

# **PENGARUH PROSES PERLAKUAN PANAS PADA BAJA NS 1045 TERHADAP SIFAT MEKANIS DAN STRUKTUR MIKRO**

**TUGAS AKHIR**

**Diajukan Untuk Memenuhi Persyaratan Ujian Sarjana**

Oleh :

**MAHENDRA PRAYOGI**

**08.813.0019**



**PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN  
FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS MEDAN AREA  
MEDAN**

UNIVERSITAS MEDAN AREA

© Hak Cipta Di Lindungi Undang-Undang

**2010**

Document Accepted 7/12/23

1. Dilarang Mengutip sebagian atau seluruh dokumen ini tanpa mencantumkan sumber
  2. Pengutipan hanya untuk keperluan pendidikan, penelitian dan penulisan karya ilmiah
  3. Dilarang memperbanyak sebagian atau seluruh karya ini dalam bentuk apapun tanpa izin Universitas Medan Area
- Access From (repository.uma.ac.id)7/12/23

# PENGARUH PROSES PERLAKUAN PANAS PADA BAJA NS 1045 TERHADAP SIFAT MEKANIS DAN STRUKTUR MIKRO

TUGAS AKHIR

Diajukan Untuk Memenuhi Persyaratan Ujian Sarjana

Oleh :

MAHENDRA PRAYOGI

08.813.0019

Disetujui :

Pembimbing I

Pembimbing II

(Ir. H. Amru Siregar, MT)

(Ir. H. Amirsyam Nst., MT.)

Mengetahui :

Dekan

Ka. Program Studi

(Ir. H. Haniza, MT )

(Ir. H. Amru Siregar, MT)

Tanggal Lulus :  
UNIVERSITAS MEDAN AREA

© Hak Cipta Di Lindungi Undang-Undang

Document Accepted 7/12/23

1. Dilarang Mengutip sebagian atau seluruh dokumen ini tanpa mencantumkan sumber
2. Pengutipan hanya untuk keperluan pendidikan, penelitian dan penulisan karya ilmiah
3. Dilarang memperbanyak sebagian atau seluruh karya ini dalam bentuk apapun tanpa izin Universitas Medan Area  
Access From (repository.uma.ac.id)7/12/23

## ABSTRAK

Pada penelitian ini, proses perlakuan panas yang dilakukan adalah meliputi Annealing, Normalizing, Quenching dan Tempering 400 dan bahan uji atau spesimen yang digunakan adalah baja NS 1045. Pengujian yang dilakukan adalah Uji tarik, Kekerasan dan Struktur Mikro. Hasil pengujian yang didapat ialah kekuatan tarik tertinggi dihasilkan pada proses Tempering dengan nilai 119,53 kg/mm<sup>2</sup>. Perlakuan panas secara Quenching mempunyai tingkat kekerasan yang paling tinggi dengan nilai HV 715,73 kg/mm<sup>2</sup> dan namun untuk Perlakuan panas secara Quenching dan Tempering 400 tidak ada tercapainya kekenyalan atau kelelahan. Disisi lain perlakuan panas secara Annealing mempunyai persentase secara Elongasi yang paling besar.



## ABSTRACTION

In this study, heat treatment process is carried out covering Annealing, normalizing, Quenching and Tempering 400 and test or spesiment materials used are made of steel NS 1045. The testings cover tensile test, hardness and Micro structure. The result of testing of the tensile strength is obtained Tempering process resulting in the highest value of 119.53 kg/mm<sup>2</sup>. Heat treatment in Quenching have the highest levels of hardness with a value of HV 715.73 and yet to heat treatment in Quenching and Tempering 400 there is no achievement of elasticity or fatigue. On the other hand Annealing heat treatment has a percentage elongation of the greatest.



## DAFTAR ISI

### LEMBAR PENGESAHAN

### ABSTRAK

### KATA PENGANTAR..... i

### DAFTAR ISI..... iii

### DAFTAR GAMBAR..... v

### Bab I. Pendahuluan

#### 1.1. Latar Belakang ..... 1

#### 1.2. Batasan Masalah..... 3

#### 1.3. Tujuan penelitian..... 3

#### 1.4. Manfaat Penelitian..... 3

#### 1.5. Sistematika Penulisan..... 4

### Bab II. Tinjauan Pustaka

#### Sejarah Baja..... 5

#### 2.1. Baja..... 10

#### 2.2. Baja Karbon..... 11

#### 2.3. Proses Perlakuan Panas Pada Baja..... 17

#### 2.4. Uji Kekerasan..... 27

#### 2.5. Uji Kekuatan Tarik (*Tensile Test*) ..... 36

#### 2.6. Uji Struktur Mikro Logam..... 41

### Bab III. Metodologi Penelitian

#### Diagram Alir Penelitian..... 45

UNIVERSITAS MEDAN AREA

#### 3.1. Alat dan Bahan..... 46

© Hak Cipta Di Lindungi Undang-Undang

Document Accepted 7/12/23

1. Dilarang Mengutip sebagian atau seluruh dokumen ini tanpa mencantumkan sumber

2. Pengutipan hanya untuk keperluan pendidikan, penelitian dan penulisan karya ilmiah

3. Dilarang memperbanyak sebagian atau seluruh karya ini dalam bentuk apapun tanpa izin Universitas Medan Area (repository.uma.ac.id)7/12/23

3.2. Cara Kerja..... 48

**Bab IV. Data dan Analisa Hasil Penelitian**

4.1. Kekuatan Tarik ( Tensile Test ) ..... 53

4.2. Struktur Mikro..... 56

4.3. Kekerasan Vickers dan Rockwel..... 61

**Bab V. Kesimpulan ..... 64**

**DAFTAR PUSTAKA**



# BAB I

## PENDAHULUAN

### I.1.Latar Belakang

Dengan semakin berkembangnya teknologi industri saat ini, tidak bias mengesampingkan pentingnya penggunaan logam sebagai komponen utama produksi suatu barang, mulai dari kebutuhan yang paling sederhana seperti alat-alat rumah tangga hingga konstruksi bangunan dan konstruksi permesinan. Hal ini menyebabkan pemakaian bahan-bahan logam seperti besi cor, baja, alumunium dan lainnya menjadi semakin meningkat. Sehingga dapat dikatakan tanpa pemanfaatan logam, kemajuan peradaban manusia tidak mungkin terjadi. Dengan kemampuan akal nya, manusia mampu memanfaatkan logam sebagai alat bantu kehidupannya yang sangat vital. Berbagai macam konstruksi mesin, bangunan dan lainnya dapat tercipta dengan adanya logam.

Pemakaian baja dalam kehidupan mensyaratkan faktor keuletan, kekerasan, tahan aus dan sebagainya. Peningkatan kualitas baja ini dapat dilakukan dengan penambahan unsur paduan atau dengan perlakuan panas. Perlakuan panas (*heat treatment*) pada baja mempunyai peran yang sangat penting dalam upaya mendapatkan sifat-sifat tertentu yang diinginkan sesuai dengan kebutuhan. Proses ini meliputi pemanasan baja pada suhu tertentu dan dipertahankan pada media tertentu pula. Perlakuan panas mempunyai tujuan untuk meningkatkan keuletan, menghilangkan tegangan internal (*internal*

tegangan tarik logam. Beberapa factor yang dapat mempengaruhi perlakuan panas, yaitu suhu pemanasan, waktu yang diperlukan pada suhu pemanasan, laju pendinginan dan lingkungan atmosfer.

Menurut Heri Yudiono bahwa semakin tinggi suhu pemanasan pada proses tempering kekuatan tarik dan kekerasan semakin menurun, sebaliknya keuletannya meningkat sehingga disesuaikan dengan keperluan. Disisi lain menurut Bintang Adjiantoro bahwa Semakin rendah suhu austemper, semakin halus ukuran struktur bainit dengan kerapatannya yang tinggi. Nilai kekuatan dan kekerasan dari struktur bainit ini semakin tinggi yang diikuti dengan tingkat kegetasan yang semakin tinggi pula. Sebaliknya semakin tinggi suhu austemper, Nilai kekuatan dan kekerasan dari struktur bainit ini semakin rendah namun keuletannya cenderung meningkat. Dan menurut Fox (1999), bahwa fatigue crack growth rate (FCGR) pada material Ti 24 yang diuji pada temperatur 723°C di dalam argon lebih tinggi dibandingkan dengan didalam temperetur ruang. Baja yang telah dikeraskan (*quench*) bersifat rapuh dan tidak cocok untuk digunakan, akibat pengejukan akan menjadi sangat keras (sekeras gelas) dan getas. Melalui proses *tempering* kekerasan dan kerapuhan dapat diturunkan sampai memenuhi persyaratan penggunaan karena beban yang kecil saja akan mengakibatkan pecah. Proses ini bertujuan untuk mendapatkan baja yang keras dan ulet atau tercapainya keuletan setinggi-tingginya pada kekerasan yang memadai, sebab sebagian kekerasan baja akan berkurang oleh proses pemanasan, contohnya pada pahat, palu, mata bor, tap dan sebagainya.



## I.2. Batasan Masalah

Mengingat sangat kompleknya permasalahan dalam proses Perlakuan Panas dan juga agar pembahasan lebih jelas dan tidak terjebak dalam pembahasan yang tidak perlu maka disini penulis membatasi masalah agar pembahasannya lebih terfokus.

Adapun batasan-batasan masalah tersebut adalah :

1. Bahan yang di pakai. Dalam penelitian ini dipakai bahan logam baja karbon sedang (*Medium-carbon steel*) 0,45% ( NS 1045 )
2. Perlakuan Panas yang dilakukan adalah Anealing, Normalizing, Quenching dan Tempering 400
3. Pengujian yang dilakukan : Uji Tarik, Uji Kekerasan dan Uji Struktur Mikro
4. Membandingkan Sifat mekanis Bahan Spesimen yang telah diberi Perlakuan Panas melalui pengujian seperti dijelaskan diatas

## I.3. Tujuan Penelitian

1. Mengetahui pengaruh proses Perlakuan Panas terhadap Sifat Mekanisnya
2. Mengetahui Struktur Mikro dari bahan akibat pengaruh Perlakuan Panas

## I.4. Manfaat Penelitian

Penelitian ini ditinjau dari tujuannya mempunyai manfaat sebagai berikut:

1. Memperkaya pengetahuan dibidang Teknik Mesin dan ilmu-ilmu yang terkait khususnya dalam Bidang Material Teknik
2. Dapat dipakai sebagai bahan acuan untuk penelitian selanjutnya.

## **I.5.Sistematika**

Untuk memudahkan pemahaman pembaca, penulis membagi tugas akhir ini menjadi lima bab dan tiap-tiap bab terdiri dari sub-sub bab yang satu dengan yang lain saling berhubungan sehingga membentuk satu kesatuan topik pembahasan.

### **BAB I : PENDAHULUAN**

Yang meliputi : latar belakang, pembatasan masalah, tujuan penelitian, metodologi penelitian, dan sistematika penulisan

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

Yang meliputi : Tinjauan Pustaka, Dasar Teori, Metode-metode Perlakuan Panas, Metode Uji Kekerasan dan Proses penelitian Struktur Mikro

### **BAB III : METODOLOGI PENELITIAN**

Yang meliputi : Penyiapan Material, Pengujian Tarik, Pengujian Kekerasan dan Penelitian Struktur Mikro.

### **BAB IV : DATA DAN ANALISA HASIL PENELITIAN**

Yang meliputi : Data Pengujian Tarik, Data Pengujian Kekerasan, dan Data Penelitian Struktur Mikro.

### **BAB V : PENUTUP**

Yang meliputi : Kesimpulan dan Saran

## BAB II

### TINJAUAN PUSTAKA

#### 2.1 SEJARAH BAJA

Baja dan Besi sampai saat ini menduduki peringkat pertama logam yang paling banyak penggunaannya, besi dan baja mempunyai kandungan unsur utama yang sama yaitu Fe, hanya kadar karbon lah yang membedakan besi dan baja, penggunaan besi dan baja dewasa ini sangat luas mulai dari peralatan yang sepele seperti jarum, peniti sampai dengan alat – alat dan mesin berat.

Berikut ini adalah sedikit kilasan mengenai sejarah dan proses pembuatan baja :

- a. Besi ditemukan digunakan pertama kali pada sekitar 1500 SM
- b. Tahun 1100 SM, Bangsa hittites yang merahasiakan pembuatan tersebut selama 400 tahun dikuasai oleh bangsa asia barat, pada tahun tersebut proses peleburan besi mulai diketahui secara luas.
- c. Tahun 1000 SM, bangsa yunani, mesir, jews, roma, carhaginians dan asiria juga mempelajari peleburan dan menggunakan besi dalam kehidupannya.
- d. Tahun 800 SM, India berhasil membuat besi setelah di invansi oleh bangsa arya.
- e. Tahun 700 – 600 SM, Cina belajar membuat besi.
- f. Tahun 400 – 500 SM, baja sudah ditemukan penggunaannya di eropa.
- g. Tahun 250 SM bangsa India menemukan cara membuat baja
- h. Tahun 1000 M, baja dengan campuran unsur lain ditemukan pertama kali pada 1000 M pada kekaisaran fatim yang disebut dengan baja damascus.
- i. 1300 M, rahasia pembuatan baja damaskus hilang.
- j. 1700 M, baja kembali diteliti penggunaan dan pembuatannya di eropa.

Adapun jenis-jenis Bijih Besi antara lain :

1. Hematite -  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  - 70 % iron
2. Magnetite -  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  - 72 % iron
3. Limonite -  $\text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{H}_2\text{O}$  - 50 % to 66 % iron
4. Siderite -  $\text{FeCO}_3$  - 48 % iron

#### *Pemurnian Besi*

1. Prinsip dasar : Menghilangkan kandungan oksigen dalam bijih besi.
2. Cara tradisional : *blomery*, pada proses ini bijih besi dibakar dengan *charcoal*, dimana banyak mengandung carbon sehingga terjadi pengikatan oksigen, pembakaran tersebut menghasilkan karbondioksida dan karbon monoksida yang terlepas ke udara, sehingga besi murni didapat dan dikeluarkan dari dapur,kekurangnya tidak semua besi dapat melebur sehingga terbentuk spoge, spoge berisi besi dan silica.
3. Proses lebih modern adalah dengan blas furnace, blast furnace diisi oleh bijih besi, charcoal atau coke (coke adalah charcoal yang terbuat dari coal) dan limestone ( $\text{CaCO}_3$ ). Angin secara kencang dan kontinu ditiupkan dari bawah dapur. Hasil peluburan besi akan berada di bawah, cairan besi yang keluar ditampung dan disebut dengan *pig iron*.

#### PROSES PEMBUATAN BAJA

Baja diproduksi didalam dapur pengolahan baja dari besi kasar baik padat maupun cair, besi bekas ( Skrap ) dan beberapa paduan logam. Ada beberapa proses pembuatan baja antara lain :

1. proses konvertor

terdiri dari satu tabung yang berbentuk bulat lonjong dengan menghadap kesamping.

#### Sistem kerja

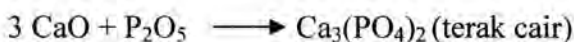
1. Dipanaskan dengan kokas sampai  $\pm 1500^{\circ}\text{C}$ ,
2. Dimiringkan untuk memasukkan bahan baku baja. ( $\pm 1/8$  dari volume konverter)  
Kembali ditegakkan.
3. Udara dengan tekanan 1,5 – 2 atm dihembuskan dari kompresor.
4. Setelah 20-25 menit konverter dijungkirkan untuk mengelaurkan hasilnya.

#### a. proses Bassemmer (asam)

lapisan bagian dalam terbuat dari batu tahan api yang mengandung kwarsa asam atau oksid asam ( $\text{SiO}_2$ ), Bahan yang diolah besi kasar kelabu cair, CaO tidak ditambahkan sebab dapat bereaksi dengan  $\text{SiO}_2$ .  $\text{SiO}_2 + \text{CaO} \longrightarrow \text{CaSiO}_3$

#### b. proses Thomas (basa)

Lapisan dinding bagian dalam terbuat dari batu tahan api basa atau dolomit [kalsium karbonat dan magnesium ( $\text{CaCO}_3 + \text{MgCO}_3$ )], besi yang diolah besi kasar putih yang mengandung P antara 1,7 – 2 %, Mn 1 – 2 % dan Si 0,6-0,8 %. Setelah unsur Mn dan Si terbakar, P membentuk oksida fospor ( $\text{P}_2\text{O}_5$ ), untuk mengeluarkan besi cair ditambahkan zat kapur (CaO),



#### 2. proses Siemens Martin

menggunakan sistem regenerator ( $\pm 3000^{\circ}\text{C}$ .) fungsi dari regenerator adalah :

### UNIVERSITAS MEDAN AREA

© Hak Cipta Di Lindungi Undang-Undang

Document Accepted 7/12/23

1. Dilarang Mengutip sebagian atau seluruh dokumen ini tanpa mencantumkan sumber

2. Pengutipan hanya untuk keperluan pendidikan, penelitian dan penulisan karya ilmiah

3. Dilarang memperbanyak sebagian atau seluruh karya ini dalam bentuk apapun tanpa izin Universitas Medan Area  
Access From (repository.uma.ac.id)7/12/23

- a. memanaskan gas dan udara atau menambah temperatur dapur
- b. sebagai Fundamen/ landasan dapur
- c. menghemat pemakaian tempat

Bisa digunakan baik besi kelabu maupun putih,

1. Besi kelabu dinding dalamnya dilapisi batu silika ( $\text{SiO}_2$ ),
2. besi putih dilapisi dengan batu dolomit ( $40\% \text{MgCO}_3 + 60\% \text{CaCO}_3$ )

### 3. proses Basic Oxygen Furnace

- a. logam cair dimasukkan ke ruang baker (dimiringkan lalu ditegakkan)
- b. Oksigen ( $\pm 1000$ ) ditiupkan lewat *Oxygen Lance* ke ruang bakar dengan kecepatan tinggi. ( $55 \text{ m}^3 (99,5\% \text{O}_2)$  tiap satu ton muatan) dengan tekanan  $1400 \text{ kN/m}^2$ .
- c. ditambahkan bubuk kapur ( $\text{CaO}$ ) untuk menurunkan kadar P dan S.

Keuntungan dari BOF adalah:

- a. BOF menggunakan  $\text{O}_2$  murni tanpa Nitrogen
- b. Proses hanya lebih-kurang 50 menit.
- c. Tidak perlu tuyser di bagian bawah
- d. Phosphor dan Sulfur dapat terusir dulu daripada karbon
- e. Biaya operasi murah

### 4. proses dapur listrik

temperatur tinggi dengan menggunakan busur cahaya electrode dan induksi listrik.

Keuntungan :

UNIVERSITAS MEDAN AREA

© Hak Cipta Di Lindungi Undang-Undang

Document Accepted 7/12/23

1. Dilarang Mengutip sebagian atau seluruh dokumen ini tanpa mencantumkan sumber

2. Pengutipan hanya untuk keperluan pendidikan, penelitian dan penulisan karya ilmiah

3. Dilarang memperbanyak sebagian atau seluruh karya ini dalam bentuk apapun tanpa izin Universitas Medan Area

Access From (repository.uma.ac.id)7/12/23

- a. Mudah mencapai temperatur tinggi dalam waktu singkat
- b. Temperatur dapat diatur
- c. Efisiensi termis dapur tinggi
- d. Cairan besi terlindungi dari kotoran dan pengaruh lingkungan sehingga kualitasnya baik
- e. Kerugian akibat penguapan sangat kecil

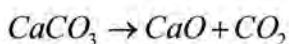
#### 5. proses dapur kopel

mengolah besi kasar kelabu dan besi bekas menjadi baja atau besi tuang.

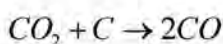
#### Proses

- a. pemanasan pendahuluan agar bebas dari uap cair.
- b. Bahan bakar(arang kayu dan kokas) dinyalakan selama  $\pm 15$  jam.
- c. kokas dan udara dihembuskan dengan kecepatan rendah hingga kokas mencapai 700 – 800 mm dari dasar tungku.
- d. besi kasar dan baja bekas kira-kira 10 – 15 % ton/jam dimasukkan.
- e. 15 menit baja cair dikeluarkan dari lubang pengeluaran.

Untuk membentuk terak dan menurunkan kadar P dan S ditambahkan batu kapur ( $\text{CaCO}_3$ ) dan akan terurai menjadi:



$\text{CO}_2$  akan bereaksi dengan karbon:



Gas CO yang dikeluarkan melalui cerobong, panasnya dapat dimanfaatkan untuk pembangkit mesin-mesin lain.

## 6. proses dapur Cawan

- a. Proses kerja dapur cawan dimulai dengan memasukkan baja bekas dan besi kasar dalam cawan,
- b. kemudian dapur ditutup rapat.
- c. Kemudian dimasukkan gas-gas panas yang memanaskan sekeliling cawan dan muatan dalam cawan akan mencair.
- d. Baja cair tersebut siap dituang untuk dijadikan baja-baja istimewa dengan menambahkan unsur-unsur paduan yang diperlukan

### 2.1. Baja

Menurut komposisi kimianya baja dapat di bagi dua kelompok besar yaitu:

Baja karbon dan baja paduan. Baja karbon bukan berarti baja yang sama sekali tidak mengandung unsur lain, selain besi dan karbon. Baja karbon mengandung sejumlah unsur lain tetapi masih dalam batas-batas tertentu yang tidak berpengaruh terhadap sifatnya. Unsur-unsur ini biasanya merupakan ikatan yang berasal dari proses pembuatan besi atau baja seperti mangan. Silicon, dan beberapa unsure pengotoran seperti belerang, oksigen, nitrogen, dan lain-lain yang biasanya ditekan sampai kadar yang sangat kecil. (Amanto, 1999)



## 2.2 Baja karbon

Baja dengan kadar mangan kurang dari 0,8 % silicon kurang dari 0,5 % dan unsur lain sangat sedikit, dapat dianggap sebagai baja karbon. Mangan dan silicon sengaja di tambahkan dalam proses pembuatan baja sebagai *deoxidizer* / mengurangi pengaruh buruk dari beberapa unsur pengotoran. Baja karbon diproduksi dalam bentuk balok, profil, lembaran dan kawat.

Baja karbon dapat di golongan menjadi tiga bagian berdasarkan jumlah kandungan karbon yang terdapat di dalam baja tersebut, penggolongan yang dimaksud adalah sebagai berikut :

### 2.2.1. Baja karbon rendah

Baja karbon rendah yang mengandung 0,022 – 0,3 % C yang dibagi menjadi empat bagian menurut kandungannya yaitu :

- 1) Baja karbon rendah mengandung 0,04 % C digunakan untuk plat-plat strip.
- 2) Baja karbon rendah mengandung 0,05 % C digunakan untuk badan kendaraan.
- 3) Baja karbon rendah mengandung 0,05 – 0,25 % C digunakan untuk konstruksi jembatan dan bangunan
- 4) Baja karbon rendah mengandung 0,05 – 0,3 % digunakan untuk baut paku keling, karena kepalanya harus di bentuk.

### 2.2.2 Baja karbon menengah

Baja karbon ini memiliki sifat –sifat mekanik yang lebih baik dari pada baja karbon rendah. Baja karbon menengah mengandung 0,3 – 0,6 % C dan memiliki ciri khas sebagai berikut :

- 1) Lebih kuat dan keras dari pada baja karbon rendah.
- 2) Tidak mudah di bentuk dengan mesin.
- 3) Lebih sulit di lakukan untuk pengelasan.
- 4) Dapat dikeraskan (*quenching*) dengan baik.

Baja karbon menengah ini digunakan untuk bahan berdasarkan kandungan karbonnya yaitu :

- a. Baja karbon menengah mengandung 0,35 – 0,45 % C digunakan untuk roda gigi, poros.
- b. Baja karbon menengah mengandung 0,4 % C di gunakan untuk keperluan industri kendaraan seperti baut dan mur, poros engkol dan batang torak.
- c. Baja karbon menengah mengandung 0,5 % C di gunakan untuk roda gigi dan clamp.
- d. Baja karbon menengah mengandung 0,5 – 0,6 % C di gunakan untuk pegas.

### 2.2.3. Baja karbon tinggi.

Baja karbon tinggi memiliki kandungan antara karbon antara 0,6 – 1,7 % karbon memiliki ciri-ciri sebagai berikut :

- 1) Kuat sekali.
- 2) Sangat keras dan getas/rapuh.
- 3) Sulit dibentuk mesin.
- 4) Mengandung unsur sulfur ( S ) dan posfor ( P ).
- 5) Mengakibatkan kurangnya sifat liat.
- 6) Dapat dilakukan proses *heat treatment* dengan baik.

Baja paduan dihasilkan dengan biaya yang lebih mahal dari pada baja karbon karena bertambahnya biaya untuk penambahannya yang khusus yang di lakukan dalam industri atau pabrik.

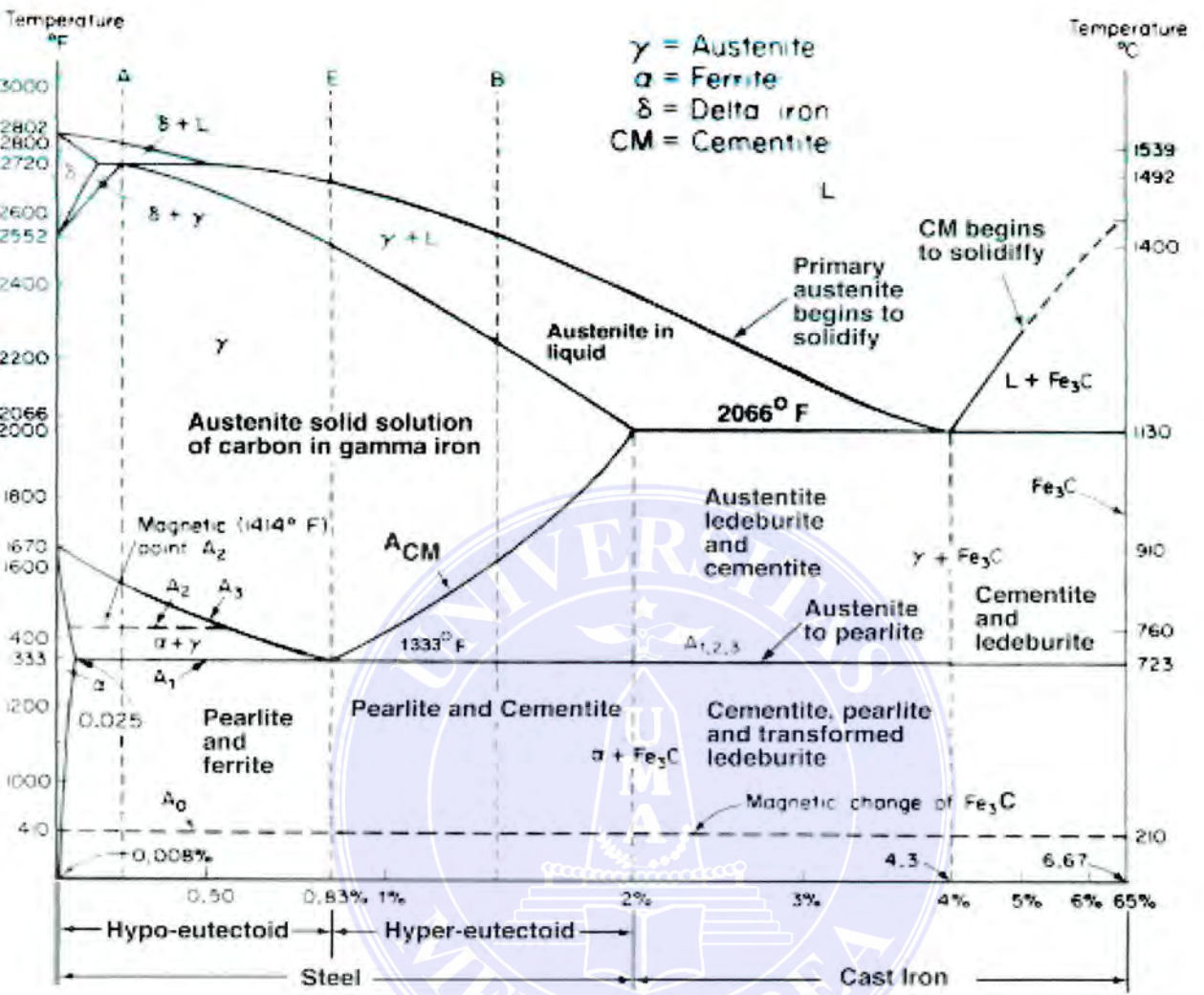
Baja paduan didefinisikan sebagai suatu baja yang dicampur dengan satu atau lebih unsur campuran. Seperti nikel, kromium, molibden, vanadium, mangan atau wolfram yang berguna untuk memperoleh sifat-sifat yang di kehendaki ( kuat, keras, liat), tetapi unsur karbon tidak di anggap sebagai salah satu unsur campuran.

Suatu kombinasi antara dua atau lebih unsur campuran, misalnya baja yang di campur dengan unsur kromium dan molibden, akan menghasilkan baja yang mempunyai sifat keras yang baik dan sifat kenyal ( sifat logam ini membuat baja dapat di bentuk dengan cara dipalu, ditempa, digiling dan ditarik tanpa mengalami patah atau retak-retak ). Jika di campurkan dengan krom dan molibden akan menghasilkan baja yang menghasilkan sifat keras yang baik dan sifat kenyal yang memuaskan serta tahan terhadap panas. (Amanto, 1999)

#### 2.2.4. Diagram fasa

Salah satu metode untuk mempelajari logam dilakukan dengan menggunakan diagram fase. Dari diagram fase ini dapat diamati perubahan struktur logam akibat pengaruh temperature. Struktur dari baja dapat ditentukan oleh komposisi baja dan karbon, gambar 2.1 adalah diagram besi- karbida besi.

Diagram fase besi – karbida besi ( Fe - Fe<sub>3</sub>C ) memperlihatkan perubahan fase pada pemanasan dan pendinginan yang cukup lambat. Gambar 2.1 menunjukkan bila kadar karbon baja melampaui 0,20% suhu dimana ferrite mulai terbentuk dan mengendap dari austenit turun. Baja yang berkadar karbon 0.80% disebut baja eutektoid dan struktur terdiri dari 100% pearlite. Titik eutektoid adalah suhu terendah dalam logam dimana logam dimana terjadi perubahan dalam keadaan larutan padat dan merupakan suhu kesetimbangan terendah dimana austenit terurai menjadi ferrite dan sementit. Bila kadar karbon baja lebih besar dari pada eutektoid, perlu diamati garis pada diagram besi karbida besi yang bertanda *Acm*. Garis ini menyatakan bahwa dimana karbida besi mulai memisah dari austenit. Karbida besi dengan rumus Fe<sub>3</sub>C disebut sementit. Di bawah ini di uraikan beberapa titik penting dalam perlakuan panas :



Gambar 2.1. Diagram fasa besi karbida besi

1. E : Titik yang menyatakan fase  $\gamma$ , ada hubungannya dengan reaksi autentik kelarutan maksimum dari karbon 2,14% paduan besi karbon sampai pada komposisi ini disebut baja.
2. G : Titik Transformasi besi  $\gamma \leftrightarrow$  besi  $\alpha$ . Titik transformasi A<sub>3</sub> untuk besi.
3. P : Titik yang menyatakan ferrite, fasa  $\alpha$ , ada hubungan reaksi dengan

uatotektoid.

4. S : Titik autotektoid. Reaksi autotectoid ini dinamakan transformasi  $A_1$ , dan fase eutectoid ini dinamakan pearlite.
5. GS : Garis yang menyatakan hubungan antara temperature dan komposisi dimana mulai terbentuk ferrite dan austenit. Garis ini disebut garis  $A_3$ .
6.  $A_2$  : Garis transformasi magnetic untuk besi atau ferrite.
7.  $A_0$  : Garis transformasi magnetic untuk sementit.

Adapun reaksi metalurgis yang biasa terjadi berdasarkan pada diagram Fe-Fe<sub>3</sub>C, yaitu :

a. Reaksi Peritektik

Dimana reaksi ini terjadi pada temperatur 1495°C dengan kandungan logam cair 0,53%C bergabung dengan delta ( $\delta$ ) dengan kandungan 0,09%C membentuk fasa austenit ( $\gamma$ ) dengan kandungan sekitar 0,17%C. Delta ( $\delta$ ) adalah fasa padat pada temperatur tinggi dan kurang berarti untuk proses perlakuan panas.

b. Reaksi Eutektik

Dimana reaksi ini terjadi pada temperatur 1148°C dalam reaksi ini logam cair dengan kandungan 4,3%C membentuk austenit ( $\gamma$ ) dengan 2,08%C dan senyawa sementit ( $\alpha$ ) yang mengandung 6,67%C.

c. Reaksi Eutektoid

Dimana reaksi ini terjadi pada temperatur  $723^{\circ}\text{C}$ , sedangkan kadar austenit ( $\gamma$ ) padat  $0,8\% \text{C}$  yang akan menghasilkan ferit ( $\alpha$ ) dengan kandungan  $0,025\% \text{C}$  dan sementit ( $\text{Fe}_3\text{C}$ ) yang mengandung  $6,67\% \text{C}$ .

Baja yang berkadar karbon kurang dari komposisi eutektoid ( $0,8\%$ ) disebut baja hipoeutektoid, dan yang berkadar karbon lebih dari komposisi eutektoid disebut baja hypereutektoid, pada temperature antara  $723^{\circ}\text{C}$  dan  $1130^{\circ}\text{C}$  terdapat satu fase yaitu fase austenit dan sementit. Pada temperature  $723^{\circ}\text{C}$  butiran fase tunggal bertransformasi dibawah keseimbangan bentuk  $\alpha$  dan  $\text{Fe}_3\text{C}$  dalam satu butiran yang bercampur baik, dan lapisan serat – serat bajanya disebut pearlite.

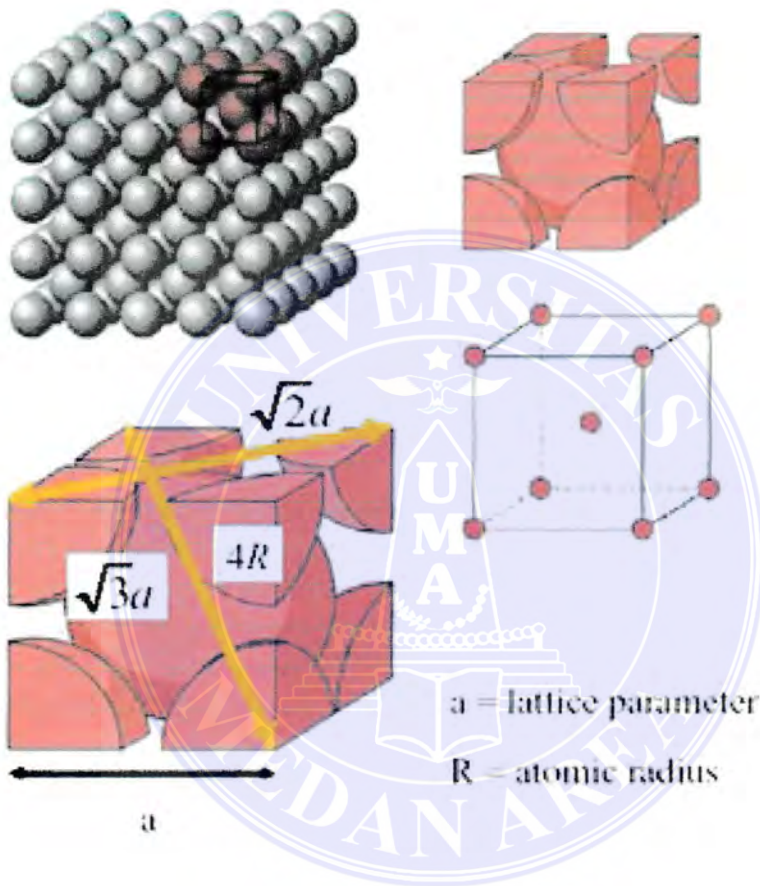
( van vlack,2000)

### 2.3 Proses Perlakuan Panas Pada Baja

Proses perlakuan panas yaitu proses mengubah sifat logam dengan cara mengubah struktur mikro melalui proses pemanasan dan pengaturan kecepatan pendinginan dengan atau tanpa merubah komposisi logam yang bersangkutan. Tujuan proses perlakuan panas untuk menghasilkan sifat-sifat logam yang diinginkan. Perubahan sifat logam akibat proses perlakuan panas dapat mencakup keseluruhan bagian dari logam atau sebagian dari logam.

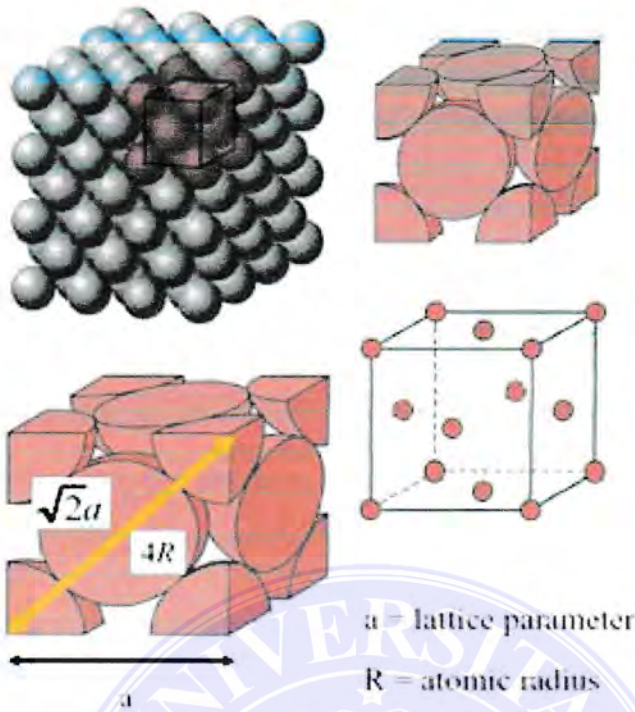
Adanya sifat alotropik dari besi menyebabkan timbulnya variasi struktur mikro dari berbagai jenis logam. Alotropik itu sendiri adalah merupakan transformasi dari satu bentuk susunan atom (sel satuan) ke bentuk susunan atom yang lain. Pada temperature dibawah  $900^{\circ}\text{C}$  sel satuan *Body Cubic Center (BCC)*, temperature antara  $900$  dan  $1392^{\circ}\text{C}$  sel satuan *Face Cubic Center ( FCC )* sedangkan

temperature dibawa 1392 o C sel satuan kembali menjadi BCC bentuk sel satuan di tunjukkan pada gambar dibawah ini :



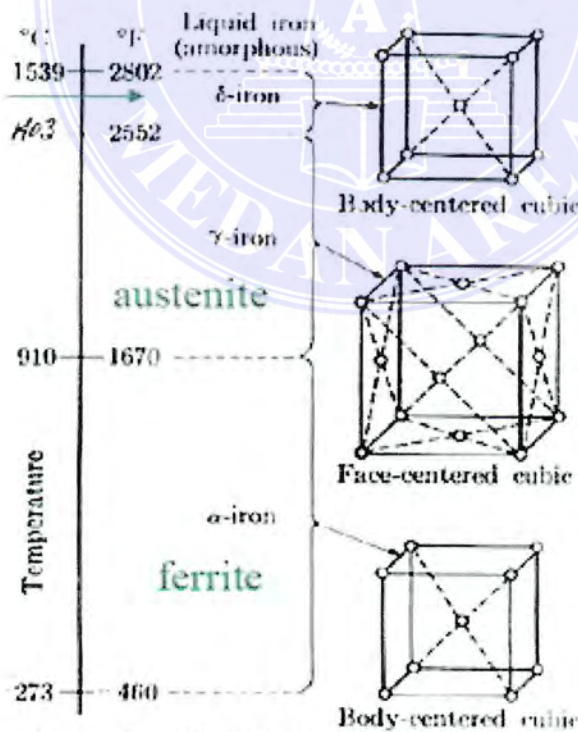
Gambar 2.2 bentuk Struktur atom BCC





Gambar 2.3 Bentuk Struktur atom FCC

Perubahan bentuk atom (sel satuan) akibat pemanasan di tunjukkan pada gambar dibawah ini



Gambar 2.4. Perubahan Bentuk struktur atom Akibat Pemanasan pada Logam

### 2.3.1. Perlakuan Panas (*Heat Treatment*) pada baja karbon.

Heat Treatment adalah suatu proses pemanasan dan pendinginan yang terkontrol . dengan kata lain proses pemanasan dan pendinginan terhadap baja karbon dengan tujuan untuk mendapatkan sifat-sifat mekanik dari baja karbon. Pemanasan dilakukan pada temperatur  $50^{\circ}\text{C}$  diatas titik kritis (Critical Poin  $\text{Ac}_3$ ). Perlakuan panas pada baja karbon terdiri dari :

1. Mengeraskan (Hardening / Quenching)
2. Menemper (Tempering)
3. Melunakkan (Anealing)
4. Menormalkan (Normalizing)

#### 2.3.1.1. Quenching

Quenching adalah proses pemanasan dan pendinginan yang bertujuan untuk mengeraskan baja carbon. Pemanasan dilakukan pada temperatur  $50^{\circ}\text{C}$  diatas titik kritis selama beberapa waktu dan kemudian didinginkan dengan kecepatan dalam media pendingin (salah satu dari : Oli, NaCL 50%, NaOH 50%, Air)

#### 2.3.1.2. Normalizing

Normalizing adalah proses pemanasan dan pendinginan, pendinginan dilakukan dengan perlahan-lahan diruangan terbuka (sebagai media pendingin adalah udara). Normalizing bertujuan untuk menormalkan kembali struktur logam karena adanya efek pengerjaan terhadap baja karbon

### 2.3.1.3. Anealing

Anealing adalah proses pemanasan dan pendinginan, yang bertujuan untuk melunakkan baja carbon. Pemanasan dilakukan dengan Furnase dan didinginkan dengan perlahan-lahan didalam furnace.

### 2.3.1.4. Tempering

Tempering adalah proses pemanasan dan pendinginan kembali pada baja carbon yang sudah di Quenching, yang bertujuan untuk merubah sifat-sifat mekanik dari baja karbon yang sudah di Quenching.

Proses perlakuan panas ada dua kategori yaitu :

1. *Softening* (Pelunakan) : Adalah usaha untuk menurunkan sifat mekanik agar menjadi lunak dengan cara mendinginkan material yang sudah dipanaskan didalam tungku (*annealing*) atau mendinginkan dalam udara (*normalizing*).
2. *Hardening* (pengerasan) : Kekerasan didefinisikan sebagai ketahanan sebuah benda (benda kerja) terhadap penetrasi/daya tembus dari bahan lain yang lebih keras penetrator). Kekerasan merupakan suatu sifat dari bahan yang sebagian besar dipengaruhi oleh un-sur-unsur paduannya dan kekerasan suatu bahan tersebut dapat berubah bila dikerjakan dengan cold worked seperti pengerolan, penarikan, pemakanan dan lain-lain serta kekerasan dapat dicapai sesuai kebutuhan dengan perlakuan panas.

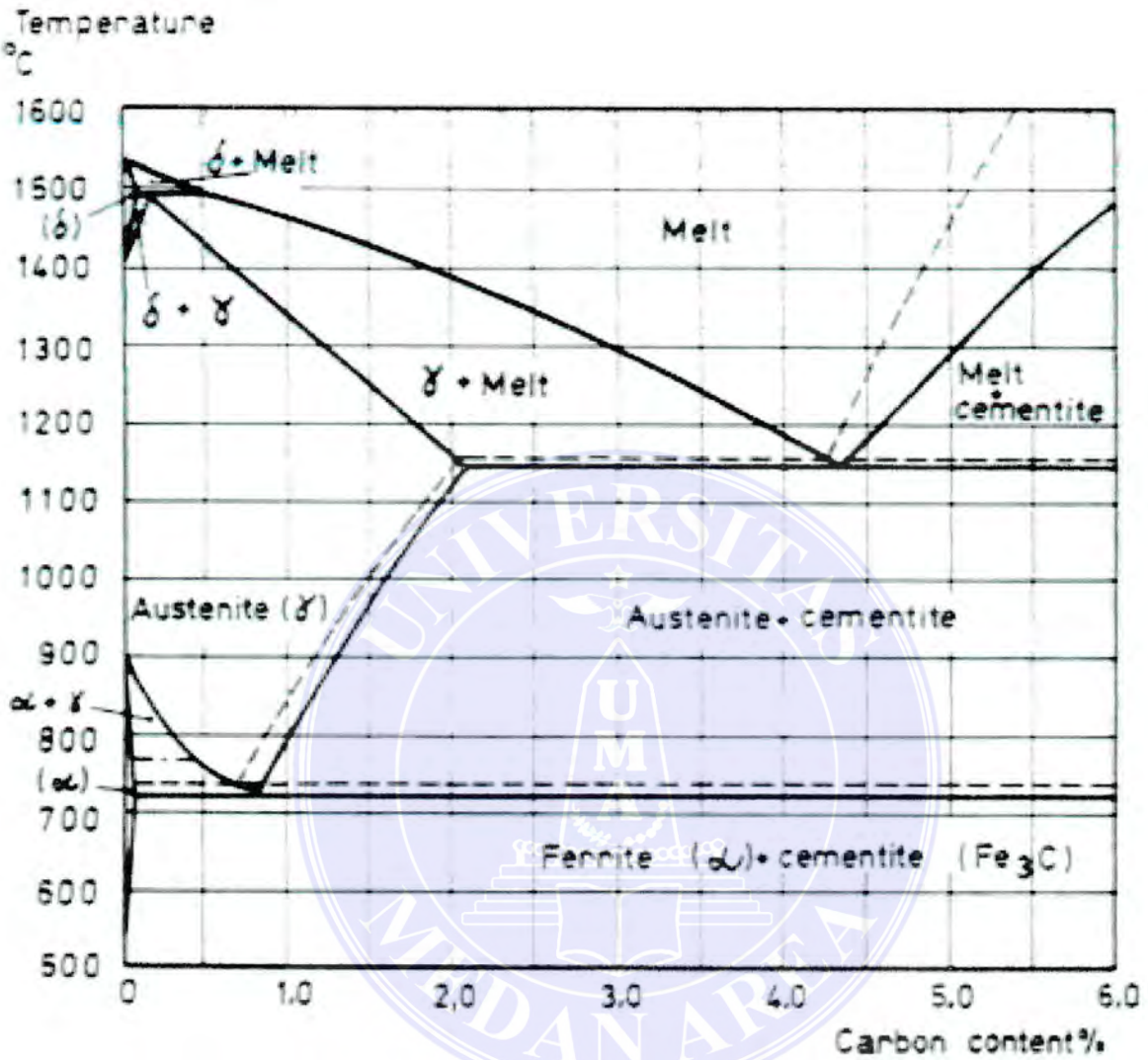
Faktor-faktor yang mempengaruhi hasil kekerasan dalam perlakuan panas antara lain; Komposisi kimia, Langkah Perlakuan Panas, Cairan

Pendinginan, Temperatur Pemanasan, dan lain-lain. Proses hardening cukup banyak dipakai di Industri logam atau bengkel-bengkel logam lainnya. Alat-alat permesinan atau komponen mesin banyak yang harus dikeraskan supaya tahan terhadap tusukan atau tekanan dan gesekan dari logam lain, misalnya roda gigi, poros-poros dan lain-lain yang banyak dipakai pada benda bergerak. Dalam kegiatan produksi, waktu yang dibutuhkan untuk menyelesaikan suatu produksi adalah merupakan masalah yang sangat sering dipertimbangkan dalam Industri dan selalu dicari upaya-upaya untuk mengoptimalkannya. Pengoptimalan ini dilakukan mengingat bahwa waktu (lamanya) menyelesaikan suatu produk adalah berpengaruh besar terhadap biaya produksi.

Hardening dilakukan untuk memperoleh sifat tahan aus yang tinggi, kekuatan dan fatigue limit/ strength yang lebih baik. Kekerasan yang dapat dicapai tergantung pada kadar karbon dalam baja dan kekerasan yang terjadi akan tergantung pada temperatur pemanasan (temperatur autenitising), holding time dan laju pendinginan yang dilakukan serta seberapa tebal bagian penampang yang menjadi keras banyak tergantung pada hardenability.

Langkah-langkah proses hardening adalah sebagai berikut :

1. melakukan pemanasan (heating) untuk baja karbon tinggi  $20^0-30^0$  diatas  $Ac-1$  pada diagram Fe-Fe<sub>3</sub>C, misalnya pemanasan sampai suhu  $850^0$ , tujuannya adalah untuk mendapatkan struktur Austenite, yang salah sifat Austenite adalah tidak stabil pada suhu di bawah  $Ac-1$ , sehingga dapat ditentukan struktur yang diinginkan. Dibawah ini diagram Fe-Fe<sub>3</sub>C dibawah ini :



Gambar 2.5. Diagram keseimbangan Fe-Fe<sub>3</sub>C

2. Penahanan suhu (holding), Holding time dilakukan untuk mendapatkan kekerasan maksimum dari suatu bahan pada proses hardening dengan menahan pada temperatur pengerasan untuk memperoleh pemanasan yang homogen sehingga struktur austenitnya homogen atau terjadi kelarutan

karbida ke dalam austenit dan diffusi karbon dan unsur paduannya.

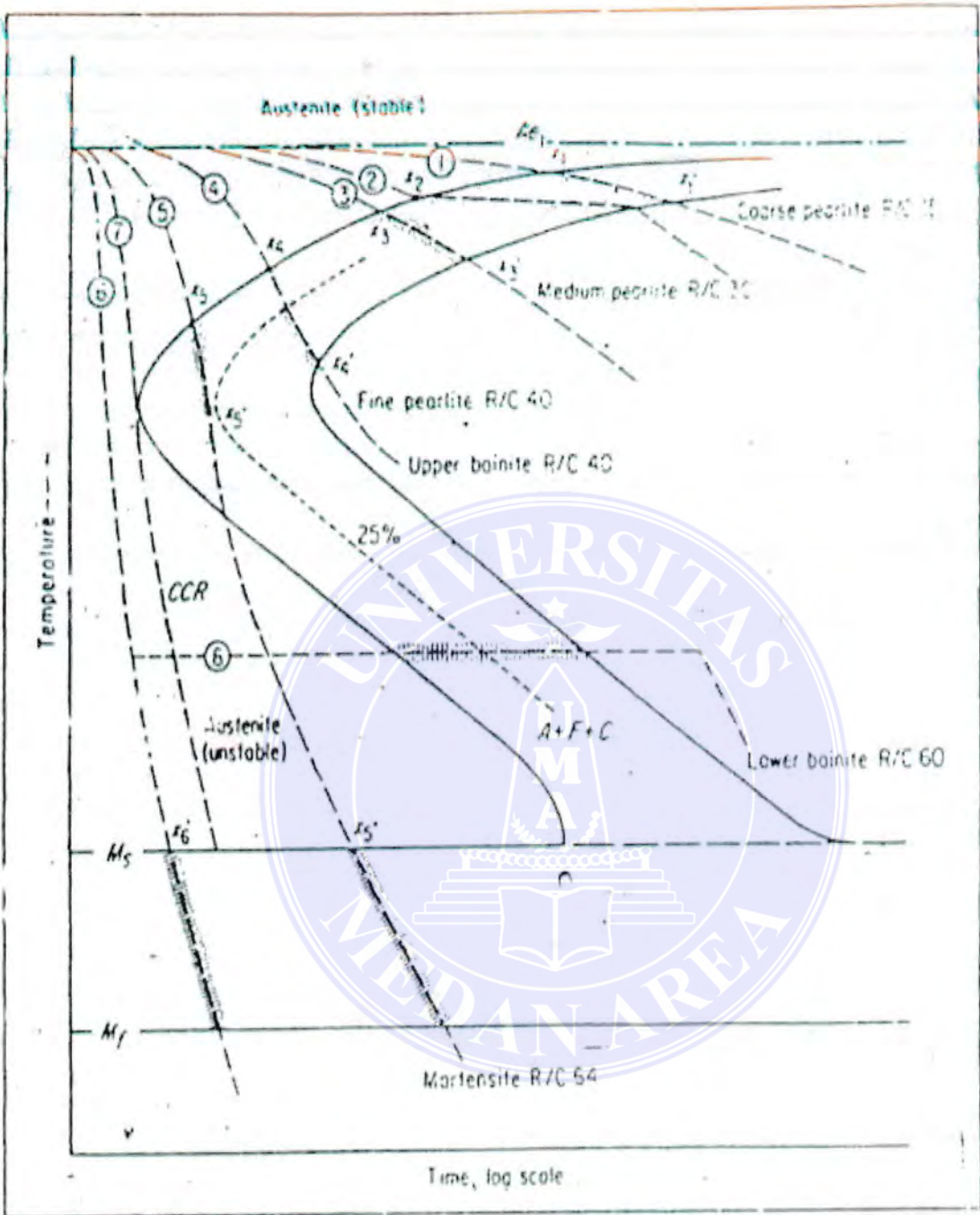
Pedoman untuk menentukan holding time dari berbagai jenis baja:

- a. Baja Konstruksi dari Baja Karbon dan Baja Paduan Rendah Yang mengandung karbida yang mudah larut, diperlukan holding time yang singkat, 5 - 15 menit setelah mencapai temperatur pemanasannya dianggap sudah memadai.
- b. Baja Konstruksi dari Baja Paduan Menengah Dianjurkan menggunakan holding time 15 -25 menit, tidak tergantung ukuran benda kerja.
- c. Low Alloy Tool Steel Memerlukan holding time yang tepat, agar kekerasan yang diinginkan dapat tercapai. Dianjurkan menggunakan 0,5 menit per milimeter tebal benda, atau 10 sampai 30 menit.
- d. High Alloy Chrome Steel Membutuhkan holding time yang paling panjang di antara semua baja perkakas, juga tergantung pada temperatur pemanasannya. Juga diperlukan kombinasi temperatur dan holding time yang tepat. Biasanya dianjurkan menggunakan 0,5 menit permilimeter tebal benda dengan minimum 10 menit, maksimum 1 jam.
- e. Hot-Work Tool Steel Mengandung karbida yang sulit larut, baru akan larut pada 10000 C. Pada temperatur ini kemungkinan terjadinya pertumbuhan butir sangat besar, karena itu holding time harus dibatasi, 15-30 menit. High Speed Steel Memerlukan temperatur pemanasan

yang sangat tinggi, 1200-13000C.Untuk mencegah terjadinya pertumbuhan butir holding time diambil hanya beberapa menit saja.

Misalkan kita ambil waktu holding adalah selama 15 menit pada suhu 850<sup>0</sup>.

3. Pendinginan. Untuk proses Hardening kita melakukan pendinginan secara cepat (*quenching*) material yang sudah di panaskan kedalam suatu media berupa air , air garam, Oli Dan lain-lain.Tujuannya adalah untuk mendapatkan struktur martensite, semakin banyak unsur karbon,maka struktur martensite yang terbentuk juga akan semakin banyak. Karena martensite terbentuk dari fase Austenite yang didinginkan secara cepat. Hal ini disebabkan karena atom karbon tidak sempat berdifusi keluar dan terjebak dalam struktur kristal dan membentuk struktur tetragonal yang ruang kosong antar atomnya kecil,sehingga kekerasannya meningkat.



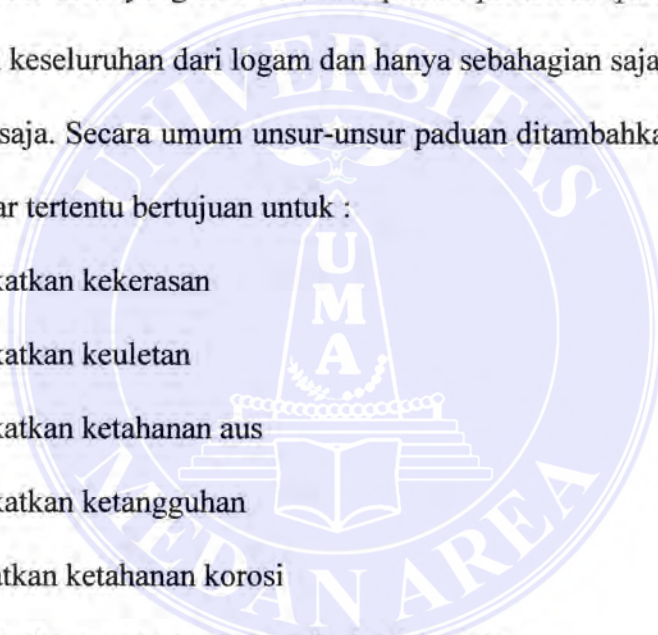
Gambar 2.6. Kurva pendinginan pada diagram TTT  
(time-temperature-transformation)



Dari diagram pendinginan diatas dapat dilihat bahwa dengan pendinginan cepat (kurva 6) akan menghasilkan struktur martensite karena garis pendinginan lebih cepat daripada kurva 7 yang merupakan laju pendinginan kritis (critical cooling rate) yang nantinya akan tetap terbentuk fase austenite (unstable). Sedangkan pada kurva 6 lebih cepat daripada kurva 7, sehingga terbentuk struktur martensite yang kekerasannya berkisar antara 600 BHN-750 BHN, tetapi bersifat rapuh karena tegangan dalam yang besar.

Perubahan dari sifat yang di karenakan proses perlakuan panas mencakup pada daerah keseluruhan dari logam dan hanya sebahagian saja, contoh pada permukaan saja. Secara umum unsur-unsur paduan ditambahkan dalam baja dengan kadar tertentu bertujuan untuk :

- 1) Meningkatkan kekerasan
- 2) Meningkatkan keuletan
- 3) Meningkatkan ketahanan aus
- 4) Meningkatkan ketangguhan
- 5) Meningkatkan ketahanan korosi
- 6) Memperbaiki mampu tempa mesin dan lain-lain



#### 2.4. Uji Kekerasan

Kekerasan adalah daya tahan atau daya hambat suatu logam terhadap penetrasi atau penekan benda keras lainnya. Percobaan kekerasan dilakukan untuk menghitung daya tahan (Daya hambat) suatu logam terhadap perubahan plastis (plastic deformation) pada lapisan dekat permukaan bahan percobaan logam.

Pada kedalaman indentasi dari penetrator semuanya adalah perubahan plastis. Oleh karena itu hardness (kekerasan) bukanlah karakter sifat mekanik yang berdiri sendiri. Dianya menghitung sifat-sifat yang sama methoda yang lain. Seperti tensile test tetapi kondisi beban berbeda.

Kenyataan ini memungkinkan suatu hubungan antara kekerasan dan kekuatan tarik dari bahan logam yang liat. Untuk logam dengan keliatan yang rendah, yang mana tensile strenght karakter dengan “Cohesive Strenght” dan tidak dengan daya tahan dari percobaan plastic. Hubungan antara kekerasan dengan kekuatan tarik tidak dapat diyakini sepenuhnya.

Dalam pengujian kekerasan logam ada beberapa metode pengujian antara lain :

1. Scratch test (Percobaan gores)
2. Ball indentation (Kekerasan Brinell)
3. Rockwell hardness (Kekerasan Rockwell)
4. Vickers hardness (Kekerasan Vickers)
5. Micro Vickers Hardness

Metode yang dilakukan dalam pengujian ini adalah metode kekerasan Vickers (Vickers hardness). Metode ini digunakan untuk mengukur kekerasan material penampang lintang yang kecil. Digunakan untuk menguji kekerasan material yang sangat keras. Penetrator yang dipakai adalah pyramid diamond dengan sudut  $136^{\circ}$ , antara sisi dengan sisi lainnya, dan percobaan ini dilakukan pada permukaan specimen logam yang sudah dipoles guna memudahkan menentukan panjang diagonal dari penetrasi. Kekerasan Vickers ditentukan dengan mengukur diagonal

bekas penekanan (indentasi) dengan menggunakan mikroskop micrometer.

Kemudian menghitung dengan rumus.

$$Hv = 1,8544 \frac{F}{d^2}$$

Dimana :

Hv = Kekerasan Vickers

F = Beban Percobaan

D = Diagonal Indentasi

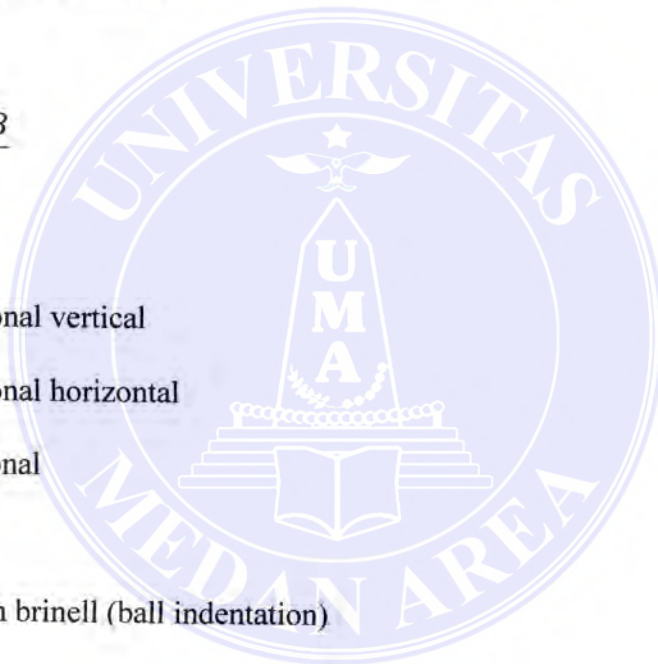
$$D = \frac{A + B}{2}$$

Dimana :

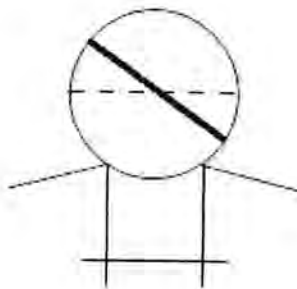
A = Diagonal vertical

B = Diagonal horizontal

D = Diagonal



#### 2.4.1. Kekerasan brinell (ball indentation)



Gambar 2.7. Ball Indentation

UNIVERSITAS MEDAN AREA

© Hak Cipta Di Lindungi Undang-Undang

Document Accepted 7/12/23

1. Dilarang Mengutip sebagian atau seluruh dokumen ini tanpa mencantumkan sumber

2. Pengutipan hanya untuk keperluan pendidikan, penelitian dan penulisan karya ilmiah

3. Dilarang memperbanyak sebagian atau seluruh karya ini dalam bentuk apapun tanpa izin Universitas Medan Area  
Access From (repository.uma.ac.id)7/12/23

Metoda ini dilakukan dengan menekankan suatu bola baja (steel ball) yang keras pada permukaan specimen logam dengan beban yang konstan. Sesudah pembebasan beban, satu bekas lekukan akan dijumpai pada permukaan specimen logam.

Kekerasan brinell dapat dihitung dengan rumus :

$$\begin{aligned} \text{HBS} &= 0,102 \frac{F}{S} \\ &= 0,102 \times \frac{2F}{\pi D(D - \sqrt{D^2 - d^2})} \end{aligned}$$

Dimana :

HBS = kekerasan brinell

F = Beban percobaan (N)

S = Luas Indentasi (mm<sup>2</sup>)

D = Diameter penetrator steel ball (mm)

d = Diameter Indentasi (mm)

Jika beban percobaan dihitung dalam kg f, maka kekerasan Brinell dapat dihitung :

$$\text{HBS} = \frac{F}{S} = \frac{2F}{\pi D(D - \sqrt{D^2 - d^2})}$$

Dimana :

F = Beban Percobaan (Kg F)

Dalam lekukan (INDENTITAS) dapat dihitung dengan rumus :

$$h = \frac{D - \sqrt{D^2 - d^2}}{2} \quad \text{atau} \quad h = \frac{F}{\sqrt{D HBS}}$$

Hubungan antara kekerasan BRINELL dan ULTIMATE STRENGTH (tensile Strength) dari suatu metal dapat dilihat dari rumus :

$$\sigma_u = K HBS$$

Dimana :

$\sigma_u$  = Tensile Strength

K = 0,36 untuk baja canai dan 0.3 s/d 0,4 untuk baja tuang

HBS = Kekerasan Brinell

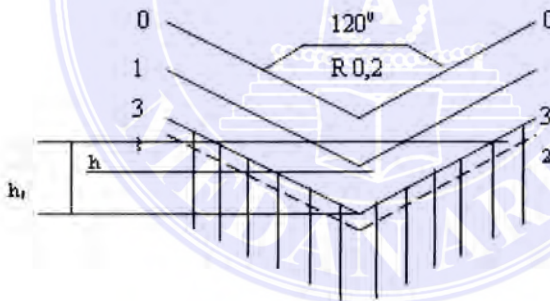
#### 2.4.2. Kekerasan Rockwell (ROCKWELL HARDNESS)

Kekerasan ROCKWELL sama halnya dengan prinsip BRINELL. Dalam TEST ROCKWELL, kekerasan dihitung tidak dengan diameter Indentitas tetapi dihitung dari kedalaman indentitas (PENEKANAN).

PENETRATOR pada percobaan ROCKWELL adalah Kerucut Intan (BRALE) dengan sudut  $120^\circ$  untuk material yang keras dan bola baja (STEEL BALL) diameter 1,5875 mm (1/16") untuk material lunak.

Tabel skala kekerasan Rockwell

Simbol	Penetrator	Beban (Kg)	Skala yang dibaca
B(HR <sub>B</sub> )	1/16"	100	Merah
C(HR <sub>C</sub> )	Diamond cone	150	Hitam
A(HR <sub>A</sub> )	Diamond cone	60	Hitam
D(HR <sub>D</sub> )	Diamond cone	100	Hitam
E(HR <sub>E</sub> )	1/8" Steel ball	100	Merah
F(HR <sub>F</sub> )	1/6" Steel ball	60	Merah
G(HR <sub>G</sub> )	1/16" Steel ball	150	Merah
H(HR <sub>H</sub> )	1/8" Steel ball	60	Merah
K(HR <sub>K</sub> )	1/8" Steel ball	150	Merah



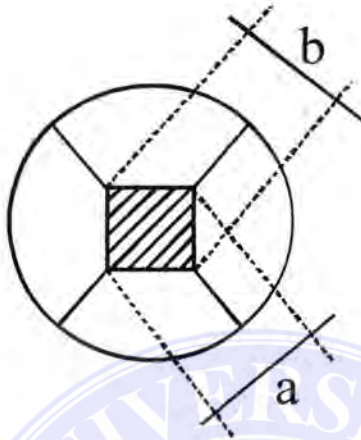
Gambar 2.8. Penetrator

Keterangan :

- 1-1. Penekanan krucut intan pada tekanan permulaan (10 kg)
- 1-2. Penekanan (penetrasi) pada beban seluruhnya ( $P_0 + P$ )
- 1-3. Penetrasi sesudah pembebasan beban

a = Diagonal horizontal

b = Diagonal vertikal



Gambar 2.9. Indentasi dari penetrator

Bila beban percobaan dihitung dalam kg f maka kekerasan vickers dapat dihitung dengan rumus :

$$HV = \frac{F}{s} = \frac{2F \sin \theta / 2}{d^2}$$

Dimana :

F = Beban percobaan (kg f)

#### 2.4.3. Micro hardnese (kekerasan Micro Vickers)

Micro Vickers hardnese adalah percobaan kekerasan mocro, biasanya digunakan untuk percobaan kekerasan dari speciemn yang tipis dan kecil, dengan menggunakan beban yang sangat lemah yatu 1 – 20 gr dan diagonal Indentasi dihitung dengan menggunakan Metal Microscope. Dan Penetrator

yang digunakan adalah Piramit Diamond. Biasanya digunakan untuk pengujian dari kekerasan lapisan yang tipis.

Guna memudahkan menentukan panjang diagonal dari Penetrasi. Kekerasan Vickers ditentukan dengan mengukur diagonal oskas Penekanan. (IDENTITASI) dengan menggunakan MICROSCOP MICROMETER.

Dalam menentukan kekerasan, Kekerasan Vickers adalah paling banyak digunakan terutama untuk Material yang sangat keras. Beban percobaan dapat dipergunakan tergantung pada jenis dan tebal bahan yang akan diuji, yang mana beban tergantung terdiri dari : 1, 10, 20, 30, 40, 50 kg.

Kekerasan Vickers dapat dihitung dengan rumus :

$$\begin{aligned} HV &= 0,102 \times \frac{F}{S} \\ &= 0,102 \times \frac{2F \sin \theta / 2}{d^2} \\ &= 0,18909 \frac{F}{d^2} \end{aligned}$$

Dimana :

HV = Kekerasan Cickers

F = Beban Percobaan (N)

S = Luas Permukaan Identasi (mm<sup>2</sup>)



Kekerasan Micro dapat dihitung dengan rumus :

$$MHV = 1,8544 \frac{F}{d^2}$$

Dimana :

NHv = Kekerasan micro

F = Beban Percobaan (gr)

d = Diagonal Indentasi (Micron)

Kerucut diamond dan bola baja sebagai penetrator sama mempunyai 2 beban, yaitu beban primer (10 kg) dan beban skunder, beban skunder untuk diamond Cone (140 kg) dan dibaca pada skala A dengan beban skunder 50 kg.

Percobaan dengan krucut diamond dapat dilihat seperti (gambar 3) keterangan ROCK WELL dapat dihitung dengan rumus :

$$HRc = \frac{K - (hl - h)}{c}$$

Dimana :

K = 0,2 untuk kerucut Diamond dan 0,26 untuk bola baja

h l = Kedalaman Penetrasi sesudah Pembebasan Beban

h = Kedalaman Penetrasi pada beban primer

c = Nilai bahagian Skala 0,002 mm

Pada percobaan kekerasan ROKWELL angka kekerasan Rockwell dapat dibaca langsung pada peringan dari bagian alat.

Ada 9 (sembilan) Skala Rockwell masing-masing skala mempunyai perbedaan yaitu A; B ; C ; D; E; F; G; H – K.

Skala ini berbeda satu sama lainnya sesuai dengan penetrator dan beban yang digunakan. Kekerasan Rockwell C ( $HR_C$ ) dan kekerasan Rockwell B ( $HR_B$ ) adalah paling banyak digunakan.

## 2.5. Kekuatan Tarik ( *Tensile Test* )

Percobaan tarik adalah salah satu pengujian sifat mekanik bahan metal. Dimana pada bahan percobaan diberikan regangan dengan perlahan-lahan sampai bahan itu putus, percobaan ini dilakukan dengan alat “*Universal Testing Machine*”.

Bahan percobaan diberikan beban tarik secara perlahan-lahan dari (0 Kg) sampai bahan putus(C). disini akan terjadi dua perubahan sifat bahan yaitu : Perubahan *Elastis* dan perubahan *Plastis*. Beban (Load) pada mana tercapainya kekenyalan (*Yield*) disebut beban yield poin ( $F_s$ ) dan elongasi yang terjadi pada saat ini disebut “*Elongation Yield Point*” (mm). beban maximum yang dapat ditahan oleh bahan percobaan adalah  $F_{max}$  (Kg f) dan beban yang setelah bahan percobaan putus (*Load at Fracture*) adalah  $F_f$  (Kg f).

### 2.5.1. Percobaan elastis (Elastic Deformation)

Yang dimaksud dengan perubahan elastis (Perubahan sementara adalah jika pada bahan percobaan diberikan regangan, maka akan terjadi perubahan sifat dari bahan tersebut dan setelah beban dihentikan maka bahan akan kembali seperti semula.

$$\text{Rumus : } E = \frac{P}{\Sigma}$$

Dimana :

$E$  = Modulus Elasticity ( $\text{Kg f/mm}^2$ )

$P$  = Stress pada Proportional limit ( $\text{Kg f/mm}^2$ )

$\Sigma$  = Elongation

### 2.5.2. Percobaan Plastis (*Plastic Deformation*)

Yang dimaksud dengan perubahan plastis adalah apabila pada bahan diberikan beban, maka akan terjadi perubahan dan setelah beban dibebaskan, bahan tersebut tidak dapat kembali seperti semula.

Yield stress ( $S$ )  $\text{Kg f/mm}^2$ .

$$\text{Rumus : } S = \frac{F_s}{A_o} \text{ Kg f/mm}^2$$

Dimana :

$F_s$  = Beban pada yield point ( $\text{Kg f/mm}$ )

$A_o$  = Luas penampang bahan sebelum percobaan ( $\text{mm}^2$ )

$$= \frac{\pi}{4} \cdot D^2$$

Tensile strenght (kekuatan tarik)  $\text{Kg f/mm}^2$

$$\text{Rumus : } B = \frac{F_{\max}}{A_o} \text{ Kg f/mm}^2$$

Dimana :

$B$  : Tensile strenght ( $\text{Kg f/mm}^2$ )

$A_o$  : Luas penampang mula-mula ( $\text{mm}^2$ )

$F_{\max}$  : Beban maximum ( $\text{Kg f}$ )

UNIVERSITAS MEDAN AREA

© Hak Cipta Di Lindungi Undang-Undang

Document Accepted 7/12/23

1. Dilarang Mengutip sebagian atau seluruh dokumen ini tanpa mencantumkan sumber

2. Pengutipan hanya untuk keperluan pendidikan, penelitian dan penulisan karya ilmiah

3. Dilarang memperbanyak sebagian atau seluruh karya ini dalam bentuk apapun tanpa izin Universitas Medan Area  
Access From (repository.uma.ac.id)7/12/23

### Stress at fracture (Kekuatan tarik pada saat bahan percobaan putus)

$$\text{Rumus : } f = \frac{F_f}{A_o} \text{ Kg f/mm}^2$$

Dimana :

$f$  = Stress (Kg f/mm<sup>2</sup>)

$F_f$  = Load at Fracture (Kg f)

$A_o$  = Luas penampang mula-mula (mm<sup>2</sup>)

Peran Elongasi (%)

$$\text{Rumus : } \mathcal{E} = \frac{L - L_o}{L_o} \times 100 \%$$

Dimana :

$\mathcal{E}$  = Elongasi (%)

$L_o$  = Panjang bahan sebelum percobaan

$L$  = Panjang bahan setelah percobaan

### 2.5.3. Penyusutan Luas Penampang (%)

$$\text{Rumus : } \mathcal{D} = \frac{A_o - A}{A_o} \times 100 \%$$

Dimana :

$\mathcal{D}$  = Penyusutan luas penampang

$A_o$  = Luas penampang mula-mula

$A$  = Luas penampang setelah percobaan

UNIVERSITAS MEDAN AREA

© Hak Cipta Di Lindungi Undang-Undang

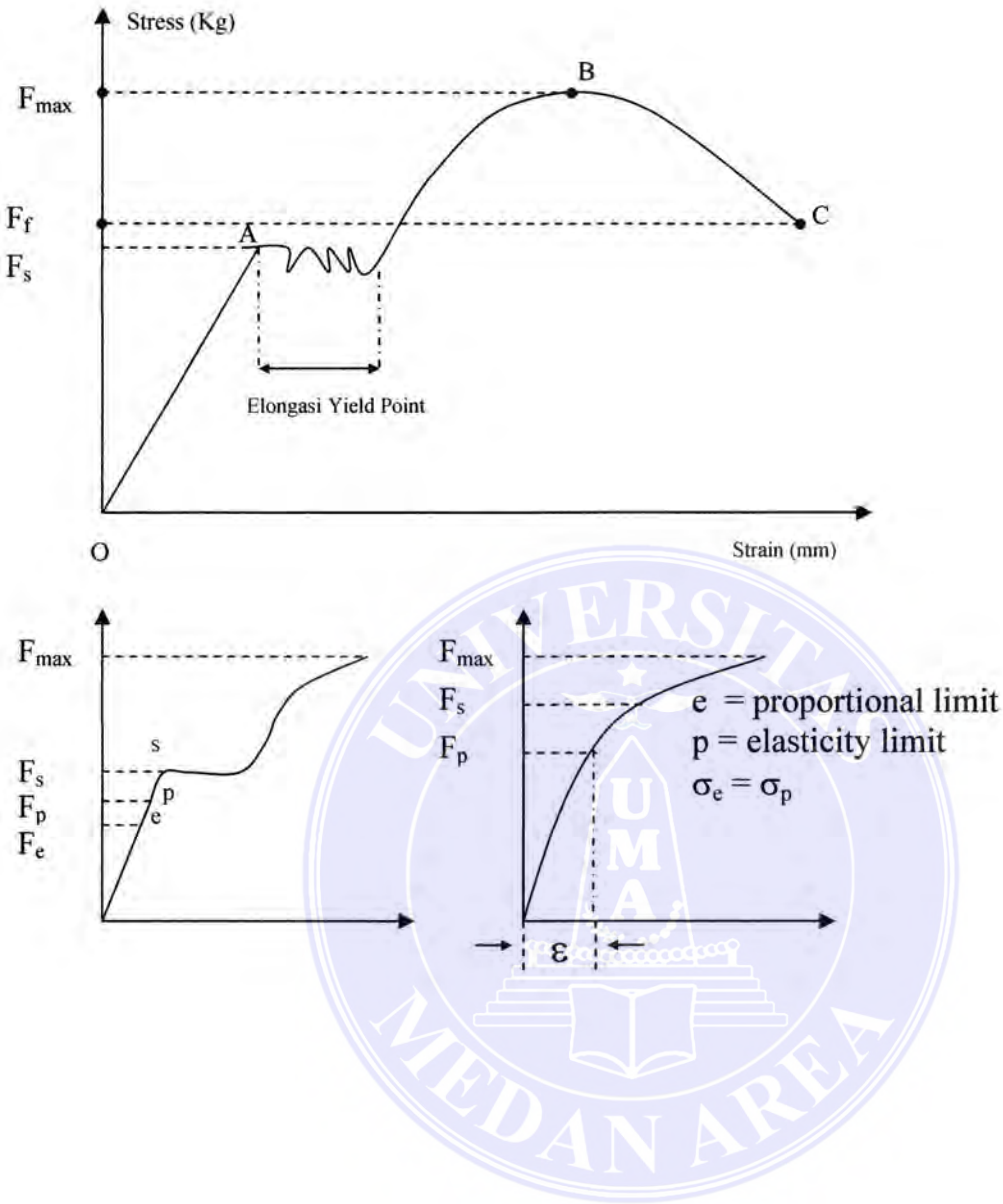
Document Accepted 7/12/23

1. Dilarang Mengutip sebagian atau seluruh dokumen ini tanpa mencantumkan sumber

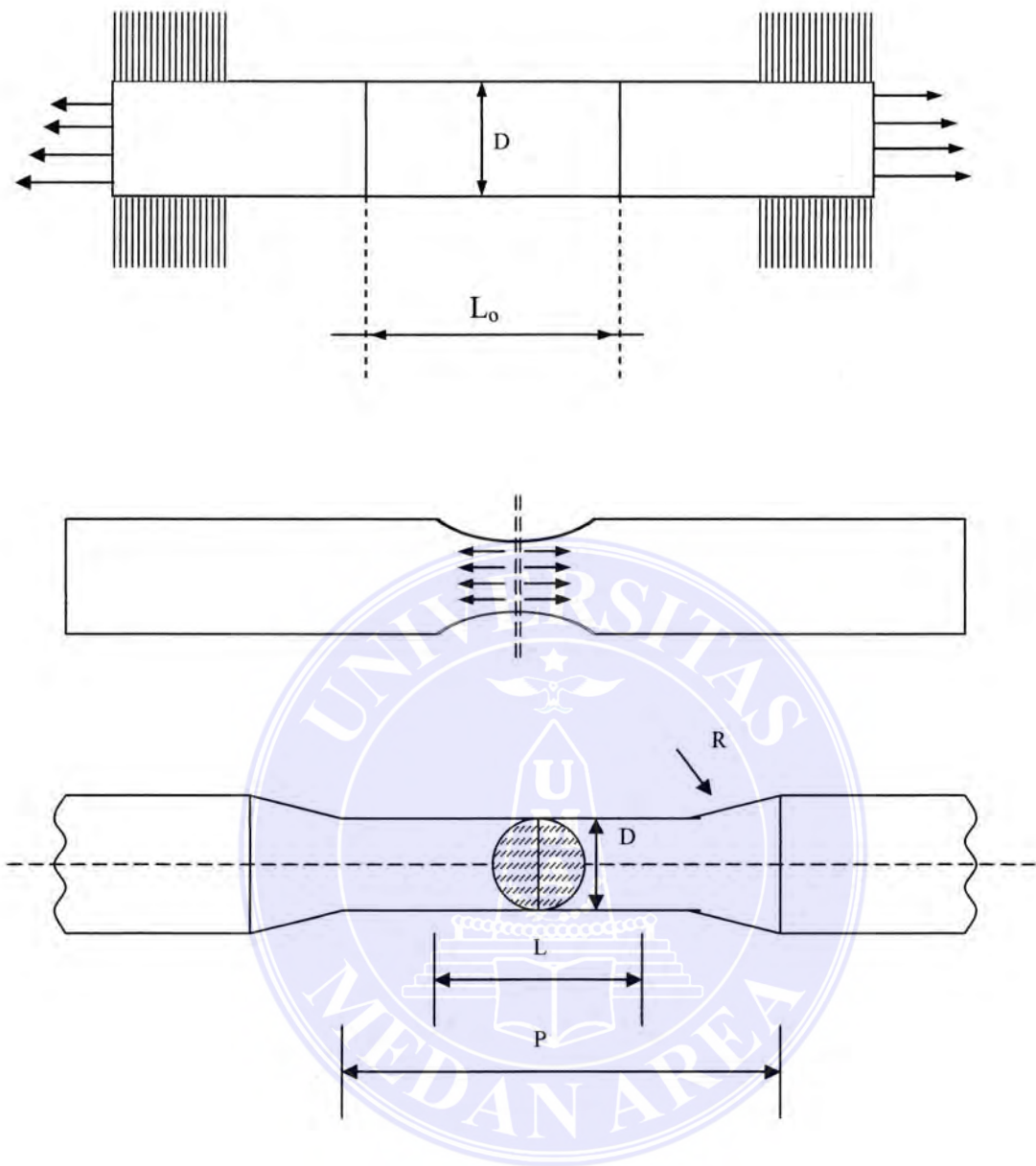
2. Pengutipan hanya untuk keperluan pendidikan, penelitian dan penulisan karya ilmiah

3. Dilarang memperbanyak sebagian atau seluruh karya ini dalam bentuk apapun tanpa izin Universitas Medan Area

Access From (repository.uma.ac.id)7/12/23



Gbr. 2.10. Curva Stress vs Strain



D	L	P	R
12,5	50	60	15

mm

Gbr. 2.11. Contoh Benda Uji Tarik

## 2.6. Struktur mikro logam

Semua logam mengandung stuktur mikro yang berbeda, bila suatu logam dibersihkan akan terlihat struktur mikro yang berupa goresan-goresan. Ada beberapa jenis struktur mikro antara lain *ferit*, *perlit*, *martensit*, dan lain-lain. Dengan menggunakan alat Mikroskopope struktur permukaan logam dapat dilihat setelah permukaan logam yang akan di uji tersebut dihaluskan sehalus mungkin dan di poles dengan mempergunakan larutan poles alumina dan kemudian di etchan dengan campuran asam nitrat dengan ethanol.

### 2.6.1. Proses Pengujian Struktur dan Mendapatkan Gambar Struktur Karbon

- Permukaan logam dibersihkan dan diratakan
- Permukaan logam dihaluskan dengan kertas pasir
  1. Kertas Pasir 120
  2. Kertas Pasir 320
  3. Kertas Pasir 500
  4. Kertas Pasir 800
  5. Kertas Pasir 1000
  6. Larutan Alumina

Kemudian diberi larutan Echan yang bertujuan untuk mengkorosi permukaan bahan supaya dapat gambar strukturnya.

Beberapa contoh Mikro Logam dapat dilihat pada gambar dibawah ini.



Gbr. Struktur Pearlite



Gbr. Struktur Cementite

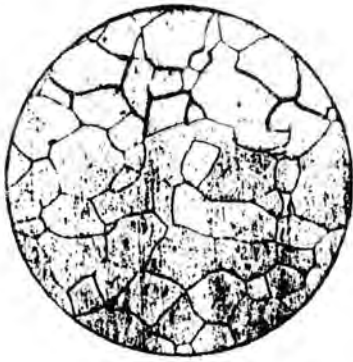


Gbr. Struktur Aluminium



Gbr. Struktur Copper





Gbr. Struktur Ferrite



Gbr. Struktur Ferrite &amp; Pearlite



Gbr. Struktur Brass

Gambar 2.12 Mikro Struktur Beberapa Logam

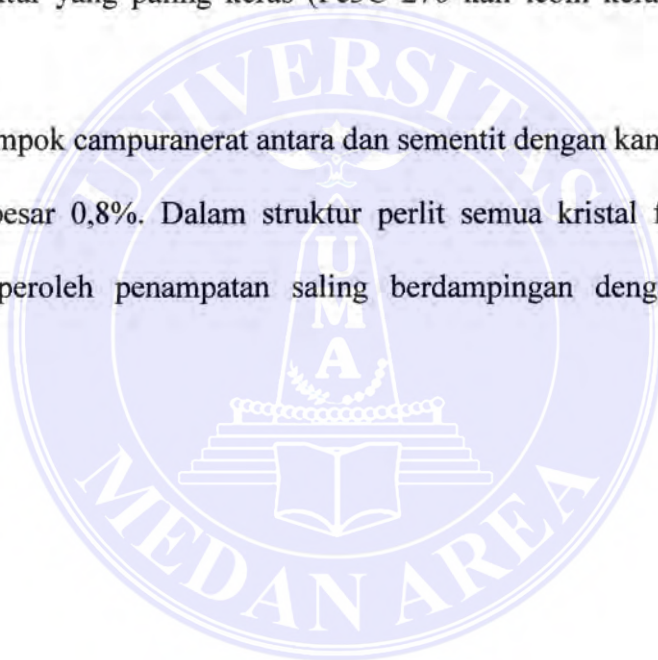
*Ferrit* adalah butiran besi murni, sedangkan *perlit* adalah lapisan serat *ferrit*, *martensit* adalah struktur yang terjadi akibat transfer geser yang cepat didalam kisi atom yang tidak diikuti dengan difusi atom. (Amanto, 1999)

*Ferrit* ialah kristal besi murni (*ferum* = Fe). Ferrit terletak rapat saling mendekat dan tidak teratur, baik bentuk maupun besarnya. Ferrit merupakan bagian baja yang

paling lunak. Ferit murni tidak akan cocok andai kata digunakan sebagai bahan benda kerja yang menampung beban karena kekuatannya kecil.

Sementit, ( $Fe_3C$ ) ialah suatu senyawa kimia antar besi (Fe) dengan zat arang (C). Sebagai unsur struktur tersendiri ia mengandung 6,7% zat arang. Rumus kimia  $Fe_3C$  menyatakan bahwa senantiasa ada 3 atom besi yang menyelenggarakan ikatan dengan sebuah atom zat arang (C) menjadi sebuah molekul karbit besi. Dengan mengikatnya kandungan C, maka membesar pula kadar sementit. Sementit dalam baja merupakan struktur yang paling keras ( $Fe_3C$  270 kali lebih keras dari besi murni).

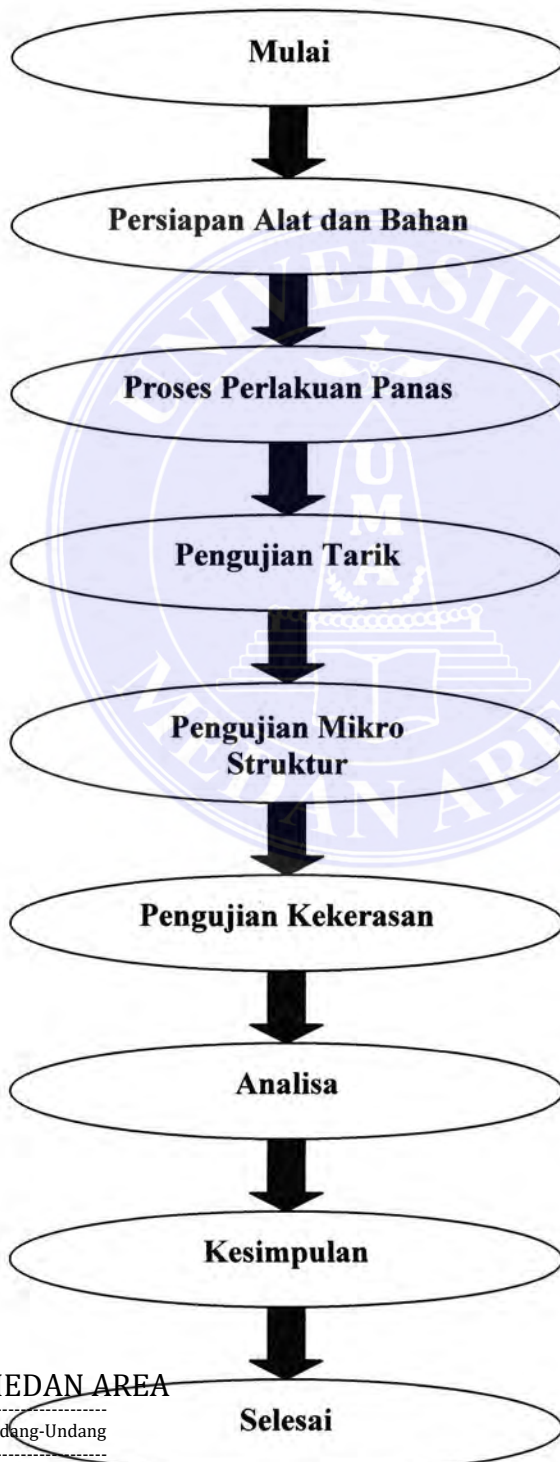
Perit merupakan kelompok campuran erat antara dan sementit dengan kandungan zat arang seluruhnya sebesar 0,8%. Dalam struktur perlit semua kristal ferit serpih sementit yang memperoleh penampatan saling berdampingan dengan lapisan tipis. (Verlag, 1985).



### BAB III

## METODOLOGI PENELITIAN

### Diagram Alir Penelitian



### 3.1. Alat dan Bahan

#### 3.1.1. Alat yang digunakan adalah :

##### 3.1.1.A. Kekuatan Tarik ( Tensile Test )

- a. Universal Testing Machine
- b. Jangka sorong
- c. Alat-alat lain yang mendukung

##### 3.1.1.B. Struktur Mikro pada baja karbon.

- a. Mikroskop Baja Karbon
- b. Tungku Pemanas
- c. Alat penghalus permukaan logam
- d. Kertas Pasir Ukuran
  1. Kertas Pasir 120
  2. Kertas Pasir 320
  3. Kertas Pasir 500
  4. Kertas Pasir 800
  5. Kertas Pasir 1000
- f. Larutan Nital dan larutan Pikral
- g. Air
- h. Polisher
- i. Larutan Alumina
- j. Campuran asam nitrat dan ethanol (etchan)
- k. Dryer ( Pengering )
- l. Alat-alat lain yang mendukung.

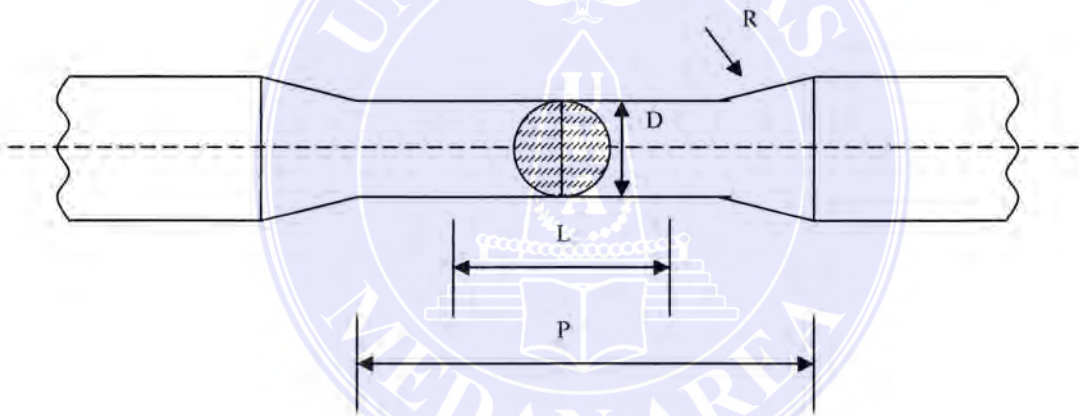
### 3.1.1.C. Vickers Hardness Tester

- a. Vickers hardness Tester kekuatan tekan 10 Kg
- b. Vickers Hardness Tester kekuatan tekan 150 Kg
- c. Alat-alat pendukung kerja lainnya.

### 3.1.2. Bahan yang digunakan

#### 3.1.2.1. Pengujian Tarik

Bahan yang digunakan untuk pengujian tarik ini adalah logam jenis Baja NS 1045 dengan bentuk yang menyerupai silinder seperti ditunjukkan gambar dibawah ini :



Gbr. 3.1. Contoh Benda Uji Tarik

#### 3.1.2.2. Pengujian Struktur Mikro dan Kekerasan

Bahan yang digunakan untuk pengujian tarik ini adalah logam jenis Baja NS 1045 dengan bentuk mirip silinder seperti ditunjukkan gambar dibawah ini :



Gbr. 3.2. Contoh Benda Uji Struktur Mikro dan Kekerasan

### 3.2. Cara Kerja

Pertama-tama lakukan terlebih dahulu proses perlakuan panas dengan langkah-langkah sebagai berikut :

Sediakan benda uji / specimen sebanyak 5 buah:

- 1 buah sebagai bahan yang tidak dipanaskan ditandai dengan angka 1
- 1 buah sebagai bahan Normalizing ditandai dengan angka 2
- 1 buah sebagai bahan Annealing ditandai ditandai dengan angka 3
- 1 buah sebagai bahan Quancing ditandai ditandai dengan angka 4
- 1 buah sebagai bahan Tempering ditandai ditandai dengan angka 5

Panaskan kesemuanya dalam furnanse selama 30 menit kecuali bahan yang no.1. Setelah pemanasan selama 30 menit, lakukan pendinginan pada bahan no. 2 didinginkan dialam terbuka, bahan no. 3 didinginkan didalam furnanse, dan bahan no. 4 dan 5 didinginkan dengan cepat dalam air.

Panaskan kembali bahan no. 5 pada temperature  $400^{\circ}\text{C}$  lalu dinginkan

UNIVERSITAS MEDAN AREA

kembali dalam air.

© Hak Cipta Di Lindungi Undang-Undang

Document Accepted 7/12/23

1. Dilarang Mengutip sebagian atau seluruh dokumen ini tanpa mencantumkan sumber

2. Pengutipan hanya untuk keperluan pendidikan, penelitian dan penulisan karya ilmiah

3. Dilarang memperbanyak sebagian atau seluruh karya ini dalam bentuk apapun tanpa izin Universitas Medan Area  
Access From (repository.uma.ac.id)7/12/23

Proses perlakuan panas ini dilakukan atau diperlakukan kepada masing-masing benda pengujian (Tarik, Struktur Mikro dan Kekerasan) dan dipanaskan secara terpisah antara yang untuk pengujian Tarik dan Struktur Mikro dan Kekerasan, mengingat dimensi ukurannya yang berbeda.

Setelah itu benda uji dapat diuji dengan beberapa test seperti berikut :

### 3.2.1. Kekuatan Tarik ( Tensile Test )

- a. Ukurlah panjang dan luas penampang dari bahan yang akan diuji (menurut bentuk bahan, semua ukuran sesuaikan dengan ukuran yang terdapat pada gambar diatas).
- b. Pengujian dilakukan dengan memakai alat “Universal Testing Machine”
- c. Dari percobaan catatlah : bahan pada terjadinya batas leleh (yield point), beban maximum dan beban pada saat bahan percobaan putus.
- d. Selesai percobaan ukurlah kembali panjang dan luas penampang dari bahan percobaan.

### 3.2.2. Struktur Mikro pada baja karbon.

- a. Sediakan contoh logam yang akan diteliti
- b. Dengan menggunakan alat pengasah logam, ratakan permukaan yang diselidiki sampai bekas goresan pada permukaan logam tidak ada lagi.
- c. Permukaan logam yang sudah bebas dari goresan, gosok dengan alat penggosok logam (polisher) sampai permukaan itu menjadi

- d. Bahan percobaan yang telah selesai dipoles, dikeringkan dengan alat pengering pancaran udara panas/dingin (specimen Dryer) yang bertujuan menghilangkan air dari permukaan logam yang telah dipoles.
- e. Selanjutnya permukaan yang telah dipoles, diberikan larutan etchan lalu dicuci dengan air kemudian dikeringkan di specimen Dryer, dan bahan percobaan siap untuk diteliti dengan alat Mikroskop Baja Karbon.

#### 3.2.2. a. Pembuatan Larutan Alumina

Timbanglah 20 gram Alumina Powder, kemudian larutkan kedalam air suling 100 ml dan kocok sampai homogen.

#### 3.2.2. b. Pembuatan Larutan Etchan

1. 95 ml Ethanol +  $\text{HNO}_3$
2. 4 gr Pikrat + Ethanol sampai volume 100 ml
3. 10 gr NaOH + 90 ml  $\text{H}_2\text{O}$  + (2 -5 ml)  $\text{H}_2\text{O}_2$

#### 3.2.3. Vickers Hardness Tester

##### A. Kekerasan Vickers

1. Ratakan permukaan yang akan diuji kekerasannya (usahakan jangan sampai miring) dan diasah sampai mengkilap supaya pengukuran dengan mikroskop micrometer lebih terang.
2. Pilih beban percobaan yang akan dipakai (10, 20, 30, 40, 50 kg) dengan memutar tombol penukar beban yang terdapat pada samping kanan alat



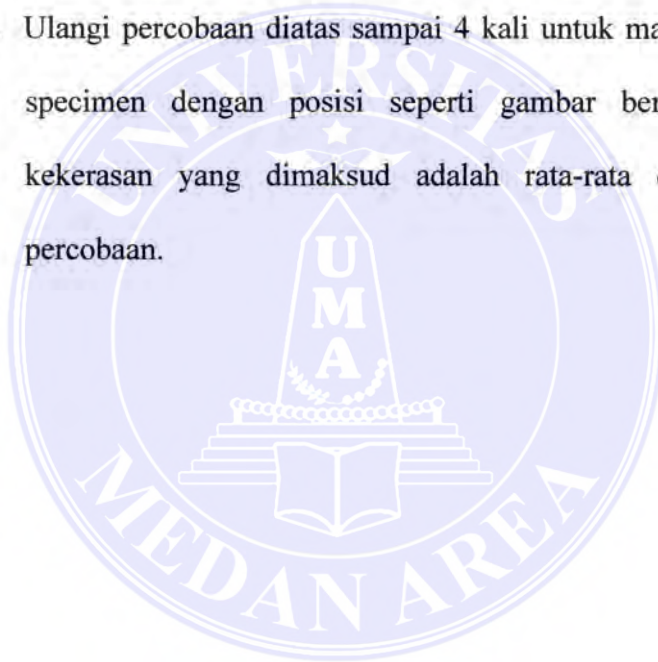
3. Letakkan bahan percobaan anda pada anvil dan anvil dinaikkan sampai jarak antara specimen dengan penetrator 0,3 mm.
4. Tekan tombol yang terdapat dibagian kanan alat, lampu pijar adalah sebagai tanda bahwa gaya atau beban sudah bekerja, biarkan selama 30 dtk sampai lampu tidak menyala lagi.
5. Setelah 30 detik, angkat engkol pembuka beban, geser lensa objektif kearah indentasi (bekas penekanan) dengan jalan memutar revolver knop searah dengan jarum jam.
6. Tentukanlah panjang diagonal dari indentasi, yaitu diagonal Horizontal dan diagonal vertical dan hitung diagonal rata-rata dari kedua diagonal diatas.
7. Hitunglah kekerasan vickers dengan rumus diatas. Percobaan Vickers adalah diambil dari kekerasan rata-rata dari 5 x pengujian,

#### B. Kekerasan Rockwell

1. Ratakan bahan permukaan percobaan dengan kertas pasir dengan sedatar mungkin
2. Letakkan bahan percobaan diatas anvil
3. Tentukan bahan percobaan dengan memutar tombol penukur muatan 150 kg untuk kekerasan Rockwell.
4. Putar engkol penaikan anvil sampai jarum pada piringan skala sejajar dengan O dan jarum yang kecil sejajar dengan titik

merah sebelah kiri, pada saat ini gaya minor (150 kg) sudah bekerja.

5. Tekan tombol tekan sebelah kanan muka dari alat dan biarkan selama 30 detik.
6. Setelah 30 detik, angkat engkol pembuka muatan dan baca angka yang ditunjukkan oleh jarum pada piringan skala, angka yang diperoleh adalah angka kekerasan Rockwell.
7. Ulangi percobaan diatas sampai 4 kali untuk masing-masing specimen dengan posisi seperti gambar berikut, angka kekerasan yang dimaksud adalah rata-rata dari 4 kali percobaan.



## BAB V

### KESIMPULAN

#### Tensile Strength ( $\sigma_b$ )

Perlakuan panas secara Tempering mempunyai kekuatan tarik yang paling besar.

#### Yield Stress ( $\sigma_s$ )

Untuk Quenching dan Tempering 400 tidak ada tercapainya kekenyalan atau kelelahan.

#### Elongasi ( $\epsilon$ )

Perlakuan panas secara Annealing mempunyai persentase secara Elongasi yang paling besar.

Perlakuan Panas (Heat Treatment) pada baja karbon.

Struktur ferrite ditunjukkan dengan dasar putih dan struktur pearlite ditunjukkan dengan hitam serta abu-abu dan terjadi pada seluruh spesiment yang diberi perlakuan panas kecuali pada spesiment yang diberi perlakuan panas Tempering 400 yang menghasilkan struktur Martensit.

#### Vickers Hardness Tester

Perlakuan panas secara Quenching mempunyai tingkat kekerasan yang paling tinggi.

## DAFTAR PUSTAKA

1. Amstead, B.H., dkk. 1997. Teknologi Mekanik Jilid I. Jakarta: Erlangga.
2. Bradbury, E.J. 1990. Dasar Metalurgi untuk Rekayasawan. Jakarta: Gramedia Pustaka Utama.
3. Fox TR, Knorr DB, Stoloff NS, 1999, Effects of Enviroment and Heat Treatment on The Tensile and Fatigue Properties of Ti 24 at% Al 11 at %NB, Fatigue Fract., Engng Mater Struct. Vol 19, No 11, pp. 1339 – 1355, Printed Great Britain, England
4. Koswara, Engkos.1999. Pengujian Bahan Logam. Bandung:Humaniora Utama Press.
5. Khurmi, R. S. dan Gupta, J. K. 1980. A Text Book of Machine Design. Moscow: Eurasia Publishing House.
6. Schonmetz, Alois dan Karl Gruber. 1985. Pengetahuan Bahan dalam Pengerjaan Logam. Bandung: Angkasa.
7. Buku Diktat “Metalurgi Fisik”, Universitas Medan Area Medan.
8. Buku Penuntun Praktikum “Mekanika Bahan Teknik”, PTKI Medan.
9. Jensen, H chenoweth. Kekuatan Bahan Terapan. Jakarta : Erlangga, 1991
10. Sumanto.Pengetahuan Bahan Untuk Mesin dan Listrik. Yogyakarta: andi offset .
11. Suherman, Wahid. Perlakuan Panas, Surabaya : ITS Press.
12. Van Vleck, Lawrence H. Ilmu dan Teknologi Bahan, Jakarta: Erlangga.
13. Surdia,Tata. Teknik Pengecoran Logam. Jakarta : Pradnya paramitha 1996

UNIVERSITAS MEDAN AREA

© Hak Cipta Di Lindungi Undang-Undang

Document Accepted 7/12/23

1. Dilarang Mengutip sebagian atau seluruh dokumen ini tanpa mencantumkan sumber

2. Pengutipan hanya untuk keperluan pendidikan, penelitian dan penulisan karya ilmiah

3. Dilarang memperbanyak sebagian atau seluruh karya ini dalam bentuk apapun tanpa izin Universitas Medan Area

Access From (repository.uma.ac.id)7/12/23

14. Sebayang, Darwin. Ilmu Kekuatan Bahan. Jakarta : Erlangga 1995
15. Smallman, R E. dan R J Bishop Metalurgi Fisik Modern dan Rekayasa Material, Jakarta : Erlangga 2000
16. E Dieter, George. Metalurgi mekanik. Jakarta : Erlangga 1996.
17. As-cast 53 Karsay, Stephen Istvan. American Foundrymen's Society, 1979.
18. K. B. Rundman. International ADI and Simulation Conference, Otaniemi, Finland, 1997.
19. Karsay, S. Istvan. DUCTILE IRON-The State of The Art. QIT-Fer et Titane Inc, Canada, 1980.
20. Karsay, S. Istvan. DUCTILE IRON II -Engineering, Design, Properties, Applications. Quebec Iron and Titanium Corporation, Canada, 1971.
21. T. Surdia, S. Saito. Pengetahuan Bahan Teknik. PT. Pradnya Paramita, Jakarta, 1995.
22. B. V. Kovacs. International ADI Seminar, June, Otaniemi Finland, 1994.
23. Mallia. Journal of Materials Science and Technology 13 (1997).
24. A. S. Hamid Ali, R. Elliot. Materials Science and Technology 103 (1997).
25. Japanese Industries Standard, 1990.
26. American Society For Testing and Materials, 1999, E 23 " Standard Test Methods For Notched Bar Impact Testing Of Metallic Materials", ASTM Standards Vol.03.01, ASTM Society.
27. American Society For Testing and Materials, 1999, E 8 M "Standard Test Methods for Tension Testing of Metallic Materials", ASTM Standards Vol.03.01, ASTM Society.

industri untuk Proses pembentukan lapisan difusi aluminium pada permukaan Baja karbon rendah”, Universitas Gunadarma, Depok.

29. Bishop R. J., Smallman R. E., 2004, “ Metalurgi Fisik Modern dan Rekayasa Material “, Erlangga, Jakarta.
30. Chamberlain J., Trethewey KR., 1991, “ KOROSI (Untuk Mahasiswa dan Rekayasawan) ”, PT Gramedia Pustaka Utama, Jakarta.
31. Dieter, George E., Sriati Djaprie, 1987, “Metalurgi Mekanik”, jilid 1 & 2, Penerbit Erlangga, Jakarta
32. Gambrell J.W.,1992, “ Surface Engineering ASM Handbook volume 5 ASM International.
33. [http://www.bcpartridge.co.uk/trailers\\_wessex.php](http://www.bcpartridge.co.uk/trailers_wessex.php) (6 juni 2009).
34. <http://gadang-e-bookfor-material-science.blogspot.com/2007/11/artikel>
35. <http://www.idodsystems.com/galprocess.html> (27 Juli 2009).
- 36 <http://www.westgalv.net.au/galvanising.html> (27 Juli 2009)
37. Prabowo, H., “Pengaruh Variasi Waktu Pencelupan dan Penempatan Letak Anoda-Katoda Proses Elektroplanting Nikel Pada Baja Karbon Rendah “, Universitas Muhammadiyah Surakarta, Surakarta.
38. Rochiem, 2008, “ Analisa Pengaruh Variasi Penambahan Unsur Nikel (Ni), Aluminium (Al) Dan Mangan (Mn) Pada Bath Seng Terhadap Ketebalan, Kekerasan, Kekilauan Dan Adhesivitas Lapisan Hasil Hot Dip Galvanizing Pada Low Carbon Steel ”,Institut Teknologi Sepuluh

UNIVERSITAS MEDAN AREA

November, Surabaya.

© Hak Cipta Di Lindungi Undang-Undang

Document Accepted 7/12/23

1. Dilarang Mengutip sebagian atau seluruh dokumen ini tanpa mencantumkan sumber

2. Pengutipan hanya untuk keperluan pendidikan, penelitian dan penulisan karya ilmiah

3. Dilarang memperbanyak sebagian atau seluruh karya ini dalam bentuk apapun tanpa izin Universitas Medan Area  
Access From (repository.uma.ac.id)7/12/23

39. Suharno, S., 2007, "Pengaruh Waktu Kontak Terhadap Reaksi Antar Muka Paduan Aluminium 7%-Si Dan Aluminium 11%-Si Dengan Baja Cetakan SKD 61", Universitas Indonesia, Depok
40. Townsend, 1992, "Surface Engineering ASM Handbook volume 5", ASM International.
41. Beumer, B.J.M. 1978. "Ilmu Pengetahuan Logam". Semarang: PT. Bhartara Karya Aksara.
42. Beumer, B.J.M. 1980, "Pengetahuan Bahan". Semarang: PT. Bhartara Karya Aksara.
43. Doan, G.E. 1952. "The Principles of Physical Metallurgy". New York: Mc Graw Boo Company.
44. Djafri, Sriati. 1983. "Teknologi Mekanik Jilid I". Terjemahan dari Manufacturing Processes", Jakarta: Erlangga.
45. Djafri, Sriati. 1987. "Metalurgi Mekanik". Terjemahan dari Mechanical Metallurgy. Jakarta: Erlangga.
46. Djafri, Sriati. 1990. "Dasar Metalurgi untuk Rekayasa". Terjemahan dari Essential Metallurgy for Engineers. Jakarta: Erlangga.
47. Hari, A. dan Daryanto. 1999. "Ilmu Bahan". Jakarta: Bumi Aksara.
48. James F. Shackford. 1992. "Introduction to Material Science for Engineers". New York: Macmilan Publishing Company.
49. George, E.D. (1996) Mechanical Metallurgy 2<sup>nd</sup> ed, Mc Graw Hill, Kagokusho Ltd, Singapore.

50. Herman, W.P. (1991) Materials Science And Metallurgy, Reston Publishing Company, Virginia

51. Japanese Standart Associatio. (1980) JIS Hand Book, Akosaka 4 Chome, Minatuko, Tokyo, Japan.
52. Karl-Eric, T. (1994) Steel and Its Heat Treatment, Second Edition, Buffer Warth & Co, Boston, London.
53. Sidney, H.A. (1994) Introduktion to Physical Metallurgy, Second Edition, Mc Graw Hill Book Company, New York.
54. Wahid, S. (1990) Ilmu Logam I, Teknik Mesin Fakultas Teknik Industri ITS, Surabaya.
55. Yureman, Z. (1993) Laporan Hasil Analisa Komposisi Kimia Bahan Baja, Lab QC/QA Foundry Politeknik Manufaktur Bandung, Bandung.

