

## BAB II

### TINJAUAN PUSTAKA

#### 2.1. Kajian Pustaka

Dalam melakukan sebuah penelitian, observasi sangat dibutuhkan sebagai referensi untuk mencari sumber yang berkaitan dengan judul yang diambil. Berikut beberapa referensi yang diambil penulis sebagai sumber referensi.

Kuswanto (2010), telah melakukan penelitian *pack carburizing* pada baja karbon rendah sebagai material alternatif untuk pisau potong. Dengan menggunakan arang tempurung kelapa dan *Barium Carbonat* ( $\text{BaCO}_3$ ) 90%+10% yang dilakukan pada suhu  $900^\circ\text{C}$  selama 2 jam. Selanjutnya dilakukan pendinginan secara perlahan sampai suhu  $350^\circ\text{C}$ . Hasilnya proses *pack carburizing* pada baja karbon rendah dapat membuat kualitas baja meningkat dari tidak mampu dikeraskan menjadi mampu dikeraskan. Hal ini dapat dilihat dari struktur mikro dimana kristal perlit menjadi lebih banyak setelah dilakukan proses *pack carburizing*.

Zuchry (2011), telah melakukan penelitian tentang pengaruh suhu karburasi dan waktu tahan terhadap kekuatan tarik baja karbon dengan variasi media pendingin. Proses karburasi dilakukan pada suhu  $900^\circ\text{C}$  dan  $950^\circ\text{C}$  dengan waktu tahan 3, 6 dan 9 jam, kemudian didinginkan dengan air, oli, udara dan air laut. Kemudian dilakukan uji tarik, hasilnya proses karburasi mempengaruhi kekuatan tarik spesimen. Dimana semakin tinggi suhu akan menurunkan kekuatan tarik spesimen, hal ini dapat dilihat pada hasil pengujian dimana pada suhu  $900^\circ\text{C}$  lebih tinggi =  $1,0599 \text{ KN/mm}^2$  dibandingkan pada suhu  $950^\circ\text{C}$  =  $0,9352 \text{ KN/mm}^2$ . Hal ini kemungkinan disebabkan karena proses pengarbonan pada suhu yang lebih tinggi menyebabkan spesimen menjadi getas. Untuk variasi media pendingin kekuatan tarik dipengaruhi oleh waktu pendinginan, dimana semakin lambat waktu pendinginan maka kekuatan tarik semakin besar.

Wahono (2012), melakukan perbandingan keefektifan penggunaan arang tulang binatang sebagai media donor atom karbon dengan arang tempurung kelapa. Bahan baja karbon rendah plat *eyser* dengan ukuran tebal 10 mm dan lebar 20 mm menggunakan kotak baja. Kemudian sampel dimasukkan kedalam kotak dengan

jarak 25 mm, kemudian di karburasi pada suhu 950°C selama 2 jam menggunakan arang tulang binatang dan arang tempurung kelapa. Hasilnya proses *pack carburizing* menggunakan arang tulang binatang lebih efektif dibandingkan menggunakan arang tempurung kelapa. Karena memiliki persentase unsur karbon lebih besar sebesar 0,95% dan kedalaman lapisan karburasi sedalam 1,832 mm.

Hafni (2015), Melakukan penelitian tentang pengaruh waktu tahan *pack carburizing* ditinjau dari kekerasan. Bahan yang digunakan adalah baja karbon rendah dengan menggunakan arang tempurung kelapa dan *Calcium Carbonat* dengan komposisi 90%+10% pada waktu tahan 3, 4 dan 5 jam. Kemudian dilakukan *Quenching* dengan air suhu kamar, hasilnya nilai kekerasan sangat dipengaruhi oleh lamanya waktu penahanan. Dari ketiga variasi waktu diperoleh kekerasan tertinggi 34 HRC pada waktu tahan 5 jam.

Hafni (2016), melakukan penelitian tentang pengaruh variasi komposisi arang tempurung kelapa ditinjau dari struktur mikro. Bahan baja karbon rendah, media karburasi arang tempurung kelapa dan *Calcium Carbonat* dengan variasi 1000 gr + 200 gr, 1000 gr + 100 gr dan 1000 gr + 66,7 gr. Pada suhu 950°C dan waktu tahan 4 jam kemudian dilakukan *Quenching* dengan air suhu kamar. Hasilnya adalah spesimen yang mendapatkan penambahan *Calcium Carbonat* paling banyak yaitu 200 gr, memiliki kekerasan paling tinggi karena penambahan *Calcium Carbonat* mempermudah atom karbon berdifusi kedalam baja.

Dwiharsanti dkk (2016), melakukan perancangan eksperimen baja karbon rendah hasil *pack carburizing* dengan menggunakan metode eksperimen faktorial. Baja yang sudah dikarburasi kemudian dilakukan penelitian menggunakan 3 variabel bebas yaitu, suhu austenisasi pada suhu 900°C dan 950°C, kemudian waktu penahanan 15 menit dan 30 menit, dan komposisi media *pack carburizing* barium karbonat dan arang tempurung kelapa 50% + 50% dan 30% + 70% dan dilakukan replikasi sebanyak 3 kali. Kemudian dilakukan uji ANOVA untuk melihat faktor apa saja yang mempengaruhi kekerasan baja karbon rendah setelah di *pack carburizing*. Hasilnya dari ketiga variabel bebas yang digunakan yaitu, suhu austenisasi, waktu penahan dan komposisi media. Hanya waktu penahan yang mempengaruhi kekerasan baja karbon rendah, hal ini dapat dilihat dari hasil uji

ANOVA, berdasarkan grafik waktu penahanan yang lama membuat kekerasan baja karbon rendah menjadi tinggi.

Sujita (2016), melakukan penelitian proses *pack carburizing* dengan media *carburizier* alternatif serbuk arang tongkol jagung dan serbuk cangkang kerang mutiara sebagai katalisator untuk mengetahui pengaruh penambahan serbuk cangkang kerang mutiara terhadap sifat fisis dan mekanik. Bahan yang digunakan ialah baja karbon rendah dengan ukuran panjang 25 mm,  $d = \text{Ø } 2,5 \text{ mm}$ . Variasi suhu  $910^{\circ}\text{C}$ ,  $930^{\circ}\text{C}$  dan  $950^{\circ}\text{C}$ , dengan waktu tahan 90 menit dan 150 menit. Kemudian dilakukan 5 variasi komposisi serbuk arang tongkol jagung dan serbuk cangkang kerang mutiara yaitu 5, 10, 15, 20 dan 25 (% dari berat arang tongkol jagung. Hasilnya ialah kekerasan tertinggi terdapat pada penambahan 20 % serbuk cangkang kerang mutiara dan dari foto struktur mikro jumlah pearlite lebih banyak setelah proses *pack carburizing*.

## 2.2. Pisau

Di era modern seperti sekarang ini manusia telah menciptakan berbagai teknologi untuk mempermudah pekerjaan manusia. Alat atau perkakas (Inggris: tools) adalah benda yang digunakan untuk mempermudah pekerjaan kita sehari-hari. Beberapa contoh alat adalah palu, tang, gergaji, dan cangkul. Beberapa benda sehari-hari seperti garpu, sendok dan pensil juga termasuk alat. Pisau merupakan salah satu alat yang diciptakan manusia. Alat-alat yang secara khusus digunakan untuk keperluan rumah tangga sering disebut sebagai perkakas (Anas, 2014).

Salah satu alat rumah tangga, yang fungsinya untuk memotong dan mengiris bahan makanan adalah pisau. Pisau menjadi salah satu peralatan dapur yang wajib ada di dapur. Setiap orang yang ingin memasak tentu memerlukan pisau. Menurut Kamus besar bahasa indonesia pisau/pi·sau/ n bilah besi tipis dan tajam yang bertangkai sebagai alat pengiris dan sebagainya, pisau biasanya terbuat dari baja hal ini dikarenakan baja tidak mudah berkarat dan mudah proses membersihkannya.

Berikut macam-macam jenis pisau dan fungsinya (Anas, 2014) :

### 1. Pisau serba guna

Pisau ini bisa memotong berbagai bahan, hampir semua bahan masakan atau makanan dapat dipotong dengan pisau ini. Karena itu, banyak wanita lebih suka memiliki satu pisau serba guna ini ketimbang satu set pisau yang kegunaannya

cukup membingungkan. Pisau ini paling baik digunakan mengiris bahan makanan, mememarkan bawang putih atau merica.



Gambar 2.1 Pisau Serba Guna

(Sumber : Anas, 2014)

## 2. Pisau besar

Pisau dengan penampang yang sangat besar ini sering dipakai juru masak China, sehingga nama lainnya adalah Chinese Chef's Knife. Paling baik dipakai untuk membelah atau memotong tulang ayam. Bisa juga digunakan menyincang daging, memotong sayur, mengiris atau mememarkan jahe dan bawang putih. Karena beratnya lumayan, pisau ini lebih sering dipakai memotong ayam.



Gambar 2.2 Pisau Besar

(Sumber : Anas, 2014)

## 3. Pisau roti

Seperti namanya, pisau ini digunakan untuk mengiris kue atau roti. Cirinya adalah bagian bawah yang berbentuk gerigi tipis. !ekstur tersebut dirancang agar hasil potongan roti atau cake lebih halus dan lembut. Pisau ini bisa juga dipakai

untuk memotong sayur dengan tekstur kulit luar yang licin, misalnya tomat, terong, atau mentimun.



Gambar 2.3 Pisau Roti

(Sumber : Anas, 2014)

#### 4. Pisau *fillet*

Bentuk pisau ini memanjang dengan bentuk yang lebih ramping dibandingkan pisau serba bisa. fungsi utamanya adalah memisahkan daging ayam dari tulangnya, membuat irisan yang sangat tipis pada daging, memisahkan ikan dari tulangnya, juga membuang urat atau lemak.



Gambar 2.4 Pisau *Fillet*

(Sumber : Anas, 2014)

#### 5. Pisau ukir

Pisau ini biasanya memiliki ukuran kecil. Bentuknya lebih pendek dengan lekuk melengkung. Sesuai namanya, pisau ukir dipakai untuk mengukir buah dan

sayuran. Bentuknya yang kecil membuat pemakainya bisa fleksibel mengukir berbagai bentuk buah atau sayur sebagai hiasan masakan.



Gambar 2.5 Pisau Ukir

(Sumber : Anas, 2014)

## 2.3. Karakteristik Baja Karbon

### 2.3.1. Struktur Besi Murni

Struktur logam terdiri atas butir kristal yang saling mengikat kuat satu sama lain dalam bentuk dan ukuran yang berlainan. Kristal-kristal tersebut terdiri dari bagian-bagian terkecil suatu unsur atom. Atom besi tersusun di dalam sebuah “kisi ruang”, dimana terdiri atas jaringan berbentuk kubus. Peletakan atom dalam kubus dapat dikelompokkan menjadi tiga jenis yaitu (Kuswanto, 2010) :

#### 1. Besi alfa (besi $\alpha$ )

Delapan atom berada pada pojok kubus dan sebuah atom ke sembilan ditengahnya (di pusat ruang). Susunan atom ini disebut juga kubik pemusatan ruang (body centered cubic). Sampai temperatur ruangan  $708^{\circ}\text{C}$ , besi  $\alpha$  bersifat magnetis. Mulai  $768^{\circ}\text{C}$  sampai  $911^{\circ}\text{C}$ , body centered cubic (bcc) menjadi tidak magnetis lagi.

#### 2. Besi gamma (besi $\gamma$ )

Pada temperatur  $911^{\circ}\text{C}$  ikatan kubik pemusatan ruang berubah menjadi besi  $\gamma$  kubik pemusatan sisi (face centered cubic). Pada setiap sudut kubus terdapat satu atom dan enam atom lainnya berada di tengah ke enam bidang sisi kubus. Jadi sebuah kubus  $\gamma$  terdapat empat belas atom.

### 3. Besi delta (besi $\delta$ )

Temperatur 1392 ° C besi  $\gamma$  yang berpusat sisi (fcc) berubah kembali menjadi kubik pemusatan ruang (bcc) yang disebut besi  $\delta$ . Namun besi  $\delta$  terakhir ini mempunyai jarak atom yang lebih besar.

#### **2.3.2. Baja Karbon**

Baja adalah logam paduan, logam besi sebagai unsur dasar dengan beberapa elemen lainnya, termasuk karbon. Kandungan unsur karbon dalam baja berkisar antara 0.2% hingga 2.1% berat sesuai grade-nya. Elemen berikut ini selalu ada dalam baja: karbon, mangan, fosfor, sulfur, silikon, dan sebagian kecil oksigen, nitrogen dan aluminium. Selain itu, ada elemen lain yang ditambahkan untuk membedakan karakteristik antara beberapa jenis baja diantaranya: mangan, nikel, krom, molybdenum, boron, titanium, vanadium dan niobium. Dengan memvariasikan kandungan karbon dan unsur paduan lainnya, berbagai jenis kualitas baja bisa didapatkan (Syekhoni, 2017). Fungsi karbon dalam baja adalah sebagai unsur penguat dengan mencegah dislokasi bergeser pada kisi kristal (*crystal lattice*) atom besi. Baja karbon ini dikenal sebagai baja hitam karena berwarna hitam, banyak digunakan untuk peralatan pertanian misalnya sabit dan cangkul.

Penambahan kandungan karbon pada baja dapat meningkatkan kekerasan (*hardness*) dan kekuatan tariknya (*tensile strength*), namun di sisi lain membuatnya menjadi getas (*brittle*) serta menurunkan keuletannya (*ductility*) (Syekhoni, 2017).

Meskipun baja sebelumnya telah diproduksi oleh pandai besi selama ribuan tahun, penggunaannya menjadi semakin bertambah ketika metode produksi yang lebih efisien ditemukan pada abad ke-17. Dengan penemuan proses Bessemer di pertengahan abad ke-19, baja menjadi material produksi massal yang membuat harga produksinya menjadi lebih murah. Saat ini, baja merupakan salah satu material paling umum di dunia, dengan produksi lebih dari 1,3 miliar ton tiap tahunnya. Baja merupakan komponen utama pada bangunan, infrastruktur, kapal, mobil, mesin, perkakas, dan senjata. Baja modern secara umum diklasifikasikan berdasarkan kualitasnya oleh beberapa lembaga-lembaga standar.

### 2.3.3. Jenis-jenis baja karbon

Berdasarkan jumlah kandungan karbonnya baja dibagi menjadi 3 jenis yaitu, baja karbon rendah, baja karbon sedang, dan baja karbon tinggi.

#### 1. Baja karbon tinggi

Baja karbon tinggi (*high carbon steel*) mengandung kadar karbon antara 0,56% -1,7% C dan setiap satu ton baja karbon tinggi mengandung karbon antara 70 – 130 kg. Baja ini mempunyai kekuatan paling tinggi dan banyak digunakan untuk material tools (Nugraha, 2013). Berkebalikan dengan baja karbon rendah, pengerasan dengan perlakuan panas pada baja karbon tinggi tidak memberikan hasil yang optimal dikarenakan terlalu banyaknya martensit sehingga membuat baja menjadi getas (Syekhoni, 2017). Salah satu aplikasi dari baja ini adalah dalam pembuatan kawat baja dan kabel baja. Berdasarkan jumlah karbon yang terkandung didalam baja maka baja karbon ini banyak digunakan dalam pembuatan pegas, alat-alat perkakas seperti: palu, gergaji atau pahat potong. Selain itu baja jenis ini banyak digunakan untuk keperluan industri lain seperti pembuatan kikir, pisau cukur, mata gergaji dan lain sebagainya (Nugraha, 2013).

#### 2. Baja karbon sedang

Baja karbon menengah (*medium carbon steel*) mengandung karbon antara 0,25% - 0,55% C dan setiap satu ton baja karbon mengandung karbon antara 30 – 60 kg (Nugraha, 2013). Dan dengan kandungan karbonnya memungkinkan baja untuk dikeraskan sebagian dengan perlakuan panas (*heat treatment*) yang sesuai (Syekhoni, 2017). baja karbon menengah ini banyak digunakan untuk keperluan alat-alat perkakas bagian mesin. Berdasarkan jumlah karbon yang terkandung dalam baja maka baja karbon ini dapat digunakan untuk berbagai keperluan seperti untuk keperluan industri kendaraan, roda gigi, pegas dan sebagainya (Nugraha, 2013).

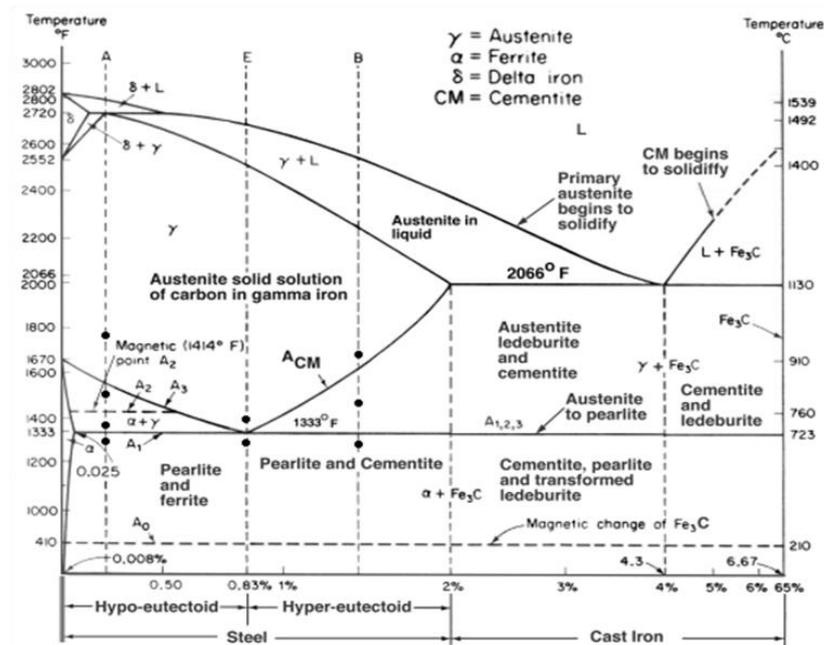
#### 3. Baja karbon rendah

Baja karbon rendah (*low carbon steel*) mengandung karbon antara 0,025% – 0,25% C. setiap satu ton baja karbon rendah mengandung 10 – 30 kg karbon. Baja karbon ini dalam perdagangan dibuat dalam plat baja, baja strip dan baja batangan atau profil (Nugraha, 2013). Baja karbon rendah tidak dapat dikeraskan karena kandungan karbonnya tidak cukup untuk membentuk struktur martensit (Syekhoni,

2017). Karakteristik utama baja ini ialah gampang ditempa dan mudah diolah menggunakan mesin. Baja karbon rendah dengan kadar antara 0,05-0,2 persen biasanya dipakai untuk membuat bodi mobil, struktur bangunan, pipa, rantai, sekrup, paku. Sementara baja karbon rendah yang memiliki kadar di kisaran 0,2-0,3 persen umumnya digunakan untuk membuat gigi kendaraan, baut, dan jembatan (Nugraha, 2013).

### 2.3.4. Diagram fasa Fe-Fe<sub>3</sub>C

Diagram Fasa Fe-Fe<sub>3</sub>C adalah diagram yang menampilkan hubungan antara temperatur dimana terjadi perubahan fasa selama proses pendinginan dan pemanasan yang lambat dengan kadar karbon. Tidak seperti struktur logam murni yang hanya dipergunakan oleh suhu, sedangkan struktur paduan dipengaruhi oleh suhu dan komposisi. Diagram fasa besi dan karbida besi Fe<sub>3</sub>C ini menjadi landasan untuk perlakuan panas terhadap kebanyakan jenis baja yang kita kenal (Nurjayanti, 2013), seperti Gambar berikut ini.



Gambar 2.6 Diagram Fasa Baja Karbon

(Sumber : Suhermanto, 2014)

Beberapa istilah dalam diagram kesetimbangan Fe-Fe<sub>3</sub>C dan fasa-fasa yang terdapat didalam diagram diatas akan dijelaskan dibawah ini. Berikut adalah batas-batas temperatur kritis pada diagram Fe-Fe<sub>3</sub>C (Nurjayanti, 2013):

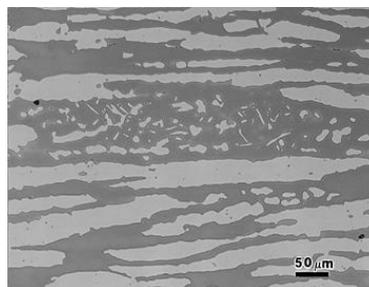
1.  $A_1$  adalah temperatur reaksi eutektoid yaitu perubahan fasa  $\gamma$  menjadi  $\alpha + \text{Fe}_3\text{C}$  (perlit) untuk baja *hypoeutectoid*.
2.  $A_2$  adalah titik *Currie* (pada temperatur  $769^\circ\text{C}$ ), dimana sifat magnetik besi berubah dari feromagnetik menjadi paramagnetik.
3.  $A_3$  adalah temperatur transformasi dari fasa  $\gamma$  menjadi  $\alpha$  (ferit) yang ditandai pula dengan naiknya batas kelarutan karbon seiring dengan turunnya temperatur.
4.  $A_{cm}$  adalah temperatur transformasi dari fasa  $\gamma$  menjadi  $\text{Fe}_3\text{C}$  (sementit) yang ditandai pula dengan penurunan batas kelarutan karbon seiring dengan turunnya temperatur.
5.  $A_{123}$ , adalah temperatur transformasi  $\gamma$  menjadi  $\alpha + \text{Fe}_3\text{C}$  (perlit) untuk baja *hypereutectoid*.

### 2.3.5. Struktur mikro baja karbon

Berikut ini beberapa fasa yang sering ditemukan didalam baja karbon.

#### a. Ferit

Fasa ini disebut alpha ( $\alpha$ ). Ruang antar atomnya kecil dan rapat sehingga akan sedikit menampung atom karbon. Batas maksimum kelarutan karbon  $0,025\% \text{C}$  pada temperatur  $723^\circ\text{C}$ , struktur kristalnya BCC (*Body Center Cubic*). Pada suhu ruang, kadar karbonnya  $0,008\%$  sehingga dapat dianggap besi murni. Ferit bersifat magnetik sampai suhu  $768^\circ\text{C}$ . Sifat-sifat ferit adalah ketangguhan rendah, keuletan tinggi, ketahanan korosi medium dan struktur paling lunak diantara diagram Fe3C (Ningrum, 2013).

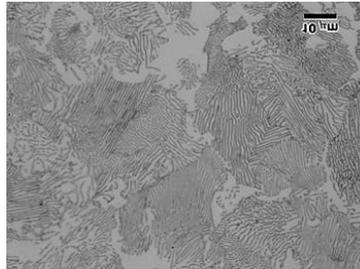


Gambar 2.7 Ferit

(Sumber : Rahman, 2014)

b. Perlit

Fasa perlit merupakan campuran mekanis yang terdiri dari dua fasa, yaitu ferit dengan kadar karbon 0,025% dan sementit dalam bentuk *lamellar* (lapisan) dengan kadar karbon 6,67% yang berselang-seling rapat terletak bersebelahan. Jadi perlit merupakan struktur mikro dari reaksi *eutektoidlamellar* (Ningrum, 2013).

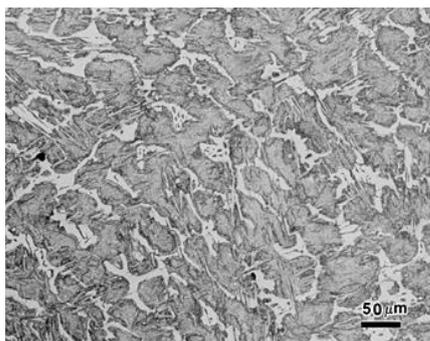


Gambar 2.8 Perlit

(Sumber : Rahman, 2014)

c. Sementit (karbida besi)

Sementit merupakan paduan besi melebihi batas daya larut membentuk fasa kedua. Karbida besi mempunyai komposisi kimia  $Fe_3C$ . Dibandingkan dengan ferit, sementit sangat keras. Karbida besi dalam ferit akan meningkatkan kekerasan baja. Akan tetapi karbida besi murni tidak liat, karbida ini tidak dapat menyesuaikan diri dengan adanya konsentrasi tegangan, oleh karena itu kurang kuat (Ningrum, 2013).



Gambar 2.9 Sementit

(Sumber : Rahman, 2014)

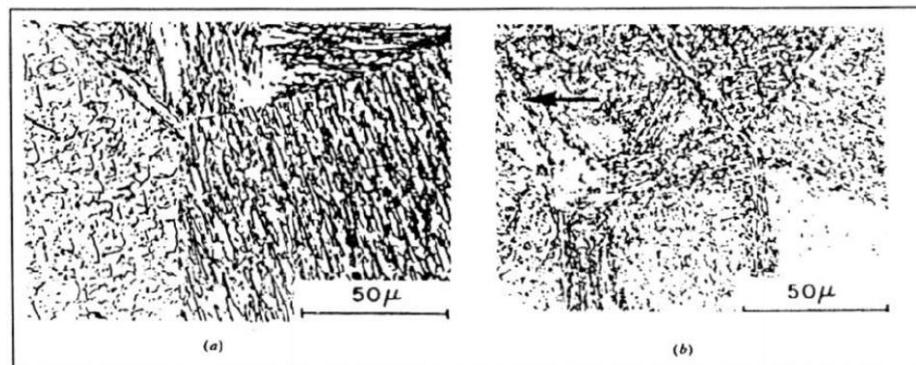
d. Austenit

Austenit adalah campuran besi dan karbon yang terbentuk pada pembekuan, pada proses pendinginan selanjutnya austenit berubah menjadi ferit dan perlit atau

perlit dan sementit. Sifat austenit adalah lunak, lentur dengan ketelitian tinggi. Kadar karbon maksimum sebesar 2,14%. Pada temperatur 1184°C, struktur kristalnya FCC (*Face Center Cubic*) (Ningrum, 2013).

e. Martensit

Martensit merupakan fasa diantara ferit dan sementit bercampur, tetapi bukan lamellar, melainkan jarum-jarum sementit. Fasa ini terbentuk austenit meta stabil didinginkan dengan laju pendinginan cepat tertentu. Terjadinya hanya presipitasi Fe<sub>3</sub>C unsur paduan lainnya tetapi larut transformasi isothermal pada 260°C untuk membentuk dispersi karbida yang halus dan matriks ferit (Ningrum, 2013).

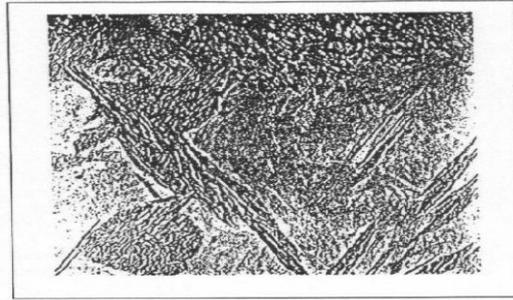


Gambar 2.10 Morfologi Martensit : (a) Martensit Bilah (b) Martensit Pelat  
(Sumber : Erland, 2014)

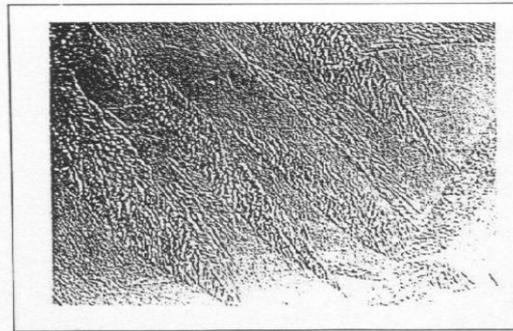
f. Bainit

Bainit merupakan fasa yang kurang stabil yang diperoleh dari austenit pada temperatur yang lebih rendah dari temperatur transformasi ke perlit dan lebih tinggi dari transformasi ke martensit.

Menurut Erland (2014), bainit adalah struktur mikro hasil dari reaksi eutektoid non lamellar sedangkan perlit dihasilkan dari reaksi eutektoid lamellar. Bainit merupakan struktur mikro yang merupakan campuran fasa ferit dan *cementite* (Fe<sub>3</sub>C). Pada suhu 350-550 °C akan terbentuk bainit atas (*upper bainit*) sedangkan pada 250-350 °C akan terbentuk bainit bawah (*lower bainit*).



Gambar 2.11 Bainit Atas  
(Sumber : Erland, 2014)



Gambar 2.12 Bainit Bawah  
(Sumber : Erland, 2014)

## 2.4. Baja DIN 17-100

DIN 17-100 mengatur jenis baja karbon untuk keperluan pembuatan komponen mesin yang distandarkan menurut kekuatan tarik. Salah satunya adalah jenis baja St 37, dimana baja ini mempunyai kekuatan tarik minimal 37 Kg/mm<sup>2</sup> dan maksimal 45 Kg/mm<sup>2</sup>. Sedangkan kandungan karbon yang dimilikinya sebesar 0,16 % berat. Data ini diambilkan dari tabel baja-baja konstruksi menurut ONORM M3111 sebagai berikut

Tabel 2.1 Baja Konstruksi

Sebutan	DIN	$\sigma H$	$\sigma_s$			$\emptyset$
ONORM	17-100	Kg/mm <sup>2</sup>	Kg/mm <sup>2</sup>	C %	$\delta_s$ %	pena
St 00 M	-	Sampai 50	-	0,12	30.....26	4a
St 34 M	St 34-2	34 – 42	19	0,12	30 .....26	0,5 a
St 37 M	St 37-2	37 – 45	21	0,16	26 .....23	a
St 42 M	St 42-2	42 – 50	23	0,25	25.....22	a
St 50 M	St 50 -2	50 -60	27	0`36	22 .....19	-

(Sumber : Schonmetz dkk,1985 )

Jenis material baja juga ditentukan oleh jumlah kandungan karbon yang terdapat didalamnya. Oleh sebab itu sebutan lainnya dikenal juga sebagai baja karbon. Klasifikasi untuk mengelompokkan jenis baja menurut jumlah kandungan karbon (Kuswanto, 2010)

Baja St 37 dengan kandungan karbon 0,16 % termasuk kedalam kelompok baja karbon rendah (*Low-Carbon Steel*). Kelompok baja ini masih mungkin untuk ditambah kandungan karbonnya, agar meningkat kemampuannya untuk bisa dikeraskan. Mengingat penggunaannya yang cukup luas untuk banyak komponen konstruksi mesin, termasuk kemungkinan sebagai material dasar komponen yang membutuhkan sifat keras dipermukaannya. Pengukuran kekerasan permukaan baja pada umumnya menggunakan metode *Brinell, Vickers dan Rockwell* (Kuswanto, 2010).

## 2.5. Batubara

Batu bara adalah salah satu bahan bakar fosil. Pengertian umumnya adalah batuan sedimen yang dapat terbakar, terbentuk dari endapan organik, utamanya adalah sisa-sisa tumbuhan dan terbentuk melalui proses pembatubaraan. Unsur-unsur utamanya terdiri dari karbon, hidrogen dan oksigen (Badawi, 2012).

Batu bara juga adalah batuan organik yang memiliki sifat-sifat fisika dan kimia yang kompleks yang dapat ditemui dalam berbagai bentuk. Analisis unsur memberikan rumus formula empiris seperti  $C_{137}H_{97}O_{9}NS$  untuk bituminus dan  $C_{240}H_{90}O_{4}NS$  untuk antrasit. (Badawi, 2012).

### 2.5.1. Kelas dan jenis batubara

Berdasarkan tingkat proses pembentukannya yang dikontrol oleh tekanan, panas dan waktu, batu bara umumnya dibagi dalam lima kelas: antrasit, bituminus, sub-bituminus, lignit dan gambut (Badawi, 2012).

1. Antrasit adalah kelas batu bara tertinggi, dengan warna hitam berkilauan (*luster*) metalik, mengandung antara 86% - 98% unsur karbon (C) dengan kadar air kurang dari 8%.
2. Bituminus mengandung 68 - 86% unsur karbon (C) dan berkadar air 8-10% dari beratnya. Kelas batu bara yang paling banyak ditambang di Australia.
3. Sub-bituminus mengandung sedikit karbon dan banyak air, dan oleh karenanya menjadi sumber panas yang kurang efisien dibandingkan dengan bituminus.
4. Lignit atau batu bara coklat adalah batu bara yang sangat lunak yang mengandung air 35-75% dari beratnya.
5. Gambut, berpori dan memiliki kadar air di atas 75% serta nilai kalori yang paling rendah.



Gambar 2.13. Jenis-jenis Batubara  
(Sumber : SMIAGIUNDIP, 2014)

## 2.6. Karburasi

Pada beberapa komponen elemen mesin seperti poros atau roda gigi, kadang diperlukan sifat yang keras dan tahan aus pada permukaannya, sedangkan pada inti atau bagian dalam tetap dalam keadaan lunak dan ulet. Hal ini akan berdampak pada ketahanan benda terhadap keausan dan keuletan yang sesuai dengan kebutuhan.

Karburasi adalah proses dimana benda akan dikeraskan pada kulitnya dengan cara penambahan karbon ke permukaan benda, karburising dilakukan dengan cara memanaskan benda kerja dalam lingkungan yang banyak mengandung karbon aktif, sehingga karbon berdifusi masuk ke permukaan baja (Suherman, 1998).

Pada temperatur karburasi, media karbon terurai menjadi CO yang selanjutnya terurai menjadi karbon aktif yang dapat berdifusi masuk ke dalam baja dan menaikkan kadar karbon pada permukaan kulit baja.

Pada proses perlakuan panas, termasuk karburasi selalu mengacu pada diagram fase yang berdasarkan pada karbon dari baja. Baja pada dasarnya adalah paduan besi dan karbon (Fe-C), besi dan karbon selain dapat membentuk larutan padat juga dapat membentuk senyawa karbid besi (sementit, Fe<sub>3</sub>C). Kita ketahui bahwa karbon memiliki sifat keras tapi getas, sedangkan besi mempunyai sifat ulet.

### **2.6.1. Jenis-jenis Karburasi**

Proses karburasi pada baja dilakukan menggunakan tiga cara yaitu: proses solid atau *pack carburizing*, proses *liquid carburizing* dan proses *gas carburizing*.

#### **1. Karburasi padat (*Pack Carburizing*)**

Karburasi padat adalah proses karburisasi atau penambahan karbon pada permukaan benda kerja dengan menggunakan karbon yang didapat dari bubuk arang. Bahan karburasi ini biasanya adalah arang tempurung kelapa, arang kokas, arang kayu, arang kulit atau arang tulang.

Benda kerja yang akan dikarburasi dimasukkan ke dalam kotak karburisasi yang sebelumnya sudah diisi media karburisasi. Selanjutnya benda kerja ditimbuni dengan bahan karburisasi dan benda kerja lain diletakkan di atasnya demikian selanjutnya (Suherman, 1998).

Kandungan karbon dari setiap jenis arang adalah berbeda-beda. Semakin tinggi kandungan karbon dalam arang, maka penetrasi karbon ke permukaan baja akan semakin baik pula.

Bahan karbonat ditambahkan pada arang untuk mempercepat proses karburisasi. Bahan tersebut adalah kalsium karbonat (CaCO<sub>3</sub>), barium karbonat (BaCO<sub>3</sub>) dan soda abu (NaCO<sub>3</sub>) yang ditambahkan bersama-sama dalam 10 – 40 % dari berat arang.

Sebenarnya tanpa energiser pun dapat terjadi karburisasi, karena temperatur yang tinggi ini mula-mula karbon teroksidasi oleh oksigen dari udara yang terperangkap dalam kotak menjadi CO<sub>2</sub> (Suherman, 1998).

Reaksi yang terjadi adalah



Dengan temperatur yang semakin tinggi kesetimbangan reaksi semakin cenderung ke kanan makin banyak CO.



Dimana C yang terbentuk ini merupakan atom karbon (carbon nascent) yang aktif berdifusi masuk ke dalam fase austenit dari baja ketika baja dipanaskan. Besarnya kadar karbon yang terlarut dalam baja pada saat baja dalam larutan pada gamma fase austenit selama karburisasi adalah maksimal 2 %. Kotak karburisasi yang dipanaskan harus dalam keadaan tertutup rapat, hal ini bertujuan untuk mencegah terjadinya reaksi antara media karburisasi dengan udara luar. Cara yang biasanya ditempuh untuk menghindari hal tadi adalah dengan memberikan lapisan tanah liat (*clay*) antara tutup dengan kotak karburisasi.

Menurut Suherman (1998), bahwa “kotak karburisasi dipanaskan dalam dapur sampai temperatur 825 – 925°C dengan segera permukaan benda kerja akan menyerap karbon sehingga dipermukaan akan terbentuk lapisan berkadar karbon tinggi sampai 1,2 %”. Dan menurut Amstead (1979) bahwa “proses karburisasi padat banyak diterapkan untuk memperoleh lapisan yang tebal antara 0,75 – 4 mm”.

## 2. Karburasi cair (*Liquid Carburizing*)

Karburasi proses cair adalah proses pengerasan baja dengan cara mencelupkan baja yang telah ditempatkan pada keranjang kawat ke dalam campuran garam cianida, kalsium cianida (KCN), atau natrium cianida (NaCN). Dengan pemanasan akan terjadi reaksi-reaksi:



Pada proses karburisasi ini selain terserapnya karbon, nitrogen juga ikut terserap. Bahwa karburisasi cair hampir sama dengan *cyaniding*, yang menyerap nitrogen dan karbon. Bedanya terletak pada tingkat perbandingan banyaknya

karbon dan nitrogen yang terserap. Pada karburisasi cair penyerapan karbon lebih dominan. Banyaknya karbon dan nitrogen yang terserap ini tergantung pada kadar *cianida* dalam *salt bath* dan temperatur kerjanya. *Salt bath* untuk karburisasi cair biasanya mengandung 40 – 50 % garam sianida. Temperatur yang digunakan adalah 900°C selama 5 menit, kedalaman penetrasi karbon yang dicapai antara 0,1 – 0.25 mm dari permukaan baja.

Kadar karbon yang dikarburisasi akan naik dengan semakin tingginya temperatur dan makin lamanya waktu karburisasi. Bila kadar karbon dipermukaan terlalu tinggi maka kekerasan tidak begitu tinggi, karena itu baja yang akan di *quenching* langsung setelah pemanasan untuk karburisasi hendaknya dipakai temperatur yang tidak begitu tinggi (Suherman, 1998).

Selama pemakaian konsentrasi sianida dalam *salt bath* dapat berubah sehingga tentu saja sifat *salt bath* dapat berubah, karena itu kondisi salt bath harus secara rutin diperiksa. Apabila terdapat perubahan yang berarti, harus dilakukan penambahan garam baru untuk menjaga konsentrasi tetap sebagaimana semula.

Semua sianida adalah senyawa yang sangat beracun, karena itu pemakaiannya harus sangat hati-hati. Demikian pula pada saat membuang sisa-sisa cairan yang akan terkena garam sianida tersebut harus benar-benar mengikuti petunjuk dari pihak berwenang (Suherman, 1998).

### 3. Karburasi Gas (*Gas Carburizing*)

Proses pengerasan ini dilakukan dengan cara memanaskan baja dalam dapur dengan atmosfer yang banyak mengandung gas CO dan gas hidro karbon yang mudah berdifusi pada temperatur karburisasi 900°C – 950°C selama 3 jam.

Gas-gas pada temperatur karburisasi itu akan bereaksi menghasilkan karbon aktif yang nantinya berdifusi ke dalam permukaan baja.

Pada proses ini lapisan *hypereutectoid* yang menghalangi pemasukan karbon dapat dihilangkan dengan memberikan *diffusion period*, yaitu dengan menghentikan pengaliran gas tetapi tetap mempertahankan temperatur pemanasan. Dengan demikian karbon akan berdifusi lebih ke dalam dan kadar karbon pada permukaan akan semakin naik.

Karburasi dalam media gas lebih menguntungkan dibanding dengan karburasi jenis lain karena permukaan benda kerja tetap bersih, hasil lebih banyak dan

kandungan karbon pada lapisan permukaan dalam dikontrol lebih teliti. Menurut B.H Amstead (1979: 153) mengatakan bahwa “proses karburisasi media gas digunakan untuk memperoleh lapisan tipis antara 0,1 – 0,75 mm”.

## **2.7. Perlakuan panas**

Proses perlakuan panas pada umumnya untuk memodifikasi struktur mikro baja sehingga meningkatkan sifat mekanik, salah satunya yaitu kekerasan (Ningrum, 2013).

Perlakuan panas (heat treatment) adalah suatu proses mengubah sifat mekanis logam dengan cara mengubah struktur mikro melalui proses pemanasan dan pengaturan kecepatan pendinginan dengan atau tanpa mengubah komposisi kimia (Ningrum, 2013).

Ada berbagai perlakuan panas yang biasa digunakan pada proses pengolahan baja. Perlakuan panas yang paling sering digunakan adalah *annealing*, *quenching*, dan *tempering*. *Annealing* adalah perlakuan panas terhadap baja yang dilakukan dengan memanaskan baja hingga temperatur cukup tinggi untuk membuat baja lunak. Proses ini terjadi dalam tiga tahapan, pemulihan, rekristalisasi, dan penumbuhan butir. Temperatur yang dibutuhkan untuk annealing bergantung pada jenis annealing dan kandungan elemen campuran dalam baja.

*Quenching* dan *tempering* awalnya melibatkan pemanasan baja hingga fasanya berubah menjadi austenit lalu dilakukan pendinginan menggunakan media pendingin oli atau air. Penurunan temperatur yang tiba-tiba menghasilkan struktur martensit yang keras dan getas. Baja lalu diproses melalui proses *tempering* yang merupakan salah satu jenis dari *annealing*. Pada proses ini sebagian dari struktur martensit akan berubah menjadi sementit, atau spheroidite untuk mengurangi tegangan internal dan cacat dalam baja, sehingga baja lebih ulet dan lebih tahan terhadap keretakan.

## **2.8. Quenching**

*Quenching* adalah proses perlakuan panas dimana prosesnya dilakukan dengan pendinginan yang relatif cepat dari temperatur austenisasi (umumnya pada jarak temperatur 815°C – 870°C) pada baja. Keberhasilan proses *quenching* ditentukan oleh media *quenching* (*quenchant medium*) yang digunakan. Untuk menentukan media *quenching*, sangat bergantung pada mampu keras (*hardenability*) dari logam,

ketebalan dan bentuk dari benda uji yang akan quenching. Serta struktur mikro yang diinginkan dari hasil proses *quenching*. Adapun media *quenching* yang sering digunakan adalah media cair (*liquid*) dan gas. Media *quenching* cair adalah oli, air, larutan polimer (*aqueous polymer solution*), Larutan garam. Sedangkan media *quenching* gas adalah helium, argon, dan nitrogen (ASM International, 2005).

Tujuan dari proses quenching secara umum pada baja (baja carbon, low alloy steel, dan tool steel) adalah untuk proses hardening, yaitu menghasilkan struktur mikro martensit pada baja tersebut. Proses hardening yang baik adalah bila mendapatkan harga kekerasan, kekuatan, dan toughness yang besar tetapi dengan residual stress, distorsi, dan cracking yang minimal. Pada stainless steel dan high alloy steels tujuan proses quenching adalah untuk meminimalisasi keberadaan batas butir karbida atau untuk meningkatkan distribusi ferit (ASM International, 2005).

Berikut beberapa media pendingin yang paling umum digunakan dalam proses *quenching* (Alfani, 2016) :

a. Air

Air adalah senyawa kimia dengan rumus kimia  $H_2O$ . Artinya satu molekul air tersusun atas dua atom hidrogen terikat secara kovalen pada satu atom oksigen. Air memiliki sifat tidak berwarna, tidak terasa dan tidak berbau.

Air memiliki titik beku  $0\text{ }^{\circ}C$  dan titik didih  $100\text{ }^{\circ}C$ . Air memiliki koefisien viskositas sebesar  $0,001\text{ Pa}\cdot s$  pada temperatur  $20\text{ }^{\circ}C$ . Pendinginan menggunakan air akan memberikan daya pendinginan yang cepat dibandingkan dengan oli (minyak) karena air dapat dengan mudah menyerap panas yang dilewatinya dan panas yang terserap akan cepat menjadi dingin.

Kemampuan panas yang dimiliki air besarnya 10 kali dari minyak. Sehingga akan dihasilkan kekerasan dan kekuatan yang baik pada baja. Pendinginan menggunakan air menyebabkan tegangan dalam, distorsi dan retak.

b. Minyak

Minyak yang digunakan sebagai fluida pendingin dalam perlakuan panas adalah yang dapat memberikan lapisan karbon pada kulit (permukaan) benda kerja yang diolah. Selain minyak yang khusus digunakan sebagai bahan pendinginan pada proses perlakuan panas, dapat juga digunakan minyak bakar atau oli. Viskositas oli dan bahan dasar oli sangat berpengaruh dalam proses pendinginan

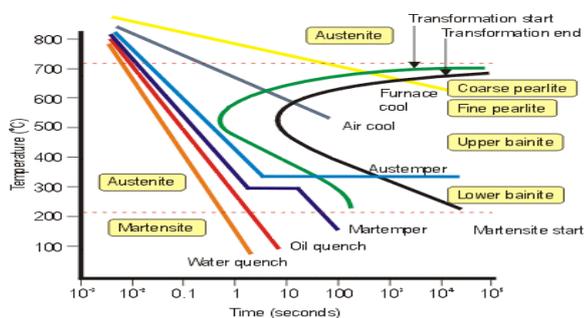
sampel. Oli yang mempunyai viskositas lebih rendah memiliki kemampuan penyerapan panas lebih baik dibandingkan dengan oli yang mempunyai viskositas lebih tinggi karena penyerapan panas akan lebih lambat. Untuk oli mesin SAE 10 pada temperatur  $30^{\circ}\text{C}$  memiliki koefisien viskositas  $200 \times 10^{-3} \text{ Pa.s}$ .

#### c. Udara

Pendinginan udara dilakukan untuk perlakuan panas yang membutuhkan pendinginan lambat. Untuk keperluan tersebut udara yang disirkulasikan ke dalam ruangan pendinginan dibuat dengan kecepatan yang rendah. Udara sebagai pendingin akan memberikan kesempatan kepada logam untuk membentuk kristal-kristal dan kemungkinan mengikat unsur-unsur lain dari udara. Udara memiliki titik didih  $-194^{\circ}\text{C}$  dan nilai koefisien viskositasnya  $0,018 \times 10^{-3} \text{ Pa.s}$ .

#### d. Garam

Garam dipakai sebagai bahan pendinginan disebabkan memiliki sifat mendinginkan teratur dan cepat. Bahan yang didinginkan di dalam cairan garam yang akan mengakibatkan ikatannya menjadi lebih keras karena pada permukaan benda kerja tersebut akan mengikat zat arang



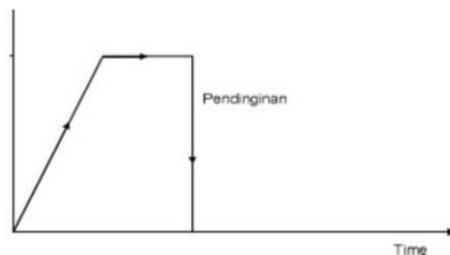
Gambar 2.14 Diagram *Quenching*

(Sumber : Hendro, 2011)

Proses pengerasan (*quenching*) dapat dilakukan dengan 3 cara yaitu :

#### 1. Pendinginan langsung (*Direct Quenching*)

Pendinginan secara langsung dari media karburasi Efek yang timbul adalah kemungkinan adanya pengelupasan pada benda kerja Pada pendinginan langsung ini diperoleh permukaan benda kerja yang getas.



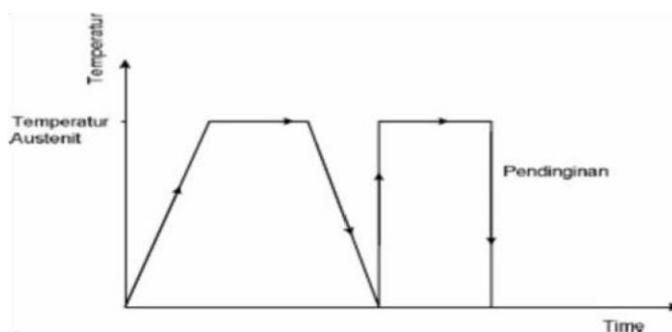
Gambar 2.15 Pendinginan Langsung

(Sumber: Alfani, 2016)

Gambar 2.15 merupakan pendinginan secara langsung dimana material yang telah diberikan perlakuan panas atau *heat treatment* langsung dimasukkan ke dalam pendingin dimana media yang digunakan untuk pendinginannya adalah air (Alfani, 2016).

#### 1. Pendinginan Tunggal (*Single Quenching*)

*Single quenching* merupakan pendinginan benda kerja setelah benda kerja tersebut di karburasi dan telah didinginkan pada suhu kamar.



Gambar 2.16 Pendinginan Tunggal (*Single Quenching*)

(Sumber: Alfani, 2016)

Tujuan dari metode ini adalah untuk memperbaiki difusivitas dari atom-atom karbon, dan agar gradien komposisi lebih halus (Alfani, 2016).

#### 2. *Double Quenching*

*Double quenching* adalah proses pendinginan atau pengerasan pada benda kerja yang telah di karburasi dan didinginkan pada temperatur kamar kemudian dipanaskan lagi di luar kotak karbon pada temperatur kamar lalu dipanaskan (Alfani, 2016).

## 2.9. Pengujian Sifat Mekanis

Sifat mekanik suatu bahan adalah kemampuan bahan untuk menahan beban-beban yang dikenakan kepadanya. Dimana beban-beban tersebut dapat berupa

beban tarik, tekan, bengkok, geser, puntir, atau beban kombinasi (Iqbal, 2013). Beberapa sifat mekanis logam antara lain:

1. Kekuatan (*strength*)

Menyatakan kemampuan bahan untuk menerima tegangan tanpa menyebabkan bahan tersebut menjadi patah.

2. Kekerasan (*hardness*)

Dapat didefinisikan sebagai kemampuan bahan untuk tahan terhadap goresan, pengikisan (abrasi), penetrasi. Sifat ini berkaitan erat dengan sifat keausan (*wear resistance*).

3. Kekenyalan (*elasticity*)

Menyatakan kemampuan bahan untuk menerima tegangan tanpa mengakibatkan terjadinya perubahan bentuk yang permanen setelah tegangan dihilangkan.

4. Kekakuan (*stiffness*)

Menyatakan kemampuan bahan untuk menerima tegangan/beban tanpa mengakibatkan terjadinya perubahan bentuk (deformasi) atau defleksi.

5. Plastisitas (*plasticity*)

Menyatakan kemampuan bahan untuk mengalami sejumlah deformasi plastis (yang permanen) tanpa mengakibatkan terjadinya kerusakan. Sifat ini sangat diperlukan bagi bahan yang akan diproses dengan berbagai proses pembentukan seperti, *forging*, *rolling*, *extruding* dan sebagainya. Sifat ini sering juga disebut sebagai keuletan atau kekenyalan (*ductility*). Bahan yang mampu mengalami deformasi plastis yang cukup tinggi dikatakan sebagai bahan yang mempunyai keuletan atau kekenyalan tinggi, dimana bahan tersebut dikatakan ulet atau kenyal (*ductile*).

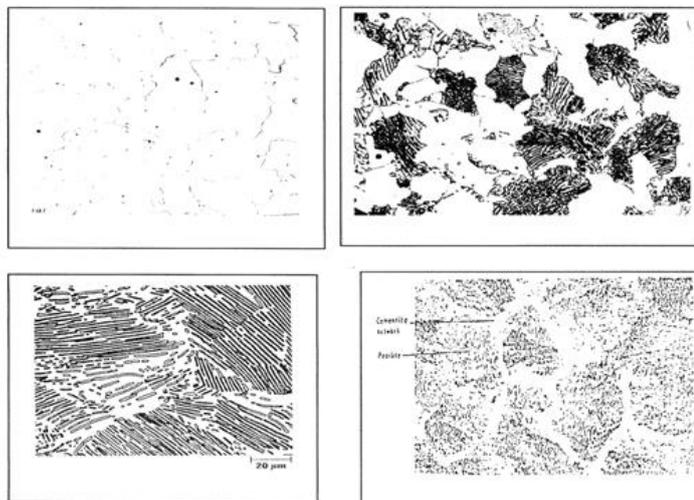
### 2.9.1. Jenis-jenis Pengujian Sifat Mekanis

Berikut ini adalah beberapa pengujian sifat mekanis yang akan dilakukan pada penelitian kali ini :

1. Pengujian Komposisi bahan

Proses pengujian komposisi kimia berlangsung dengan pembakaran bahan. Menggunakan elektroda dimana terjadi suhu rekristalisasi, dari suhu rekristalisasi terjadi penguraian unsur yang masing-masing beda warnanya. Penentuan kadar

berdasar sensor.perbedaan warna. Proses pembakaran elektroda ini tidak lebih dari tiga detik. Pengujian komposisi dapat dilakukan untuk menentukan jenis bahan yang digunakan dengan melihat persentase unsur yang ada (Marpaung, 2015).



Gambar 2.15 Contoh Uji Komposisi Bahan

(Sumber : Marpaung, 2015)

Uji komposisi merupakan pengujian yang berfungsi untuk mengetahui seberapa besar atau seberapa banyak jumlah suatu kandungan yang terdapat pada suatu logam, baik logam ferro maupun logam non ferro. Uji komposisi biasanya dilakukan ditempat pabrik-pabrik atau perusahaan logam yang jumlah produksinya besar, ataupun juga terdapat di Institut pendidikan yang khusus mempelajari tentang logam (Marpaung, 2015)

ada tiga bagian utama proses pengujian komposisi yaitu (Marpaung, 2015).

- a. Furnace berisi logam cair yang dilebur dari beberapa raw material.
  - b. Standar material yang menentukan kandungan komposisi masing masing unsur yang ditetapkan.
  - c. Proses pengujian komposisi yang menggunakan CE meter dan Spectrometer.
2. Pengujian Kekerasan dengan metode *Rockwell*.

Uji kekerasan Rockwell paling banyak digunakan di Amerika Serikat. Hal ini dikarenakan sifat-sifatnya yaitu cepat dan bebas dari kesalahan manusia, mampu untuk membedakan perbedaan kekerasan yang kecil pada baja yang diperkeras dan ukuran lekukannya kecil, sehingga bagian yang mendapat perlakuan panas yang lengkap dapat diuji kekerasannya tanpa menimbulkan kerusakan. Uji ini

menggunakan kedalaman lekukan pada beban yang konstan sebagai ukuran kekerasan. Mula-mula diterapkan beban kecil (beban minor) sebesar 10 kg untuk menempatkan benda uji. Kemudian diterapkan beban yang besar (beban mayor), dan secara otomatis kedalaman lekukan akan terekam oleh gage penunjuk yang menyatakan angka kekerasan. Untuk indentornya biasanya digunakan penumbuk berupa kerucut intan  $120^\circ$  dengan puncak yang hampir bulat dan dinamakan *penumbuk Brale*, serta bola baja berdiameter  $\frac{1}{16}$  inchi dan  $\frac{1}{8}$  inchi. Beban besar yang digunakan adalah 60, 100 dan 150 kg (Nugroho, 2010).

### 3. Pengujian Metalografi

Metalografi adalah ilmu yang mempelajari tentang cara pemeriksaan logam untuk mengetahui sifat, struktur, temperatur, dan persentase campuran logam tersebut (Agustina, 2013). Dalam proses pengujian metalografi, pengujian logam dibagi lagi menjadi dua jenis, yaitu :

#### a. Pengujian makro (*Macroscopic Test*)

Pengujian makro ialah proses pengujian bahan yang menggunakan mata terbuka dengan tujuan dapat memeriksa celah dan lubang dalam permukaan bahan. Angka kevalidan pengujian makro berkisar antara 0,5 hingga 50 kali.

#### b. Pengujian mikro (*Microscopic Test*)

Pengujian mikro ialah proses pengujian terhadap bahan logam yang bentuk kristal logamnya tergolong sangat halus. Sedemikian halusnya sehingga pengujiannya memerlukan kaca pembesar lensa mikroskop yang memiliki kualitas perbesaran antara 50 hingga 3000 kali.