegangan luluh yang tinggi.
- *Inclusion-shape-controlled steels*, penambahan Calcium, Zirconium, Titanium, dan logam-logam jarang sehingga bentuk dari inklusi sulfide berubah menjadi lebih kecil, tersebar, dan berbentuk globular yang akan meningkatkan keuletan.

Penggunaan baja HSLA sangat banyak diaplikasikan pada baja konstruksi, transmisi pipa minyak dan gas, kendaraan berat, peralatan industri, gerbong kereta api, jembatan, struktur lepas pantai, dan *part* otomotif . Sebagian besar aplikasi, faktor yang paling utama dalam pemilihan baja ini adalah perbandingan kekuatan dan berat (*weight*) yang sesuai, yaitu dengan massa yang ringan baja HSLA mampu menghasilkan kekuatan yang lebih tinggi dari baja karbon biasa. Selain itu, HSLA juga diaplikasikan pada kondisi aplikasi tegangan pada temperatur yang sangat rendah.

## 2.4. Diagram Fasa Besi-Carbon (Fe-C)

Diagram kesetimbangan fasa Fe-C adalah alat penting untuk memahami struktur mikro dan sifat-sifat baja karbon, suatu jenis logam paduan besi (Fe) dan karbon (C). Karbon larut di dalam besi dalam bentuk larutan padat (solid solution) hingga 0,005% berat pada temperatur ruang. Baja dengan atom karbon terlarut hingga jumlah tersebut memiliki *alpha ferrit* pada temperatur ruang. Pada kadar karbon lebih dari 0,05% akan terbentuk endapan karbon dalam bentuk *hard intermetallic stoichiometrik compound* ( $\text{Fe}_3\text{C}$ ) yang dikenal sebagai *cementite* atau *carbide*. Selain larutan padat *alpha-ferrite* yang dalam kesetimbangan dapat ditemukan pada temperatur ruang terdapat fase-fase penting lainnya, yaitu *delta-ferrite* dan *gamma-austenit*[2].

Logam Fe bersifat *polymorphism* yaitu memiliki struktur Kristal berbeda pada temperatur berbeda. Pada Fe murni, misalnya, *alpha-ferrite* akan berubah menjadi *gamma-austenite* saat dipanaskan melewati temperatur 910 °C. Pada temperatur yang lebih tinggi, mendekati 1400 °C *gamma-austenite* akan kembali berubah menjadi *delta-ferrite*. (*alpha dan delta*) *ferrite* dalam hal ini memiliki struktur kristal BCC sedangkan (*gamma*) *austenite* memiliki struktur kristal FCC.



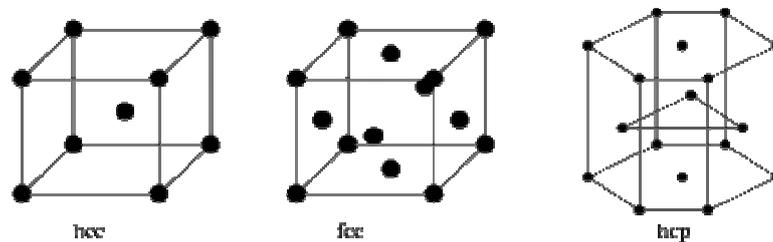
Gambar.2.4 Diagram kesetimbangan Besi-Karbon (Fe-C)[2].

## 2.5. Struktur Logam

Sifat-sifat yang dimiliki logam akan berpengaruh dalam penggunaan logam, hal inilah yang merupakan dasar dari pemilihan bahan. Sifat-sifat yang dimiliki setiap logam sangatlah berbeda karena adanya perbedaan unsur-unsur penyusun serta paduan yang akan membentuk struktur mikronya[2].

Unsur-unsur tersusun atas atom-atom yang mempunyai inti dan elektron. Inti atom bermuatan positif (+) yang terdiri dari neutron dan proton, sedangkan elektron sendiri bermuatan negatif (-). Karena adanya muatan ini setiap unsur akan saling tarik menarik sehingga mencapai kondisi yang stabil atau netral.

Karena adanya gaya tarik menarik antar atom, maka atom-atom logam akan membentuk persenyawaan satu dengan yang lain. Persenyawaan ini akan membentuk suatu bagian geometrik tertentu dalam keadaan padat, dan disebut sebagai kristalit. Bentuk geometri dari persenyawaan logam besi dan baja biasanya berupa kubus, yang tersusun dari atom-atomnya. Bentuk geometris inti adalah BCC (*Body Center Cubic*), FCC (*Face Center Cubic*), HCP (*Hexagonal close packed*). Seperti terdapat pada gambar berikut ini.

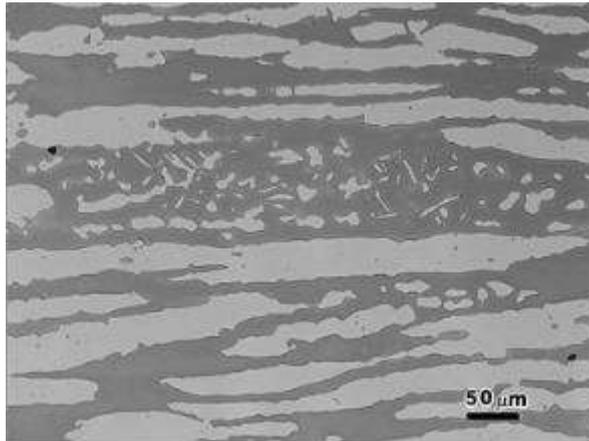


Gambar 2.5. Bentuk geometri Kristal[2].

Dalam diagram keseimbangan besi-karbon terdapat fasa-fasa yang amat penting diantaranya adalah:

### *Fasa Ferrite ( $\alpha$ )*

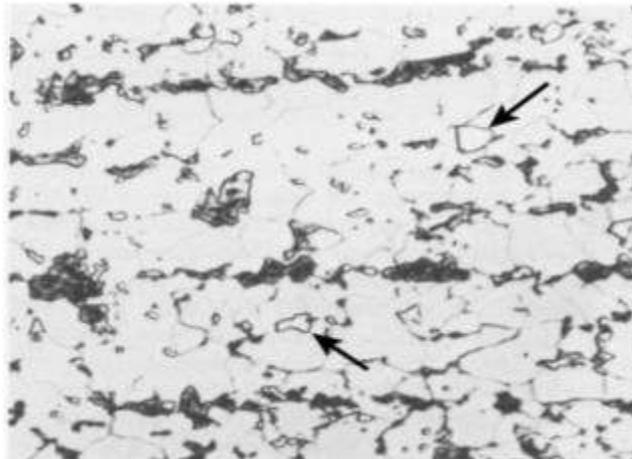
Kelarutan karbon maksimum pada *ferrite* adalah 0,025% C pada temperatur  $723^{\circ}$  C sel satunya adalah BBC ( *Body Centered Cubik* ). Ini bisa terjadi yaitu pada suhu dibawah  $910^{\circ}$  C.



Gambar 2.6. Struktur *ferrite* pada baja lunak

#### *Fasa Austinite ( $\gamma$ )*

Terjadi diatas temperatur  $723^{\circ}\text{C}$ , sedangkan bentuk sel satuan dari austenit adalah FCC ( *Face Cementened Cubic* ). Sifatnya adalah mudah dibentuk dan *ferro magnetic* disebut juga karbida besi (  $\text{Fe}_3\text{C}$  ), fasa ini terjadi pada temperatur dibawah  $1400^{\circ}\text{C}$ . Persentase karbon lebih dari 0,83% C. Bentuk sel satuan adalah *orthotombic* pada keadaan tertentu, dimana dapat membentuk fasa karbon sebangai grafit yang sifatnya keras dan getas.



Gambar 2.7. Struktur *austenit* pada baja lunak

### *Fasa Perlite (P)*

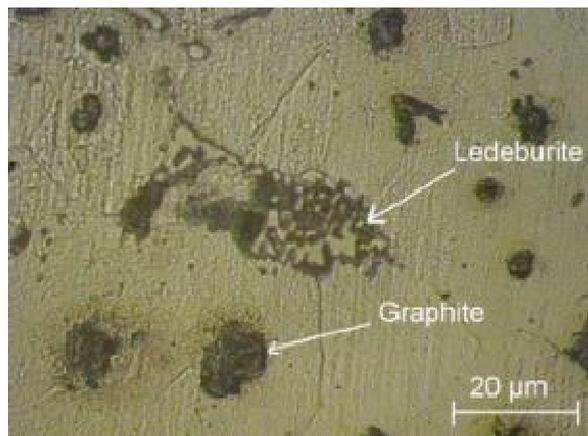
*Perlite* adalah merupakan campuran *cementite* dengan *ferrite*. Temperatur fasa ini adalah  $723^{\circ}\text{C}$ . Persentase karbon yang terkandung di atas  $0.025\% \text{ C}$ , sifatnya keras dan liat.



Gambar 2.8. Struktur *pearlite* pada baja karbon rendah ( $0,25\% \text{ C}$ )

### *Fasa Ledeburite (L)*

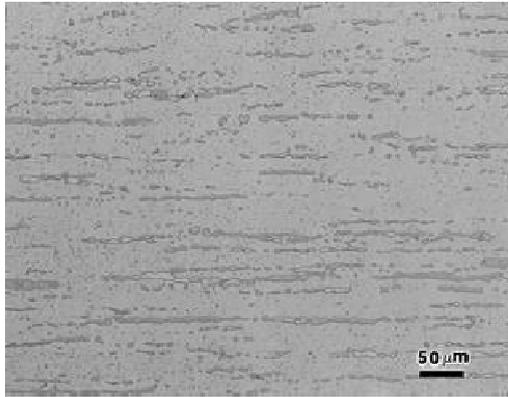
*Ledeburite* adalah merupakan larutan eutektik, terjadi mulai presipitasi dimana sebelumnya austenit dan cementit. Fasa ini terjadi pada temperatur dibawah  $1130^{\circ}\text{C}$ , persentase karbon diatas  $2\% \text{ C}$ .



Gambar 2.9. Struktur *ledeburite* pada baja karbon rendah

### *Fasa Delta ( $\delta$ )*

Fasa ini terjadi pada temperatur yang sangat tinggi yaitu antara 1400 – 1535<sup>0</sup> C, kadar karbon 0,1% C. Sedangkan bentuk sel satuan adalah BCC (*Body Center Cubic*).



Gambar 2.10. Struktur *delta* pada baja karbon rendah

## **2.6. Water Quenching**

Untuk memperoleh kekerasan yang diinginkan, maka dilakukan proses quenching. Media quech yang biasa dipergunakan diantaranya :

### 1. Air

- ◆ Sangat umum digunakan sebagai quenching, dan juga mudah diperoleh sehingga tidak ada kesulitan dalam pengambilan dan penyimpanan.
- ◆ Panas jenis dan konduktivitas termal tinggi, sehingga kemampuan mendinginkannya tinggi.
- ◆ Dapat mengakibatkan distorsi.
- ◆ Digunakan untuk benda-benda kerja yang simetris dan sederhana.

### 2. Oli

- ◆ Banyak digunakan.
- ◆ Laju pendinginan lebih lambat dibandingkan air.
- ◆ Konduktivitas termal, panas laten penguapan rendah.
- ◆ Viskositas tinggi, laju pendinginan menjadi rendah (pendinginan lambat).
- ◆ Viskositas yang rendah menyebabkan laju pendinginan tinggi dan menjadi mudah terbakar.

### 3. Udara

- ◆ Distorsi bisa diabaikan.
- ◆ Pendinginan dilakukan dengan menyemprotkan udara bertekanan ke benda kerja.

### 4. Salt bath

- ◆ Campuran nitrat dan nitrit ( $\text{NaNO}_3$  dan  $\text{NaNO}_2$ ).
- ◆ Digunakan untuk meng-*quench* benda kerja pada temperatur yang relatif rendah.

Pemilihan media quench untuk mengeraskan baja tergantung pada laju pendinginan yang diinginkan agar dicapai kekerasan tertentu.

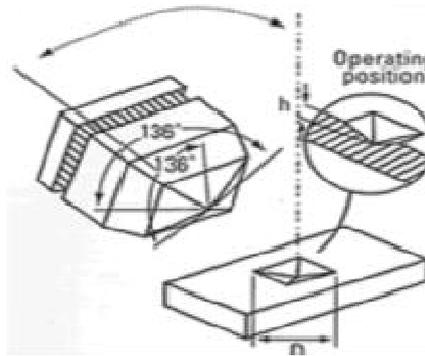
Fluida yang ideal untuk media quench agar diperoleh struktur martensit, harus bersifat :

- o Mengambil panas dengan cepat di daerah temperatur yang tinggi.
- o Mendinginkan benda kerja relatif lambat di daerah temperatur yang rendah.

Karena pada proses quenching pendinginan yang terjadi berlangsung cepat, sehingga atom karbon tak sempat berdifusi menjadi sel satuan BCC dan akhirnya membentuk struktur kristal BCT.

Akibat adanya atom karbon yang terjebak tersebut, maka pada proses quenching terjadi transformasi dari struktur austenit menjadi struktur martensit.

## 2.7. Uji Keras *Vickers*



Gambar 2.11. Uji Vickers[8].

Pengujian yang digunakan dalam penelitian ini adalah dengan menggunakan metode penekanan yaitu metode *Vickers*. Pada pengukuran kekerasan menurut *Vickers* sebuah intan yang berbentuk limas (piramid), kemudian intan tersebut diberi tekanan pada benda uji dengan suatu gaya tertentu, maka pada benda uji terdapat bekas penekanan dari indenter. Bekas penekanan indenter ini akan lebih besar apabila benda uji tersebut semakin lunak dan bila beban penekanan bertambah berat.

Perhitungan kekerasan didasarkan pada panjang diagonal segi empat bekas penekanan indenter dan beban yang digunakan. Nilai kekerasan hasil pengujian metode *Vickers* disebut juga dengan kekerasan HV atau VHN (*Vickers Hardness Numbers*) yang besarnya.

$$\begin{aligned}
 \text{VHN} &= \frac{2 \sin \left( \frac{\theta}{2} \right) P}{d^2} \\
 &= \frac{2 \sin \left( \frac{136^\circ}{2} \right) P}{d^2} \\
 \text{VHN} &= \frac{1,854P}{d^2}
 \end{aligned}$$

....(Literatur 8 Hal 351)

Dimana : P = Beban tekan yang diberikan (kgf)

d = Panjang diagonal bekas injakan (mm)

$\theta$  = Sudut puncak indenter (136°)

Adapun keuntungan dari metode pengujian *Vickers* adalah :

1. Dengan penekanan yang sama, baik pada bahan yang keras maupun lunak nilai kekerasan suatu benda uji dapat diketahui.
2. Penentuan angka kekerasan pada benda-benda kerja yang tipis atau kecil dapat diukur dengan memilih gaya yang relatif kecil.

Pengujian *mikro Vickers* adalah metode pengujian kekerasan dengan pembebanan yang relatif kecil yang sulit dideteksi oleh metode *makro Vickers*. Pada penelitian ini menggunakan metode *mikro Vickers* karena untuk mengetahui seberapa besar nilai kekerasan pada permukaan benda uji hasil dari proses *heat treatment*, sehingga pembebanan yang dibutuhkan juga relatif kecil yaitu berkisar antara 10 sampai 1000 gf.

## **2.8. Pengamatan Struktur Mikro**

Pengamatan yang dilakukan setelah spesimen terlebih dahulu diamplas sampai sehalus mungkin. Spesimen yang telah dipoles dicelupkan ke larutan etsa selama beberapa detik. Pada pemeriksaan struktur mikro digunakan mikroskop optik dimana pada alat terdapat bagian-bagian penting yaitu :

### *Filter Cahaya*

*Filter cahaya* berfungsi untuk menaikkan kontras dari batas butir maupun keadaan fasa tertentu dengan cara membedakan warna.

### *Lensa Kondensor*

*Lensa kondensor* berfungsi sebagai alat pemantul sinar dan memperbaiki kontras bayangan.

### *Lensa Reflector*

*Lensa Reflector* berfungsi untuk memantulkan cahaya dari cermin ke meja objek melalui lubang yang terdapat di meja objek dan menuju mata pengamat.

### *Lensa Objektif*

*Lensa objektif* berfungsi untuk mengumpulkan sinar yang dipantulkan dari spesimen.

Dalam rumus ini :

$$NA = n \sin \alpha$$

dimana:

$n$  = indeks media antara lensa objektif dengan permukaan spesimen.

$\alpha$  = setengah sudut puncak sinar pantul spesimen ke lensa objektif.

### *Lensa Okuler*

*Lensa okuler* berfungsi untuk meneruskan pantulan sinar specimen sehingga dapat dilihat mata.

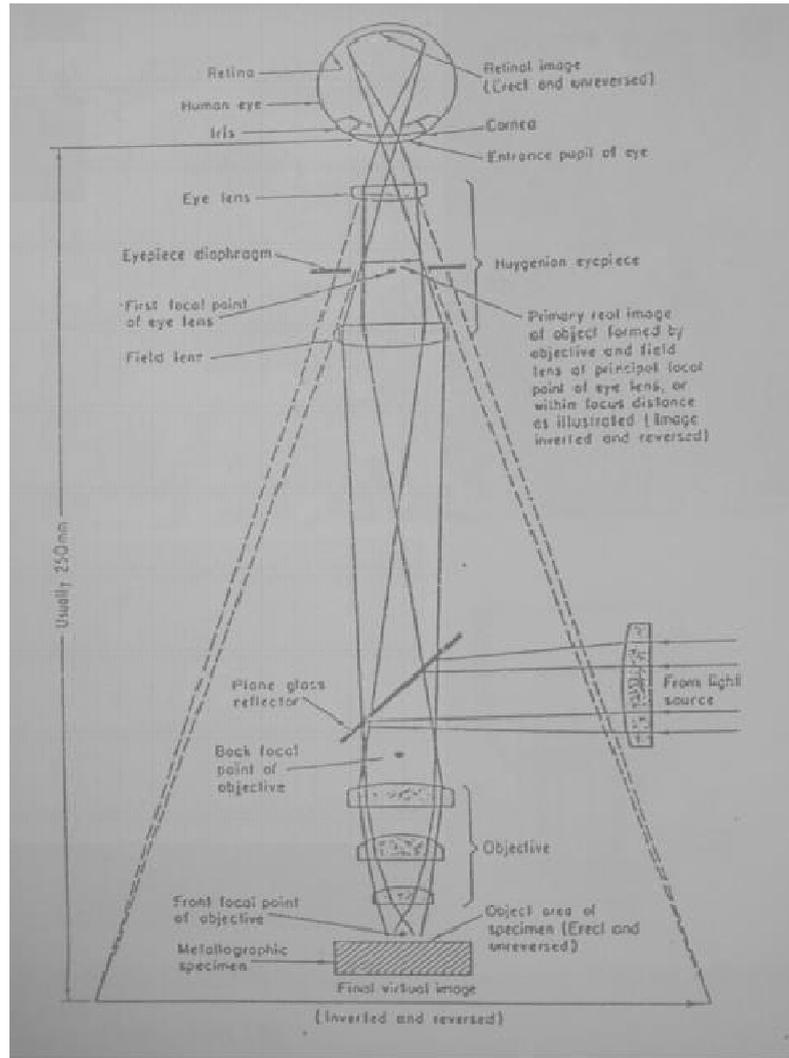
Untuk pengukuran besar butir logam, lensa okuler dilengkapi dengan grid yang sesuai dengan standar ASTM.

$$M_{\text{tot}} = M_0 \times M_f$$

dimana :

$M_0$  = Perbesaran lensa objektif

$M_f$  = Perbesaran sampai ke lensa film



Gambar 2.12. Ilustrasi Prinsip Pengelihatan Gambar Struktur Mikro Dari Spesimen Menggunakan Mikroskop Optik[8].

### 2.8.1. Metode Perhitungan Besar Butir Austenit Prior

Setelah metode etsa dapat menampilkan batas butir Austenit Prior, maka besar butir dihitung dengan menggunakan metode Intercept, sesuai dengan standar perhitungan Metalografi kuantitatif American Standard Testing and Material (ASTM E112). Teknik Penghitungan dilakukan sebagai berikut;

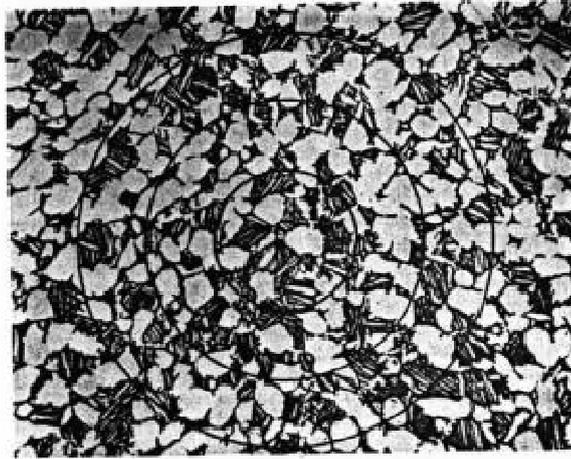
Dari gambar 2.13 di bawah , dihitung jumlah titik potong antara total panjang garis yang ditarik sepanjang 500 mm dengan batas butir pada foto struktur mikro dengan perbesaran 100 kali. Jumlah titik potong persatuan panjang ( $P_L$ ) dihitung dengan

$$P_L = PLT/M. \quad \dots\dots\dots(\text{Literatur 8 Hal 449})$$

dimana  $P_L$  = jumlah titik potong butir yang diamati dan garis hitung LT (500 mm)/satuan panjang.

$P$  = Total titik potong fasa dan garis hitung LT (500 mm).

$M$  = Perbesaran



Gambar 2.13. Metode Intercept, dengan menggunakan garis berbentuk lingkaran dengan total panjang garis 500 mm, dengan foto perbesaran 100X[8].

Dimana:  $d_1$  = Diameter dalam (50 mm)

$d_2$  = Diameter tengah (150 mm)

$d_3$  = Diameter luar (300 mm)

Panjang garis Perpotongan ( $L_3$ ) ;

$$L_3 = 1/P_L \dots\dots\dots(\text{Literatur 11 Hal 449})$$

$L_T$  = Panjang Garis Total (Sesuai standar ASTM =500mm)

Dari  $P_L$  atau  $L_3$  , dapat dilihat di tabel besar butir ASTM E 112, atau dimasukkan ke dalam rumus Empiris ;

$$G = 6,646 \log (L_3) - 3,298$$

## BAB III METODOLOGI PENELITIAN

### 3.1 Bahan

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah

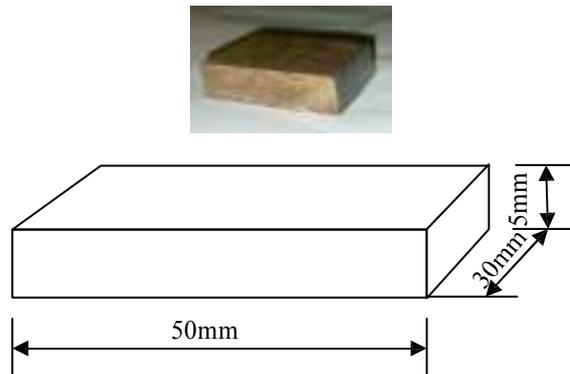
- a. Baja Karbon Paduan Rendah

Bahan yang digunakan adalah baja karbon paduan rendah.

- b. Air Es

Air Es digunakan sebagai media pendingin baja karbon paduan rendah yang telah mengalami proses *water quenching* sebanyak 2 liter air dan 1 kg es kristal.

- c. Bentuk Specimen



Gambar 3.1 Bentuk dan Dimensi Specimen

### 3.2 Lokasi dan Alat Penelitian

Penelitian dilakukan di Laboratorium Metalurgi Universitas HKBP Nommensen Medan. Dan alat yang digunakan antara lain :

1. Gergaji

Gergaji digunakan untuk memotong (membentuk) specimen penelitian.



Gambar 3.2 Gergaji

2. Tungku pemanas

Tungku pemanas digunakan untuk proses pemanasan specimen penelitian tungku pemanas ini terdapat pada Laboratium Teknik Metalurgi Universitas HKBP Nommensen Medan.



Gambar 3.3 Tungku Pemanas

3. Sarung tangan

Sarung tangan digunakan untuk mengeluarkan benda k



tangan pada saat

Gambar 3.4. Sarung Tangan

4. Penjepit

Penjepit digunakan untuk menjepit benda kerja saat mengeluarkan benda kerja dari tungku pemanas.



Gambar 3.5. Penjepit

5. Wadah Pendingin  
Wadah Pendingin d



gin air es.

Gambar 3.6. Wadah pendingin

6. Mesin Polish

Sebelum melakukan pengamatan struktur mikro dengan mikroskop optic, dilakukan *surface polishing* dengan mesin *polish*.

Merek mesin polish : MARUMOTO METALOGRAPHI PREGRINDER

Model : 6528-B: No.8185: 220 Volt: 50 Hz

MARUMOTO KOGYO KAISHA, LTD. TOKYO JAPAN.



Gambar.3.7. Mesin *Polish*

7. Mesin Uji Keras M  
Mesin uji keras gu  
sebelum dan sesudah



pecimen penelitian

Gambar 3.8. Alat uji kekerasan

8. Mikroskop Optik

Alat mikroskop able ini digunakan untuk melihat atau mengetahui bentuk struktur mikro logam yang telah dipolish dan dietsa.



Gambar 3.9. Miskroskop Optik

### 9. Media Pendingin.

Media pendingin yang digunakan adalah air es.

### 10. Bahan Etsa

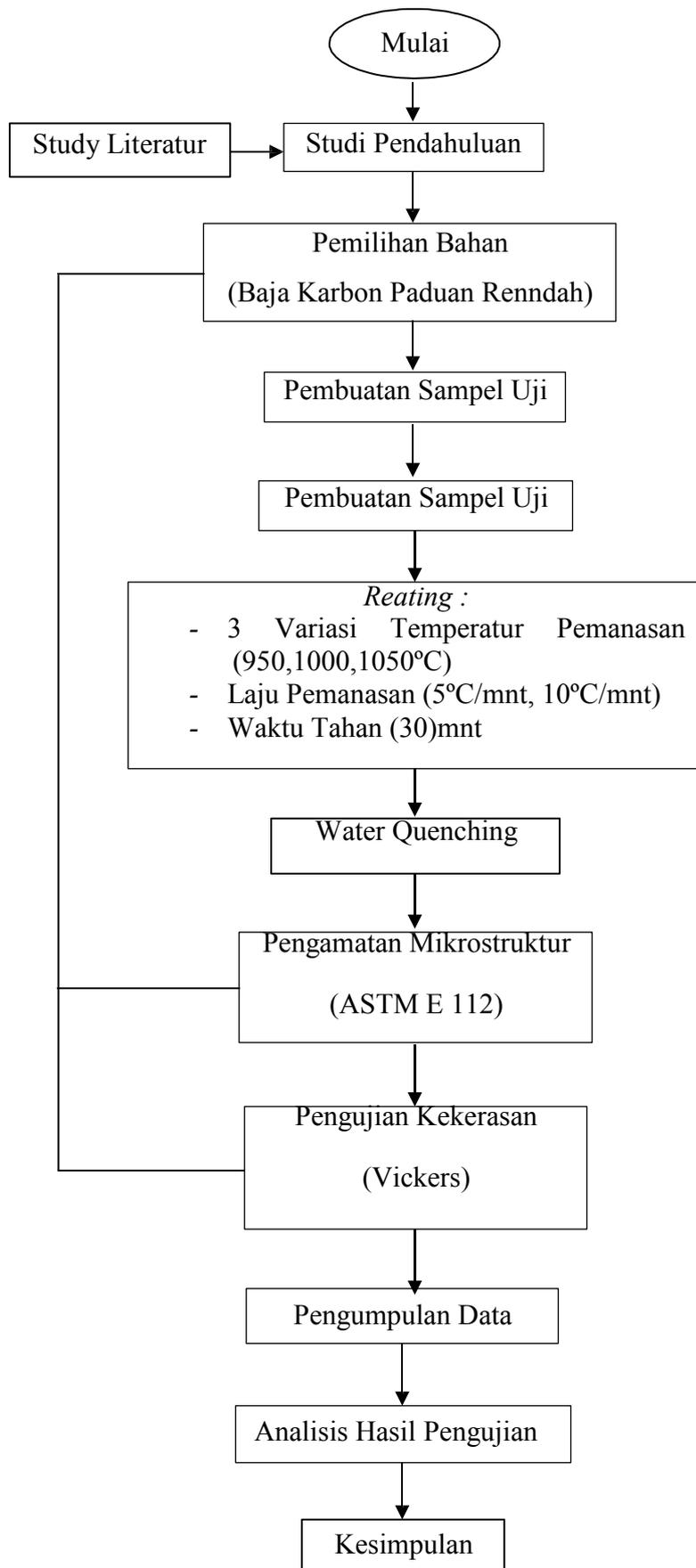
Dalam mengamati batas butir dari fasa austenit digunakan larutan etsa Nitric Acid dan Alkohol 96%.



Gambar 3.10. Bahan Etsa

### 3.3 Desain Eksperimen

Pada penelitian ini desain yang digunakan adalah metode eksperimental yang dilakukan di laboratorium metalurgi Universitas HKBP Nommensen. Penelitian memerlukan langkah-langkah atau tindakan yang tersusun sehingga dapat menjawab permasalahan yang diteliti. Alur eksperimen dalam penelitian ini adalah sebagai berikut



### **3.4 Prosedur Penelitian**

Adapun prosedur penelitian antara lain sebagai berikut :

#### **3.4.1 Pembuatan Sampel**

Sepesimen baja Karbon Paduan Rendah dipotong dengan spesifikasi spesimen yang telah ditentukan. Jumlah spesimen yang dibuat adalah 6 buah. Spesimen yang telah dipotong kemudian di bersihkan dari beram-beram sisa-sisa pemotongan.

#### **3.4.2 Proses *water quenching***

Proses *water quenching* dilakukan 3 variasi temperatur pemanasan 950, 1000, 1050°C, laju pemanasan 5°C/menit, 10°C/menit, waktu tahan 30 menit dan pendinginannya dilakukan dengan pendinginan cepat menggunakan air. Proses ini bertujuan agar benda kerja tidak mengalami distorsi dan retak. Pada perlakuan panas ini, panas merambat dari luar kedalam dengan kecepatan tertentu.

#### **3.4.3 Pengujian kekerasan**

Pengujian kekerasan ini dilakukan dengan alat uji kekerasan *mikro Vickers*, pengujian ini dengan cara:

- a. Permukaan material dihaluskan dengan cara diampelas dengan urutan ampelas No. 80-120-240-400-600-800-1000-1200.
- b. Setelah diampelas pada bagian permukaan sampel di polish sampai mengkilap menggunakan Autosol Metal Polish.
- c. Memasang/meletakkan sampel pada dudukan.
- d. Besar pembebanan adalah 1 kgf.
- e. Menekan tombol untuk menggerakkan indentor.
- f. Mengukur bekas penekanan indentor dengan mistar yang dilihat pada lensa pembesar.
- g. Menentukan nilai kekerasan dari diameter bekas injakan sesuai dengan rumus atau tabel nilai kekerasan mikro.

#### **3.4.4 Foto struktur mikro.**

Sebelum melakukan foto mikro benda kerja di amplas dengan urutan kertas ampelas No. 80-120-240-400-600-800-1000-1200 setelah itu dicuci dan dikeringkan lalu di poles. Pemolesan dilakukan dengan cara mengamplas bagian permukaan sampai halus kemudian di poles menggunakan autosol supaya mengkilap kemudian dicuci dan dikeringkan. Dalam mengamati batas butir dari fasa austenit digunakan larutan etsa nitric acid 4 gram yang dipanaskan sampai mendidih dan dituang berulang-ulang ke atas material yang sudah di poles selama 5 menit kemudian dikeringkan setelah itu dilakukan foto struktur mikro pada permukaan yang telah di etsa.

#### **3.4.5 Perhitungan besar butir**

Setelah dilakukan foto mikro pada sampel yang sudah di etsa lalu dilakukan perhitungan besar butir austenit pada material dengan standrat American Standard Testing and Material (ASTM E112).