

**SKRIPSI**

**EFEK PERLAKUAN PELUNAKAN PADA PROSES  
PENARIKAN BATANG TEMBAGA TERHADAP SIFAT  
MEKANIK DAN MIKROSTRUKTUR**

**Disusun dan diajukan oleh:**

**GUSTI PALA LOMO**

**D021 19 1103**



**PROGRAM STUDI SARJANA TEKNIK MESIN**

**FAKULTAS TEKNIK**

**UNIVERSITAS HASANUDDIN**

**GOWA**

**2023**

**SKRIPSI**

**EFEK PERLAKUAN PELUNAKAN PADA PROSES  
PENARIKAN BATANG TEMBAGA TERHADAP SIFAT  
MEKANIK DAN MIKROSTRUKTUR**

**Disusun dan diajukan oleh:**

**GUSTI PALA LOMO**

**D021 19 1103**



**PROGRAM STUDI SARJANA TEKNIK MESIN**

**FAKULTAS TEKNIK**

**UNIVERSITAS HASANUDDIN**

**GOWA**

**2023**

**LEMBAR PENGESAHAN SKRIPSI**

**EFEK PERLAKUAN PELUNAKAN PADA PROSES  
PENARIKAN BATANG TEMBAGA TERHADAP SIFAT  
MEKANIK DAN MIKROSTRUKTUR**

Disusun dan diajukan oleh

Gusti Pala Lomo

D021 19 1103

Telah dipertahankan dihadapan panitia ujian yang dibentuk dalam rangka penyelesaian studi program sarjana program studi teknik mesin fakultas teknik universitas hasanuddin pada tanggal 11 Juli 2023 dan dinyatakan telah memenuhi syarat kelulusan

Menyetujui,

Pembimbing Utama,

Pembimbing Pendamping,



Dr. Haerul Arsyad..ST..M.T  
NIP 19750322 200212 1 001

Prof. Dr. Ir. H. Ilyas Renreng. MT  
NIP 19570914 198703 1 001

Ketua Program Studi



  
Prof. Dr. Eng. Jalaluddin..ST..MT  
NIP 19720825200003 1 001

## PERNYATAAN KEASLIAN

Yang bertanda tangan dibawah ini ;

Nama : Gusti Pala Lomo

NIM : D021 19 1103

Program Studi : Teknik Mesin

Jenjang : S1

Menyatakan dengan ini bahwa karya tulisan saya berjudul

Efek perlakuan pelunakan pada proses penarikan batang tembaga terhadap sifat mekanik dan mikro struktur

Adalah karya tulis saya sendiri dan bukan merupakan pengambilalihan tulisan orang lain dan bahwa skripsi yang saya tulis ini benar-benar merupakan karya saya sendiri.

Semua informasi yang ditulis dalam skripsi yang berasal dari penulis lain telah diberi penghargaan, yakni dengan mengutip sumber dan tahun penerbitannya. Oleh karena itu semua tulisan dalam skripsi ini sepenuhnya menjadi tanggung jawab penulis. Apabila ada pihak manapun yang merasa ada kesamaan judul atau hasil temuan dalam skripsi ini, maka penulis siap diklarifikasi dan mempertanggungjawabkan segala resiko.

Segala data dan informasi yang diperoleh selama proses pembuatan skripsi, yang akan dipublikasikan oleh penulis di masa depan harus mendapat persetujuan dari dosen pembimbing.

Apabila dikemudian hari terbukti atau dapat dibuktikan bahwa sebagian atau keseluruhan isi skripsi ini hasil dari karya orang lain, maka saya bersedia menerima sanksi atas perbuatan tersebut.

Gowa, 04 Juli 2023

Yang menyatakan  
  
Gusti Pala Lomo



## ABSTRAK

Gusti Pala Lomo (D021191103). *Efek pelunakan pada proses penarikan batang tembaga terhadap sifat mekanik dan mikrostruktur*. (dibimbing oleh Dr. Hairul Arsyad, ST., MT dan Prof. Dr. Ir. H. Ilyas Renreng, MT)

penarikan logam merupakan bagian proses manufaktur memanfaatkan deformasi plastis akibat gaya pembentukan. Penelitian ini dilakukan pada batang tembaga menggunakan pelumas dan tanpa pelumas dengan diameter 8,5 mm direduksi menjadi 8,0 mm dengan material cetakan stainless steel. Tujuan untuk menganalisa pengaruh variasi temperatur *annealing* terhadap gaya penarikan, kekerasan, kekasaran, cacat permukaan, dan mikro struktur pasca penarikan. Penelitian ini menggunakan variasi temperatur *annealing* 300°C, 350°C, 400°C, 450°C dan 500°C. Gaya penarikan diperoleh efek variasi temperatur *annealing* pada batang tembaga yang ditarik menggunakan pelumas didapatkan jika temperatur *annealing* terus diperbesar maka nilai gaya penarikan semakin besar. Efek variasi temperatur *annealing* yang ditarik tanpa pelumas tidak berpengaruh terhadap gaya penarikan. Nilai kekerasan mengalami kenaikan setelah proses penarikan dengan kenaikan tertinggi pada pelumas 78% temperatur *annealing* 450°C dan tanpa pelumas naik 102% pada temperatur *annealing* 450°C dan 500°C. Berdasarkan hasil pengukuran kekasaran diperoleh proses penarikan menurunkan nilai kekasaran sampai 82%, tetapi dapat meningkatkan kekasaran pada proses penarikan tanpa pelumas hingga 139%, efek variasi temperatur *annealing* pada pelumas tidak memiliki pengaruh tetapi jika temperatur *annealing* diperbesar maka nilai kekasaran naik, efek variasi temperatur *annealing* tanpa pelumas didapatkan semakin tinggi temperatur *annealing* semakin tinggi pula nilai kekasaran. Hasil foto cacat permukaan didapatkan penarikan menyebabkan cacat tonjolan bergaris, efek variasi temperatur *annealing* diketahui semakin tinggi temperatur *annealing* maka cacat tonjolan semakin tidak terlihat, penggunaan pelumas mengurangi cacat tonjolan. Hasil pengamatan struktur mikro didapatkan terjadi peristiwa dislokasi pada butiran yang menyebabkan nilai kekerasan meningkat, efek variasi temperatur *annealing* pada batang tembaga baik yang ditarik menggunakan pelumas maupun tanpa pelumas dapat dilihat pada temperatur *annealing* 300°C struktur mikro berubah bentuk menjadi lebih pipih dan searah, sedangkan pada temperatur *annealing* 400°C dan 500°C tidak terlihat perubahan bentuk struktur mikro.

Kata kunci : penarikan tembaga, gaya penarikan, sifat mekanik, mikrostruktur.

## ABSTRACT

Gusti Pala Lomo (D021191103). The effect of softening in the process of drawing copper rods on the mechanical and microstructural properties. (supervised by Dr. Hairul Arsyad, ST., MT and Prof. Dr. Ir. H. Ilyas Renreng, MT)

metal drawing is part of the manufacturing process utilizing plastic deformation due to forming forces. This research was conducted on copper rods using lubricants and without lubricants with a diameter of 8.5 mm reduced to 8.0 mm with stainless steel casting material. The aim is to analyze the effect of variations in annealing temperature on the tensile force, hardness, roughness, surface defects, and post-tensioning microstructure. This study used annealing temperature variations of 300 °C, 350 °C, 400 °C, 450 °C and 500 °C. Withdrawal force obtained by the effect of variations in annealing temperature on copper rods that are pulled using lubricant is obtained if the annealing temperature continues to be increased, the value of the pulling force is greater. The effect of variations in annealing temperature without lubrication has no effect on the drawing force. The hardness value increased after the withdrawal process with the highest increase in lubricant 78% annealing temperature 450 °C and without lubricant increased 102% at annealing temperature 450 °C and 500 °C. Based on the results of roughness measurements, it was found that the withdrawal process reduced the roughness value to 82%, but could increase the roughness in the withdrawal process without lubricant up to 139%, the effect of variations in annealing temperature on the lubricant had no effect but if the annealing temperature was increased, the roughness value increased, the effect of variations in annealing temperature without lubricant, the higher the annealing temperature, the higher the roughness value. The photo results of surface defects show that withdrawal causes ribbed protrusions, the effect of annealing temperature variations is known that the higher the annealing temperature, the more invisible the protrusion defects, the use of lubricants reduces the protrusion defects. The results of microstructural observations found that dislocation events occurred in the grains which caused the hardness value to increase, the effect of variations in annealing temperature on copper rods that were pulled using lubricant or without lubricant can be seen at annealing temperature of 300°C the microstructure changed shape to become more flattened and unidirectional, whereas at annealing temperatures of 400°C and 500°C showed no change in the shape of the microstructure.

Keyword: copper drawing, pulling force, mechanical properties, microstructure.

## DAFTAR ISI

<b>LEMBAR PENGESAHAN SKRIPSI .....</b>	<b>i</b>
<b>PERNYATAAN KEASLIAN.....</b>	<b>ii</b>
<b>ABSTRAK .....</b>	<b>iii</b>
<b>ABSTRACT.....</b>	<b>iv</b>
<b>DAFTAR ISI.....</b>	<b>v</b>
<b>DAFTAR GAMBAR.....</b>	<b>vii</b>
<b>DAFTAR TABEL .....</b>	<b>ix</b>
<b>DAFTAR SINGKATAN DAN ARTI SIMBOL .....</b>	<b>x</b>
<b>DAFTAR LAMPIRAN .....</b>	<b>xi</b>
<b>KATA PENGANTAR.....</b>	<b>xiv</b>
<b>BAB I PENDAHULUAN.....</b>	<b>1</b>
<b>1.1 Latar Belakang.....</b>	<b>1</b>
<b>1.2 Rumusan Masalah .....</b>	<b>3</b>
<b>1.3 Tujuan Penelitian .....</b>	<b>3</b>
<b>1.4 Batasan Penelitian.....</b>	<b>4</b>
<b>1.5 Manfaat Penelitian.....</b>	<b>4</b>
<b>BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....</b>	<b>5</b>
<b>2.1 Tembaga (Cu).....</b>	<b>5</b>
<b>2.2 Deformasi.....</b>	<b>5</b>
<b>2.3 Proses Deformasi.....</b>	<b>6</b>
<b>2.4 Penarikan Batang Logam.....</b>	<b>7</b>
<b>2.5 Heat Treatment.....</b>	<b>9</b>
<b>2.6 Annealing .....</b>	<b>11</b>
<b>2.7 Lubrikasi.....</b>	<b>12</b>
<b>2.8 Cacat Permukaan.....</b>	<b>13</b>
<b>2.9 Cetakan .....</b>	<b>16</b>
<b>2.10 Kekasaran Permukaan .....</b>	<b>18</b>
<b>2.11 Pengujian Sifat Mekanis Dan Mikrostruktur .....</b>	<b>20</b>
<b>BAB III METODOLOGI PENELITIAN .....</b>	<b>26</b>
<b>3.1 Waktu Dan Tempat.....</b>	<b>26</b>
<b>3.2 Alat Dan Bahan .....</b>	<b>26</b>
<b>3.3 Diagram Alir Penelitian.....</b>	<b>30</b>
<b>3.4 Prosedur Penelitian.....</b>	<b>31</b>

<b>BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN</b> .....	36
<b>4.1 Data Gaya Penarikan</b> .....	37
<b>4.2 Hasil Pengujian Kekerasan</b> .....	40
<b>4.3 Pengujian Kekasaran Permukaan dan Cacat Permukaan</b> .....	43
<b>4.3.1 Pengujian kekasaran</b> .....	43
<b>4.3.2 Pengujian cacat permukaan</b> .....	47
<b>4.4 Pengujian Mikrostruktur Tembaga</b> .....	50
<b>BAB V PENUTUP</b> .....	56
<b>5.1 Kesimpulan</b> .....	56
<b>5.2 Saran</b> .....	57
<b>DAFTAR PUSTAKA</b> .....	59

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 1 spesimen batang logam yang akan terdeformasi.....	7
Gambar 2 variabel dalam proses penarikan batang.....	8
Gambar 3 goresan permukaan.....	14
Gambar 4 pecahan permukaan.....	15
Gambar 5 pori-pori permukaan.....	15
Gambar 6 tonjolan permukaan.....	16
Gambar 7 cetakan.....	16
Gambar 8 stainless steel.....	17
Gambar 9 profil kekasaran permukaan.....	18
Gambar 10 geometri indenter brinell.....	21
Gambar 11 geometri indenter vikcers.....	23
Gambar 12 jejak hasil penekanan indenter.....	24
Gambar 13 mesin bubut.....	26
Gambar 14 gergaji besi.....	26
Gambar 15 jangka sorong.....	27
Gambar 16 mikroskop optik untuk logam.....	27
Gambar 17 mesin tensile.....	27
Gambar 18 furnace.....	28
Gambar 19 sarung tangan.....	28
Gambar 20 batang tembaga.....	28
Gambar 21 batang stainless steel.....	29
Gambar 22 pelumas (oli).....	29
Gambar 23 cairan etsa.....	29

Gambar 24 flowchart penelitian.....	30
Gambar 25 desain benda kerja .....	31
Gambar 26 desain cetakan .....	32
Gambar 27 alat pengujian kekerasan .....	35
Gambar 28 proses penarikan batang tembaga.....	36
Gambar 29 nilai gaya penarikan maksimum.....	37
Gambar 30 grafik hubungan variasi temperatur annealing dengan nilai kekerasan .....	40
Gambar 31 grafik hubungan variasi temperatur annealing dengan nilai kekasaran .....	43
Gambar 32 cacat permukaan material sebelum annealing dan setelah annealing .	46
Gambar 33 cacat permukaan material setelah penarikan tanpa pelumas .....	47
Gambar 34 cacat permukaan material setelah penarikan dengan pelumas .....	48
Gambar 35 foto mikrostruktur batang tembaga sebelum penarikan .....	50
Gambar 36 foto mikrostruktur batang tembaga setelah proses penarikan tanpa pelumas .....	51
Gambar 37 foto mikrostruktur batang tembaga setelah proses penarikan dengan pelumas .....	52

**DAFTAR TABEL**

Tabel 1 karakteristik oli mesran SAE .....	12
Tabel 2 angka kekasaran permukaan menurut standar ISO 1302 .....	19

**DAFTAR SINGKATAN DAN ARTI SIMBOL**

Lambang/Singkatan	Arti dan keterangan
%	Peresentase naik turun
°	Sudut cetakan
A	Luas Penampang
°C	Temperatur
Cr	Kromium
Cu	Tembaga
F	Gaya
Fe	Besi
kN	Kilo Newton
Ra	Kekasaran permukaan
Rt	Jarak Puncak dan lembah
$\lambda c$	Cut off

## DAFTAR LAMPIRAN

### Lampiran I Tabel dan grafik hasil pengujian

**Tabel A.1** Data pengujian kekasaran tembaga setelah proses *annealing*

**Tabel A.2** Data pengujian kekasaran tembaga setelah proses penarikan menggunakan pelumas

**Tabel A.3** Tabel pengujian kekasaran tembaga setelah proses penarikan tanpa pelumas

**Gambar A.1** Kekasaran tembaga tanpa penarikan

**Gambar A.2** Kekasaran tembaga setelah proses *annealing* temperatur 300°C

**Gambar A.3** Kekasaran tembaga setelah proses *annealing* temperatur 350°C

**Gambar A.4** Kekasaran batang tembaga setelah proses *annealing* temperatur *annealing* 400°C

**Gambar A.5** Kekasaran batang tembaga setelah proses *annealing* temperatur *annealing* 450°C

**Gambar A.6** Kekasaran batang tembaga setelah proses *annealing* temperatur *annealing* 500°C

**Gambar A.7** Kekasaran batang tembaga setelah proses penarikan menggunakan pelumas dengan temperatur *annealing* 300°C

**Gambar A.8** Kekasaran batang tembaga setelah proses penarikan menggunakan pelumas dengan temperatur *annealing* 350°C

**Gambar A.9** Kekasaran batang tembaga setelah proses penarikan menggunakan pelumas dengan temperatur *annealing* 400°C

**Gambar A.10** Kekasaran batang tembaga setelah proses penarikan menggunakan pelumas dengan temperatur *annealing* 450°C

**Gambar A.11** Kekasaran batang tembaga setelah proses penarikan menggunakan pelumas dengan temperatur *annealing* 500°C

**Gambar A.12** Kekasaran batang tembaga setelah proses penarikan tanpa pelumas dengan temperatur *annealing* 300°C

**Gambar A.13** Kekasaran batang tembaga setelah proses penarikan tanpa pelumas dengan temperatur *annealing* 350°C

**Gambar A.14** Kekasaran batang tembaga setelah proses penarikan tanpa pelumas dengan temperatur *annealing* 400°C

**Gambar A.15** Kekasaran batang tembaga setelah proses penarikan tanpa pelumas dengan temperatur *annealing* 450°C

**Gambar A.16** Kekasaran batang tembaga setelah proses penarikan tanpa pelumas dengan temperatur *annealing* 500°C

**Tabel A.4** Tabel Pengujian Kekerasan Setelah *annealing*

**Tabel A.5** Tabel pengujian kekerasan setelah proses penarikan menggunakan pelumas

**Tabel A.6** Tabel pengujian kekerasan setelah proses penarikan tanpa penarikan

**Tabel A.7** Data hasil gaya penarikan

**Gambar A.17** Grafik hasil penarikan menggunakan pelumas dengan temperatur *annealing* 300°C

**Gambar A.18** Grafik hasil penarikan menggunakan pelumas dengan temperatur *annealing* 350°C

**Gambar A.19** Grafik hasil penarikan menggunakan pelumas dengan temperatur *annealing* 400°C

**Gambar A.20** Grafik hasil penarikan menggunakan pelumas dengan temperatur *annealing* 450°C

**Gambar A.21** Grafik hasil penarikan menggunakan pelumas dengan temperatur *annealing* 500°C

**Gambar A.22** Grafik hasil penarikan tanpa pelumas dengan temperatur *annealing* 300°C

**Gambar A.23** Grafik hasil penarikan tanpa pelumas dengan temperatur *annealing* 350°C

**Gambar A.24** Grafik hasil penarikan tanpa pelumas dengan temperatur *annealing* 400°C

**Gambar A.25** Grafik hasil penarikan tanpa pelumas dengan temperatur *annealing* 450°C

**Gambar A.26** Grafik hasil penarikan tanpa pelumas dengan temperatur *annealing* 500°C

## **Lampiran II Hasil pengujian korelasi**

**Gambar B.1** Hasil uji korelasi nilai kekerasan setelah penarikan dengan pelumas

**Gambar B.2** Hasil uji korelasi nilai kekerasan setelah penarikan tanpa pelumas

## **Lampiran III Dokumentasi penelitian**

**Gambar C.1** Proses *Heat Treatment* perlakuan *annealing* batang tembaga

**Gambar C.2** Proses penarikan batang tembaga

**Gambar C.3** Proses pengujian kekerasan batang tembaga

**Gambar C.4** Proses etsa permukaan material sebelum proses metalografi

## KATA PENGANTAR

Segala puji dan syukur peneliti panjatkan kepada Tuhan Yang Maha Esa atas kasih dan segala limpah rahmatnya sehingga peneliti dapat melaksanakan dan menyelesaikan Skripsi ini dengan baik yang dilaksanakan di Laboratorium Metalurgi Fisik Fakultas Teknik Jurusan Teknik Mesin Universitas Hasanuddin.

Skripsi ini disusun berdasarkan hasil penelitian mengenai pengaruh pelunakan pada proses penarikan batang tembaga terhadap sifat mekanik dan mikrostruktur. Sebagai bentuk syarat dalam menyelesaikan studi pada program studi Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin. Pada penulisan skripsi ini, peneliti tentu tak lepas dari arahan dan bimbingan dari berbagai pihak dan tidak lepas dari hambatan. Sebagai bentuk pelajaran dan pengalaman selama melaksanakan penelitian ini. Untuk itu penulis mengucapkan terima kasih kepada:

1. Kedua orang tua tercinta, Bapak Alm. Nisbah Pala Lomo Dan Ibu Marta Sule Tondok dan juga kepada saudara saya Nisma Yohana Alik, Alm. Sumarni Yohana Alik, Indra Pala Lomo, Agustinus Pala Lomo, dan Oktaviana Pala Lomo serta keponakan Ganteng Putra Alias Uttang yang telah membantu, memberi nasehat, motivasi dan semangat untuk peneliti dalam menyelesaikan skripsi ini.
2. Bapak Dr. Hairul Arsyad, ST.,MT selaku dosen pembimbing utama yang telah memberikan arahan, bimbingan kepada peneliti sehingga penyusunan skripsi ini dapat diselesaikan dengan baik.
3. Bapak Prof. Dr. Ir. H. Ilyas Renreng, MT selaku dosen pembimbing kedua saya yang telah membantu dan memberi arahan kepada peneliti sehingga dapat menyelesaikan penyusunan skripsi ini dengan baik.
4. Bapak Dr.Eng. Lukmanul Hakim Arma, ST., MT selaku dosen penguji pada penelitian saya yang senantiasa memberikan koreksi dan saran guna menjadikan penelitian ini lebih baik
5. Bapak prof. Dr. Ir. Zulkifli Djafar, MT, Selaku dosen penguji pada penelitian saya yang senantiasa memberikan koreksi dan saran guna menjadikan penelitian ini lebih baik.

6. Bapak Prof. Dr. Eng. Jalaluddin ST., MT, Selaku Ketua Departemen Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.
7. Bapak dan ibu dosen serta staf Departemen Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.
8. Tim peneliti penarikan batang logam Yasril M'18 dan Rifki M'18.
9. Seluruh teman-teman asisten Laboratorium Metalurgi Fisik dan Laboratorium Teknologi Mekanik.
10. Mahasiswa dan mahasiswi program Magister dan Doktoral yang senantiasa jadi teman bertukar pendapat.
11. Segenap keluarga KMKO Mesin khususnya Go Deeper yang selalu bertanya kapan naik hasil.
12. Sahabat BRUZHLEZZ19, sebagai teman seperjuangan mulai dari mahasiswa baru sampai sekarang.
13. Keluarga besar PPS BETAKO MERPATI PUTIH UNHAS.

Demikian penulis ucapkan terima kasih dan semoga skripsi ini dapat memberikan manfaat kepada pembaca maupun bagi peneliti.

Makassar, 04 Juli 2023

Peneliti

# BAB I

## PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Penarikan batang logam merupakan proses manufaktur yang sering digunakan yang menerapkan gaya tarik untuk meregangkan batang logam menjadi ukuran atau bentuk yang diinginkan. proses ini dilakukan pada suhu kamar dan dianggap sebagai proses pengerjaan dingin (ing-kiat tiong, *et al*, 2018).

Teknologi penarikan logam memegang peranan penting dalam mengembangkan sifat-sifat logam, proses penarikan memiliki parameter yang berpengaruh signifikan pada sifat logam termasuk sudut bagian kerja cetakan (*die*) Sebuah literatur ulasan menunjukkan bahwa nilai yang dipilih dengan benar dari sudut ini memastikan pelaksanaan proses penarikan dengan kemungkinan rendah penarikan tekanan dan mendapatkan kualitas kawat tinggi, dan berkontribusi untuk peningkatan kualitas logam (M Suliga, *et al*, 2017). Gesekan antara logam dan cetakan (*die*) menyebabkan penurunan kualitas permukaan logam, pada proses penarikan logam memiliki beberapa faktor bahwa proses ini sangat perlu menggunakan pelumas pada saat proses penarikan berlangsung antara logam dan cetakan guna mengurangi beban yang diperlukan dan mengurangi pengaruh penurunan kualitas permukaan (Essam K, *et al*, 2020).

Dalam proses penarikan, diameter logam direduksi dengan menarik logam melalui cetakan. Variabel utama dalam proses penarikan logam termasuk rasio reduksi, sudut mati, gesekan pada logam dengan cetakan (*die*), dan kecepatan pada saat proses penarikan. Deformasi plastis dari logam dan panas yang dihasilkan karena gesekan antara logam dan cetakan (*die*) meningkatkan suhu pada cetakan. Peningkatan produktivitas mengakibatkan kesulitan dalam pembuatan produk yang ditarik dengan diameter yang ditentukan karena ekspansi termal yang tidak terkendali dari cetakan (Changsun Kim, *et al*, 2012).

Dalam penelitian yang dilakukan Fella L, *et al*, 2018 yang meneliti tentang pengaruh deformasi pada proses penarikan batang tembaga,

menunjukkan evolusi resistansi listrik sebagai fungsi dari regangan, dari batang tembaga yang ditarik meningkatkan pengurangan luas penampang. Faktanya deformasi plastis logam tembaga dengan penarikan dingin menyebabkan berbagai jenis cacat batas butir, dislokasi, dan kekosongan. Terjadi ketidaksempurnaan ini menghasilkan penurunan kualitas permukaan pada material.

Beberapa parameter dalam proses penarikan yang telah diteliti memberikan pengaruh yang cukup kuat terhadap sifat-mekanik logam hasil penarikan antara lain, gaya penarikan, desain cetakan, persentase dan rasio reduksi, kecepatan penarikan, komposisi dan karakteristik bahan, pelumasan dan proses *treatment* sebelum penarikan, pada penelitian ini akan dilakukan proses *heat treatment* yaitu perlakuan *annealing* terhadap kawat tembaga sebelum proses penarikan.

Proses *annealing* merupakan proses perlakuan panas yang bertujuan untuk melunakkan dan menaikkan kembali keuletan benda kerja agar dapat dideformasi lebih lanjut. Pada dasarnya proses *annealing* dan *stress relief annealing* mempunyai kesamaan, yakni bahwa kedua proses tersebut dilakukan masih pada batasan rekristalisasi (Setyadi & Syawal, 2015).

Proses perlakuan panas dalam dunia industri merupakan proses yang cukup berpengaruh dalam menentukan sifat fisis dan mekanis suatu bahan logam. Melalui perlakuan panas sifat-sifat yang kurang menguntungkan pada logam dapat diperbaiki, Pada proses pelunakan atau *annealing* merupakan proses perlakuan panas untuk menghasilkan perlit yang kasar (*coarse pearlite*) tetapi lunak dengan pemanasan sampai austenisasi dan didinginkan secara perlahan-lahan dalam tungku pemanas (*furnace*), yang bertujuan untuk memperbaiki ukuran butir serta dalam beberapa hal juga memperbaiki *machinability*. Disamping itu juga pelunakan dilakukan untuk tujuan meningkatkan keuletan dan mengurangi tegangan dalam yang menyebabkan material berperilaku getas (Prihanto, 2014).

Penelitian kali ini bermaksud meneliti pengaruh variasi temperatur *annealing* pada proses penarikan tembaga. Proses penarikan dengan menggunakan cetakan berdiameter 8 mm dan diameter batang tembaga 8,5 mm.

berdasarkan uraian diatas, maka peneliti bermaksud meneliti dengan judul penelitian: **“EFEK PERLAKUAN PELUNAKAN PADA PROSES PENARIKAN BATANG TEMBAGA TERHADAP SIFAT MEKANIK DAN MIKROSTRUKTUR”**

## **1.2 Rumusan Masalah**

Berdasarkan latar belakang masalah diatas, maka dapat dirumuskan beberapa rumusan masalah, yaitu:

1. Bagaimana pengaruh variasi temperatur *annealing* terhadap gaya penarikan.
2. Bagaimana pengaruh variasi temperatur *annealing* terhadap kekerasan batang tembaga pasca penarikan.
3. Bagaimana pengaruh variasi temperatur *annealing* terhadap kekasaran batang tembaga pasca penarikan.
4. Bagaimana pengaruh variasi temperatur *annealing* terhadap cacat permukaan pasca penarikan.
5. Bagaimana pengaruh variasi temperatur *annealing* terhadap mikrostruktur batang tembaga pasca penarikan.

## **1.3 Tujuan Penelitian**

Tujuan yang ingin dicapai peneliti adalah:

1. Menganalisa pengaruh variasi temperatur *annealing* terhadap gaya penarikan.
2. Menganalisa pengaruh variasi temperatur *annealing* terhadap kekerasan batang tembaga pasca penarikan.
3. Menganalisa pengaruh variasi temperatur *annealing* terhadap kekasaran batang tembaga pasca penarikan.
4. Menganalisa pengaruh variasi temperatur *annealing* terhadap cacat permukaan batang tembaga pasca penarikan.
5. Menganalisa pengaruh variasi temperatur *annealing* terhadap mikro struktur batang tembaga pasca penarikan.

#### **1.4 Batasan Penelitian**

Agar dalam penulisan penelitian ini lebih terarah, maka penulis memberikan beberapa batasan masalah yaitu:

1. Material yang digunakan adalah batang tembaga dengan diameter 8,5 mm dengan panjang 150 mm.
2. Material cetakan yang digunakan adalah *stainless steel* dengan ukuran diameter cetakan yang digunakan pada saat proses penarikan batang tembaga adalah 8 mm.
3. Proses pendinginan menggunakan media dalam tungku
4. Pengujian material meliputi uji kekerasan, uji kekasaran, uji cacat permukaan, dan struktur mikro.
5. Variasi temperatur *annealing* 300°C, 350°C, 400°C, 450°C, dan 500°C.
6. Kecepatan penarikan 2 mm per menit.

#### **1.5 Manfaat Penelitian**

Adapun hasil dari penelitian ini diharapkan dapat memberikan manfaat bagi teman-teman mahasiswa sebagai literatur atau bahan untuk penelitian selanjutnya, dan masyarakat pada umumnya menjadi pertimbangan dalam pembuatan konstruksi ataupun elemen mesin dengan menggunakan batang tembaga.

## BAB II

### TINJAUAN PUSTAKA

#### 2.1 Tembaga (Cu)

Tembaga merupakan salah satu logam yang paling banyak dimanfaatkan oleh manusia selain karena kelimpahannya yang besar di alam juga disebabkan sifat-sifat yang dimiliki oleh tembaga. Tembaga mempunyai sifat-sifat unggul antara lain mempunyai laju korosi yang lambat, konduktivitas termal dan elektrik yang baik, relatif lunak dan mudah dikerjakan misalnya dicetak, diekstrusi, ditarik, dipres, ditempa dan dirol. Tembaga adalah suatu logam yang diambil dari biji dasar pada *copperpyrites*. *Copperpyrites* adalah tanah tambang dimana tembaga bereaksi secara kimia dengan besi dan belerang =  $\text{CuFeS}_2$ . serta logam ini mempunyai kemurnian pada hantaran panas dengan suhu  $20^\circ\text{C}$  sebesar  $0,941 \text{ Cal/cm derajat/detik}$ . Dalam pemurnian tembaga untuk keperluan industri biasanya terdapat unsur-unsur gas yang memberikan pengaruh terhadap berbagai sifat. Oksigen merupakan unsur yang penting yang berhubungan erat dengan kadar hidrogen dan belerang. Tembaga banyak digunakan untuk komponen dan produk elektrik, peralatan rumah tangga, bodi automobil dan pesawat. Sedangkan, laju korosi tembaga yang rendah banyak dimanfaatkan untuk melapisi logam yang mempunyai laju korosi yang tinggi misalnya baja. Pelapisan tembaga pada baja dapat mengontrol atmosfer korosi dari baja, meningkatkan konduktivitas elektrik dan termal baja (Majanasastra,2016).

#### 2.2 Deformasi

Deformasi adalah perubahan bentuk, posisi dan dimensi dari suatu benda (Kuang,1996). Sehingga berdasarkan definisi tersebut, deformasi dapat diartikan sebagai perubahan kedudukan atau pergerakan suatu titik pada suatu benda secara absolut maupun relatif (Ma'ruf, B., 2001). Parameter-parameter yang digunakan dalam deformasi, antara lain:

1. Tegangan (*Stress*)

Tegangan adalah gaya (F) per luas permukaan (A) yang diteruskan ke seluruh material melalui medan-medan gaya antar atom. Pada umumnya

arah tegangan miring terhadap luas A tempatnya bekerja dan dapat diuraikan menjadi dua komponen, yaitu:

- a. Tegangan normal, tegak lurus terhadap luas A
  - b. Tegangan geser, sejajar dengan luas A
2. Regangan (*strain*)

Perpindahan partikel suatu benda elastis selalu menimbulkan terjadinya perubahan bentuk benda tersebut. Perubahan bentuk suatu benda elastik dikaitkan dengan regangan, maka perubahan bentuk tersebut dipandang sebagai perubahan bentuk yang kecil.

3. Rotasi

Rotasi merupakan perubahan posisi materi tanpa mengalami perubahan bentuk yang membentuk perubahan sudut terhadap koordinat acuan.

Deformasi terbagi menjadi 2 yaitu:

1. Deformasi elastis

Deformasi elastis adalah deformasi atau perubahan bentuk yang terjadi pada suatu benda saat gaya atau beban itu bekerja, dan perubahan bentuk akan hilang ketika gaya atau bebannya ditiadakan. Artinya, bila beban ditiadakan, maka benda akan kembali ke bentuk dan ukuran semula

2. Deformasi plastis

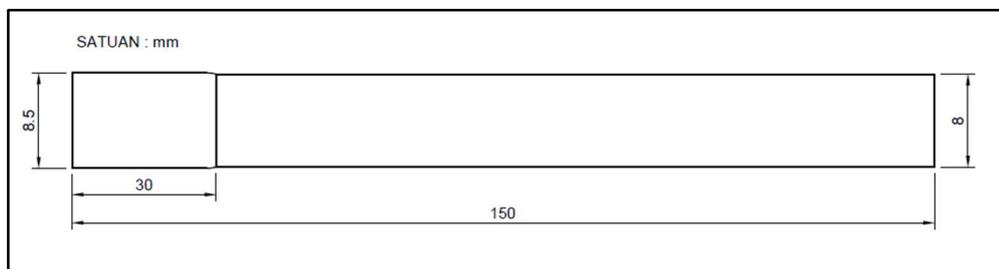
Deformasi plastis adalah deformasi atau perubahan bentuk yang terjadi pada benda secara permanen, walaupun beban yang bekerja ditiadakan. Bila suatu benda dikenai beban sampai daerah plastis, maka perubahan bentuk yang terjadi adalah gabungan antara deformasi elastis dan deformasi plastis. Penjumlahan dari kedua deformasi ini merupakan deformasi total. Bila beban yang bekerja ditiadakan, maka deformasi elastis akan hilang juga, sehingga yang tertinggal adalah deformasi plastis (Choirul, 2019).

### 2.3 Proses Deformasi

Proses deformasi (pembentukan) merupakan proses pengubahan bentuk logam dengan cara mekanis seperti penempaan (*forging*), pengerolan, penekanan, penarikan batang (*rod drawing*), dan ekstrusi. Proses ini membutuhkan tegangan yang besar dimana agar material mengalami

perubahan bentuk maka tegangan harus melebihi dari tegangan luluh material yang diproses. Keterlibatan tegangan yang tinggi dalam proses deformasi membutuhkan keuletan yang tinggi dari material tersebut sehingga tidak mengalami retak atau pecah pada saat proses berlangsung. Proses pembentukan terbagi menjadi dua macam :

1. Proses pembentukan dingin (*cold forming*), jika proses dilakukan pada suhu kamar.
2. Proses pembentukan panas (*hot forming*), jika proses dilakukan pada suhu tinggi, diatas suhu rekristalisasi.



Gambar 1 Spesimen batang tembaga yang akan terdeformasi

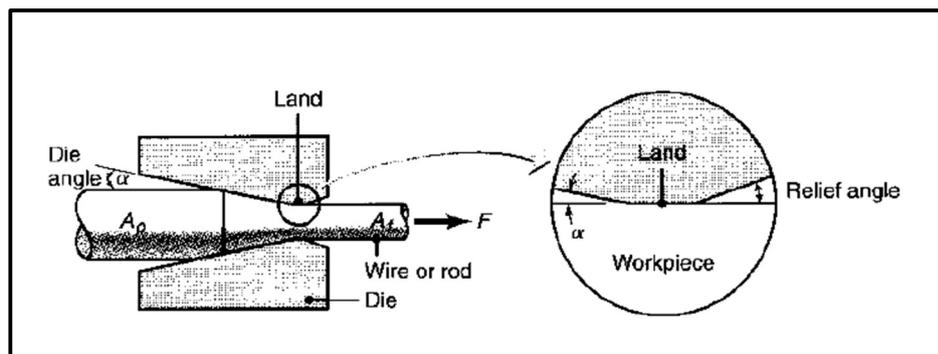
Pada proses pembentukan panas pendeformasian logam menjadi lebih mudah karena tegangan yang dibutuhkan relatif kecil jika dibandingkan dengan tegangan yang dibutuhkan dari proses pembentukan dingin dan logam dapat dideformasikan lebih besar. Namun dalam suhu yang tinggi lapisan kerak (oksida) di permukaan logam yang diproses akan mudah terbentuk, dikarenakan pada suhu yang tinggi logam akan mudah teroksidasi oleh udara. Sebaliknya, permukaan logam yang diproses akan relatif tetap mulus pada proses pembentukan dingin. Meskipun derajat deformasinya lebih rendah, pada proses pembentukan dingin sifat mekanis logam akan mengalami peningkatan yang cukup signifikan (Joshua, 2015).

#### 2.4 Penarikan Batang Logam

Secara umum penarikan merupakan salah satu proses jenis manufaktur dengan memanfaatkan fenomena deformasi plastis akibat gaya pembentukan. Gaya pembentukan ini berupa tekanan dan tarikan yang terjadi sewaktu benda kerja melewati *die*. Proses Penarikan di aplikasikan ke dalam pembuatan kabel listrik, kawat dan pipa (Efin, *et al*, 2015).

Pada proses penarikan, batang logam ditarik melewati sebuah cetakan yang tirus. Terjadinya pengecilan penampang yang diikuti penambahan. Umumnya, proses penarikan dilakukan dalam beberapa tahap melewati cetakan sehingga diperoleh dimensi yang diinginkan. Proses ini umumnya digunakan dalam proses pembuatan kawat dan batangan (Bondan Tiara Sofyan, 2021).

Proses penarikan (*drawing process*) melibatkan penarikan logam melalui cetakan (*die*) dengan menggunakan gaya tarik diterapkan ke sisi keluar dari *die*. Sebagian besar aliran plastis disebabkan oleh gaya tekan yang timbul dari reaksi logam dengan *die*. Biasanya logam memiliki simetri melingkar, tetapi ini bukan persyaratan mutlak. Proses penarikan dilakukan pada suhu kamar. Namun, karena biasanya terjadi deformasi yang besar, ada kenaikan suhu yang cukup besar selama proses penarikan (Dieter, 1998).



Gambar 2 Variabel dalam proses penarikan batang. Sudut cetakan, pengurangan penampang per lintasan, kecepatan penarikan, suhu, dan pelumasan semuanya mempengaruhi gaya tarik,  $F$

Dalam proses penarikan, penampang batang atau kawat panjang dikurangi atau diubah dengan menarik melalui cetakan disebut *draw die*. dengan demikian, perbedaan antara penarikan dan ekstrusi adalah bahwa dalam ekstrusi material didorong melalui cetakan, sedangkan dalam proses penarikan itu ditarik melalui cetakan. produk batang dan kawat mencakup berbagai aplikasi yang sangat luas, termasuk poros untuk transmisi daya, mesin dan komponen struktural, untuk baut dan paku keling, dan kabel listrik.

Variabel utama dalam proses penarikan mirip dengan proses pada ekstrusi yaitu, pengurangan luas penampang, sudut cetakan, gesekan sepanjang benda kerja, permukaan dan kecepatan penarikan, sudut cetakan mempengaruhi gaya tarik dan kualitas produk yang di tarik (Serope Kalpakjian, *et al*, 2009).

## 2.5 Heat Treatment

Proses perlakuan panas adalah metode dimana logam dipanaskan dan didinginkan dalam serangkaian operasi spesifik yang tidak pernah memungkinkan logam untuk mencapai kondisi cair. Tujuan dari *heat treatment* adalah untuk membuat logam lebih bermanfaat dengan mengubah atau memulihkan sifat mekaniknya. Melalui perlakuan panas, kita bisa membuat logam lebih keras, lebih kuat, dan lebih tahan lama terhadap dampak guncangan. Juga, perlakuan panas dapat membuat logam lebih lembut dan lebih ulet. Satu kelemahannya adalah tidak ada perlakuan panas yang prosedurnya dapat menghasilkan semua karakteristik ini di satu operasi. Beberapa properti ditingkatkan mempengaruhi sifat lain; misalnya, pengerasan logam mungkin membuatnya rapuh.

Agar berhasil memanaskan logam, harus memiliki peralatan yang tepat dengan dengan dekat kontrol atas semua faktor yang relevan dengan pemanasan dan pendinginan. Misalnya, tungku harus ukuran dan jenis yang tepat dengan suhu dikontrol dan disimpan di dalam batas yang ditentukan untuk setiap operasi, dan harus memiliki media pendinginan yang sesuai untuk mendinginkan logam pada tingkat yang benar. Atmosfer tungku itu sendiri dari gas-gas di ruang pemanas tungku yang bersirkulasi dan mengelilingi logam yang dipanaskan.

Perlakuan panas dilakukan dalam tiga tahap:

1. Pemanasan (*Heating*)

Tujuan utama dalam tahap pemanasan adalah untuk mempertahankan suhu yang seragam. Jika pemanasan yang tidak merata terjadi, satu bagian dari suatu bagian dapat mengembang lebih cepat dari yang lain dan menghasilkan distorsi atau retak. Suhu seragam dicapai dengan pemanasan lambat. Tingkat pemanasan suatu bagian tergantung pada beberapa faktor. Salah satu faktor penting adalah konduktivitas panas logam. Logam dengan konduktivitas tinggi memanaskan pada laju yang lebih cepat daripada logam dengan konduktivitas rendah. Juga, kondisi logam menentukan laju pemanasannya. Laju pemanasan untuk perkakas dan bagian yang diperkeras harus lebih lambat dari pada logam tanpa tekanan atau tanpa perlakuan. Akhirnya, ukuran dan angka penampang menjadi laju

pemanasan. Bagian dengan penampang besar membutuhkan laju pemanasan lebih lambat untuk memungkinkan suhu *interior* tetap dekat dengan suhu permukaan yang mencegah melengkung atau retak. Bagian dengan penampang yang tidak rata mengalami pemanasan yang tidak merata; namun, bagian-bagian tersebut kurang mudah retak atau melengkung berlebihan. Ketika laju pemanasan dijaga tetap lambat.

## 2. Penahanan ( *Holding* )

Setelah logam dipanaskan sampai suhu yang tepat, itu ditahan pada suhu yang diinginkan sampai perubahan struktural bagian dalam terjadi. Proses ini disebut *soaking*. Lamanya waktu diadakan di temperatur yang tepat disebut *soaking period*. *Soaking period* tergantung pada analisis kimia logam dimensinya. Ketika bagian baja tidak rata pada penampang, periode perendaman ditentukan oleh bagian terbesar.

## 3. Pendinginan ( *Cooling* )

Setelah logam, ditahan pada suhu tertentu , itu harus dikembalikan ke suhu kamar untuk menyelesaikan proses perlakuan panas. Untuk mendinginkan logam, anda dapat menempatkannya di kontak langsung dengan medium pendingin terdiri dari gas, cairan, padat, atau kombinasi dari ini. Tingkat dimana logam didinginkan tergantung pada mediumnya; oleh karena itu pemilihan media pendingin memiliki pengaruh yang penting pada sifat-sifat yang diinginkan.

Pengerjaan panas mempunyai keuntungan-keuntungan sebagai berikut:

1. Porositas dalam logam dapat dikurangi. Batangan (*ingot*) setelah dicor umumnya mengandung banyak lubang-lubang tersebut tertekan dan dapat hilang oleh karena pengaruh tekanan kerja yang tinggi.
2. Ketidakmurnian dalam bentuk inklusi terpecah-pecah dan tersebar dalam logam.
3. Butir yang kasar dan butir berbentuk kolom diperhalus, hal ini berlangsung di daerah rekristalisasi.
4. Sifat-sifat fisik meningkat, disebabkan oleh karena penghalusan butir.
5. Keuletan dalam logam meningkat,

6. Jumlah energi panas yang dibutuhkan untuk mengubah bentuk baja dalam keadaan panas jauh lebih rendah dibandingkan dengan energi yang dibutuhkan untuk pengerjaan dingin.

## 2.6 *Annealing*

Proses *annealing* merupakan proses perlakuan panas yang bertujuan untuk melunakkan dan menaikkan kembali keuletan benda kerja agar dapat dideformasi lebih lanjut. Pada dasarnya proses *annealing* dan *stress relief annealing* mempunyai kesamaan, yakni bahwa kedua proses tersebut dilakukan masih pada batasan rekristalisasi. Menurut Marty Weiser dalam artikelnya yang berjudul *annealing copper wire* menjelaskan bahwa pada umumnya suhu optimum untuk proses *anneal* pada kawat tembaga adalah  $\frac{1}{2}$  dari suhu lebur kawat tembaga itu sendiri. Sehingga proses *annealing* yang akan digunakan saat memanaskan kawat tembaga yaitu pada suhu antara 350°C hingga 600°C, dimana tembaga mempunyai titik lebur 1085°C. Dari hasil penelitian yang dilakukan diketahui bahwa pada suhu *annealing* 380°C didapatkan sifat mekanis optimum kawat tembaga (Setyadi & Syawal, 2015).

Proses *annealing* terdiri dari tiga tahap; (1) pemanasan sampai mencapai temperatur austenite di dalam tungku pemanasan listrik (*muffle furnace*); (2) penahanan (*holding*) pada temperatur *austenite*; dan (3) pendinginan, biasanya sampai ke temperatur ruang yang strukturnya berubah menjadi ferit dan perlit.

Dari Percobaan yang telah dilakukan Puji Kumala Pertiwi, *Et al*, 2015 tentang pengaruh perlakuan panas (*heat treatment*) terhadap sifat mekanik batang tembaga (Cu), yang bertujuan untuk mengetahui pengaruh perlakuan panas terhadap sifat mekanik tembaga (Cu) dan untuk menentukan nilai HV (Uji Kekerasan) pada tembaga (Cu) dengan menggunakan metode *vickers*. Prinsip pada percobaan ini adalah *heat treatment*, viskositas, dan sifat mekanik material. Percobaan ini menggunakan 4 batang tembaga ukuran 2,5 cm, menggunakan variasi fluida oli, larutan garam dan air. Setelah dipanaskan di *tube furnace* lalu didinginkan dengan variasi fluida lalu diampas lagi dan diukur kekerasannya menggunakan uji kekerasan/*vickers*. Hasil yang didapatkan pada percobaan yang telah dilakukan dapat disimpulkan bahwa

proses *heat treatment* pada logam tembaga menyebabkan nilai kekerasannya berbeda-beda tergantung dari fluida yang digunakan untuk pendinginan. Tembaga yang dicelupkan pada air garam memiliki nilai HV yang paling tinggi, sedangkan HV terendah terdapat pada tembaga yang dicelupkan ke oli.

## 2.7 Lubrikasi

Salah satu hal yang perlu diperhatikan tentang pelumasan adalah viskositasnya (kekentalan), sifat ini dimiliki oleh setiap zat cair. Viskositas dari pelumas bervariasi dengan adanya perubahan temperatur, Dalam kenyataannya suatu fluida umumnya akan mengalami penurunan nilai viskositas dengan adanya kenaikan temperatur. Setelah temperatur kembali seperti semula atau dingin. Viskositas tidak kembali naik seperti semula, tetapi turun sedikit demi sedikit, sehingga pada akhirnya viskositasnya tidak memenuhi syarat lagi.

Tabel 1 Karakteristik oli mesran SAE (Khafid,2012)

TYPICAL CHARACTERISTICS						
Characteristics	Test Method	MESRAN 10W	MESRAN 20W	MESRAN 30	MESRAN 40	MESRAN 50
SAE Viscosity Grade		10W	20W	30	40	50
Density 15 °C, kg/l	ASTM D - 4052	0.8832	0.8857	0.8797	0.8931	0.8961
Kinematic Viscosity at 40 °C, cSt	ASTM D - 445	37.7	66.03	88.98	129.8	196.7
	ASTM D - 445	6.24	8.553	10.42	13.46	17.53
Viscosity Index	ASTM D - 2270	113	100	99	98	96
	ASTM D - 1500	L 4.5	L 2.5	L 3.0	L 3.0	L 3.5
Flash Point °C	ASTM D - 92	230	230	246	251	268
Pour point, °C	ASTM D - 5950	-32	-9	-9	-9	-9
Total Base Number, mg KOH/g	ASTM D - 2896	11.2	5.26	5.35	5.36	5.26

Perubahan nilai viskositas terhadap kenaikan suhu merupakan suatu hal yang penting untuk dipertimbangkan di dalam berbagai jenis penerapan minyak pelumas (oli). Oli yang ideal adalah oli yang nilai viskositasnya cukup untuk menghidupkan mesin secara mudah serta memiliki nilai viskositas yang tidak banyak berubah saat suhu operasi mesin naik.

Viskositas dapat dianggap sebagai gerakan di bagian dalam (*internal*) suatu fluida. Viskositas terdapat pada zat cair maupun gas, dan pada intinya merupakan gaya gesek antara lapisan-lapisan yang bersisian pada fluida saat lapisan-lapisan tersebut bergerak satu melewati yang lainnya. Pada zat cair, viskositas terutama disebabkan oleh gaya kohesi antara molekul. Pada gas, viskositas muncul dari tumbukan antar molekul.

Minyak pelumas (oli) merupakan media pendingin dan pelumas yang digunakan berdasarkan angka viskositasnya. Minyak pelumas sangat berkaitan

erat dengan bahan yang akan dilumasi, fungsi utama menggunakan pelumas yaitu untuk mengurangi gesekan antara cetakan dan spesimen yang ditarik.

Sistem klasifikasi ini disusun oleh SAE (*Society Automotive Engineering*), walaupun sistem kekentalan ini disusun oleh SAE, klasifikasi kekentalan minyak pelumas bukan saja hanya untuk otomotif, melainkan semua tipe penggunaan minyak pelumas termasuk industri kapal laut dan pesawat. Viskositas suhu rendah merupakan indikator kemampuan pada saat cuaca awal dingin. Viskositas pada temperatur 100°C adalah temperatur operasi normal dari mesin. Minyak tanpa akhiran W disebut dengan monograde karena hanya ada satu kelas SAE. Minyak dengan akhiran W yang merupakan singkatan dari *winter* disebut *multigrade* yang memiliki kemampuan baik saat mesin masih dingin. Pada saat suhu rendah dibawah 0°C, viskositas dapat rendah pada suhu awal. Minyak *multigrade* mempunyai indeks viskositas yang lebih tinggi daripada minyak monograde. Minyak pelumas SAE 15W-40 artinya minyak pelumas ini mempunyai indeks viskositas *multigrade* dimana pada suhu rendah dapat bekerja pada temperatur -15°C sampai 20°C dan pada temperatur tinggi dapat bekerja pada temperatur mencapai 150°C (Khafid, 2012).

## 2.8 Cacat Permukaan

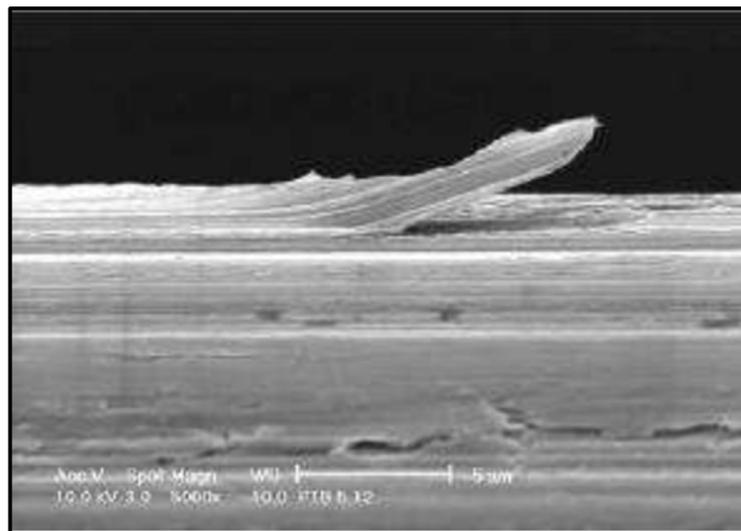
Cacat pada material yang ditarik adalah goresan memanjang, goresan terjadi selama operasi pembentukan. Berbagai cacat permukaan lainnya (seperti goresan dan bekas cetakan) untuk pemilihan parameter yang kurang tepat. Pada saat proses penarikan mengalami deformasi yang tidak seragam selama penarikan, logam biasanya memiliki tegangan sisa. Untuk reduksi ringan seperti hanya beberapa persen tegangan sisa permukaan dan umur kelelahan akan meningkat.

Cacat permukaan telah menjadi salah satu masalah krusial dalam industri manufaktur kawat baja dan batang karena kekuatan produk akhir meningkat. terutama tuntutan untuk aplikasi mobil seperti pengencang pegas, dan bantalan lebih ketat karena permukaan cacat mengurangi karakteristik kekuatan dan kelelahan dari produk, terkadang mengakibatkan kecelakaan mobil karena rusaknya aplikasi ini selama servis (Joong-Ki Hwang, 2019).

Proses penarikan menimbulkan cacat permukaan terus menerus pada saat ditarik. Karena semakin banyak permukaan yang muncul, lapisan pelumas menjadi lebih tipis. Jika pelumas berkurang dari batas pelumas, maka kerusakan pada permukaan tidak dapat dihindari. Berikut beberapa cacat permukaan.

a. Goresan permukaan

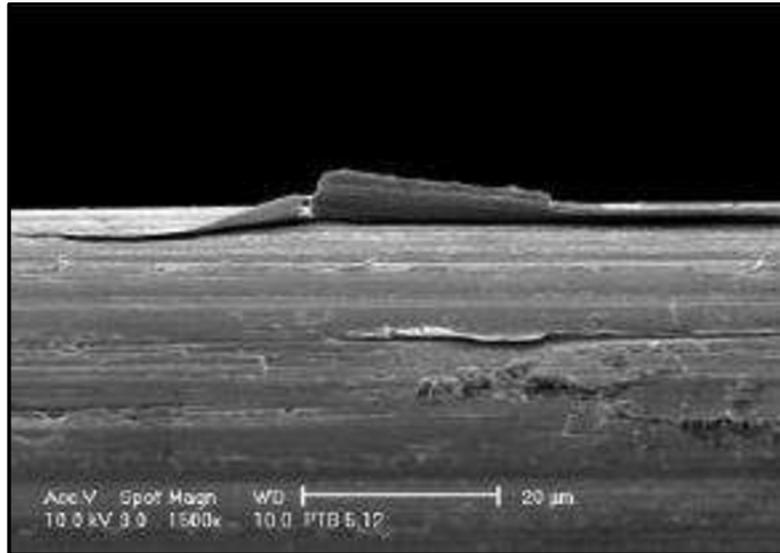
Goresan permukaan yang mirip dengan sirip seperti pada gambar 3 pada cacat ini melonggarkan permukaan material yang hanya sebagian terhubung ke permukaan logam. Cacat ini muncul di sepanjang permukaan logam, kemungkinan asal dari cacat ini adalah cacat pada sisi logam sebelum batang logam ditarik, untuk mengurangi cacat pada permukaan ada beberapa langkah-langkah kerja yang menyebabkan material mengurangi cacat pada permukaan.



Gambar 3 Goresan permukaan (Moharana, *et al*, 2017)

b. Pecahan permukaan

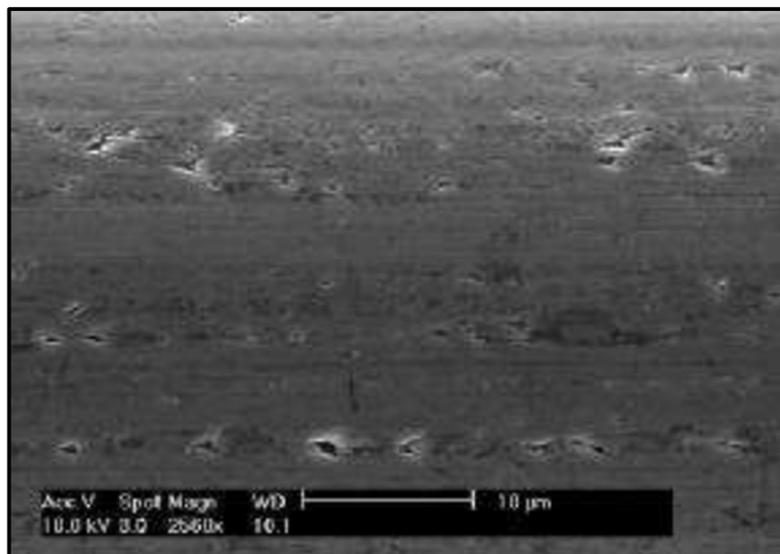
Pecahan permukaan seperti yang ditunjukkan pada gambar 4 merupakan melonggarnya permukaan material yang hanya sebagian terhubung ke permukaan batang logam. Cacat muncul tegak lurus terhadap sumbu logam, yang dihasilkan mungkin pada cacat permukaan logam selama transformasi panas.



Gambar 4 Pecahan permukaan (Moharana, *et al*, 2017)

c. Pori-pori permukaan

Seperti yang ditunjukkan pada gambar 5 pori-pori yang muncul di permukaan logam yang menimbulkan lubang-lubang kecil di permukaan karena pra-penarikan logam yang tidak tepat. Pori-pori mungkin muncul karena *over etching* atau korosi pada material apabila tidak tahan terhadap korosi.

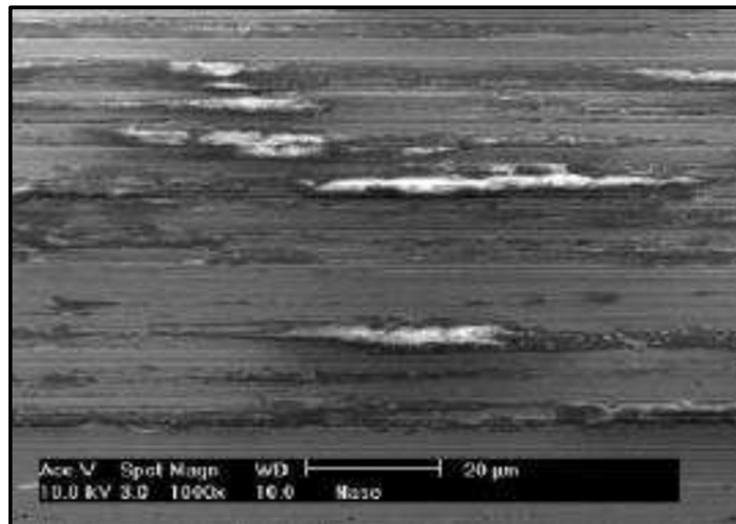


Gambar 5 Pori-pori permukaan (Moharana, *et al*, 2017)

d. Tonjolan permukaan

Tonjolan pada permukaan batang logam yang sejajar dengan sumbu seperti yang ditunjukkan pada gambar 6 kemungkinan asal dari cacat pada

proses penarikan batang logam ini dari permukaan bagian dalam *die* (cetakan) terlalu kasar.



Gambar 6 Tonjolan permukaan (Moharana, *et al*, 2017)

## 2.9 Cetakan

Cetakan penarikan logam berbentuk kerucut yang banyak digunakan untuk proses penarikan. Sudut biasanya berkisaran dari 100 sampai 300. Namun harus diperhatikan bahwa ada dua sudut yang ada pada cetakan kerucut yaitu sudut masuk dan sudut keluar. Tujuan dari bantalan pada cetakan adalah mengatur diameter akhir dan untuk mempertahankan diameter ini bahkan dengan keausan pada batang logam yang di tarik terhadap permukaan.

Variasikan tergantung pada kompleksitas profil penampang dengan beberapa segmen yang disatukan dalam cetakan. Material yang digunakan untuk cetakan menggunakan material *stainless steel* (Serope Kalpakjian, *et al*, 2009).



Gambar 7 Cetakan

*Stainless Steel* adalah senyawa besi yang mengandung setidaknya 10,5% Kromium untuk mencegah proses korosi (pengkaratan logam). Komposisi ini membentuk *protective layer* (lapisan pelindung anti korosi) yang merupakan hasil oksidasi oksigen terhadap krom yang terjadi secara spontan.

#### 1. Kandungan atom/unsur dan ikatannya

Baja *stainless* merupakan baja paduan yang mengandung minimal 10,5% Cr. Sedikit baja *stainless* mengandung lebih dari 30% Cr atau kurang dari 50% Fe. Daya tahan *Stainless Steel* terhadap oksidasi yang tinggi di udara dalam suhu lingkungan biasanya dicapai karena adanya tambahan minimal 13% (dari berat) Krom. Krom membentuk sebuah lapisan tidak aktif. Kromium (III) Oksida ( $\text{Cr}_2\text{O}_3$ ) ketika bertemu Oksigen.



Gambar 8 *Stainless steel*

Lapisan ini terlalu tipis untuk dilihat, sehingga logamnya akan tetap berkilau. Logam ini menjadi tahan air dan udara, melindungi logam yang ada di bawah lapisan tersebut. Fenomena ini disebut *Passivation* dan dapat dilihat pada logam yang lain, seperti pada Aluminium dan Titanium (Gardner, 2019).

#### 2. Sifat fisik *stainless steel*

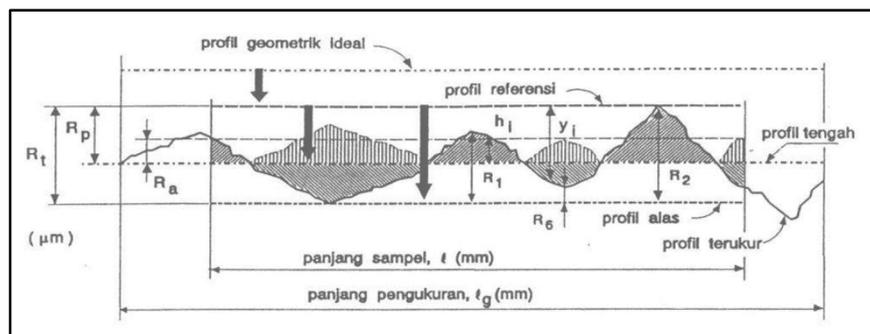
*Stainless steel* juga dikenal dengan nama lain seperti CRES atau baja tahan korosi, baja Inox. Komponen *stainless steel* adalah Besi, Krom, Karbon, Nikel, Molibdenum dan sejumlah kecil logam lainnya. Komponen ini hadir dalam proporsi yang bervariasi dalam varietas yang berbeda.

Dalam *stainless steel*, kandungan krom tidak boleh kurang dari 11%. Beberapa sifat fisik penting dari *stainless steel* tercantum di bawah ini:

- a. *Stainless steel* adalah zat keras dan kuat.
- b. *Stainless steel* bukan konduktor yang baik (panas dan listrik).
- c. *Stainless steel* memiliki kekuatan ulet tinggi. Ini berarti dapat dengan mudah dibentuk atau dibengkok atau ditarik dalam bentuk kabel.
- d. Sebagian varietas dari *stainless steel* memiliki permeabilitas magnetis. Mereka sangat tertarik terhadap magnet.
- e. Tahan terhadap korosi.
- f. Tidak bisa teroksidasi dengan mudah.
- g. *Stainless steel* dapat mempertahankan ujung tombak untuk suatu jangka panjang. Bahkan pada suhu tinggi, stainless steel mampu mempertahankan kekuatan dan tahanan terhadap oksidasi dan korosi.
- h. Pada temperatur *cryogenic*, *stainless steel* bisa tetap sulit berubah.

## 2.10 Kekasaran Permukaan

Karakteristik suatu kekasaran permukaan memegang peranan penting dalam perancangan komponen mesin. Hal tersebut perlu dinyatakan dengan jelas misalnya dalam kaitannya dengan gesekan, keausan, pelumasan, ketahanan kelelahan, perekatan dua atau lebih komponen-komponen mesin (Atedi & Agustono, 2005). Kekasaran permukaan sangat penting, karena sebagian besar suatu komponen membutuhkan kekasaran permukaan yang rendah, sehingga permukaan menjadi halus. Semakin halus permukaan, maka semakin tinggi biayanya. Tingkat kekasaran dapat diukur melalui beberapa cara Selain dengan membandingkan secara visual dengan standar yang ada, cara lain yaitu dengan perbandingan mikroskop (Amstead, *et al*, 1979).



Gambar 9 Profil kekasaran permukaan (Dimas prayogi, 2019)

Tabel 2. Angka kekasaran permukaan menurut standar ISO 1302

<i>Roughness value</i> µm	Ra Min	<i>Roughness grade numbers</i> (given in the previous edition of ISO 1302)
50	2000	N 12
25	1000	N 11
12,5	500	N 10
6,3	250	N 9
3,2	125	N 8
1,6	63	N 7
0,8	32	N 6
0,4	16	N 5
0,2	8	N 4
0,1	4	N 3
0,05	2	N 2
0,025	1	N 1

Di dalam pembahasan kekasaran permukaan suatu produk, pada umumnya perlu diperhatikan beberapa parameter yang akan diperlukan untuk menentukan nilai kekasarannya (Atedi & Agustono, 2005). Menurut Amstead *et al*, 1979 untuk mengukur kekasaran permukaan dan karakteristik permukaan telah dikembangkan beberapa standar, yaitu ISO R468 dan ASA B 46, 1-1962. Angka kekasaran permukaan menurut standar ISO 1302: 1992 diklasifikasikan menjadi 12 angka kelas sesuai tabel 1.

Banyak cara yang dapat digunakan untuk mengukur tingkat kekasaran permukaan. Cara yang paling sederhana dengan meraba atau menggeruk permukaan yang diperiksa. Cara ini sudah pasti ada kelemahannya, karena sifat hanya membandingkan saja. Dan dasar pengambilan keputusan baik tidaknya suatu permukaan adalah berdasarkan perasaan si pengukur belak, yang tentu antara pengukuran satu dengan pengukuran lainnya akan berbeda. Berikut beberapa cara pengukuran permukaan yang lebih teliti;

1. Pemeriksaan kekasaran permukaan dengan menggunakan mikroskop (*microscopic inspection*).

Keterbatasan pemeriksaan permukaan dengan mikroskop ini adalah pengambilan bagian permukaan yang sempit setiap kali akan melakukan pengukuran. Maka dari itu, dalam pemeriksaan kekasaran permukaan harus dilakukan berulang-ulang untuk kemudian dicari harga rata-ratanya. Pemeriksaan kekasaran

permukaan dengan mikroskop ini termasuk juga salah satu pengukuran dengan cara membandingkan, yaitu membandingkan hasil pemeriksaan permukaan yang diukur dengan permukaan dari pembanding yang kedua-duanya dilihat dengan mikroskop. Pertama melihat permukaan ukur dengan mikroskop, kemudian ganti melihat permukaan pembanding. Dengan membandingkan kedua permukaan yang dilihat dengan mikroskop ini maka dapat dianalisis bagaimana keadaan yang sesungguhnya dari permukaan yang diperiksa

## 2. Pemeriksaan kekasaran permukaan dengan foto

Pengukuran dengan cara ini adalah mengambil gambar atau memotret permukaan yang akan diperiksa. Kemudian foto permukaan tersebut diperbesar dengan perbesaran yang berbeda-beda. Perbesaran yang diambil adalah perbesaran secara vertikal. Dengan membandingkan hasil perbesaran foto permukaan yang berbeda-beda ini maka dapat dianalisis ketidakteraturan dari permukaan yang diperiksa

## 3. Pemeriksaan kekasaran dengan peralatan kekasaran secara mekanik

*Mechanical Roughness Instrument* yang disingkat dengan MECRIN adalah peralatan untuk memeriksa kekasaran permukaan yang merupakan perkembangan dari cara perabaan atau penggarukan permukaan. Alat ini bekerja dengan sistem mekanik dan diproduksi oleh Messrs.

## 2.11 Pengujian Sifat Mekanis Dan Mikrostruktur

### 1. Pengujian kekerasan

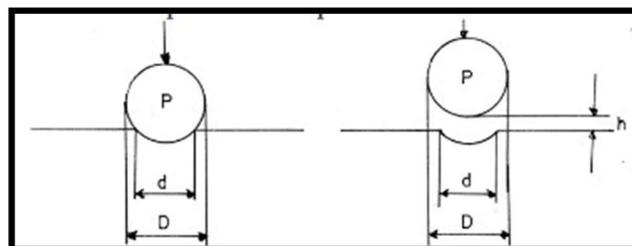
Pengujian kekerasan ini dilakukan untuk mengetahui kemampuan material terhadap deformasi di permukaannya. Pengujian dilakukan pada material yang pada aplikasinya bersinggungan dengan gesekan dan keausan. Pengujian dilakukan dengan menggores material seperti pada metode mohs scale atau dengan menekan indentor ke permukaan material, maka akan semakin sulit untuk digores atau diindentasi. Pengujian dapat dilakukan di laboratorium dengan mengambil sampel

material atau di lokasi dengan alat uji kekerasan *portable*. Sebelum pengujian, maka perlu dilakukan preparasi yang sama dengan preparasi metalografi, tetapi tanpa poles dan etsa, kecuali *micro hardness*. Prinsip dasar nilai kekerasan adalah besarnya gaya tekan yang diberikan dibagi luas penampang bekas penekanan. Ada tiga metode pengujian yang paling sering digunakan untuk logam yaitu, metode Brinell, Metode Vickers, Metode Rockwel.

a. Metode Brinell

Metode uji kekerasan yang diajukan oleh J.A. Brinell pada tahun 1900 ini merupakan uji kekerasan lekukan yang pertama kali banyak digunakan serta disusun pembakuannya (Dieter, 1988). Uji kekerasan ini berupa pembentukan lekukan pada permukaan logam memakai bola baja yang dikeraskan yang ditekan dengan beban tertentu. Beban diterapkan selama waktu tertentu, biasanya 30 detik, dan diameter lekukan diukur dengan mikroskop, setelah beban tersebut dihilangkan. Permukaan yang akan dibuat lekukan harus relatif halus, rata dan bersih dari debu atau kerak.

Angka kekerasan Brinell (BHN) dinyatakan sebagai beban  $P$  dibagi luas permukaan lekukan. Pada prakteknya, luas dihitung dari pengukuran mikroskopik panjang diameter jejak. Seperti yang terlihat pada gambar 2.9 BHN dapat ditentukan dari persamaan berikut:



Gambar 10 Geometri indentor brinell

$$H = \frac{2P}{[\pi D(-\sqrt{D^2 - d^2})]} = \frac{P}{D.h} \dots \dots \dots (1)$$

Dimana:

P = Beban yang digunakan (kgf)

D = Diameter bola baja (mm)

d = Diameter Lekukan (mm)

pemilihan diameter bola dan besar beban tergantung pada jenis logam serta ketebalannya. Perubahan indenter akan diikuti dengan perubahan beban akan didapatkan HB yang sama.

$$\frac{P_1}{D_1^2} = \frac{P_2}{D_2^2} = \frac{P_3}{D_3^2} \dots \dots \dots (2)$$

Jika D terlalu besar dan P terlalu kecil, maka bekas lekukan akan terlalu kecil sehingga sukar diukur dan akan memberikan informasi yang keliru. Jika D terlalu kecil dan P terlalu besar dapat berakibat amblasnya bola, sehingga memberikan harga kekerasan yang keliru.

Jejak penekanan yang relatif besar pada uji kekerasan brinell memberikan keuntungan dalam membagikan secara pukul rata ketidak seragaman lokal. Selain itu, uji brinell tidak begitu dipengaruhi oleh goresan dan kekasaran permukaan dibandingkan uji kekerasan lain. di sisi lain, jejak penekanan yang besar ukurannya, dapat menghalangi pemakaian uji ini untuk benda uji yang kecil atau tipis, atau pada bagian yang kritis terhadap tegangan sehingga lekukan yang terjadi dapat menyebabkan kegagalan (*failure*).

#### b. Metode Vickers

Uji kekerasan vickers menggunakan indenter piramida intan yang pada dasarnya berbentuk bujursangkar. Besar sudut antara permukaan-permukaan piramida yang saling berhadapan adalah  $136^0$ . Nilai ini dipilih karena mendekati sebagian besar nilai perbandingan yang diinginkan antara diameter lekukan dan diameter bola penumbuk pada uji kekerasan brinell (Dieter, 1987).

Angka kekerasan vickers didefinisikan sebagai beban dibagi luas permukaan lekukan. Pada prakteknya, luas ini

dihitung dari pengukuran mikroskopik panjang diagonal jejak. VHN dapat ditentukan dari persamaan berikut:

$$\text{VHN} = \frac{2P \sin\left(\frac{\theta}{2}\right)}{d^2} = \frac{(1,854)P}{d^2} \dots \dots \dots (3)$$

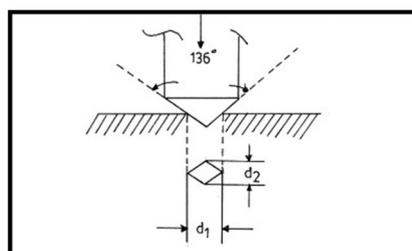
Dimana:

P = beban yang digunakan (kg)

d = panjang diagonal rata-rata (mm)

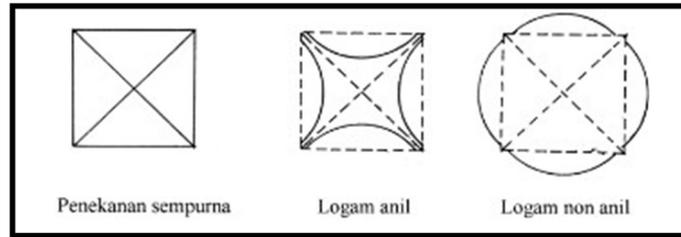
$\theta$  = sudut antara permukaan intan yang berhadapan =  $136^\circ$

karena jejak yang dibuat dengan penekanan piramida serupa dengan geometris dan tidak terdapat persoalan mengenai ukurannya, maka VHN tidak tergantung kepada beban. Pada umumnya hal ini dipenuhi, kecuali pada beban yang sangat ringan. Beban yang biasanya digunakan pada uji vickers berkisar 1 sampai 120 kg. tergantung pada kekerasan logam yang akan diuji. Hal-hal yang menghalangi keuntungan penggunaan metode vickers adalah: (1) uji ini tidak dapat digunakan untuk pengujian rutin karena pengujian ini sangat lamban; (2) memerlukan persiapan permukaan benda uji yang hati-hati; (3) terdapat pengaruh kesalahan manusia yang besar pada penentuan panjang diagonal.



Gambar 11 Geometri indenter vickers

Hasil penekanan akan berbentuk bujur sangkar dengan diagonal yang akan diukur dengan mikroskop, seperti pada gambar 10.



Gambar 12 Jejak hasil penekanan indenter

c. Metode Rockwell

Pengujian kekerasan *rockwell* mirip dengan pengujian *brinell*, yakni angka kekerasan yang diperoleh merupakan fungsi derajat indentasi. Beban dan indenter yang digunakan bervariasi tergantung pada kondisi pengujian. Berbeda dengan pengujian *brinell*, indenter dan beban yang digunakan lebih kecil sehingga menghasilkan indentasi yang lebih kecil dan lebih halus. Banyak digunakan di industri karena prosedurnya lebih cepat (Davis, Troxell, dan Wiskocil, 1995). Indenter dapat berupa bola baja atau kerucut intan dengan ujung yang agak membulat (biasa disebut "*brale*"). Diameter bola baja umumnya 1/16 inchi, tetapi terdapat juga indenter dengan diameter lebih besar, yaitu 1/8, 1/4, atau 1/2 inchi untuk bahan yang lunak

2. Pengujian mikrostruktur

Metalografi adalah studi fisik dan komponen logam yang menggunakan mikroskop atau mengetahui perkiraan sifat-sifat fisik dengan mengenali ciri-ciri khusus dari struktur mikronya ataupun sebagai karakteristik bahan.

Henry Clifton Sorby ilmuwan abad 19 merintis produksi besi dan baja modern di Sheffireld (UK) menyatakan bahwa terdapat hubungan erat antara struktur mikro dan sifat makroskopik, dan menjelang akhir hayatnya mengatakan, "jika terjadi kecelakaan kereta api, maka perusahaan harus mengambil rel kereta api untuk diperiksa dengan mikroskop dan saya dianggap sebagai orang sehat yang dikirim ke rumah sakit jiwa, tetapi itu adalah apa yang sekarang sedang dilakukan".

Pengamatan struktur mikro dilakukan dengan mikroskop logam. Mikroskop optik untuk logam dengan posisi spesimen menghadap ke atas

(normal) dan posisi spesimen menghadap kebawah (*inverted*). Bedanya dengan mikroskop biologi/kedokteran adalah pada penerangan yang dilakukan dari atas spesimen, karena spesimen logam tidak transparan sehingga tidak mungkin memberikan penerangan dari arah bawah (Syamsul Hadi, 2016).

Uji metalografi termasuk pengujian yang sangat sering dilakukan laboratorium. Pengujian ini dilakukan untuk keperluan identifikasi fasa, identifikasi ukuran dan distribusi butir, identifikasi *overheating*, identifikasi hasil *heat treatment*, dan lainnya. Dalam melakukan pengujian ini ada beberapa tahapan yang harus dilakukan, yaitu pemotongan sampel untuk dibuat spesimen, pemmingkaian jika diperlukan, pengerindaan dan pengamplasan, pemolesan, etsa, pengamatan mikroskop dan pemotretan (choliq, *et al*, 2021).

- a. Pemotongan sampel untuk dibuat spesimen
- b. Pemmingkaian
- c. Pengerindaan dan pengamplasan
- d. Pemolesan
- e. Etsa
- f. Pengamatan mikroskop dan pemotretan