

**TUGAS AKHIR**

**PENGARUH VARIASI PUKULAN PADA PROSES *FORGING HOT WORKING* TERHADAP SIFAT MEKANIS DAN STRUKTUR MIKRO**



OLEH :

**FEGGY ADPRIANTO**

**15.331.0626**

**PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN**

**FAKULTAS TEKNIK**

**UNIVERSITAS ISLAM RIAU**

**PEKANBARU**

**2022**

HALAMAN PERSETUJUAN

TUGAS AKHIR

PENGARUH VARIASI PUKULAN PADA *PROSES FORGING*  
*HOT WORKING* TERHADAP SIFAT MEKANIS DAN  
STRUKTUR MIKRO

UNIVERSITAS ISLAM RIAU

Disusun Oleh :

FEGGY ADPRIANTO

NPM : 153310626

PEKANBARU

Disetujui Oleh :



Jhonni Rahman, B.Eng., M.Eng., PhD  
Dosen Pembimbing

Tanggal : 15 Agustus 2022

**HALAMAN PENGESAHAN**

**TUGAS AKHIR**

**PENGARUH VARIASI PUKULAN PADA PROSES *FORGING HOT WORKING* TERHADAP SIFAT MEKANIS DAN STRUKTUR MIKRO**

Disusun Oleh :

**FEGGY ADPRIANTO**

**NPM : 153310626**

Disetujui :

**PEMBIMBING**

**JHONNI RAHMAN., B.Eng., M.Eng., Ph.D.**

**NIDN. 1009038504**

**PENGUJI I**

**PENGUJI II**

**DODY YULIANTO., ST., MT**  
**NIDN.1029047302**

**RIEZA ZULRIAN ALDIO., B.Eng., M.Sc**  
**NIDN.1002129301**

Disahkan Oleh :

**KETUA PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN**

**JHONNI RAHMAN, B.Eng., M.Eng., Ph.D**

**NIDN. 1009038504**

## SURAT PERNYATAAN

Saya yang bertandatangan dibawah ini:

Nama : Feggy Adprianto

NPM : 153310626

Program Studi : Teknik Mesin (S1)

Judul Tugas Akhir : **PENGARUH VARIASI PUKULAN PADA *PROSES FORGING HOT WORKING* TERHADAP SIFAT MEKANIS DAN STRUKTUR MIKRO**

Menyatakan dengan sebenar benarnya bahwa penulisan tugas akhir ini adalah hasil penelitian, pemikiran, dan pemaparan asli dari karya ilmiah saya sendiri, baik dari naskah laporan maupun data data yang tercantum pada tugas akhir ini. Jika terdapat karya ilmiah ini milik orang lain, saya akan mencantumkan sumber dengan jelas pada daftar pustaka.

Surat pernyataan ini saya buat sesungguhnya dan apabila dikemudian hari terdapat penyimpangan serta tidak benar dalam pernyataan ini, maka saya bersedia mengakuinya dan menerima sanksi sesuai dengan ketentuan yang berlaku di Universitas Islam Riau.

Demikian surat pernyataan ini saya buat dalam keadaan baik baik saja dan tanpa paksaan dari pihak manapun.

Pekanbaru, 15 Agustus 2022



Feggy Adprianto  
NPM: 153310626

# PENGARUH VARIASI PUKULAN PADA PROSES *FORGING* HOT WORKING TERHADAP SIFAT MEKANIS DAN STRUKTUR MIKRO

*Feggy Adprianto, Jhonni Rahman*

Program Studi Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Islam Riau  
Jl.Kaharuddin Nasution Km 11 No.113 Perhentian Marpoyan, Pekanbaru  
Telp. 0761 – 674635 Fax. (0761) 674834

## ABSTRAK

Penempaan atau *forging* merupakan penekanan pada logam dengan daya tekan yang tinggi sehingga dapat dikatakan, penempaan merupakan proses pembentukan logam dalam keadaan panas dengan cara memukul menggunakan mesin dalam keadaan panas. Pukulan yang diberikan terhadap logam dengan sasaran meningkatkan kekerasan alami logam. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui variasi pukulan terhadap sifat mekanis dan struktur mikro. Pada penelitian ini, bahan yang dipilih adalah baja JIS SUP 9 dengan variasi pukulan 0, 25, 50, 75 dan 100 dan temperature 900°C. Hasil pengamatan mikrostruktur pada 0 pukulan terlihat struktur mikro yang umum dijumpai pada Baja Karbon rendah dan sedang, pada 25 pukulan tempa *hot working* struktur mikro yang dominan pada sampel kedua adalah Pearlit, pada 50 pukulan tempa *hot working* struktur mikro yang dominan pada sampel kedua adalah Ferit dan pearlit mulai mengecil, 75 dan 100 pukulan tempa *hot working* struktur mikro yang dominan pada sampel kedua adalah pearlit (warna hitam). Hasil pengujian kekerasan terendah pada 0 pukulan yaitu 69,3 HRB, sedangkan nilai kekerasan tertinggi pada 100 pukulan yaitu 93,67 HRB. Hal ini disebabkan karena adanya tekanan dan panas yang memberikan kekerasan pada material. Semakin tinggi pukulan maka semakin tinggi nilai kekerasan pada JIS SUP 9.

**Kata kunci :** Variasi Pukulan, Forging Hot Working, Kekerasan (Hardness), Struktur Mikro

# THE EFFECT OF PUTTING VARIATIONS ON THE FORGING HOT WORKING PROCESS ON MECHANICAL PROPERTIES AND MICROSTRUCTURES

*Feggy Adprianto, Jhonni Rahman*

Mechanical Engineering Study Program, Faculty of Engineering, Islamic University of Riau

Jl.Kaharuddin Nasution Km 11 No.113 Perhentian Marpoyan, Pekanbaru  
Telp. 0761 – 674635 Fax. (0761) 674834

## ABSTRACT

Forging or forging is an emphasis on metal with high compressive power so that it can be said, forging is the process of forming metal in a hot state by hitting it using a hot machine. The blow is given to the metal with the aim of increasing the natural hardness of the metal. This study aims to determine the variation of the blow on the mechanical properties and microstructure. In this study, the material chosen was JIS SUP 9 steel with variations of 0, 25, 50, 75 and 100 and a temperature of 900oC. The results of microstructural observations at 0 strokes show that the microstructure commonly found in low and medium carbon steels, at 25 hot working strokes the dominant microstructure in the second sample is Pearlite, at 50 hot working strokes the dominant microstructure in the second sample is ferrite. and pearlite began to shrink, 75 and 100 blows of hot working forging the dominant microstructure in the second sample was pearlite (black color). The results of the lowest hardness test at 0 strokes is 69.3 HRB, while the highest hardness value at 100 strokes is 93.67 HRB. This is due to the pressure and heat that give hardness to the material. The higher the stroke, the higher the hardness value on JIS SUP 9

Keywords : Punch Variation, Forging Hot Working, Hardness, Micro Structure

## KATA PENGANTAR



**Assalamualaikum, Wr. Wb.**

Puji syukur ke hadirat Allah SWT yang telah memberikan rahmat, karunia dan anugerah-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi ini. Adapun tujuan penulisan skripsi ini adalah untuk memenuhi persyaratan guna mencapai gelar sarjana teknik di Prodi Mesin Fakultas Teknik Universitas Islam Riau.

Dibalik keberhasilan penulis dalam menyusun skripsi ini tidak lepas dari bantuan berbagai pihak, maka sudah sepantasnya penulis mengucapkan terima kasih yang sangat mendalam kepada semua pihak yang telah berpartisipasi dalam penelitian dan penulisan skripsi ini khususnya kepada :

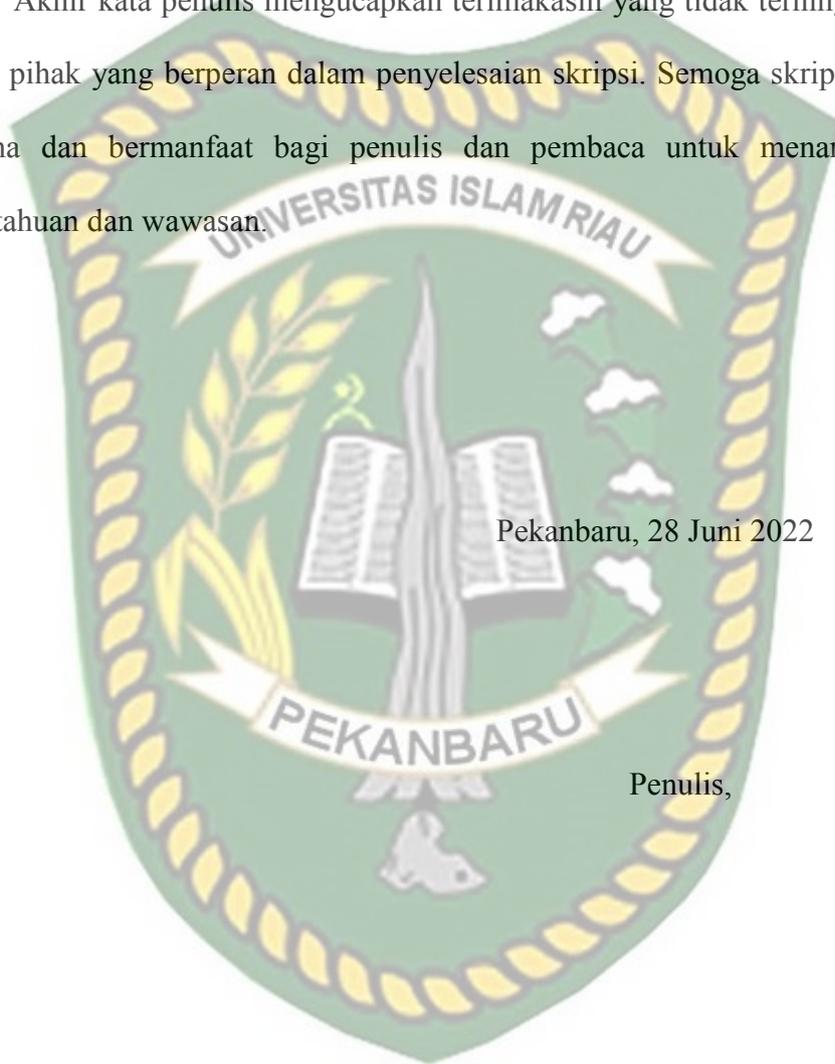
1. Kedua Orang tua tercinta yakni Bapak dan Ibu yang telah memberikan motivasi, semangat, dan dukungan kepada penulis, baik dukungan secara moril maupun materil.
2. Bapak Jhonni Rahman, B.Eng. M.Eng., PhD selaku Dosen Pembimbing Skripsi dan selaku Ketua Prodi Teknik Mesin Universitas Islam Riau yang telah membantu dan membimbing dalam penyusunan skripsi.
3. Rafil Arizona, S.T., M.Eng selaku Sekretaris Prodi Teknik Mesin Universitas Islam Riau.
4. Kepada seluruh dosen Program Studi Teknik Mesin yang telah menuangkan ilmunya kepada saya.

5. Rekan - rekan seperjuangan yang telah membantu memberikan dorongan moral dalam pembuatan skripsi.

Akhir kata penulis mengucapkan terimakasih yang tidak terhingga kepada semua pihak yang berperan dalam penyelesaian skripsi. Semoga skripsi ini dapat berguna dan bermanfaat bagi penulis dan pembaca untuk menambah ilmu pengetahuan dan wawasan.

Pekanbaru, 28 Juni 2022

Penulis,



Dokumen ini adalah Arsip Miik :

Perpustakaan Universitas Islam Riau

## DAFTAR ISI

	<b>Halaman</b>
<b>KATA PENGANTAR</b> .....	i
<b>DAFTAR ISI</b> .....	iii
<b>DARTAR TABEL</b> .....	vi
<b>DAFTAR GAMBAR</b> .....	vii
<b>DAFTAR NOTASI</b> .....	viii
<b>ABSTRAK</b> .....	ix
<b>BAB I PENDAHULUAN</b>	
1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Rumusan Masalah .....	3
1.3 Tujuan Penelitian .....	3
1.4 Batasan Masalah.....	3
1.5 Manfaat Penelitian .....	4
1.6 Sistematika Penulisan .....	5
<b>BAB II TINJAUAN PUSTAKA</b>	
2.1 Proses Tempa ( <i>Forging</i> ) .....	6
2.2 Cara Kerja Mesin Tempa .....	9
2.3 Perlakuan Panas ( <i>Heat Treatment</i> ) .....	10
2.3.1 <i>Full Annealing</i> .....	14
2.3.2 <i>Normalizing</i> .....	16
2.3.3 <i>Quenching</i> .....	17
2.4 Tahap-tahap Proses Perlakuan Panas .....	19
2.5 Dapur Tempa.....	21

2.6	Baja .....	22
2.6.1	Klasifikasi Baja .....	23
2.6.1.1	Baja Karbon ( <i>Carbon Steel</i> ) .....	23
2.6.1.2	Baja Paduan ( <i>Alloy Steel</i> ) .....	24
2.7	Uji Kekerasan ( <i>Rockwell</i> ) .....	25
2.8	Pengujian Struktur Mikro .....	29

**BAB III METODE PENELITIAN**

3.1	Diagram Alir Penelitian .....	35
3.2	Persiapan Alat .....	37
3.3	Persiapan Bahan .....	40
3.4	Proses <i>Forging Hot Working</i> .....	41
3.4.1	Perlakuan <i>Full Annealing</i> .....	41
3.4.2	Perlakuan Tempa .....	42
3.4.3	Perlakuan <i>Manual Flame Hardening</i> .....	42
3.5	Cara Kerja <i>Forging Hot Working</i> .....	43
3.6	Pengujian Kekerasan ( <i>Rockwell</i> ) .....	43
3.7	Pengujian Struktur Mikro .....	45
3.8	Jadwal Kegiatan Penelitian .....	46

**BAB IV ANALISA DAN PEMBAHASAN**

4.1	Hasil Pengamatan Mikrostrukturu .....	47
4.2	Hasil Uji Kekerasan .....	50
4.3	Deformasi Plastis .....	52

**BAB V KESIMPULAN DAN SARAN**

5.1 Kesimpulan .....	55
5.2 Saran .....	56

**DAFTAR PUSTAKA**



Dokumen ini adalah Arsip Miik :  
**Perpustakaan Universitas Islam Riau**

## DAFTAR GAMBAR

Gambar	Halaman
2.1 Proses Tempa .....	6
2.2 Batas Temperature Pengerjaan Panas .....	8
2.3 Diagram Fe-Fe <sub>3</sub> C .....	11
2.4 Diagram Proses <i>full annealing</i> .....	15
2.5 Diagram Proses <i>Normalizing</i> .....	16
2.6 Diagram Proses <i>Quenching</i> .....	18
2.7 Grafik CCT Diagram Baja Eutektik .....	20
2.8 Identer Kerucut Pada Ujung Diamon .....	26
2.9 Ilustrasi Uji Kekerasan Rockwell .....	27
2.10 Bagan Pengujian HRC .....	27
2.11 Bagan Pengujian HRB .....	28
3.1 Diagram Alir Penelitian .....	35
3.2 Mesin Tempa .....	38
3.3 Dapur Tempa .....	38
3.4 Gerinda Tangan .....	39
3.5 <i>Stopwatch</i> .....	39
3.6 Jangka Sorong .....	40
3.7 JIS SUP 9 .....	40
3.8 Air .....	41
3.9 Spesimen Uji .....	42
3.10 Alat Uji Kekerasan <i>Micro Hardness</i> .....	44
3.11 Alat Pengamatan <i>Microscope Merk Olympus BX53M</i> .....	45
4.1 Hasil penempaan ( <i>hot working</i> ) pada JIS SUP 9 .....	47
4.2 Sample pengujian Rockwell .....	50
4.3 Grafik kekerasan (Rockwell) pada variasi pukulan ( <i>hot working</i> ) .....	51
4.4 Hasil perubahan bentuk setelah di tempa ( <i>Hot Working</i> ) .....	52
4.5 Hasil selisih perubahan ketebalan pada JIS SUP 9 .....	53

## BAB I

### PENDAHULUAN

#### 1.1 Latar Belakang

Kemajuan ilmu pengetahuan dan teknologi berjalan begitu pesat, khususnya dalam hal pembuatan alat perkakas. Untuk memenuhi tuntutan konsumen akan produk yang mempunyai kualitas bagus dibutuhkan inovasi dan penelitian yang dapat menunjang perbaikan kualitas produk. Disamping pembuatan alat perkakas yang dilakukan oleh industri-industri besar secara modern, di Indonesia juga terdapat pembuatan alat perkakas yang dilakukan dengan cara konvensional oleh industri rumahan pengrajin logam. Proses pembuatannya menggunakan alat-alat yang sederhana dan proses pembuatan dilakukan secara tempa (*forging*), Kualitas alat perkakas yang kurang baik berakibat pada hilangnya kepercayaan konsumen terhadap produk yang dihasilkan oleh pengrajin logam.

Penempaan atau *forging* merupakan penekanan pada logam dengan daya tekan yang tinggi sehingga dapat dikatakan, penempaan merupakan proses pembentukan logam dalam keadaan panas dengan cara memukul menggunakan mesin dalam keadaan panas. Penempaan juga merupakan sebuah proses perapatan butir atau serat pada bahan baku (material). Proses penempaan akan memperbaiki struktur mikro dengan pemadatan dan pengecilan butiran sehingga meningkatkan kekuatan dan kekerasan paduan (Ismoyo A.H, 2013).

Penempaan dapat dilakukan dengan tangan maupun mesin. Untuk benda kerja yang ringan dapat dilakukan dengan menggunakan tangan. Penempaan dengan mesin biasanya dilakukan pada pekerjaan-pekerjaan yang berat. Dalam proses tempa dipengaruhi oleh temperatur, komposisi kimia dan pukulan mekanik (Schroen, 1984). Temperatur atau perlakuan panas yang diberikan terhadap logam dengan sasaran meningkatkan kekerasan alami logam.

Beberapa penelitian sebelumnya mengatakan bahwa proses pembuatan pisau menggunakan bahan dari baja karbon sedang dengan di beri perlakuan panas secara *hardening* dan menggunakan media pendingin air, karena menghasilkan pisau dengan nilai kekerasan yang tinggi yaitu 652,64 HV. Penelitian tersebut juga menunjukkan bahwa variasi temperatur *forging* 350°C, 400°C, 450°C dan 500°C mempengaruhi nilai kekuatan tarik dan kekerasan. Hal ini disebabkan karena semakin tinggi temperatur pada proses *forging* maka pergerakan dislokasi akan semakin mudah sehingga dapat menurunkan kekuatan tarik dan kekerasannya (Trihutomo, 2015).

Berdasarkan beberapa penelitian yang telah dilakukan, maka perlu dilakukan penelitian untuk mengetahui pengaruh variasi pukulan pada proses *forging hot working* terhadap sifat mekanis dan struktur mikro. Karena temperatur dibawah 400°C akan menimbulkan sifat rapuh pada baja. Pada penelitian ini pukulan yang variasikan yaitu 25, 50, 75 dan 100 pada baja paduan untuk pembuatan pisau dapur.

## 1.2 Rumusan Masalah

Rumusan masalah pada penelitian berdasarkan latar belakang yang telah dijelaskan adalah:

1. Bagaimana pengaruh *forging hot working* terhadap sifat mekanis dan struktur mikro?
2. Bagaimana pengaruh variasi pukulan pada proses *forging hot working* terhadap deformasi plastis material?
3. Bagaimana pengaruh variasi pukulan pada proses *forging hot working* terhadap ketebalan pisau?

## 1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah :

1. Untuk mendapatkan pengaruh *forging hot working* terhadap sifat mekanis dan struktur mikro.
2. Untuk mendapatkan pengaruh variasi pukulan pada proses *forging hot working* terhadap deformasi plastis material.
3. Untuk mendapatkan pengaruh variasi pukulan pada proses *forging hot working* terhadap ketebalan pisau.

## 1.4 Batasan Masalah

Agar penelitian dapat berjalan lancar secara terarah dan mencapai tujuan yang diinginkan, batasan masalah yang diberlakukan sebagai berikut :

1. Bahan yang digunakan yaitu Baja JIS SUP 9.

2. Temperatur yang diberikan yaitu  $900^{\circ}\text{C}$
3. Pukulan yang divariasikan yaitu 0, 25, 50, 75 dan 100.
4. Beban yang diberikan 250 kg dan kecepatan 10 m/s.
5. Pengujian mekanik adalah uji kekerasan (*Rockwell*).
6. Pengamatan struktur mikro dengan menggunakan alat Mikroskop dengan Merk Olympus BX53M.

### 1.5 Manfaat Penelitian

Hasil dari dilakukannya penelitian ini diharapkan dapat memberikan manfaat antara lain :

a. Bagi penulis

Penelitian ini berguna untuk menambah wawasan dan pengetahuan mengenai variasi pukulan pada proses *forging* terhadap sifat mekanik dan struktur mikro secara teoritis maupun dalam dunia nyata, serta pengaplikasian pengetahuan yang selama ini didapat selama masa perkuliahan.

b. Bagi akademik

Penelitian ini dapat memberikan masukan dan informasi yang diharapkan mampu memberikan manfaat baik dalam bidang akademik maupun dalam bidang praktisi.

c. Bagi peneliti selanjutnya

Penelitian ini berguna untuk memberikan masukan bagi peneliti selanjutnya dan menjadikan penelitian ini sebagai informasi pelengkap dalam penyusunan penelitian yang sejenis.

## 1.6 Sistematika Penulisan

Untuk memperoleh gambaran secara umum tentang perancangan ini, penulis melengkapi pengiraianya sebagai berikut :

### BAB I : PENDAHULUAN

Berisi tentang latar belakang, rumusan masalah, tujuan, batasan masalah dan sistematika penulisan.

### BAB II : LANDASAN TEORI

Landasan teori diri dari membahas teori penunjang dari penelitian proses *forging hot working*.

### BAB III : METODE PENELITIAN

Diagram alir penelitian, bahan dan alat, waktu dan tempat.

### BAB IV : HASIL ANALISA DAN PEMBAHASAN

Berisi tentang hasil analisa pengujian kekerasan dan pengujian struktur mikro memberikan pembahasan setiap grafik pengujian.

### BAB V : KESIMPULAN DAN SARAN

Berisi tentang kesimpulan dari hasil penelitian dan memberikan saran untuk peneliti selanjutnya

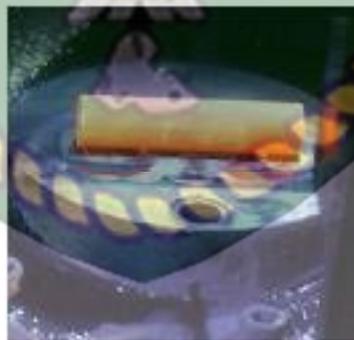
### DAFTAR PUSTAKA

## BAB II

### TINJAUAN PUSTAKA

#### 2.1 Proses Tempa (*Forging*)

Penempaan atau *forging* merupakan penekanan pada logam dengan daya tekan yang tinggi sehingga dapat dikatakan, penempaan merupakan proses pengerjaan logam dalam keadaan panas dengan cara memukul menggunakan palu dalam keadaan panas. Penempaan juga merupakan sebuah proses perapatan butir atau serat pada bahan baku (material). Proses penempaan memperbaiki struktur mikro dengan pemadatan dan pengecilan butiran sehingga meningkatkan kekuatan dan kekerasan paduan (Ismoyo, 2013) Penempaan dapat dilakukan dengan tangan maupun mesin. Untuk benda kerja yang ringan dapat dilakukan dengan menggunakan tangan. Proses tempa dapat dilihat pada Gambar 2.1. Penempaan dengan mesin biasanya dilakukan pada pekerjaan-pekerjaan yang berat (Anwar, 2017).



**Gambar 2.1** Proses Tempa

(Sumber : Ardian, 2012)

Keuntungan dari penempaan sendiri yaitu logam dalam keadaan panas bersifat lunak dan mudah untuk dibentuk, benda-benda yang sama yang dikerjakan dengan penempaan lebih kuat daripada yang dikerjakan dengan mesin, benda-benda dengan bentuk yang rumit dapat diproduksi dengan mudah dan murah daripada menggunakan mesin, pembentukan yang dilakukan dengan penempaan tidak dilakukan pemotongan, sehingga jumlah logam yang hilang atau terbuang lebih sedikit. Sedangkan kerugian dari penempaan yaitu temperature tempa yang tinggi akan menyebabkan oksidasi sehingga benda kerja akan cepat mencair, selain itu ukuran yang tepat juga sulit untuk dicapai.

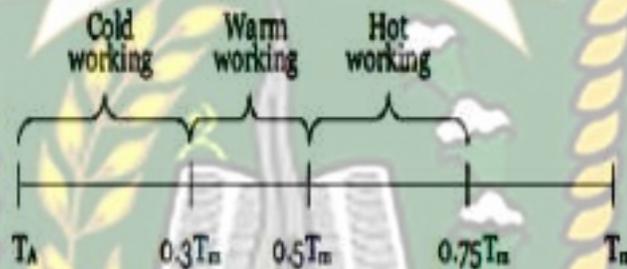
Ada beberapa cara yang digunakan dalam kerja tempa yaitu :

- a. Meratakan benda kerja
- b. Membuat tajam benda kerja
- c. Memukul atau membentuk benda kerja
- d. Membengkokkan benda kerja.

Temperatur dan warna untuk benda kerja yang ideal adalah pada temperatur suhu  $800-930^{\circ}\text{C}$  atau berwarna merah kekuning-kuningan. Baja tidak boleh ditempa pada suhu dibawah  $400^{\circ}\text{C}$ , karena akan menimbulkan sifat rapuh pada baja. Jika baja dipanaskan diatas suhu  $1200^{\circ}\text{C}$ , maka baja akan terbakar dan tidak bisa diperbaiki lagi (Anwar, 2017).

Dalam proses penempaan terdapat dua macam metode penempaan, yaitu pengerjaan dingin dan pengerjaan panas. Metode pengerjaan panas dilakukan dengan cara bahan dipanaskan terlebih dahulu hingga mencapai temperatur sekitar  $0,75 T_m$ ,

kemudian dilakukan proses penempaan pada temperature  $0,6 T_m$  hingga  $0,5 T_m$  . Metode ini akan mengakibatkan struktur dan sifat-sifat logam yang tidak seragam karena deformasi selalu lebih besar pada permukaan. Logam akan mengalami butir rekristalisasi yang lebih kecil pada permukaan, hal ini dapat dihindari dengan mengontrol temperatur pengerjaan seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.2. Metode ini yang biasa digunakan oleh pande besi tradisional (Schey, 2000).



**Gambar 2.2** Batas Temperatur Pengerjaan Panas

(Sumber : Schey, 2000)

Pande besi tradisional melakukan pengontrolan temperature secara manual berdasarkan warna dari baja dan api yang dihasilkan. Secara tidak langsung warna dari api menunjukkan temperturnya, seperti pada tabel 2.1 dibawah ini. Warna api atau baja yang digunakan ketika melakukan penempaan pada umumnya berwarna *cherry red* atau pada temperatur tempa sekitar  $800^{\circ}\text{C}$  (Hrisoulas, 1987).

Tabel 2.1. Variasi warna dan temperatur pada api

No	Temperatur (°F/°C)	Warna
1	1200°F / 648°C	<i>Dull red</i>
2	1400°F / 760°C	<i>Red</i>
3	1500°F / 815°C	<i>Cherry red</i>
4	1600°F / 871°C	<i>Full cherry red</i>
5	1800°F / 982°C	<i>Orange</i>
6	1900°F / 1037°C	<i>Orange yellow</i>
7	2000°F / 1093°C	<i>Yellow</i>
8	2200°F / 1204°C	<i>Full yellow</i>
9	2400°F / 1315°C	<i>Light yellow</i>

(Sumber : Hrisoulas, 1987)

## 2.2 Cara Kerja Mesin Tempa

Kerja tempa adalah suatu proses pengerjaan logam yang paling tua. Prosesnya terdiri dari atas pemukulan atau penekanan logam menjadi bentuk yang dikehendaki. Hal ini dapat dikerjakan baik dalam keadaan panas maupun dingin, tetapi istilah tempa umumnya menggunakan panas. Jadi yang dimaksud menempa adalah suatu proses pengerjaan logam dalam keadaan panas dengan cara memukul dengan palu diatas landasan.

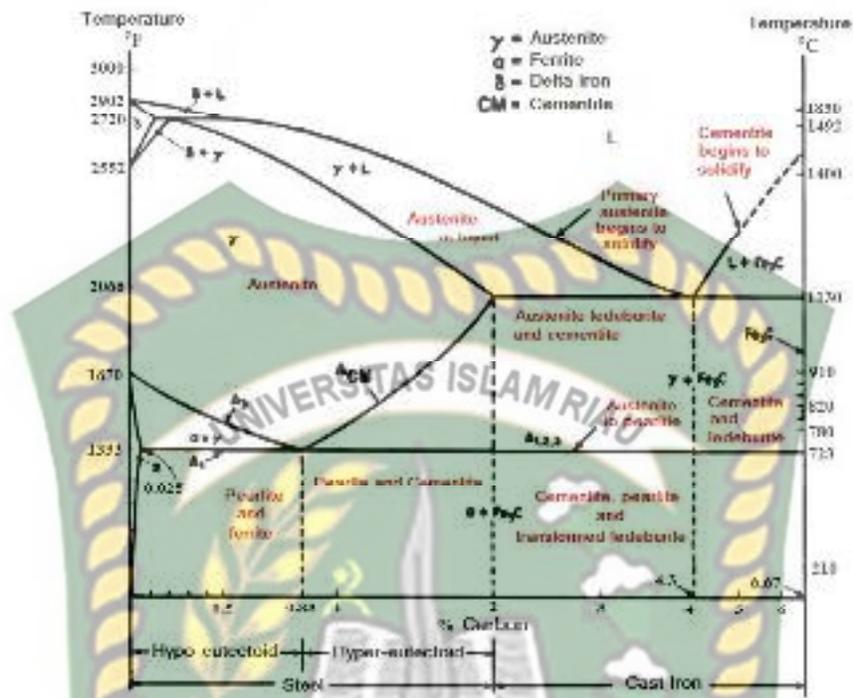
Penempaan dapat dilakukan dengan tangan maupun dengan mesin. Untuk benda-benda kerja yang ringan dapat dilakukan dengan penempaan tangan. Penempaan dengan mesin biasanya dilakukan untuk pekerjaan-pekerjaan berat, dapat menggunakan matres ataupun tidak menggunakan matres. Dalam melaksanakan pekerjaan menempa diperlukan alat dan peralatan, seperti dapur tempa, alat

pemotong, alat pelubang, alat peregang, alat pembentuk, alat ukur, dan alat bantu lainnya (Djoko Andrijono dan Sufiyanto, 2018).

### 2.3 Perlakuan Panas (*Heat Treatment*)

Perlakuan panas merupakan kombinasi antara proses pemanasan dan pendinginan suatu logam atau paduannya dalam keadaan padat untuk mendapatkan sifat-sifat tertentu. Kecepatan pendinginan dan batas temperatur berpengaruh pada struktur dan sifat logam. Tujuan dari perlakuan panas adalah meningkatkan keuletan, memperbaiki *machineability*, menghilangkan tegangan internal (*internal stress*), menghaluskan butir kristal dan memperbaiki sifat kelistrikan atau kemagnitan. Faktor-faktor yang mempengaruhi perlakuan panas adalah temperatur pemanasan, waktu yang diperlukan dan laju pendinginan.

Diagram fase besi-karbon seperti pada Gambar 2.3 menunjukkan hubungan antara temperatur, fase yang terbentuk dan batas antara daerah fase. Secara garis besar sistem paduan besi karbon dapat dibedakan menjadi dua yaitu baja dan besi tuang. Baja merupakan paduan antara besi dan karbon dengan kandungan karbon kurang dari 2%. Apabila kandungan karbon lebih dari 2% maka disebut besi tuang (*cast iron*).



**Gambar 2.3** Diagram Fe-Fe<sub>3</sub>C

(Sumber : ASM Handbook Vol. 4 *Heat Treating*, 1991)

Terdapat beberapa istilah dalam diagram Fe-Fe<sub>3</sub>C antara lain sebagai berikut:

1. Ferit merupakan larutan padat karbon dalam besi ( $\alpha$ ). Kelarutan karbon maksimum 0.025% C pada temperature 723°C sedangkan pada temperatur kamar hanya 0.008% C. Ferit memiliki sifat kekuatan rendah dan keuletan tinggi. Truktur kristal bcc
2. Perlit merupakan campuran antara ferit dan cementit. Fasa ini mengandung karbon maksimum 0.8% C terbentuk pada temperatur 723°C.

3. Austenit merupakan larutan padat karbon dalam besi ( $\gamma$ ), memiliki sifat ketangguhan tinggi. Fase austenite tidak stabil pada temperatur kamar. Struktur Kristal fcc
4. Ledeburit merupakan campuran eutektik dari austenite dan cementit. Mengandung 4.3% C yang terbentuk pada temperatur 1130°C
5. Cementit merupakan karbida besi ( $\text{Fe}_3\text{C}$ ), senyawa interstisial mengandung 6.67% C, memiliki sifat sangat keras, getas, kekuatan tarik rendah. Cementit memiliki struktur Kristal orthorombik
6. Temperatur kritis bawah (*lower critical temperatur*)  $A_1$ , temperatur eutectoid. Temperatur ini tampak garis pada temperatur 723°C. pada temperatur ini terjadi reaksi eutectoid. Austenit Perlit (Ferit + Cementit) Perlit (Ferit + Cementit) Austenit.
7. Temperatur kritis atas (*upper critical temperatur*)  $A_3$ , temperatur awal perubahn fase dari  $\gamma$  ke  $\alpha$  pada pendinginan atau akhir perubahan  $\alpha$  ke  $\gamma$  pada pemanasan.

Terdapat beberapa simbol dalam temperatur tranformasi. Temperatur transformasi merupakan temperatur dimana perubahan fase terjadi. Atura ini biasanya digunakan untuk mencatat temperatur batas dari daerah transformasi. Simbol-simbol berikut digunakan untuk besi dan baja. Symbol-simbol tersebut antara lain:

1. Accm

Garis Acm merupakan batas kelarutan karbon dalam austenite. Dengan menggunakan diagram kesetimbangan memang mungkin dapat diprediksi

struktur yang akan terbentuk pada suatu paduan asalkan pada kondisi ekuilibrium.

2. Ac1

Garis Ac1 merupakan garis temperatur dimana austenite ( $\gamma$ ) mulai terbentuk selama pemanasan. Huruf c diturunkan dari bahasa Perancis yaitu *chauffant*.

3. Ac3

Garis Ac3 merupakan garis temperatur dimana terjadi transformasi ferit menjadi austenite selama pemanasan

4. Arcm

Pada baja hipereutektoid, temperatur dimana mulai terjadi presipitasi cementit selama pendinginan. Dengan r diambil dari bahasa Perancis *refroidissant*.

5. Ar1

Merupakan garis temperatur dimana transformasi dari austenite menjadi ferit atau ferit dan cementit selesai selama pendinginan.

6. Ar3

Garis Ar3 merupakan garis temperatur dimana austenite bertransformasi menjadi ferit selama pendinginan.

7. Ar4

Garis temperatur dimana delta ferit bertransformasi menjadi austenite selama pendinginan.

8. Ms (or Ar<sup>2</sup>)

Garis Ms merupakan garis temperatur dimana mulai terjadi transformasi dari austenite menjadi martensit selama proses pendinginan.

9. Garis Mf

Garis Mf merupakan garis garis temperatur dimana selesainya pembentukan martensit selama pendinginan.

Dalam prakteknya terdapat banyak macam proses *heat treatment*. Secara garis besar proses *heat treatment* dibedakan menurut tingginya temperatur pemanasan, lamanya keberadaan pada temperatur tersebut dan pendinginan. Proses laku panas atau *heat treatment* dibedakan menjadi 2 macam, yaitu:

1. Proses laku panas yang menghasilkan struktur yang *equilibrium*, contohnya: *annealing* dan *normalizing*.
2. Proses laku panas yang menghasilkan struktur yang *non-equilibrium*, contohnya: *hardening*

### 2.3.1 *Full Annealing*

*Full Annealing* adalah proses *heat treatment* yang dilakukan dengan memanaskan baja sampai temperatur pada daerah austenit lalu mendinginkannya secara perlahan-lahan di dalam tungku. Adapun caranya adalah dengan memanaskan baja sedikit di atas temperatur kritis A3 atau A1 (tergantung jenis baja karbonnya), dibiarkan sampai suhu homogen dan disusul dengan pendinginan secara perlahan-lahan di dalam tungku dijaga agar suhu di bagian luar dan dalam kira-kira sama.

Seberapa tinggi pemanasannya dan seberapa lambat laju pendinginannya, tergantung pada tujuan dan kondisi awal benda kerja. Tujuan dari *full annealing* ini adalah melunakkan, juga dapat memperbaiki sifat kelistrikannya dan kemagnetan, serta sifat ketangguhannya (Djaprie, 1995). Proses *annealing* dapat dilihat pada gambar diagram proses *full annealing* di bawah ini :

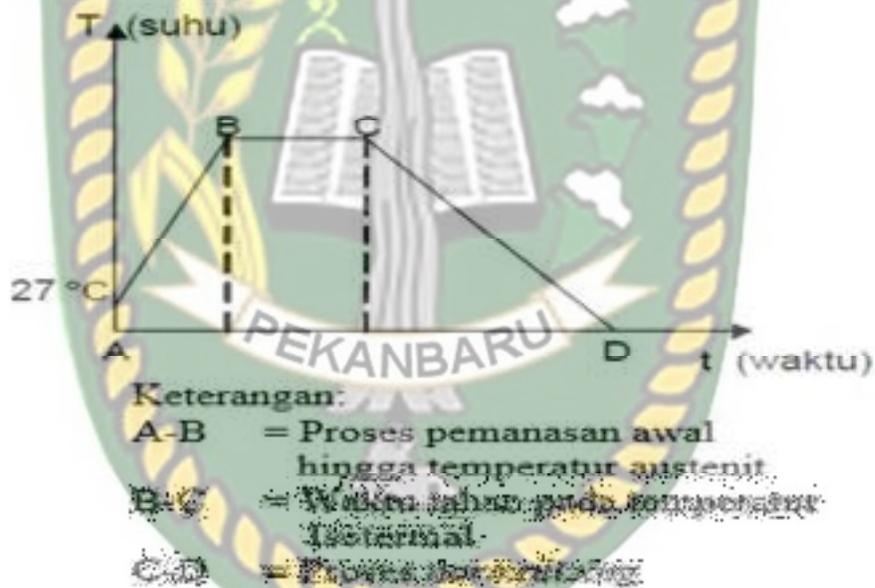


**Gambar 2.4** Diagram Proses *full annealing* (Djaprie, 1995)

Gambar 2.4 adalah gambar mengenai proses full annealing dilakukan. Pada bagian A-B proses pemanasan awal dilakukan hingga mencapai sedikit diatas temperatur kritis A3 atau A1 tergantung baja karbon yang digunakan. kemudian dari bagian B-C adalah waktu tahan, yaitu baja akan dipanaskan pada temperatur yang konstan selama waktu tertentu. Pada bagian C-D adalah proses pendinginan yang dilakukan dengan sangat lambat, dengan cara didinginkan secara perlahan-lahan di dalam tungku pemanasan (Djaprie, 1995).

### 2.3.2 Normalizing

*Normalizing* adalah proses pemanasan pada suhu *austenite* dan didinginkan di udara terbuka. Adapun caranya adalah memanaskan baja pada suhu 10–40°C di atas daerah kritis atas disusul dengan pendinginan dalam udara. *Normalizing* biasa diterapkan pada baja karbon rendah dan baja paduan untuk menghilangkan pengaruh pengerjaan bahan sebelumnya, menghilangkan tegangan dalam, dan memperoleh sifat-sifat fisik yang diinginkan (Djaprie, 1995). Proses *normalizing* dapat dilihat pada gambar diagram proses *normalizing* dibawah ini:



Gambar 2.5 Diagram Proses *Normalizing* (Djaprie, 1995)

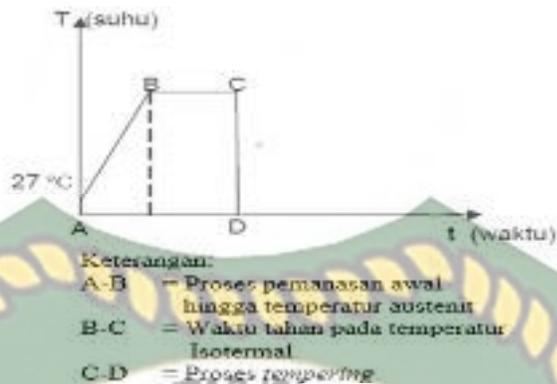
Gambar 2.5 adalah gambar mengenai diagram proses *normalizing* dilakukan. Pada bagian A-B proses pemanasan awal dilakukan hingga temperatur berada 10°C hingga 40°C di atas temperatur kritis. Kemudian pada bagian B-C adalah waktu tahan, yaitu baja akan dipanaskan pada temperatur yang konstan

selama waktu tertentu. Pada bagian C-D adalah proses pendinginan yang dilakukan relatif cepat dengan cara dibiarkan di udara terbuka (Djaprie, 1995).

### 2.3.3 *Quenching*

*Quenching* adalah proses *heat treatment* yang dilakukan dengan cara memanaskan baja hingga mencapai temperatur austenitisasi (815-870 °C) dan kemudian didinginkan secara cepat. Pendinginan cepat yang umumnya dilakukan pada proses *quenching* adalah dengan mencelupkan kedalam air atau minyak. Sebagai hasilnya diperoleh produk yang memiliki mikrostruktur yang dikeraskan (*as-quenched*) dan sifat mekanis seperti kekerasan dan kekuatan yang meningkat. Keefektifan *quenching* tergantung pada sifat pendinginan dari media quench dan juga kemampukerasan dari baja (ASM International, 1991).

*Direct quenching* atau pendinginan langsung merupakan pendinginan langsung dari suhu austenitisasi dan merupakan perlakuan yang paling banyak digunakan. Istilah pendinginan langsung digunakan untuk membedakan jenis siklus ini dari perlakuan yang tidak langsung lainnya, pendinginan ini mungkin melibatkan karburasi, pendinginan lambat, pemanasan ulang, yang diikuti pendinginan cepat (ASM International, 1991). Proses *quenching* dapat dilihat pada pada gambar diagram proses *quenching* dibawah ini :



**Gambar 2.6** Diagram Proses *Quenching* (Djaprie, 1995)

Gambar 2.6 adalah gambar mengenai diagram proses *Quenching* dilakukan. Pada bagian A-B proses pemanasan awal dilakukan hingga mencapai temperatur austenisasi dari baja, yaitu  $815^\circ\text{C}$  -  $875^\circ\text{C}$ , tergantung baja yang akan di *quenching*. Kemudian pada bagian B-C adalah waktu tahan, yaitu baja akan dipanaskan pada temperatur yang konstan selama waktu tertentu. Pada bagian C-D adalah proses pendinginan yang dilakukan sangat cepat dengan cara mencelupkan baja yang telah dipanaskan secara langsung ke dalam wadah berisi cairan seperti air, air laut, atau oli (Djaprie, 1995).

Temperatur pemanasan, lama waktu tahan dan laju pendinginan untuk pengerasan banyak tergantung pada komposisi kimia dari baja. Kekerasan yang terjadi pada benda akan tergantung pada temperatur pemanasan, waktu tahan, jenis cairan dan laju pendinginan yang dilakukan pada proses laku panas, selain itu sifat *hardenability* baja yang dikeraskan juga berpengaruh. Semakin tinggi kadar karbon, semakin tinggi *hardenability* yang dimiliki baja (Djaprie, 1995). Proses *quenching* tidak dianjurkan jika dilakukan pada baja karbon rendah menurut Callister (2014).

Pada baja karbon rendah sangat tidak responsif dalam pembentukan fasa martensit ketika diberi perlakuan panas. sehingga, *Surface Hardening* atau pengerasan permukaan, merupakan suatu proses teknik yang digunakan untuk meningkatkan sifat kekerasan dan ketahanan aus dari baja karbon rendah atau *mild steel* yang memiliki kandungan karbon hingga 0.30%C atau grade dari AISI 1005 hingga AISI 1030 yang memiliki sifat yang lunak dan tangguh (ASM International, 1991).

#### 2.4 Tahap-tahap Proses Perlakuan Panas

Proses perlakuan panas pada logam untuk menghasilkan produk yang lebih keras. Perlakuan ini terdiri dari 3 (tiga) tahapan proses perlakuan panas adalah sebagai berikut:

a. Pemanasan (*Heating*)

Tujuan dari pemanasan adalah untuk mempertahankan temperatur seragam logam. Pemanasan yang tidak merata pada suatu logam mengakibatkan distorsi atau retak. Temperatur seragam tercapai dengan pemanasan lambat. Salah satu factor penting dalam pemanasan adalah konduktivitas panas dari logam. Logam dengan konduktivitas panas tinggi membutuhkan waktu pemanasan yang lebih singkat bila dibandingkan dengan logam konduktivitas rendah. Dimensi logam juga mempengaruhi waktu pemanasan.

b. Waktu Tahan (*Holding Time*)

Tahap ini bertujuan untuk mengubah struktur mikro menjadi seperti yang diinginkan. Waktu penahanan tergantung dari komposisi kimia dan massa logam.

c. Pendinginan (*Cooling*)

Pendinginan dilakukan hingga mencapai temperatur kamar. Pendinginan dapat dilakukan dengan berbagai media seperti air, oli dan lainnya. Waktu pendinginan tergantung dari jenis logam dan struktur mikro yang diinginkan. Semakin cepat laju pendinginan maka kekerasan dari material tersebut juga akan semakin tinggi.



**Gambar 2.7** Grafik CCT Diagram Baja Eutektik

(Sumber : Schey, 2000)

Berdasarkan Gambar 2.7 menunjukkan beberapa fase yang terjadi setelah proses pendinginan secara terkontrol. Baja eutektik dipanaskan mencapai temperatur

austenite stabil yaitu 723°C. Pada proses pendinginan, austenit mulai terurai menjadi ferit, perlit, bainit dan martensit. Waktu pendinginan sangat berpengaruh terhadap fase-fase yang akan terbentuk. Secara umum ada empat jenis perlakuan panas yang sering digunakan antara lain *annealing*, *normalizing*, *hardening* dan *tempering*. Salah satu perlakuan panas yang berfungsi untuk mempersiapkan material untuk proses selanjutnya adalah *annealing*. *Annealing* merupakan proses perlakuan panas yang terdiri atas pemanasan dan penahanan pada temperatur yang sesuai diikuti dengan pendinginan pada kecepatan yang tepat pula.

## 2.5 Dapur Tempa

Dapur tempa tetap umumnya dipakai di bengkel-bengkel dan diletakan secara permanen di atas suatu fondasi yang kuat. Suatu dapur tempa memerlukan udara penghembus. Udara penghembus dapat diperoleh melalui berbagai cara, baik cara tradisional, seperti dapur tempa tekan yang masih banyak digunakan di daerah pedalaman maupun menggunakan ventilator listrik atau tangan.

Pada dapur tempa, udara penghembus dialirkan melalui suatu saluran ke tungku api. Dengan berputarnya ventilator, udara dapat dihembuskan ke tungku api yang sedang membara melalui pipa penghubung yang dilengkapi dengan katup-katup pengatur. Dengan demikian panas bahan bakar akan bertambah dan mempercepat naiknya suhu benda kerja yang dibakar.

Dapur tempa lapangan adalah suatu dapur yang dapat dipindah-pindah sehingga dapat digunakan dimana saja bila diperlukan. Pada dapur ini hanya dapat

dibuat api yang kecil karena udara penghembus yang diperoleh ventilator digerakan dengan tangan atau kaki. Dengan terjadinya api yang kecil pada dapur ini penggunaannya pun untuk benda-benda yang kecil pula.

Ada tiga macam bahan bakar yang dipergunakan pada dapur tempa, yaitu; bahan bakar padat, bahan bakar cair, dan bahan bakar gas. Temperatur dan warna untuk benda kerja yang ideal adalah pada temperatur pada suhu  $800-930^{\circ}\text{C}$  atau pada warna yaitu berwarna merah kekuning-kuningan. Baja tidak boleh ditempa dibawah  $400^{\circ}\text{C}$ , maka baja akan rapuh berwarna biru. Jika baja dipanaskan diatas  $1200^{\circ}\text{C}$  maka baja akan terbakar dan tidak dapat diperbaiki lagi (Djoko Andrijono dan Sufiyanto, 2018 ).

## 2.6 Baja

Baja adalah logam paduan dengan besi (Fe) sebagai unsur dasar dan karbon (C) sebagai unsur paduan utamanya. Kandungan karbon dalam baja berkisar antara 0,2 % hingga 2,1 % berat sesuai grade-nya. Fungsi karbon dalam baja adalah sebagai unsur pengerasan pada kisi kristal atom besi. Baja karbon adalah baja yang mengandung karbon lebih kecil 1,7 %, sedangkan besi mempunyai kadar karbon lebih besar dari 1.7 %. Baja mempunyai unsur-unsur lain sebagai pepadu yang dapat mempengaruhi sifat dari baja. Penambahan unsur-unsur dalam baja karbon dengan satu unsur atau lebih, tergantung dari pada karakteristik baja karbon yang akan dibuat (Ahmad, 2011).

## 2.6.1 Klasifikasi Baja

Baja secara umum dapat dikelompokkan atas 2 jenis yaitu :

### 2.6.1.1 Baja Karbon (*Carbon steel*)

Baja karbon digolongkan menjadi tiga kelompok berdasarkan banyaknya karbon yang terkandung dalam baja yaitu :

#### 1. 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. Berdasarkan jumlah karbon yang terkandung dalam baja, maka baja karbon rendah dapat digunakan atau dijadikan baja-baja sebagai berikut:

- a) Baja karbon rendah ( *low carbon steel* ) yang mengandung 0,04 % - 0,10% C untuk dijadikan baja – baja plat atau strip.
- b) Baja karbon rendah yang mengandung 0,05% C digunakan untuk keperluan badan-badan kendaraan.
- c) Baja karbon rendah yang mengandung 0,15% - 0,20% C digunakan untuk konstruksi jembatan, bangunan, membuat baut atau dijadikan baja konstruksi.

#### 2. Baja Karbon Menengah

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. 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.

### 3. 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. 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.

#### 2.6.1.2 Baja Paduan (*Alloy Steel*)

Baja dikatakan di padu jika komposisi unsur-unsur paduannya secara khusus, bukan baja karbon biasa yang terdiri dari unsur fosfor dan mangan. Menurut (Amanto, 1999) secara umumnya, baja paduan dikelompokan menjadi 3 yaitu :

##### 1. Baja Paduan Rendah (*Low Alloy Steel*)

Baja paduan rendah merupakan baja paduan yang elemen paduannya kurang dari 2,5% wt, Biasanya digunakan untuk membuat perkakas potong, gergaji, cetakan penarikan, pahat kayu, mata pisau, pemotong kikir, gurdi batu.

## 2. Baja Paduan Menengah (*Medium Alloy Steel*)

Baja paduan menengah merupakan baja paduan yang elemen paduannya 2,5% - 10% wt, Biasanya digunakan untuk membuat alat pengukur, cetakan penarikan, rol derat, mata gunting untuk plat tebal.

## 3. Baja Paduan Tinggi (*High Alloy Steel*)

Baja paduan tinggi merupakan baja paduan yang elemen paduannya lebih dari 10% wt. Banyak digunakan untuk cetakan penarikan kawat, cetakan pengetrim, pengukur, rol derat. Yang termasuk dalam baja paduan tinggi contohnya adalah stainless steel, baja tahan aus, baja tahan panas, tool steel, dan baja berkekuatan tinggi

### 2.7 Uji Kekerasan (*Rockwell*)

Metode Rockwell Berbeda dengan metode Brinell dan Vickers dimana kekerasan suatu bahan dinilai dari diameter atau diagonal jejak yang dihasilkan maka metode Rockwell merupakan uji kekerasan dengan pembacaan langsung (*direct-reading*). Metode ini banyak dipakai dalam industri karena pertimbangan praktis. Variasi dalam beban dan indetor yang digunakan membuat metode ini memiliki banyak macamnya. Metode yang paling umum dipakai adalah Rockwell B dengan referensi ASTM E 18 memakai indetor bola baja berdiameter 1/6 inci dan beban 100 kg dan Rockwell C memakai indetor intan dengan beban 150kg. Sedangkan untuk bahan lunak menggunakan penetrator yang digunakan adalah bola Baja (*Ball*) yang kemudian dikenal dengan skala B dan untuk bahan yang keras penetrator yang

digunakan adalah kerucut intan (*Cone*) dengan sudut puncak 120°, yang bisa dilihat pada Gambar 2.8 di bawah, kemudian dikenal dengan skala C.



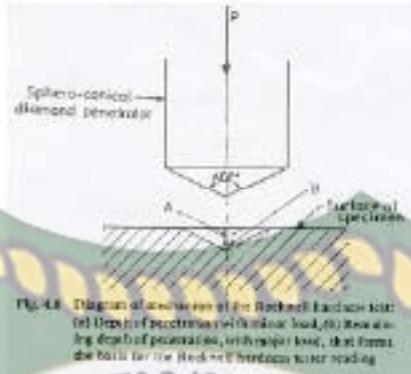
**Gambar 2.8** Identer Kerucut Pada Ujung Diamon (ASM Vol.8, 1998)

Walaupun demikian metode Rockwell lainnya juga biasa dipakai. Oleh karenanya skala kekerasan Rockwell suatu material harus dispesifikasikan dengan jelas. Contohnya 82 HRB, yang menyatakan material diukur dengan skala B. Indentor 1/6 inci dan beban 100 kg. Dalam pengujian kekerasan Rockwell perlu memperhatikan nilai minimum ketebalan material pengujian. nilai ketebalan minimum material pengujian mengikuti rasio 1:10 tetapi ini berdasarkan akumulasi data pengujian untuk berbagai macam ketebalan pada baja karbon rendah, tinggi dan baja temper.

Pengujian kekerasan Rockwell memiliki tiga metode yang biasa digunakan yaitu:

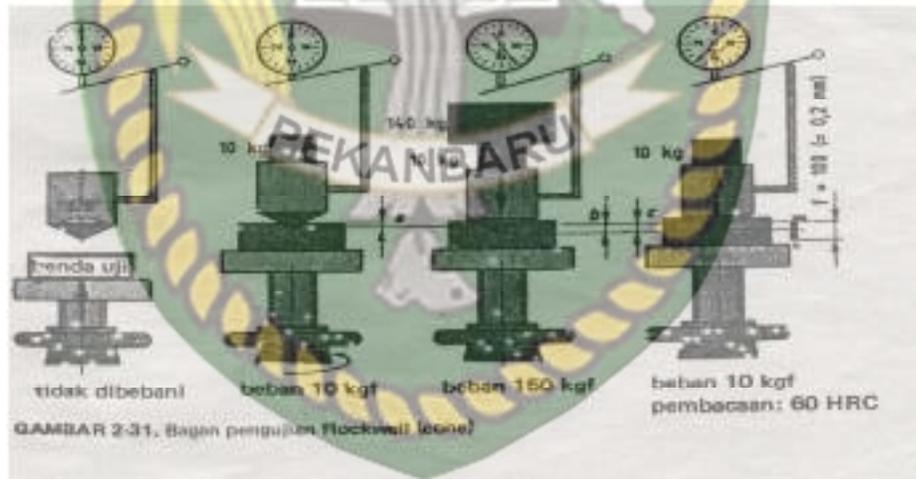
- 1) Metode dengan Kerucut (HRC)

Pada percobaan dengan metode ini menggunakan identer kerucut untuk penekanan ke material diperlihatkan pada Gambar 2.9 dibawah, dengan besar nilai kekerasan HRC. Skala HRC memiliki nilai kekerasan 0 sampai 100.



**Gambar 2.9** Ilustrasi Uji Kekerasan Rockwell (ASM Vol.8, 1998)

Namun pengujian untuk material tersebut dapat dilakukan dengan menggunakan mesin khusus yang memiliki kapasitas beban 1-30 kg. Metode ini hanya cocok untuk bahan-bahan dengan susunan yang homogen. Gambar 2.10 dibawah menunjukkan bagan pengujian *Rockwell Cone* atau HRC:



**Gambar 2.10** Bagan Pengujian HRC (ASM Vol.8, 1998)

2) Metode dengan Peluru (HRB)

Metode ini pada dasarnya sama dengan metode kerucut. Hanya saja metode ini menggunakan penetrator sebuah peluru. Berikut ini adalah bagan pengujian Rockwell Ball atau HRB yang dilustrasikan pada Gambar 2.11 sebagai berikut:



**Gambar 2.11** Bagan Pengujian HRB (ASM Vol.8, 1998)

3) Metode *Rockwell Superficial*

Perbedaannya dengan *Rockwell* biasa adalah dalam beban minor dan beban mayor. Pada *Rockwell Superficial*, beban minor adalah 3 kg, sedangkan beban mayor adalah 15, 30 dan 45 kg untuk mengetahui besarnya beban dan jenis indentor bisa dilihat pada Tabel 2.2.

Tabel 2.2. Skala Superficial Rockwell (ASM Vol.8, 1998)

Simbol	Identor	Besar beban (Kg)
15 N	Diamond	15
30 N	Diamond	30
45 N	Diamond	45
15 T	1/16 in ball	15
30 T	1/16 in ball	30
45 T	1/16 in ball	45
15 W	1/8 in ball	15
30 W	1/8 in ball	30
45 W	1/8 in ball	45

## 2.8 Pengujian Struktur Mikro

Pengamatan struktur mikro merupakan pengujian yang paling efektif untuk melihat apa saja yang terdapat pada spesimen dengan menggunakan sebuah *microscope* yang dapat melakukan pembesaran objek sampai 100 kali.

Adapun beberapa tahap yang perlu dilakukan sebelum melakukan pengamatan mikrostruktur, yaitu:

### 1. Pemotongan (*Sectioning*)

Pemilihan sampel yang tepat dari suatu benda uji studi mikroskopik merupakan hal yang sangat penting. Pemilihan sampel tersebut didasarkan pada tujuan pengamatan yang hendak dilakukan. Pada umumnya bahan komersil tidak homogen, sehingga satu sampel yang diambil dari suatu volume besar tidak dapat dianggap representatif. Pengambilan sampel harus direncanakan sedemikian sehingga menghasilkan sampel yang sesuai dengan kondisi rata-rata bahan atau kondisi di

tempat-tempat tertentu (kritis), dengan memperhatikan kemudahan pemotongan pula. Secara garis besar, pengambilan sampel dilakukan pada daerah yang akan diamati mikrostruktur maupun makrostrukturnya. Sebagai contoh, untuk pengamatan mikrostruktur material yang mengalami kegagalan, maka sampel diambil sedekat mungkin pada daerah kegagalan (pada daerah kritis dengan kondisi terparah), untuk kemudian dibandingkan dengan sampel yang diambil dari daerah yang jauh dari daerah gagal. Perlu diperhatikan juga bahwa dalam proses memotong, harus dicegah kemungkinan deformasi dan panas yang berlebihan. Oleh karena itu, setiap proses pemotongan harus diberi pendinginan yang memadai.

## 2. Pemegangan (*Mounting*)

Spesimen yang berukuran kecil atau memiliki bentuk yang tidak beraturan akan sulit untuk ditangani khususnya ketika dilakukan pengamplasan dan pemolesan akhir. Sebagai contoh adalah spesimen yang berupa kawat, spesimen lembaran metal tipis, potongan yang tipis, dll. Untuk memudahkan penanganannya, maka spesimen-spesimen tersebut harus ditempatkan pada suatu media (*mounting*). Secara umum syarat-syarat yang harus dimiliki bahan *mounting* adalah:

- a. Bersifat *inert* (tidak bereaksi dengan material maupun zat etsa)
- b. Sifat *eksoterimis* rendah
- c. *Viskositas* rendah
- d. Penyusutan linier rendah
- e. Sifat adhesi baik
- f. Memiliki kekerasan yang sama dengan sampel

- g. *Flowabilitas* baik, dapat menembus pori, celah dan bentuk ketidakraturan yang terdapat pada sampel
- h. Khusus untuk etsa elektrolitik dan pengujian SEM, bahan *mounting* harus konduusif

Media *mounting* yang dipilih haruslah sesuai dengan material dan jenis reagen etsa yang akan digunakan. Pada umumnya *mounting* menggunakan material plastik sintetik. Materialnya dapat berupa resin (*castable resin*) yang dicampur dengan *hardener*, atau *bakelit*. Penggunaan *castable resin* lebih mudah dan alat yang digunakan lebih sederhana dibandingkan *bakelite*, karena tidak diperlukan aplikasi panas dan tekanan. Namun bahan *castable resin* ini tidak memiliki sifat mekanis yang baik (lunak) sehingga kurang cocok untuk material-material yang keras.

### 3. Pengamplasan kasar (*Grinding*)

*Grinding* dilakukan dengan menggunakan *disc* pengamplasan yg ditutup dengan *Silicon carbide* kertas dan air. Ada sejumlah ukuran amplas, yaitu 180, 240, 400, 1200, butir *Silicon carbide* per inci persegi. Ukuran 180, menunjukkan kekasaran dan partikel ini adalah ukuran untuk memulai operasi pengamplasan. Selalu menggunakan tekanan langsung di pusat sampel. Lanjutkan pengamplasan hingga semua noda kasar telah dihapus, permukaan sampel rata, dan semua goresan yang pada satu posisi. Hal ini membuat mudah untuk dilihat ketika goresan semuanya telah dihapus. Setelah operasi pengamplasan selesai pada ukuran amplas 1200, cuci sampel dengan air diikuti oleh alkohol dan keringkan sebelum dipindah ke *polish*.

Atau juga dapat tahap ini ukurannya 240, 800, 1000, 1500. Berikut adalah beberapa tahap dalam pengampelasan, yaitu:

- a. Persiapan, tahap ini adalah tahap dimana melakukan pemilihan amplas yang dimulai dengan menggunakan amplas dengan nomor yang paling rendah (kasar) dan juga ditambah dengan penggunaan air dengan tujuan supaya tidak terjadi gesekan antara permukaan spesimen dengan amplas yang dapat mengakibatkan percikan bunga api.
  - b. *Abrasion damage*, adalah tahap menghaluskan permukaan dari spesimen dengan menggunakan amplas dari nomor rendah (nomor 360) ke nomor yang paling tinggi (nomor 2000) sampai permukaan dari spesimen yang diuji rata dan tidak ada lagi *scratch* pada material bila dilihat di mikroskop.
4. Pemolisan (*Polishing*)

Tahap polishing bertujuan untuk menghasilkan permukaan spesimen yang rata dan mengkilap, tidak boleh ada goresan yang merintang selama pengujian. *finish lap* merupakan tahap menghalusan akhir material dengan menggunakan kain yang telah diolesi *polisher* agar permukaan mengkilap dan rata atau bias disebut juga dengan polishing. *Polish* yang terdiri dari disc pengampelasan ditutup dengan kain lembut penuh dengan partikel berlian (ukuran 6 dan 1 mikron) dan minyak pelumas yang berminyak. Mulai dengan ukuran 6 mikron dan terus menggosok sampai goresan hilang.

5. Etsa (*Etching*).

*Etching* digunakan dalam *metallography* untuk memperlihatkan mikrostruktur dari spesimen dengan menggunakan mikroskop. Spesimen yang akan *dietching* harus *dipolish* secara teliti dan rata serta bebas dari perubahan yang disebabkan deformasi pada permukaan spesimen, alur material, *pullout*, dan goresan. Meskipun dalam *mikrography* beberapa informasi sudah dapat diketahui tanpa proses *etching*, tetapi mikrostruktur suatu material biasanya baru dapat terlihat setelah dilakukan pengetsaan. Hanya sekitar 10% informasi yang dapat terlihat tanpa proses *etching*. Hanya reaktan, pori, celah, dan unsur non-metalik lainnya yang dapat diamati hanya dengan *polishing*, selebihnya diperlukan *etching*. Secara umum tujuan dari *etching* adalah:

- a. Memberi warna pada permukaan benda uji sehingga tampak jelas ketika diamati dengan mikroskop (*color enhancement*).
  - b. Menimbulkan korosi sehingga memperjelas batas butir.
  - c. Meningkatkan kontras antar butir dan batas butir (*optical enhancement of contrast*).
  - d. Mengidentifikasi fasa pada suatu spesimen (*anodizing process*)
6. Pemotretan (*Photo*)

Dimaksudkan untuk mendapatkan gambar dari struktur Kristal yang dimaksud. Untuk mendapatkan foto mikrografi yang tajam, variabel berikut harus terkontrol yaitu penghilangan getaran, pelurusan pencahayaan, penyesuaian warna

cahaya terhadap korelasi objek, menjaga kejernihan objek, penyesuaian daerah pengamatan, dan lubang diagram serta kecepatan fokus.

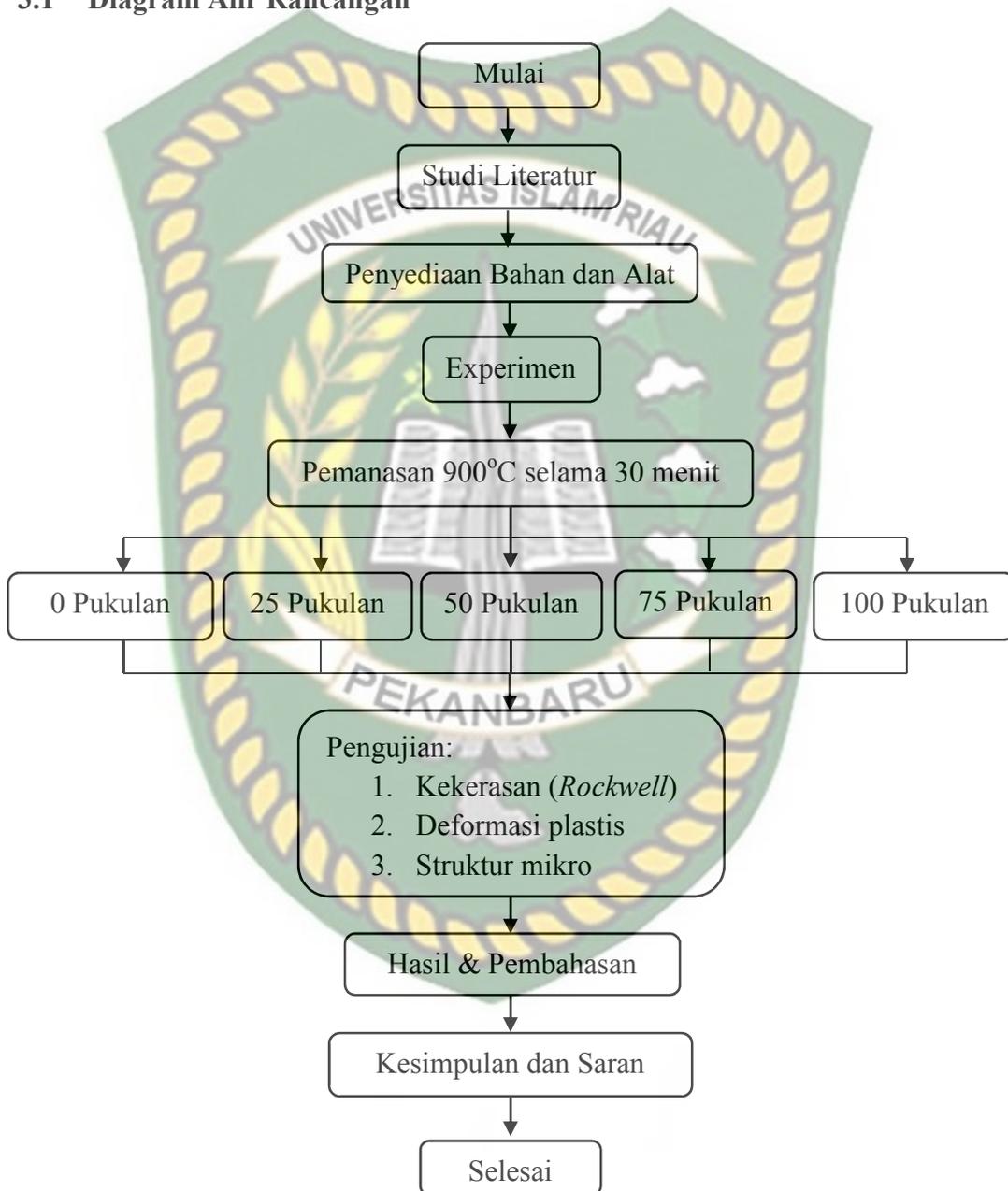
Proses pengujian yang dilakukan membutuhkan bahan spesimen yang sangat banyak, specimen berukuran tinggi 5 mm dan berdiameter 10 mm, setelah itu dilakukan proses pengamatan mikrostruktur dikendalikan oleh computer dan *keyboard controller* untuk mengatur pembesaran lensa dan perpindahan spesimen (Ananta, 2016).



## BAB III

### METODELOGI PENELITIAN

#### 3.1 Diagram Alir Rancangan



Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian

Dari diagram alir rancangan diatas, dapat dijelaskan bahwa dalam penelitian tugas akhir ini terdapat beberapa tahap yang dilakukan. Hasil yang didapatkan dari penelitian dalam pembuatan material terbaharukan tepat sasaran dan sesuai yang diharapkan, antara lain:

1. Mulai

Mulai diawali dari pengajuan Tugas Sarjana dan mendapatkan SK Tugas Sarjana.

2. Studi literatur

Pengambilan data-data teori dari jurnal, buku yang berkaitan dalam pembuatan tugas sarjana ini sesuai dengan penelitian terdahulu.

3. Persiapan Alat dan Bahan

Persiapan alat dan bahan yang direncanakan dalam melakukan penelitian tentang pengaruh variasi pukulan pada proses *forging hot working*.

4. Experimen

Proses ini menggunakan parameter yaitu dengan temperatur  $900^{\circ}\text{C}$  dengan variasi pukulan 0, 25, 50, 75 dan 100 pada proses *forging hot working*.

5. Pengujian

Melakukan pengujian sifat mekanis yaitu kekerasan (*Rockwell*), pengukuran ketebalan dan pengamatan struktur mikro di Laboratorium Teknik Mesin Universitas Islam Riau.

## 6. Hasil & Pembahasan

Berdasarkan dari hasil uji sampel dari Laboratorium di analisa dan memberikan pembahasan hasil pengujian.

## 7. Kesimpulan dan saran

Hasil rangkuman dari Bab 1 sampai Bab 5 dan memberikan saran untuk penelitian berikutnya.

## 8. Selesai

Menyelesaikan penelitian untuk persyaratan mendapatkan gelar sarjana teknik.

### 3.2 Persiapan Alat

Untuk melaksanakan kegiatan penelitian proses *forging hot working* diperlukan berbagai peralatan seperti mesin *forging*, dapur tempa, dan lain-lain.

#### a. Mesin *Forging*

Mesin *forging* adalah suatu alat penempaan yang berfungsi untuk proses deformasi plastis pada benda kerja yang ditekan di antara dua die (cetakan). Penekanan dapat dilakukan dengan tekanan kejut atau tekanan berangsur-angsur (perlahan). Seperti yang terlihat pada gambar 3.2.



**Gambar 3.2** Mesin Tempa

b. Dapur tempa

Dapur tempa berfungsi untuk melakukan pembakaran dari benda yang akan dibentuk. Seperti yang terlihat pada gambar 3.3.



**Gambar 3.3** Dapur Tempa

c. Gerinda tangan

Fungsi gerinda tangan untuk memotong baja paduan sesuai ukuran yang diinginkan. Seperti yang terlihat pada gambar 3.4.



**Gambar 3.4** Gerinda Tangan

d. *Stopwatch*

*Stopwatch* berfungsi untuk mengukur lamanya waktu dalam pengujian. *Stopwatch* dapat dilihat pada gambar 3.5.



**Gambar 3.5** *Stopwatch*

e. Jangka sorong

Alat ini dipakai untuk mengukur dimensi specimen. Pembacaan skala pengukuran dimensi specimen sampai ketelitian 0,1 mm.



**Gambar 3.6** Jangka sorong

### 3.3 Persiapan Bahan

Adapun bahan-bahan yang diperlukan untuk melakukan kegiatan penelitian ini seperti baja paduan dan air sebagai media pendingin.

a. JIS SUP 9

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini yaitu JIS SUP 9.



**Gambar 3.7.** Baja JIS SUP 9

b. Air

Air berfungsi sebagai media pendingin pada benda kerja. Dapat dilihat pada gambar 3.8.



Gambar 3.8 Air

### 3.4 Proses *Forging Hot Working*

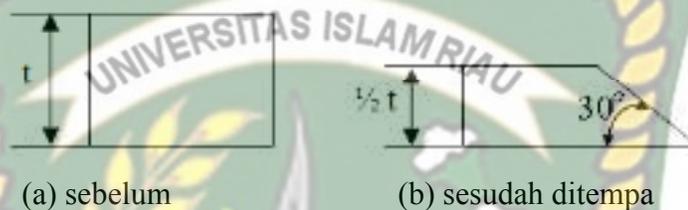
Metode penempaan pada penelitian ini dengan proses *forging hot working* terdiri dari beberapa tahap sebagai berikut :

#### 3.4.1 Perlakuan *Full Annealing*

Sebagian spesimen dikenai perlakuan *full annealing*. Temperatur yang digunakan adalah 900°C dengan *hold time* selama 30 menit. Tujuan dari *full annealing* ini adalah melunakkan, juga dapat memperbaiki sifat kelistrikannya dan kemagnetan, serta sifat ketangguhannya.

### 3.4.2 Perlakuan Tempa

Spesimen ditempa dengan reduksi 50% dari dimensi awal dan salah satu bagian sisi ditempa tirus dengan sudut  $30^\circ$ . Perlakuan tempa ini dikerjakan oleh pandai besi lokal. Metode tempa yang dipakai sama dengan metode tempa ketika membuat alat potong seperti pisau.



Gambar 3.9 Spesimen Uji

### 3.4.3 Perlakuan *Manual Flame Hardening*

*Manual flame hardening* dikerjakan dengan memanfaatkan las gas oksidasi. Bagian yang dikenai *manual flame hardening* adalah sepanjang ujung tirus dari spesimen. Beberapa parameter dalam perlakuan *manual flame hardening*. Pendinginan dilakukan dengan menyemprotkan air ke daerah yang di *manual flame hardening* dimana pergerakan nozzel air mengikuti pergerakan *brander* las pemanas. Jarak antara *brander* las pemanas dengan pendingin diusahakan sedekat mungkin sehingga waktu antara pemanasan dengan pendinginan sangat cepat. Tujuan proses ini sangat utama yaitu mengeraskan produk logam agar tahan terhadap beban kejutan, benturan dan dapat dengan mudah untuk ditajamkan. Seharusnya temperatur terukur dan media pendingin harus air dingin yang bersih dengan pH netral.

### 3.5 Cara Kerja *Forging Hot Working*

*Forging hot working* ini dilaksanakan untuk membentuk bagian tertentu, misalnya membentuk badan pisau. Cara kerja sebagai berikut :

1. Panaskan benda kerja pada bagian dengan temperatur  $900^{\circ}\text{C}$  di dalam ruang dapur tempa.
2. Angkat benda kerja dari dapur dengan jepitan yang sesuai.
3. Celupkan ke dalam air bagian yang tidak akan ditempa.
4. Letakkan benda kerja tegak lurus diatas permukaan landasan dengan bagian yang akan ditempa di bagian bawah.
5. Berikan variasi pukulan pada setiap benda kerja sehingga bagian yang telah dipanaskan terjadi deformasi plastis.
6. Panaskan kembali benda kerja dengan temperatur  $50^{\circ}\text{C}$  .
7. Kemudian lakukan pendinginan menggunakan air. Sehingga benda kerja mengeras tahan terhadap beban kejut, benturan dan dapat dengan mudah untuk ditajamkan.

### 3.6 Pengujian Kekerasan (Rockwell)

Pengujian kekerasan (*Rockwell*) pada sampel bertujuan untuk mengetahui sifat mekanik (kekerasan) dari benda kerja yang dihasilkan dari proses *forging hot working*. Sehingga dapat diketahui nilai kekerasan dari badan pisau. Pengujian kekerasan dilakukan Laboratorium Politeknik Manufaktur Bandung.

Metode *Rockwell* Berbeda dengan metode Brinell dan Vickers dimana kekerasan suatu bahan dinilai dari diameter atau diagonal jejak yang dihasilkan maka metode Rockwell merupakan uji kekerasan dengan pembacaan langsung (*direct-reading*). Metode ini banyak dipakai dalam industri karena pertimbangan praktis. Variasi dalam beban dan indetor yang digunakan membuat metode ini memiliki banyak macamnya. Metode yang paling umum dipakai adalah Rockwell B dengan referensi ASTM E 18 memakai indetor bola baja berdiameter 1/6 inci dan beban 100 kg dan Rockwell C memakai indetor intan dengan beban 98,07 mN. Sedangkan untuk bahan lunak menggunakan penetrator yang digunakan adalah bola Baja (*Ball*) yang kemudian dikenal dengan skala B dan untuk bahan yang keras penetrator yang digunakan adalah kerucut intan (*Cone*) dengan sudut puncak 1200 kemudian dikenal dengan skala C. pengujian kekerasan ini menggunakan alat uji kekerasan *Micro Hardness Tester* (Shimadzu HMV-2T) seperti pada Gambar 3.



**Gambar 3.10** Alat Uji Kekerasan *Micro Hardness*

### 3.7 Pengujian Struktur Mikro

Pengujian struktur mikro yang dilakukan membutuhkan persiapan bahan spesimen yang sangat banyak, langkah-langkah persiapan pengujian adalah sebagai berikut :

1. Mempersiapkan spesimen kemudian di potong mendapatkan tinggi 5 mm.
2. Menghaluskan bagian permukaan yang akan di uji dengan hamplas halus, lalu di bersihkan dengan menggunakan air.
3. Meneteskan bagian permukaan yang akan di uji dengan etsa selama 15 detik, lalu bilas dengan alkohol.
4. Gunakan lilin sebagai media untuk tempat berdirinya spesimen dan untuk membuat spesimen lebuh rata saat di uji mikrostruktur.

Setelah mendapatkan data pengamatan tampak mikros, kemudian dimasukan kedalam data pengolahan. Dapat dilihat alat uji mikrostruktur pada gambar 3.11.



**Gambar 3.11** Alat Pengamatan *Microscope Merk Olympus BX53M*

(Lokasi : Laboratorium Teknik Mesin Universitas Islam Riau)

### 3.8 Jadwal Kegiatan Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan di Laboratorium Fakultas Teknik Universitas Islam Riau. Lama penelitian dalam menganalisa pengaruh variasi pukulan pada proses forging hot working terhadap sifat mekanis dan struktur mikro adalah selama 1 bulan. Dalam manajemen produksi, kegiatan suatu produksi akan berjalan dengan baik bila ada jadwal kegiatan. Dengan adanya jadwal kegiatan pembuatan benda kerja dengan proses *forging hot working* dapat ditentukan. Jadwal kegiatan pada penelitian ini dapat dilihat pada tabel 3.1.

Tabel 3.1 Jadwal Kegiatan Penelitian

No	Jenis Kegiatan	Bulan									
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	Studi Literatur	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
2	Pembuatan Proposal	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
3	Seminar Proposal	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
4	Persiapan alat dan bahan	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
5	Pengujian	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
6	Analisa dan Pembahasan	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
7	Kesimpulan	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
8	Sidang Tugas Akhir	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■

## BAB IV

### ANALISA DAN PEMBAHASAN

Hasil penelitian tentang pengaruh pukulan 0, 25, 50, 75 dan 100 pada proses tempa pengerjaan panas (*hot working*) terhadap sifat mekanis dan struktur mikro. Material yang dipilih yaitu JIS SUP 9 yaitu baja karbon sedang, proses tempa pengerjaan panas (*hot working*) dilakukan dengan perlakuan pada suhu 900°C. Proses tempa menggunakan mesin dengan mekanisme sistem hidrolik dioperasikan dengan *handle* atau pijakan. Penelitian ini bertujuan untuk mendapatkan nilai kekerasan pada material yang telah di tempa dengan variasi pukulan dan penelitian ini melihat terjadinya deformasi plastis material yang sudah di tempa pengerjaan dingin (*Hot working*). Dapat dilihat hasil proses penempaan pada gambar 4.1 sebagai berikut :



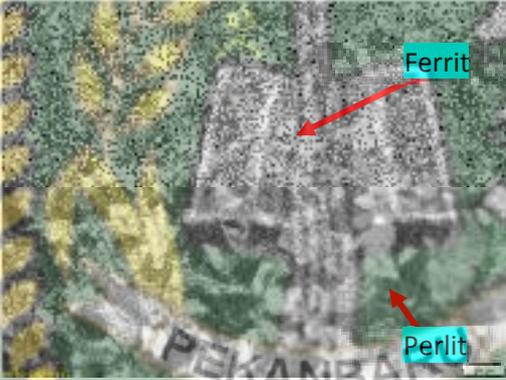
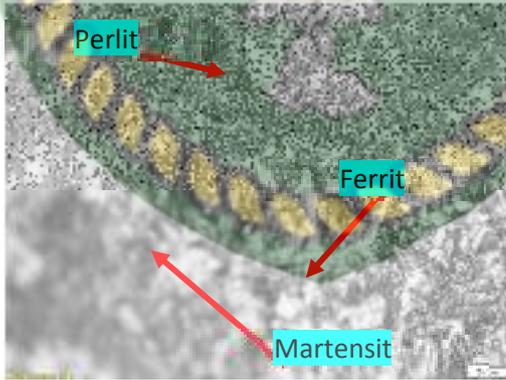
Gambar 4.1. Hasil penempaan (*hot working*) pada JIS SUP 9

#### 4.1 Pengamatan Mikrostruktur

Hasil pengamatan mikrostruktur dari Baja JIS SUP9 dengan pembesaran 50x. Proses Uji Metalografi yang dilakukan menggunakan cairan Etsa NITAL 5%

(Alkohol 95 ml dan HNO<sub>3</sub> 5 ml) dan waktu etsa adalah 1 menit. Pada foto mikro didapati fasa yang terbentuk adalah ferrite (warna putih), perlit (warna hitam) dan martensit (berbentuk Panjang jarum). Hasil pengamatan mikrostruktur dapat dilihat pada tabel 4.1 dibawah ini.

Tabel 4.1. Hasil Pengamatan Mikrostruktur Variasi Pukulan dengan Proses Tempa (*Hot Working*)

Variasi Pukulan	Hasil Pengamatan Mikrostruktur	Deskripsi
0		<p>Fasa yang terlihat yaitu alfa ferit (warna putih) dan pearlit (warna hitam). Ini merupakan struktur mikro yang umum dijumpai pada Baja Karbon rendah dan sedang</p>
25		<p>Fasa yang terlihat yaitu alfa ferit (warna putih) dan pearlit (warna hitam) akan tetapi bentuk butir nya sudah mulai tidak jelas. Struktur mikro yang dominan pada sampel kedua adalah Pearlit.</p>

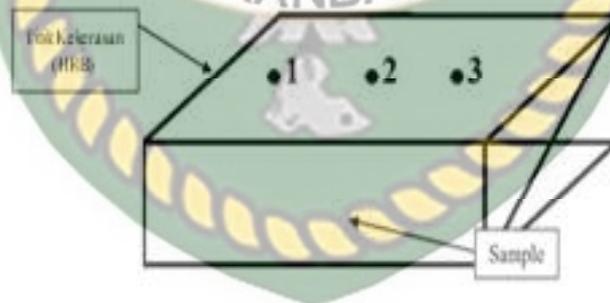
50		<p>Fasa yang terlihat yaitu alfa ferit (warna putih) dan pearlit (warna hitam) sudah mulai berubah kearah martensite. Struktur mikro yang dominan pada sampel kedua adalah Ferit dan pearlit mulai mengecil</p>
75		<p>Fasa yang terlihat masih sama yaitu alfa ferit (warna putih) dan pearlit (warna hitam). Struktur mikro yang dominan pada sampel kedua adalah pearlit (warna hitam)</p>
100		<p>Fasa yang terlihat masih sama yaitu alfa ferit (warna putih) dan pearlit (warna hitam). Struktur mikro yang dominan pada sampel kedua adalah pearlit (warna hitam)</p>

Hasil pengamatan mikrostruktur pada tabel 4.1, menunjukan bahwa fasa ferrit terbentuk karena pada susunan baja JIS SUP 9 yang merupakan Baja Carbon sedang. Perlit pada Baja JIS SUP9 terbentuk akibat proses austenisasi dan mengalami proses pendinginan cepat karena air, maka austenite akan terurai

membentuk perlit melalui proses nukleasi. Perlit yang terbentuk berupa campuran ferit dengan sementit yang tampak berwarna hitam yang tersusun selang seling dengan ferit. Sedangkan martensit pada JIS SUP9 ini terbentuk secara alami pada baja karbon karena terjadi proses pendinginan. Sifatnya keras dan diperoleh karena Baja didinginkan dari temperature austenite dengan laju pendinginan yang lebih besar dari laju pendinginan kritis nya.

#### 4.2 Hasil Uji Kekerasan (Rockwell)

Pengujian kekerasan dilakukan dengan menggunakan metode Rockwell. Pengujian kekerasan dilakukan pada setiap JIS SUP 9 hasil penempaan dengan variasi pukulan dan setiap pukulan dihitung per 1 detik. Daerah yang dilakukan uji kekerasan meliputi daerah HAZ yang dilakukan perlakuan panas. posisi pengujian sebagai berikut :



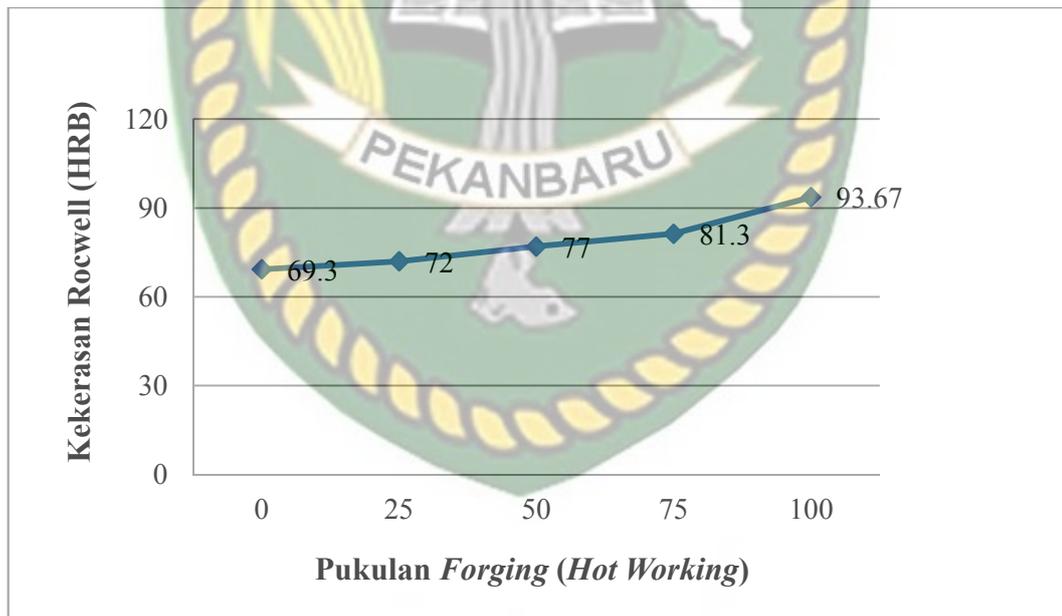
Gambar 4.2. Sample pengujian Rockwell

Hasil pengujian kekerasa (Rocwell) terdapat pada tabel 4.2 sebagai berikut:

Tabel 4.2. Hasil pengujian kekerasan (Rockwell) pada JIS SUP 9

Pukulan	Waktu (s)	NILAI KEKERASAN			RATA-RATA KEKERASAN (HRB)
		TITIK 1	TITIK 2	TITIK 3	
0	0	67	69	72	69,3
25	25	70	70	76	72
50	50	74	76	81	77
75	75	77	81	86	81,3
100	100	98	91	92	93,67

Hasil uji kekerasan diambil pada rata-rata kekerasan setiap titi dan titik kekerasan berada diatas permukaan JIS SUP 9 (SS400). Hasil pengujian kekerasan (Rockwell) dapat dilihat pada tabel dibawah ini :



Gambar 4.3. Grafik kekerasan (Rockwell) pada variasi pukulan (*hot working*)

Hasil pengujian kekerasa Rockwell dapat dilihat pada gambar 4.3, setiap hasil penempaan *hot working* dengan variasi pukulan dan diberikan perlakuan panas. Nilai kekerasan pada 0 pukulan yaitu 69,3 HRB, terus meningkat secara

linear pada pukulan 25, 50, 75 dan 100 yaitu 72 HRB, 77 HRB , 81,3 HRB dan 93,67 HRB. Nilai kekerasan terendah pada 0 pukulan yaitu 69,3 HRB, sedangkan nilai kekerasan tertinggi pada 100 pukulan yaitu 93,67 HRB. Hal ini disebabkan karena adanya tekanan dan panas yang memberikan kekerasan pada material. Semakin tinggi pukulan maka semakin tinggi nilai kekerasan pada JIS SUP 9.

#### 4.3. Deformasi Plastik Material

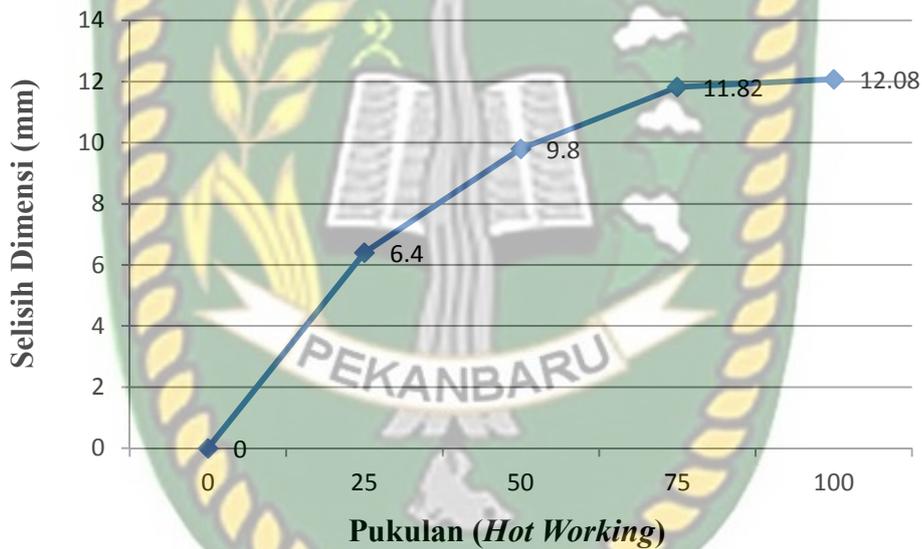
Deformasi plastis adalah terjadinya perubahan bentuk bahan secara permanen. Dalam penelitian ini dilakukan deformasi dengan cara penempaan (*hot working*) menggunakan mesin tempa yaitu dengan cara memberikan beban secara bertahap pada JIS SUP 9 sehingga perubahan diameter awal yaitu 30 mm. Deformasi yang didapat dari penempaan (*hot working*) dengan variasi pukulan yaitu 0, 25 50, 75 dan 100 pukulan. dapat dilihat perubahan yang terjadi pada gambar 4.5, di bawah ini.



Gambar 4.4. Hasil perubahan bentuk setelah di tempa (*Hot Working*)

Tabel 4.3. Deformasi plastis pada JIS SUP 9 setelah penempaan (*Hot Working*)

Pukulan	Perlakuan Panas (°C)	Tebal Awal (mm)	Tebal Akhir (mm)	Selisih $D_a - D_b$ (mm)
0	900	15	15	Tidak terjadinya Deformasi Plastis
25	900	15	8,6	6,4 mm
50	900	15	5,2	9,8
75	900	15	3,18	11,82
100	900	15	2,92	12,08



Gambar 4.5. Hasil selisih perubahan ketebalan pada JIS SUP 9

Hasil dari selisih perubahan ketebalan pada JIS SUP 9 dapat dilihat pada gambar 4.5, setiap material yang telah dilakukan proses tempa dapat merubah bentuk dimensi material dengan ukuran tebal tanpa pukulan hanya diberikan perlakuan panas yaitu 15 mm, pada perubahan bentuk (deformasi plastis) menjadi pipih dengan selisih ukuran tebal spesimen 6,4 mm pada pukulan 25, pada pukulan 50 ukuran ketebalan meningkat menjadi 9,8 mm, dan terus naik nilai

selisih ketebalan JIS SUP 9 pada pukulan 75 dan 100 yaitu 11,82 mm dan 12,08 mm.

Berdasarkan grafik diatas menunjukkan selisih ketebalan tertinggi terdapat pada pukulan 100 tempa hot working yaitu 12,08 mm, sedangkan selisih ketebalan terendah terdapat pada pukulan 0 atau tanpa pukulan yaitu 0 mm. Hal ini terjadi karena adanya pengaruh tekanan dan panas yang memberikan perubahan bentuk dan struktur material, sehingga selisih ketebalan meningkat seiring meningkatnya nilai pukulan tempa *hot working*



## BAB V

### KESIMPULAN DAN SARAN

#### 5.1 Kesimpulan

Hasil dari pengaruh variasi pukulan tempa (*Hot Working*) terhadap sifat mekanis dan struktur mikro didapat kesimpulan sebagai berikut :

1. Hasil pengamatan mikrostruktur menunjukkan bahwa pada pukulan 75 dan 100 mendapatkan sifatnya keras dan diperoleh karena Baja didinginkan dari temperature austenite dengan laju pendinginan yang lebih besar dari laju pendinginan kritis nya.
2. Nilai kekerasan terendah pada 0 pukulan, sedangkan nilai kekerasan tertinggi pada 100 pukulan. Hal ini disebabkan karena adanya tekanan dan panas yang memberikan kekerasan pada material JIS SUP 9. Semakin tinggi pukulan maka semakin tinggi nilai kekerasan pada material karbon sedang.
3. Nilai rata-rata kekerasan terendah pada 0 pukulan yaitu 69,3 HRB, sedangkan nilai rata-rata kekerasan tertinggi pada 100 pukulan yaitu 93,6 HRB.
4. Deformasi plastis merubah bentuk material yang telah ditempa (hot working) dengan ukuran diameter awal material sebelum ditempa menjadi menurun.

## 5.1 Saran

Adapun saran dari penelitian tentang pengaruh variasi pukulan tempa (*Hot Working*) sebagai berikut :

1. Pada penelitian selanjutnya suhu pada proses tempa hot working dapat divariasikan lagi untuk melihat apakah terjadi peningkatan atau penurunan terhadap nilai kekerasan mikro Rockwell.
2. Media pendingin air dapat di variasikan untuk melihat fenomena yang terjadi apakah terjadi peningkatan atau penurunan terhadap nilai kekerasan mikro Rockwell.

## DAFTAR PUSTAKA

- Ahmad, 2011. *Analisa Besar Pengaruh Tegangan Listrik Terhadap Ketebalan Pelapisan Chrom Pada Pelat Baja dengan Proses Elektroplating*. Skripsi. Universitas Hasanuddin. Makassar.
- Amanto, H., dan Daryanto, (1999). *Ilmu Bahan*. Cetakan Pertama. Bumi aksara
- Amstead, B.H., Djaprie, S, 1995. *Teknologi Mekanik*, Edisi ke-7, Jilid I, PT. Erlangga, Jakarta
- Anwar, M, R. 2017. Pengaruh Penempaan Dan Heat Treatment Pada Pembuatan Perkakas Logam Berbahan Pegas Daun Mobil Terhadap Kekerasan Mikro Vickers, Kekuatan Impak Dan Struktur Mikro. Skripsi. *Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Negeri Semarang*. Semarang
- Arai, Thoru, dkk. 1991. *ASM Handbook : Volume 4 Heat Treating*. USA : ASM Handbook Committees
- Ardian, 2012. *Teori Pembentukan Bahan*. Pendidikan Teknik Mesin Fakultas Teknik Mesin Universitas Negeri Yogyakarta. Yogyakarta
- ASM team, 1992, “*ASM Metals Handbook Volume 15 Casting*,” American Society for Metals, The United States of America.
- Djoko Andrijono dan Sufiyanto, 2018. *Bimbingan Teknis Desain Dapur Pemanas Model Tertutup Dan Cerobong Ganda Pada Manajemen Bisnis Ukm Pandai Besi Wilayah Disperindag Kabupaten Malang*. Jurnal Teknik Mesin Universitas Merdeka Malang. Jawa Timur
- Ismoyo A.H, 2013. *Analisis Pengaruh Proses Pengerolan Dan Penempaan Panas Pada Sifat Mekanik Dan Struktur Mikro Paduan ZrNbMoGe*. Jurnal. Pusat Sains dan Teknologi Bahan Maju. Tangerang Selatan

- J. Hrisoulas, 1987. *The Complete Blacksmith: Forging Your Way to Perfection*. Colorado: Paladin Enterprises
- M. Rozihan Anwar, 2017. *Pengaruh Penempaan Dan Heat Treatment Pada Pembuatan Perkakas Logam Berbahan Pegas Daun Mobil Terhadap Kekerasan Mikro Vickers, Kekuatan Impak Dan Struktur Mikro*. Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Negeri Semarang. Semarang
- Schey, John A. 2000. *Introduction to Manufacturing Processes*. Singapura: Mc Graw Hill
- Schroen, Karl. 1984. *The Hand Forged Knife*. Knife World Publication
- Trihutomo P, 2015. *Analisa Kekerasan Pada Pisau Baja Karbon Menengah Hasil Proses Hardening Dengan Media Pendingin Yang Berbeda*. Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Negeri Malang. 28-34
- Yuko, K. 2017. *Pengaruh Temperatur Austenisasi dan Proses Pendinginan terhadap Struktur Mikro dan Sifat Mekanik Baja Paduan 05CCrMnSi*. Skripsi. *Teknik Mesin Insitut Teknologi Sepuluh Nopember*. Surabaya