

# **TUGAS AKHIR**

## **ANALISA UJI KEKERASAN PADA MATERIAL BAJA ST37 SETELAH MENGALAMI PERLAKUAN PANAS *ANNEALING***

Diajukan Untuk Memenuhi Syarat Memperoleh  
Gelar Sarjana Teknik Mesin Pada Fakultas Teknik  
Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara

**Disusun Oleh:**

**DICKY ZULFANDY**  
**1307230183**



**UMSU**  
Unggul | Cerdas | Terpercaya

**PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN  
FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SUMATERA UTARA  
MEDAN  
2019**

## HALAMAN PENGESAHAN

Tugas Akhir ini diajukan oleh:

Nama : Dicky Zulfandy  
NPM : 1307230183  
Program Studi : Teknik Mesin  
Judul Skripsi : Analisa Uji Kekerasan Pada Material Baja ST37 Setelah Mengalami  
Perlakuan Panas *Annealing*  
Bidang ilmu : Manufaktur

Telah berhasil dipertahankan di hadapan Tim Penguji dan diterima sebagai salah satu syarat yang diperlukan untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik pada Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.

Medan , 15 Maret 2019

Mengetahui dan menyetujui:

Dosen Penguji I



Ahmad Marabdi Siregar, S.T., M.T

Dosen Penguji II



H. Muharnif , S.T., M.Sc

Dosen Penguji III



Muhammad Yani , S.T., M.T

Dosen Penguji IV



Bekti Suroso S.T., M.Eng

Program Studi Teknik Mesin  
Ketua,



Affandi, S.T., M.T

## SURAT PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama Lengkap : Dicky Zulfandy  
Tempat /Tanggal Lahir : Medan/11 Mei 1995  
NPM : 1307230183  
Fakultas : Teknik  
Program Studi : Teknik Mesin

Menyatakan dengan sesungguhnya dan sejujurnya, bahwa laporan Tugas Akhir saya yang berjudul:

**“Analisa Uji Kekerasan Pada Material Baja ST37 Setelah Mengalami Perlakuan Panas *Annealing*”,**

Bukan merupakan plagiarisme, pencurian hasil karya milik orang lain, hasil kerja orang lain untuk kepentingan saya karena hubungan material dan non-material, ataupun segala kemungkinan lain, yang pada hakekatnya bukan merupakan karya tulis Tugas Akhir saya secara orisinal dan otentik.

Bila kemudian hari diduga kuat ada ketidaksesuaian antara fakta dengan kenyataan ini, saya bersedia diproses oleh Tim Fakultas yang dibentuk untuk melakukan verifikasi, dengan sanksi terberat berupa pembatalan kelulusan/kesarjanaan saya.

Demikian Surat Pernyataan ini saya buat dengan kesadaran sendiri dan tidak atas tekanan ataupun paksaan dari pihak manapun demi menegakkan integritas akademik di Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.

Medan, 11 Maret 2019

Saya yang menyatakan,



Dicky Zulfandy

## ABSTRAK

Uji kekerasan merupakan salah satu metode untuk mengetahui pengaruh perlakuan panas atau dingin terhadap material. Material yang telah mengalami *cold working, hot working, dan heat treatment*, dapat diketahui gambaran perubahan kekuatannya, dengan mengukur kekerasan permukaan suatu material. Oleh sebab itu, dengan uji keras kita dapat dengan mudah melakukan *quality control* terhadap material. Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui analisa uji kekerasan pada material baja ST37 setelah mengalami perlakuan panas *annealing*. Pengujian ini dilakukan di Laboratorium Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara menggunakan alat uji kekerasan setelah mengalami perlakuan panas *annealing*. *Specimen* yang akan diuji, yaitu batang baja persegi panjang yang dipotong menjadi 3 buah dengan diameter  $\Theta 19$  mm dan tebal 6 mm. Untuk memudahkan pengidentifikasian dan pengolahan data masing-masing *specimen* diberi tanda. Pada proses pemanasan untuk baja ST37 dilakukan dengan cara memasukkan *specimen* kedalam dapur pemanas hingga sampai pada temperatur  $600^{\circ}$  C, dan diikuti dengan proses penahanan dengan waktu masing-masing 15 menit. Setelah proses perlakuan panas dan *Annealing* dilakukan, proses selanjutnya adalah proses pendinginan dengan cara mengeluarkan *specimen* dari dalam dapur pemanas kemudian baja didinginkan perlahan-lahan dengan media oli dan air, dengan cara mencelupkan baja ST37 kedalam wadah media pendingin sampai suhu pada *specimen* kembali normal. Pada pengujian ini dilakukan 5 titik pengambilan data pada setiap *specimen* dengan titik yang berbeda-beda. Jarak pengujian pertama ke berikutnya minimal 4 kali dari diameter hasil pengujian. Hasil pengujian kekerasan rockwell menghasilkan angka kekerasan tertinggi terdapat pada spesimen uji dengan media pendinginan air yaitu HRC 56,5. dan terendah terdapat pada perlakuan serupa dengan media pendingin oli yaitu HRC 44,3.

Kata kunci : Uji Kekerasan, Baja ST37, Perlakuan Panas Annealing

## ABSTRACT

*Hardness test is one method to determine the effect of heat or cold treatment on material. Material that has undergone cold working, hot working, and heat treatment, can be seen describing the changes in its strength, by measuring the hardness of the material. Therefore, with rigorous testing we can easily carry out quality control on material. This research was conducted to determine the analysis of hardness test on ST37 steel material after experiencing annealing heat treatment. This test was conducted at the North Sumatra Muhammadiyah University Laboratory using a hardness test kit after experiencing heat treatment of annealing. The specimens to be tested are rectangular steel rods cut into 3 pieces with a diameter of  $\varnothing 19$  mm and a thick of 6 mm. To facilitate identification and processing of data each specimen is marked. In the heating process for ST37 steel, it is carried out by inserting specimens into the heating kitchen until it reaches a temperature of  $600^{\circ}$  C, followed by a holding process with 15 minutes each. After the heat treatment and Annealing process is carried out, the next process is the cooling process by removing specimens from the heating kitchen then the steel is cooled slowly with oil and water media, by dipping ST37 steel into the cooling media container until the specimen returns to normal. In this test 5 data points were taken on each specimen with different points. The distance from the first test to the next was at least 4 times the diameter of the test results. The results of the rockwell hardness test produced the highest hardness values found in the test specimens with water cooling media, namely HRC 56.5. and the lowest is in a similar treatment with oil cooling media, namely HRC 44.3.*

*Keywords: Hardness testing , ST37 Steel, Annealing Heat Treatment*

## KATA PENGANTAR

Dengan nama Allah Yang Maha Pengasih lagi Maha Penyayang. Segala puji dan syukur penulis ucapkan kehadiran Allah SWT yang telah memberikan karunia dan nikmat yang tiada terkira. Salah satu dari nikmat tersebut adalah keberhasilan penulis dalam menyelesaikan laporan Tugas Akhir ini yang berjudul “Analisa uji kekerasan pada material baja ST37 setelah mengalami perlakuan panas *annealing*” sebagai syarat untuk meraih gelar akademik Sarjana Teknik pada Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara (UMSU), Medan.

Banyak pihak telah membantu dalam menyelesaikan laporan Tugas Akhir ini, untuk itu penulis menghaturkan rasa terimakasih yang tulus dan dalam kepada:

1. Bapak Muhammad Yani S.T, M.T. selaku Dosen Pembimbing I yang telah banyak membimbing dan mengarahkan penulis dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini.
2. Bapak Bekti Suroso S.T, M.Eng, selaku Dosen Pembimbing II yang telah banyak membimbing dan mengarahkan penulis dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini.
3. Ahmad marabdi siregar S.T, M.T, selaku Dosen Pembimbing I yang telah banyak memberikan koreksi dan masukan kepada penulis dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini
4. H.Muharnif S.T, M.Sc, selaku Dosen Pembimbing II yang telah banyak memberikan koreksi dan masukan kepada penulis dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini
5. Bapak Affandi S.T, M.T yang telah banyak memberikan koreksi dan masukan kepada penulis dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini, sekaligus sebagai Ketua Program Studi Teknik Mesin , Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
6. Bapak Munawar Alfansury Siregar S.T, M.T selaku Dekan Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
7. Seluruh Bapak/Ibu Dosen di Program Studi Teknik Mesin, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara yang telah banyak memberikan ilmu ketekniksipilan kepada penulis.
8. Orang tua penulis: Legiran dan Sriwati , yang telah bersusah payah membesarkan dan membiayai studi penulis.
9. Bapak/Ibu Staf Administrasi di Biro Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.

10. Sahabat-sahabat penulis: kiki ramadhani, dhany fajar lesmana S.T, arie indra wirantara, abdi saputra, bambang sutikno, bambang katresnan dan lainnya yang tidak mungkin namanya disebut satu per satu.

Laporan Tugas Akhir ini tentunya masih jauh dari kesempurnaan, untuk itu penulis berharap kritik dan masukan yang konstruktif untuk menjadi bahan pembelajaran berkesinambungan penulis di masa depan. Semoga laporan Tugas Akhir ini dapat bermanfaat bagi dunia konstruksi teknik Mesin.

Medan, 11 Maret 2019

DICKY ZULFANDY

## DAFTAR ISI

	HALAMAN
<b>LEMBAR PENGESAHAN</b>	<b>ii</b>
<b>LEMBAR PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS</b>	<b>iii</b>
<b>ABSTRAK</b>	<b>iv</b>
<b>ABSTRAK</b>	<b>v</b>
<b>KATA PENGANTAR</b>	<b>vi</b>
<b>DAFTAR ISI</b>	<b>vii</b>
<b>DAFTAR TABEL</b>	<b>x</b>
<b>DAFTAR GAMBAR</b>	<b>xi</b>
<b>DAFTAR NOTASI</b>	<b>xii</b>
<b>BAB 1. PENDAHULUAN</b>	<b>1</b>
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Peumusan Masalah	1
1.3 Batasan Masalah	2
1.4 Tujuan Penelitian	2
1.4.1 Tujuan Umum	2
1.4.2 Tujuan Khusus	2
1.5 Manfaat Penelitian	2
1.6 Sistematika Penulisan	2
<b>BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA</b>	<b>3</b>
2.1 Pengujian Kekerasan	4
2.1.1 Pengujian Kekerasan Material dengan Metode <i>Vickers</i>	4
2.1.2 Pengujian Kekerasan Bahan dengan Metode <i>Rockwell</i>	8
2.1.2.1 <i>Indentor</i>	10
2.1.2.2 Skala Kekerasan <i>Rockwell</i>	10
2.1.3 Uji Kekerasan <i>Brinell</i>	15
2.2 Perlakuan Panas ( <i>Heat Treatment</i> )	16
2.2.1 <i>Hardening</i>	17
2.2.2 <i>Normalizing</i>	18
2.2.3 Perlakuan Panas <i>Annealing</i>	18
2.3 <i>Quenching</i>	22
2.3.1 Media <i>Quenching</i>	23
2.4 Klasifikasi Baja	25
2.4.1 Pengaruh Unsur Paduan Terhadap Baja	26
2.4.2 Makna Baja	27
<b>BAB 3 METODE PENELITIAN</b>	<b>28</b>
3.1 Tempat dan Waktu	28
3.1.1 Tempat	28
3.1.2 Waktu	28
3.2 Alat dan Bahan	29
3.2.1 Alat	29
3.2.1.1 Gas Elpiji	29



3.2.1.2	<i>Thermocouple Type K</i>	29
3.2.1.3	<i>Thermometer Digital</i>	30
3.2.1.4	Mesin Gerinda Potong	30
3.2.1.5	Ragum dan Penjepit Tangan	30
3.2.1.6	Jangka Sorong	31
3.2.1.7	Sarung Tangan	31
3.2.1.8	Wadah Media Pendingin	31
3.2.1.9	Alat Kekerasan ( <i>Hardness Test</i> )	32
3.2.1.10	Tungku <i>Heat Treatment</i>	32
3.2.2	Bahan	32
3.2.2.1	Baja Karbon ST 37	32
3.2.2.2	Media Pendingin Oli	33
3.2.2.3	Media Pendingin Air	33
3.3	Pembuatan <i>Specimen</i> Penelitian	33
3.4	Pengujian Proses Kekerasan	34
3.4.1	Proses Pemanasan	34
3.4.2	Proses Pendinginan	34
3.5	Proses Pengujian <i>Specimen</i>	34
3.5.1	Pengujian Kekerasan	35
3.5.2	<i>Set Up</i> Pengujian	35
3.5.3	Langkah – langkah Pengujian Kekerasan <i>Hardness Test Rockwell</i>	37
3.6	Diagram Alir Penelitian	39
<b>BAB 4</b>	<b>HASIL dan PEMBAHASAN</b>	<b>41</b>
4.1	Pengujian <i>Hardness</i>	41
4.1.1	<i>Specimen</i> Baja ST 37	41
4.1.2	<i>Specimen</i> Baja ST 37 Mengalami Perlakuan Panas <i>Annealing</i>	41
4.1.2.1	Pendinginan <i>Specimen</i>	42
4.1.2.2	<i>Specimen</i> Setelah Pendinginan	43
4.1.3	<i>Specimen</i> Setelah Dilakukan Pengujian <i>Hardness</i>	43
4.2	Hasil Pengujian <i>Hardness</i>	44
4.2.1	Diagram Hasil dari Pengujian <i>Hardness Rockwell</i>	45
<b>BAB 5</b>	<b>KESIMPULAN dan SARAN</b>	<b>46</b>
5.1	Kesimpulan	46
5.2	Saran	46
<b>DAFTAR PUSTAKA</b>		<b>47</b>
<b>LAMPIRAN</b>		
<b>LEMBAR ASISTENSI</b>		
<b>DAFTAR RIWAYAT HIDUP</b>		

## DAFTAR TABEL

Tabel 3.1 Tabel waktu dan tempat pelaksanaan	28
Tabel 4.1 Data hasil pengujian hardness perlakuan panas <i>normalizin</i>	44
Tabel 2.1 Skala pada pengujian kekerasan <i>Rockwell</i>	11
Tabel 2.2 Aplikasi khas skala kekerasan <i>Rockwell</i>	12
Tabel 2.3 Rentang skala kekerasan <i>Rockwell</i>	13

## DAFTAR GAMBAR

	HALAMAN
Gambar 2.1 Jejak yang dihasilkan oleh penekanan indenter pada benda uji	4
Gambar 2.2 Luas Permukaan Jejak	5
Gambar 2.3 <i>Indentor</i> intan berbentuk piramid	6
Gambar 2.4 Mesin pengujian kekerasan <i>Vickers</i>	7
Gambar 2.5. Bentuk-bentuk jejak	7
Gambar 2.6 Proses pengujian kekerasan <i>Rockwell</i>	9
Gambar 2.7 Mesin <i>Rockwell</i> manual	9
Gambar 2.8 <i>Indentor</i> intan dan <i>indentor</i> bola	10
Gambar 2.9 Pengujian kekerasan <i>Rockwell</i> memakai <i>indentor</i> intan dan <i>indentor</i> bola	14
Gambar 2.10 Pengujian <i>brinell</i>	15
Gambar 2.11 Diagram temperatur terhadap waktu	17
Gambar 3.1 Gas elpiji	29
Gambar 3.2 <i>Thermocople</i>	29
Gambar 3.3 <i>Thermometer digital</i>	30
Gambar 3.4 Mesin <i>gerinda</i> potong	30
Gambar 3.5 Ragum dan penjepit tangan	30
Gambar 3.6 Jangka sorong	31
Gambar 3.7 Sarung tangan	31
Gambar 3.8 Wadah media pendingin	31
Gambar 3.9 Alat uji kekerasan	32
Gambar 3.10 Tungku <i>heat treatment</i>	32
Gambar 3.11 <i>Specimen</i> baja ST37	32
Gambar 3.12 Media pendingin oli	33
Gambar 3.13 Media pendingin air	33
Gambar 3.14 <i>specimen</i> uji kekerasan	34
Gambar 3.15 Mesin <i>Hardness Rockwell</i>	35
Gambar 3.16 Diagram Alir Penelitian	39
Gambar 4.1 Gambar <i>specimen</i> sebelum dilakukan perlakuan panas <i>annealing</i>	41
Gambar 4.2 Gambar <i>specimen</i> mengalami perlakuan panas <i>Annealing</i>	42
Gambar 4.3 Pendinginan <i>specimen</i>	42
Gambar 4.4 <i>specimen</i> setelah didinginkan	43
Gambar 4.5 Pengujian Kekerasan	43
Gambar 4.6 <i>Specimen</i> Hasil Pengujian <i>Hardness</i>	44
Gambar 4.7 Grafik Hasil Pengujian Kekerasaan <i>Hardness Rockwell</i> (HRC)	45

## DAFTAR NOTASI

P	= beban yang digunakan (kg)
D	= panjang diagonal rata- rataa (mm)
$\phi$	= sudut antara permukaan intan yang berhadapan = $136^{\circ}$
E	= konstanta dengan nilai 100 untuk <i>indentor</i> intan dan 130 untuk <i>indentor</i> bola.
e	= kedalaman penetrasi permanen karena beban utama (F1) diukur dengan satuan 0,002 mm. Jadi, $e = h/0,002$
F0	= beban pendahuluan (beban <i>minor</i> ).
F1	= beban utama (beban <i>mayor</i> )
a	= kedalaman penetrasi oleh beban <i>minor</i>
b	= kedalaman penetrasi oleh beban total (F0 + F1)
d	= diameter <i>intendor</i> (mm)
Kd	= tetapan kesetaraan titik didih molal yang tergantung pada jenis pelarut, untuk air sebesar $0,52^{\circ}\text{C m}^{-1}$ .
m	= molalitas larutan
ST	= <i>steel</i>
ASTM	= American Society Of testing dan material
MKM	= Mekanika Kekuatan Material
HRC	= <i>Hardness Rockwell</i> Skala C
ISO	= <i>International Organization For Standardization</i>
VHN	= <i>Vickers Hardness</i>
BHN	= <i>Brinell Hardness</i>
HR	= <i>Hardness Rockwell</i>
ST37	= <i>Structural steel 37</i>
SAE	= <i>Society of automotive engineer</i>
PDAM	= Perusahaan daerah air minum

# **BAB 1 PENDAHULUAN**

## **1.1 Latar Belakang**

Uji kekerasan merupakan pengujian yang paling efektif karena dengan pengujian ini, kita dapat dengan mudah mengetahui gambaran sifat mekanis suatu material. Meskipun pengukuran hanya dilakukan pada suatu titik, atau daerah tertentu saja, nilai kekerasan cukup *valid* untuk menyatakan kekuatan suatu material. Dengan melakukan uji keras, material dapat dengan mudah di golongan sebagai material ulet atau getas.

Uji kekerasan merupakan salah satu metode untuk mengetahui pengaruh perlakuan panas atau dingin terhadap material. Material yang telah mengalami *cold working, hot working, dan heat treatment*, dapat diketahui gambaran perubahan kekuatannya, dengan mengukur kekerasan permukaan suatu material. Oleh sebab itu, dengan uji keras kita dapat dengan mudah melakukan *quality control* terhadap material.

Sekarang metode *heat treatment* masih merupakan metode yang paling baik yang dapat di gunakan untuk mengubah sifat-sifat mekanik suatu material logam. Dengan *heat treatment* kita dapat meningkatkan atau menurunkan sifat-sifat dari logam sesuai dengan kebutuhan akan sifat mekanik logam tersebut yang kita butuhkan.

Untuk membuat material menjadi lebih lunak perlu dilakukan proses *heat treatment* yang tepat. Untuk itu proses *annealing* adalah suatu proses perlakuan panas yang dilakukan untuk merubah sifat material menjadi lebih lunak.

## **1.2 Perumusan Masalah**

Perumusan masalah ini adalah menganalisa uji kekerasan pada material baja ST37 setelah melalui perlakuan panas *annealing*.

Dengan menggunakan tungku pemanas *heat treatment* dan alat uji kekerasan untuk mendapatkan nilai-nilai dari hasil pengujian.

### 1.3 Ruang Lingkup

Untuk mempermudah penelitian maka dilakukan pembuatan-pembuatan masalah dan asumsi-asumsi. Adapun pembatasan masalah dan asumsi tersebut sebagai berikut :

1. Mempersiapkan material baja ST37 yang akan di uji dengan menggunakan alat uji hardness rockwell.
2. Mengatur perlakuan panas *annealing* pada baja ST37 hingga mencapai temperatur 600 °C dan di tahan selama 15 menit.
3. Menganalisa material baja ST37 setelah mengalami perlakuan panas *annealing* yang didinginkan dengan media pendingin oli dan air.
4. Mengevaluasi material baja ST37 dengan pengambilan data pada lima titik yang berbeda pada pengujian kekerasan.

### 1.4 Tujuan Penelitian

#### 1.4.1 Tujuan umum

Untuk mengetahui analisa uji kekerasan pada material baja ST37 setelah mengalami perlakuan panas *annealing*.

#### 1.4.2 Tujuan khusus

- a. untuk mempersiapkan material baja ST37 yang akan di uji dengan menggunakan alat uji hardness rockwell.
- b. untuk mengatur perlakuan panas *annealing* pada baja ST37 hingga mencapai tempetur 600 °C dan di tahan selama 15 menit.
- c. untuk menganalisa material baja ST37 dengan pengujian kekerasan setelah mengalami perlakuan panas *annealing* yang didinginkan dengan media pendingin oli dan air.
- d. untuk mengevaluasi material baja ST37 dengan pengambilan data pada lima titik yang berbeda pada pengujian kekerasan.

### 1.5 Manfaat Penelitian

1. Mengetahui nilai-nilai evaluasi material baja ST37 dengan pengujian kekerasan setelah mengalami perlakuan panas *annealing*.
2. sebagai penambah pengetahuan bagi penulis dan pembaca tentang analisa.

## 1.6 Sistematika Penulisan

Sistematika penulisan tugas akhir ini berdasarkan format yang di tentukan, yang diawali pada Lembar Pengesahan, Lembar Asistensi, kata Pengantar, Daftar Isi, Daftar Tabel, Daftar Gambar, Abstraksi.

BAB 1 : Pada BAB ini yang akan dibahas adalah Latar belakang, Tujuan, Batasan Masalah, Perumusan Masalah, Manfaat, Dan Sistematika penulisan.

BAB 2 : Pada BAB ini yang akan dibahas adalah mengenai tinjauan pustaka Tentang pengujian kekerasan , *Heat treatment* , material baja , baja st37, serta teori - teori yang mendukung penulisan tugas akhir.

BAB 3 : Pada BAB ini yang akan dibahas adalah metodologi penelitian, tempat dan waktu penelitian, membuat spesimen yang akan di uji, menganalisa material baja st37 setelah mengalami perlakuan panas annealing dengan alat uji kekerasan.

BAB 4 : Pada BAB ini yang akan dibahas adalah hasil dan pembahasan analisa uji kekerasan pada material baja st37 setelah mengalami perlakuan panas *annealing*.

BAB 5 : Pada BAB ini yang akan dibahas adalah kesimpulan dan saran.

## BAB 2 Tinjauan Pustaka

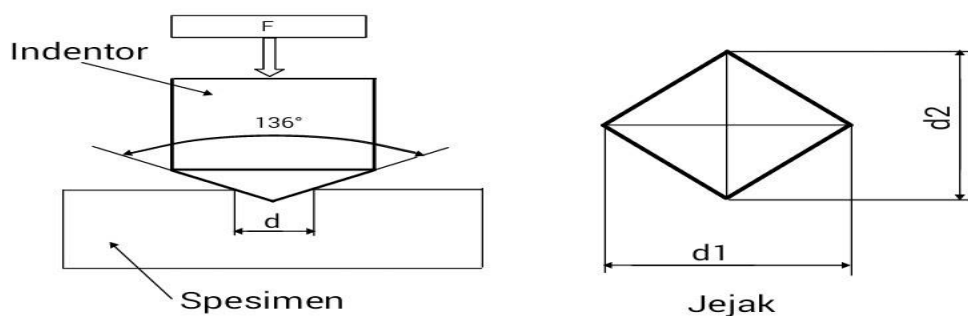
### 2.1 Pengujian kekerasan

Pada umumnya, kekerasan menyatakan ketahanan terhadap deformasi dan merupakan ukuran ketahanan logam terhadap deformasi plastik atau deformasi permanen. Untuk para insinyur perancang, kekerasan sering diartikan sebagai ukuran kemudahan dan kuantitas khusus yang menunjukkan sesuatu mengenai kekuatan dan perlakuan panas dari suatu logam (Dieter 1987).

Terdapat tiga jenis ukuran kekerasan, tergantung pada cara melakukan pengujian, yaitu: (1) Kekerasan goresan (*scratch hardness*); (2) Kekerasan lekukan (*indentation hardness*); (3) Kekerasan pantulan (*rebound*). Untuk logam, hanya kekerasan lekukan yang banyak menarik perhatian dalam kaitannya dengan bidang rekayasa. Terdapat berbagai macam uji kekerasan lekukan, antara lain: Uji kekerasan *Brinell*, *Vickers*, *Rockwell*, *Knoop*, dan sebagainya.

#### 2.1.1 Pengujian Kekerasan Material dengan Metode *Vickers*

Metode pengujian kekerasan *Vickers* dilaksanakan dengan cara menekan benda uji atau spesimen dengan indenter intan yang berbentuk piramida dengan alas segi empat dan besar sudut dari permukaan-permukaan yang berhadapan  $136^\circ$  (Adityatama 2017). Penekanan oleh *indenter* akan menghasilkan suatu jejak atau lekukan pada permukaan benda uji.



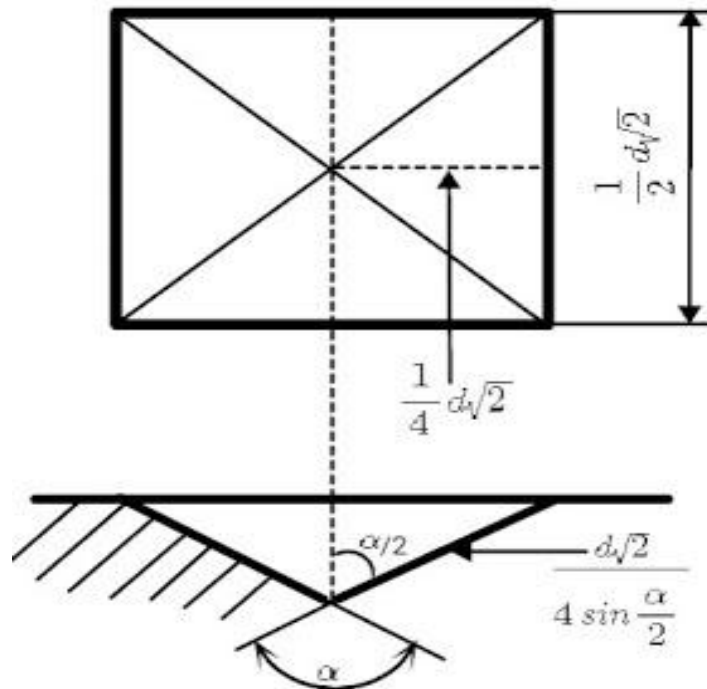
Gambar 2.1 Jejak yang dihasilkan oleh penekanan indenter pada benda uji



Untuk mengetahui nilai kekerasan benda uji, maka diagonal rata-rata dari jejak tersebut harus diukur terlebih dahulu dengan memakai mikroskop. Angka kekerasan *Vickers* dapat diperoleh dengan membagi besar beban uji yang digunakan dengan luas permukaan jejak.

$$HV = \frac{P}{A} \dots\dots\dots (2.1)$$

Jika  $d$  merupakan diagonal rata-rata dari jejak, maka luas permukaan jejak dapat ditentukan sebagai berikut,



Gambar 2.2 Luas permukaan jejak

$$A = 4 \frac{1}{2} d \sqrt{2x \frac{1}{2} \left( \frac{d\sqrt{2}}{4 \sin \frac{\alpha}{2}} \right)} \dots\dots\dots (2.2)$$

$$A = \frac{d^2}{2 \sin \frac{136^\circ}{2}} \dots\dots\dots (2.3)$$

Jadi angka kekerasan *Vickers* dapat diperoleh dengan rumus

$$HV = \frac{P}{\frac{d^2}{2 \sin \frac{136^\circ}{2}}} \dots\dots\dots (2.4)$$

$$HV = 1.854 \frac{P}{d^2} \dots\dots\dots (2.5)$$

Dengan : P = beban yang digunakan (kg)

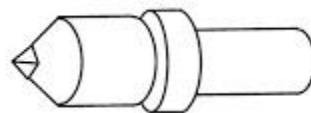
D = panjang diagonal rata- rataa (mm)

$\phi$  = sudut antara permukaan intan yang berhadapan =  $136^0$

Rentang beban uji yang digunakan pada pengujian kekerasan *Vickers* berkisar antara 1 kgf sampaj 120 kgf, dan beban uji yang umum digunakan adalah 5, 10, 30 dan 50 kgf. Sedangkan waktu penerapan beban uji (*dwell time*) standar biasanya dilaksanakan selama 10 -15 detik.

Di dalam pengujian kekerasan *Vickers* perlu diperhatikan mengenai jarak minimal dari titik pusat jejak ke bagian pinggir spesimen, di mana menurut standar ASTM adalah sebesar 2,5 kali diagonal jejak. Dan jarak minimal antara jejak-jejak yang berdekatan juga 2,5 kali diagonal jejak.

Sedangkan menurut standar ISO, jarak minimal dari titik pusat jejak ke bagian pinggir benda uji adalah 2,5 d untuk baja dan paduan tembaga dan 3 d untuk logam-logam ringan, sementara jarak minimal antara jejak adalah 3 d untuk baja dan paduan tembaga, dan 6 d untuk logam-logam ringan.

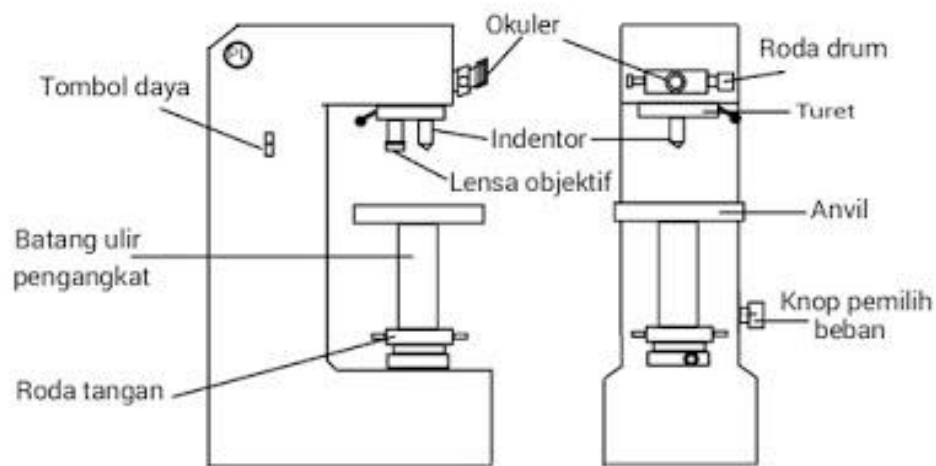


Gambar2.3 *Indentor* intan berbentuk piramid

Berbeda dengan pengujian kekerasan *Brinell* dan pengujian kekerasan *Rockwell* yang menggunakan lebih dari satu jenis atau ukuran *indentor*, pengujian kekerasan *Vickers* hanya menggunakan satu jenis *indentor*, yaitu *indentor* intan

berbentuk piramid yang dapat digunakan untuk menguji hampir semua jenis logam mulai dari yang lunak hingga yang keras.

Ada beberapa jenis mesin yang digunakan untuk melaksanakan pengujian kekerasan *Vickers*, seperti mesin *Vickers* dengan tenaga *hidrolik*, mesin *Vickers* mekanis, mesin *Vickers* digital, mesin *Vickers* semi otomatis, dan mesin *Vickers* otomatis penuh. Salah satu jenis mesin *Vickers* mekanis diperlihatkan pada gambar di bawah ini.



Gambar 2.4. Mesin pengujian kekerasan *Vickers*

Pada umumnya ada 3 jenis bentuk jejak (lekukan) yang dihasilkan oleh penekanan *indentor*, yaitu bentuk persegi sempurna, bentuk bantal dan jejak berbentuk tong.



Gambar 2.5. Bentuk-bentuk jejak

Jejak dengan bentuk persegi dihasilkan oleh *indentor* intan berbentuk piramid yang sempurna. Jejak berbentuk bantal dihasilkan karena terjadinya pengerutan logam di sekitar permukaan.

Dan jejak dengan bentuk tong umumnya didapatkan pada logam-logam yang dikerjakan dingin (*cold working*) sehingga menghasilkan bentuk bubungan.

Pada pelaksanaan pengujian kekerasan material dengan metode *Vickers*, maka benda yang akan diuji harus memiliki permukaan yang rata, halus dan bersih yang bebas dari cat, kerak, oksida, minyak dan kotoran lainnya.

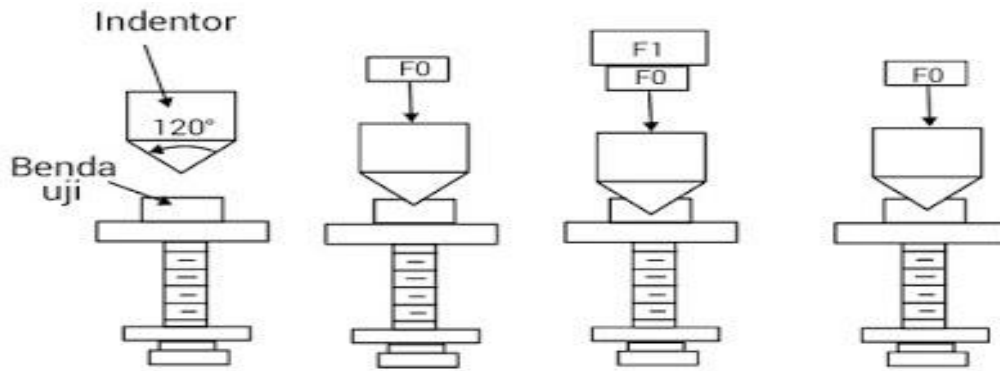
Untuk mendapatkan kualitas permukaan spesimen seperti ini, umumnya dicapai dengan proses penggerindaan dan pemolesan. Seperti halnya pengujian kekerasan *Brinell*, di mana jika ukuran jejak semakin kecil, maka kekerasan benda uji juga semakin keras dan sebaliknya. Hal tersebut berlaku juga pada pengujian kekerasan *Vickers*.

Pengujian kekerasan *Vickers* tidak cocok untuk menguji material yang tidak homogen, seperti besi tuang.

### 2.1.2 Pengujian Kekerasan Bahan dengan Metode *Rockwell*

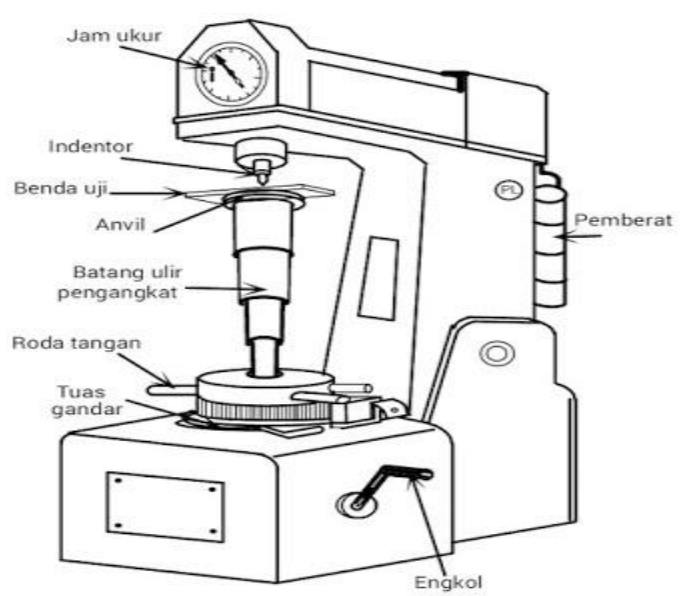
Pengujian kekerasan *Rockwell* merupakan salah satu pengujian kekerasan bahan yang banyak digunakan, hal ini dikarenakan pengujian kekerasan *Rockwell* yang : sederhana, cepat, tidak memerlukan *mikroskop* untuk mengukur jejak, dan relatif tidak merusak.

Pengujian kekerasan *Rockwell* dilaksanakan dengan cara menekan permukaan spesimen (benda uji) dengan suatu *indentor*. Penekanan *indentor* ke dalam benda uji dilakukan dengan menerapkan beban pendahuluan (beban *minor*), kemudian ditambah dengan beban utama (beban *mayor*), lalu beban utama dilepaskan sedangkan beban minor masih dipertahankan.



Gambar 2.6 Proses pengujian kekerasan *Rockwell*

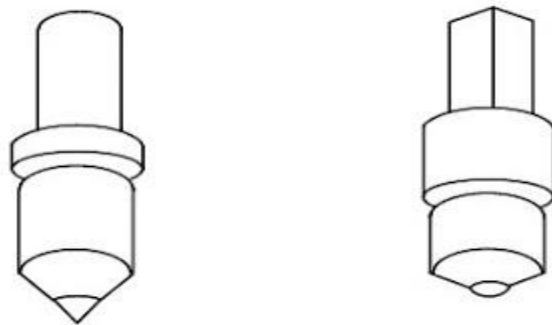
Besarnya beban minor ini adalah 10 kgf sedangkan besarnya beban utama biasanya adalah 50 kgf, 90 kgf, atau 140 kgf. Penerapan beban minor pada hakekatnya dimaksudkan untuk membantu mendudukan indentor di dalam benda uji (*spesimen*) dan menghilangkan pengaruh dari penyimpangan permukaan sehingga menciptakan permukaan spesimen yang siap untuk menerima beban utama. Dengan demikian permukaan benda uji tidak perlu dibuat dengan sehalus dan selicin mungkin.



Gambar 2.7 Mesin *Rockwell* manual

### 2.1.2.1 Indentor

Ada dua jenis *indentor* yang digunakan pada pengujian kekerasan *Rockwell*, yaitu intan berbentuk kerucut yang memiliki sudut puncak  $120^\circ$  di mana bagian ujungnya sedikit dibulatkan dengan jari-jari 0,2 mm dan *indentor* bola yang terbuat dari baja yang dikeraskan atau dari tungsten karbida yang memiliki diameter 1/16", 1/8", 1/4", dan diameter 1/2". *Indentor* kerucut intan sering disebut juga sebagai '*Brale*' (Hutauruk Panangian 2014).



Gambar 2.8 *Indentor* intan dan *indentor* bola

*Indentor* kerucut intan pada umumnya digunakan untuk menguji material-material yang keras. Sementara *indentor* bola baja sering digunakan untuk menguji kekerasan material-material yang lebih lunak.

### 2.1.2.2 Skala kekerasan *Rockwell*

Pada pengujian kekerasan material dengan metode *Rockwell* dikenal ada beberapa skala, misalnya skala B yang biasanya diaplikasikan pada material yang lunak, seperti paduan-paduan tembaga, paduan aluminium dan baja lunak, dengan menggunakan *indentor* bola baja berdiameter 1/16" dan beban total sebesar 100 kgf (Fadhil 2017).

Sedangkan skala C diaplikasikan untuk material-material yang lebih keras, seperti besi tuang, dan banyak paduan-paduan baja yang memakai kerucut intan sebagai *indentor* dengan beban total sampai 150 kgf. Selain skala B dan skala C yang sering disebut sebagai skala umum, ada beberapa skala lainnya seperti skala A, D, E, F, G dan lain-lain.

Tabel di bawah ini memperlihatkan berbagai skala pada pengujian kekerasan *Rockwell*. Adapun skala pada pengujian kekerasan *Rockwell* terlihat pada tabel 2.1

<b>SKALA</b>	<b>Indentor</b>	<b>Beban Minor F0 (kgf)</b>	<b>Beban Mayor F1 (kgf)</b>	<b>Beban Total F (kgf)</b>
A	Kerucut intan	10	50	60
B	Bola Baja 1/16"	10	90	100
C	Kerucut intan	10	140	150
D	Kerucut intan	10	90	100
E	Bola Baja 1/8"	10	90	100
F	Bola Baja 1/16"	10	50	60
G	Bola Baja 1/16"	10	140	150
H	Bola Baja 1/8"	10	50	60
K	Bola Baja 1/8"	10	140	150
L	Bola Baja 1/4"	10	50	60
M	Bola Baja 1/4"	10	90	100
P	Bola Baja 1/4"	10	140	150
R	Bola Baja 1/2"	10	50	60
S	Bola Baja 1/2"	10	90	100
V	Bola Baja 1/2"	10	140	150

Tabel 2.1 Skala pada pengujian kekerasan *Rockwell*

Adapun aplikasi khas skala kekerasan *Rockwell* terlihat pada tabel 2.2 berikut ini.

<b>SKALA</b>	<b>Indentor</b>	<b>Beban Minor F0 (kgf)</b>	<b>Beban Mayor F1 (kgf)</b>	<b>Beban Total F (kgf)</b>
A	Kerucut intan	10	50	60
B	Bola Baja 1/16"	10	90	100
C	Kerucut intan	10	140	150
D	Kerucut intan	10	90	100
E	Bola Baja 1/8"	10	90	100
F	Bola Baja 1/16"	10	50	60
G	Bola Baja 1/16"	10	140	150
H	Bola Baja 1/8"	10	50	60
K	Bola Baja 1/8"	10	140	150
L	Bola Baja 1/4"	10	50	60
M	Bola Baja 1/4"	10	90	100
P	Bola Baja 1/4"	10	140	150
R	Bola Baja 1/2"	10	50	60
S	Bola Baja 1/2"	10	90	100
V	Bola Baja 1/2"	10	140	150

Tabel 2.2 Aplikasi khas skala kekerasan *Rockwell*



Adapun rentang skala kekerasan Rockwell yang dianjurkan terlihat pada tabel 2.3

Rentang skala Rockwell yang dianjurkan	
20-88 HRA	70-94 HR15N
20-100 HRB	42-86 HR30N
20-70 HRC	20-77 HR45N
40-77 HRD	67-93 HR15T
70-100 HRE	29-82 HR30T
60-100 HRF	1-72 HR45T
30-94 HRG	
80-100 HRH	
40-100 HRK	

Tabel 2.3 Rentang skala kekerasan *Rockwell*

Berbeda dengan pengujian kekerasan *Brinell* dan *Vickers* yang mengukur luas dari jejak, pada pengujian kekerasan *Rockwell* yang diukur adalah kedalaman jejak hasil penetrasi *indentor*. Dalam hal ini, seberapa jauh *indentor* bergerak turun secara *vertikal* ketika melakukan penetrasi.

Skala pada jam ukur (*dial gage*) mesin *Rockwell* terdiri dari 100 pembagian, masing-masing pembagian sama dengan kedalaman penetrasi sejauh 0,002 mm.

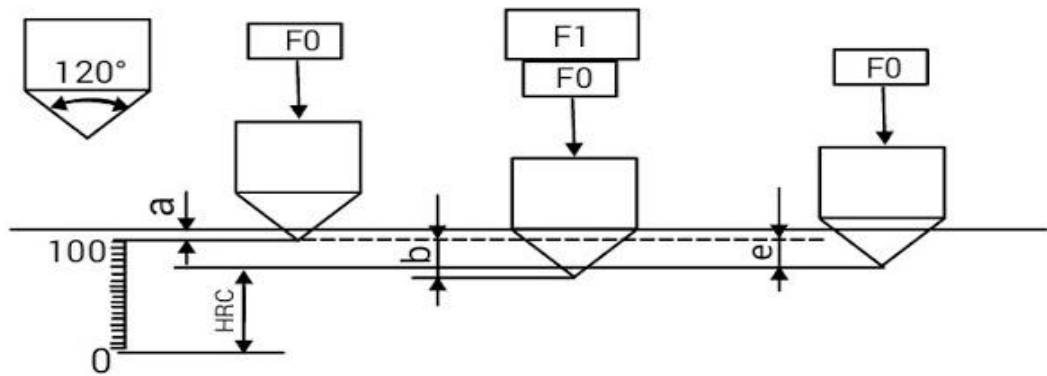
Pada pengujian kekerasan bahan dengan metode *Rockwell*, kedalaman penetrasi permanen yang dihasilkan dari penerapan dan pelepasan beban utama dipakai untuk menentukan angka kekerasan *Rockwell*, sebagai berikut,

$$HR = E - e \quad \dots\dots\dots (2.6)$$

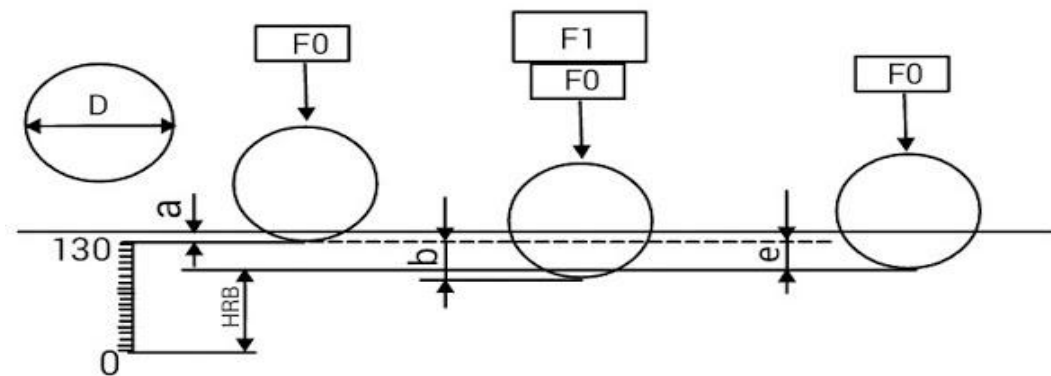
Dimana:

E = konstanta dengan nilai 100 untuk *indentor* intan dan 130 untuk *indentor* bola.

e = kedalaman penetrasi permanen karena beban utama (F1) diukur dengan satuan 0,002 mm. Jadi,  $e = h/0,002$



Pengujian kekerasan Rockwell dengan indenter kerucut intan



Pengujian kekerasan Rockwell dengan indenter bola

Gambar 2.9 Pengujian kekerasan *Rockwell* memakai *indenter* intan dan *indenter* bola

Keterangan :

F0 = beban pendahuluan (beban *minor*).

F1 = beban utama (beban *mayor*)

a = kedalaman penetrasi oleh beban *minor*

b = kedalaman penetrasi oleh beban total (F0 + F1)

e = kedalaman penetrasi setelah beban utama dilepaskan

Cara penulisan nilai kekerasan *Rockwell* adalah dengan menulis angka kekerasannya lalu diikuti dengan huruf HR yang artinya kekerasan *Rockwell* (*Hardness Rockwell*) dan pembubuhan nama skala yang digunakan dalam pengujian, seperti HRA untuk penggunaan skala A, HRB untuk penggunaan skala B dan seterusnya.

### 2.1.3 Uji Kekerasan *Brinell*

Metode uji kekerasan ini merupakan uji kekerasan lekukan yang pertama kali banyak digunakan serta disusun pembakuannya (J.A. *Brinell* 1900). 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.



Gambar 2.10 Pengujian *brinell*

$$BHN = \frac{2P}{\pi D(D-d^2)} \dots\dots\dots (2.7)$$

Dimana:

BHN = *BrinellHardnes*

P = beban yang diberikan (kgf)

d = diameter *intendor* (mm)

D = diameter lekukan rata-rata hasil indentasi

## 2.2 Perlakuan Panas (*Heat Treatment*)

*Heat Treatment* (perlakuan panas) adalah salah satu proses untuk mengubah struktur logam dengan suhu tertentu pada temperatur yang di harapkan kemudian didinginkan pada media pendingin seperti udara, air , air garam, dan oli yang masing-masing mempunyai kerapatan pendingin yang berbeda-beda.

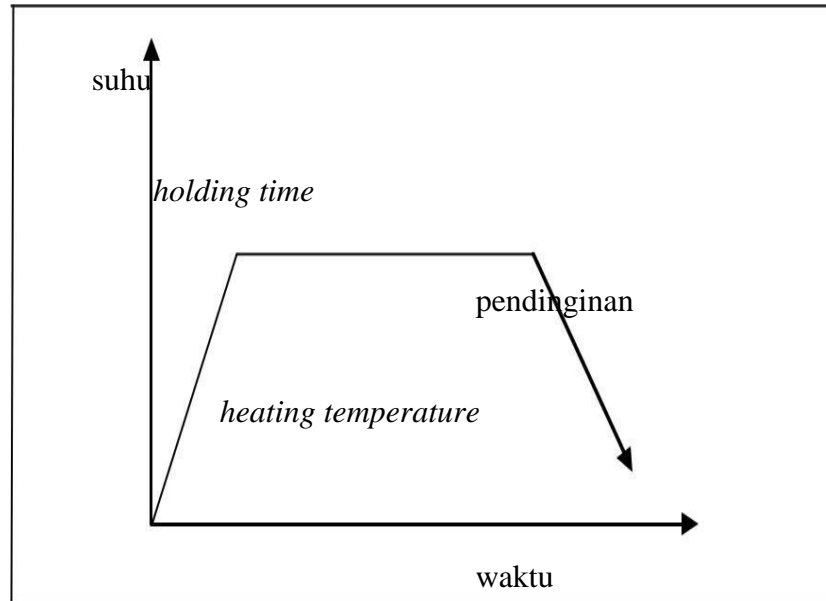
Sifat-sifat logam yang terutama sifat mekanik yang sangat dipengaruhi oleh struktur mikrologam disamping posisi kimianya, contohnya suatu logam atau paduan akan mempunyai sifat mekanis yang berbeda-beda struktur mikronya diubah. Dengan adanya pemanasan atau pendinginan dengan kecepatan tertentu maka bahan-bahan logam dan paduan memperlihatkan perubahan strukturnya.

Perlakuan panas adalah proses kombinasi antara proses pemanasan atau pendinginan dari suatu logam atau paduannya dalam keadaan padat untuk mendapatkan sifat-sifat tertentu. Untuk mendapatkan hal ini maka kecepatan pendinginan dan batas temperatur sangat menentukan (Kogoya,Seftnath 2013).

Secara umum, proses perlakuan panas adalah:

- Memanaskan logam/paduannya sampai pada suhu tertentu (*heating temperature*).
- Mempertahankan pada suhu pemanasan tersebut dalam waktu tertentu (*holding time*).
- Mendinginkan dengan media pendingin dan laju tertentu.

Skema pada proses ini secara sederhana dapat digambarkan melalui diagram temperatur terhadap waktu seperti Gambar 2.14.



Gambar 2.11 Diagram temperatur terhadap waktu.

### 2.2.1 *Hardening*

*Hardening* adalah perlakuan panas terhadap baja dengan sasaran meningkatkan kekerasan alami baja. Perlakuan panas menurut pemanasan benda kerja menuju suhu pengerasan dan pendinginan secara cepat dengan kecepatan pendinginan kritis (Brawijaya 2012).

*Hardening* dilakukan untuk memperoleh sifat tahan aus yang tinggi, kekuatan, dan *strength* yang lebih baik. Kekerasan yang dapat dicapai tergantung pada kadar karbon dalam baja dan kekerasan yang terjadi akan tergantung pada temperatur pemanasan, *holding time*, laju pendinginan yang dilakukan, dan ketebalan sampel. Untuk memperoleh kekerasan yang baik (martensit yang keras) maka pada saat pemanasan harus dapat dicapai struktur austenit, karena hanya austenit yang dapat bertransformasi menjadi martensit.

Faktor penting yang dapat mempengaruhi proses *hardening* terhadap kekerasan baja yaitu oksidasi oleh oksigen. Selain berpengaruh terhadap besi, oksigen berpengaruh terhadap karbon yang terikat sebagai sementit atau yang larut dalam austenit.

Oleh karena itu pada benda kerja dapat berbentuk lapisan oksidasi selama proses *hardening*. Pencegahan kontak dengan udara selama pemanasan atau *hardening* dapat dilakukan dengan cara menambah temperatur lebih tinggi karena bahan yang terdapat dalam baja akan bertambah kuat terhadap oksigen. Jadi, semakin tinggi temperatur, semakin mudah untuk melindungi besi terhadap oksidasi.

Bila bentuk benda tidak teratur, benda harus dipanaskan perlahan-lahan agar tidak mengalami distorsi atau retak. Makin besar potongan benda, makin lama waktu yang diperlukan untuk memperoleh hasil pemanasan yang merata. Pada perlakuan panas ini, panas merambat dari luar ke dalam dengan kecepatan tertentu. Bila pemanasan terlalu cepat, bagian luar akan jauh lebih panas dari bagian dalam sehingga dapat diperoleh struktur yang merata.

Benda dengan ukuran yang lebih besar pada umumnya menghasilkan permukaan yang kurang keras meskipun kondisi perlakuan panas tetap sama. Hal ini disebabkan karena terbatasnya panas yang merambat di permukaan. Oleh karena itu kekerasan di bagian dalam akan lebih rendah daripada bagian luar. Melalui perlakuan panas yang tepat, tegangan dalam dapat dihilangkan, besar butir diperbesar atau diperkecil, ketangguhan ditingkatkan atau permukaan yang keras disekeliling inti yang ulet.

### 2.2.2 Normalizing

*Normalizing* adalah proses pemanasan pada suhu austenit dan didinginkan di udara terbuka (Adityo Ristyanto 2014). Adapun caranya adalah memanaskan baja pada suhu 10°C-40°C di atas daerah kritis, kemudian pendinginan dengan udara. *Normalizing* biasanya diterapkan pada baja karbon rendah dan baja paduan untuk menghilangkan pengaruh pengerjaan bahan sebelumnya, menghilangkan tegangan dalam, dan memperoleh sifat-sifat fisik yang diinginkan .

### 2.2.3 Perlakuan Panas Annealing

Yang dimaksud dengan Annealing adalah sebuah proses perlakuan panas yang digunakan untuk meniadakan pengaruh dari *cold work* (Hesti Istiqlaliyah 2016), dan juga berfungsi untuk membuat material menjadi lebih lunak dan meningkatkan ductility. Secara umum, proses annealing dibagi menjadi 3 tahap, antara lain.

1. Pemanasan ( peningkatan temperatur ) hingga temperatur yang diinginkan
2. Penahanan pada temperatur tersebut (Holding Process)
3. Pendinginan ( Penurunan temperatur ) biasanya menuju temperatur ruang.

Perlu diketahui bahwa selama pemanasan dibawah temperature kritis garis A1 maka belum terjadi perubahan struktur mikro. Perubahan baru mulai terjadi bila temperature pemanasan mencapai garis atau temperature A1 (butir-butir Kristal pearlite bertransformasi menjadi austenite yang halus). Pada baja hypoeutectoid bila pemanasan dilanjutkan ke temperature yang lebih tinggi maka butir kristalnya mulai bertransformasi menjadi sejumlah Kristal austenite yang halus, sedang butir Kristal austenite yang sudah ada (yang berasal dari pearlite) hampir tidak tumbuh. Perubahan ini selesai setelah menyentuh garis A3 (temperature kritis A3). Pada temperature ini butir kristal austenite masih halus sekali dan tidak homogen. Dengan menaikkan temperature sedikit diatas temperature kritis A3 (garis A3) dan memberI waktu penahanan (*holding time*) seperlunya maka akan diperoleh austenite yang lebih homogen dengan butiran kristal yang juga masih halus sehingga bila nantinya didinginkan dengan lambat akan menghasilkan butir-butir Kristal ferrite dan pearlite yang halus.

Baja yang dalam proses pengerjaannya mengalami pemanasan sampai temperature yang terlalu tinggi ataupun waktu tahan (*holding time*) terlalu lama biasanya butiran kristal austenitenya akan terlalu kasar dan bila didinginkan dengan lambat akan menghasilkan ferrit atau pearlite yang kasar sehingga sifat mekaniknya juga kurang baik (akan lebih getas). Untuk baja *hypereutectoid*, *annealing* merupakan persiapan untuk proses selanjutnya dan tidak merupakan proses akhir.

- Spheroidizing : Merupakan process perlakuan panas untuk menghasilkan struktur *carbida* berbentuk bulat (*spheroid*) pada matriks *ferrite*.

Pada proses *Spheroidizing* ini akan memperbaiki *machinability* pada baja paduan kadar Carbon tinggi. Secara sederhana dapat dijelaskan sebagai berikut : bahwa baja *hypereutectoid* yang dianneal itu mempunyai struktur yang terdiri dari pearlite yang terbungkus oleh jaringan cementsed.

Adanya jaringan *cemented*(cemented network) ini menyebabkan baja (*hypereutectoid*) ini mempunyai machinability rendah. Untuk memperbaikinya maka *cemented network* tersebut harus dihancurkan dengan proses spheroidizing. Spheroidizing ini dilaksanakan dengan melakukan pemanasan sampai disekitar temperature kritis A1 ( $\sim 723^{\circ}\text{C}$ ) bawah atau sedikit dibawahnya dan dibiarkan pada temperature tersebut dalam waktu yang lama (sekitar 24 jam) baru kemudian didinginkan. Karena berada pada temperature yang tinggi dalam waktu yang lama maka *cemented* yang tadinya berbentuk plat atau lempengan itu akan hancur menjadi bola-bola kecil (*sphere*) yang disebut dengan *spheroidite* yang tersebar dalam matriks ferrite.

- Stress-relief annealing : Merupakan proses perlakuan panas s/d dibawah temperatur kritis  $550\text{-}650^{\circ}\text{C}$  baja karbon dan paduan rendah,  $600\text{-}750^{\circ}\text{C}$  baja perkakas. Bertujuan untuk menghilangkan tegangan sisa akibat proses sebelumnya. Perlu diingat bahwa baja dengan kandungan karbon dibawah  $0,3\% \text{ C}$  itu tidak bisa dikeraskan dengan membuat struktur mikronya berupa martensite.

cara agar kekerasannya meningkat tetapi struktur mikronya tidak martensite dapat dilakukan dengan pengerjaan dingin (cold working) tetapi perlu diingat bahwa efek dari cold working ini akan timbul yang namanya tegangan dalam atau tegangan sisa dan untuk menghilangkan tegangan sisa ini perlu dilakukan proses Stress relief Annealing.

- Recrystallisation annealing : Pemanasan s/d temperatur  $600^{\circ}\text{C}$  dibawah temperatur kritis. Bertujuan untuk membentuk butir poligon yang bebas tegangan dan mempunyai keuletan serta sifat konduktivitas baik. Dilakukan pada baja setelah deformasi pengerjaan dingin.
- Quench annealing : Dilakukan pada baja jenis austenitk yang di homogenising atau recrystallisation annealing dimana diikuti oleh pendinginan cepat untuk menghindari terbentuknya endapan karbida terutama pada batas butir.



Dalam pengerjaan dingin maka akan terjadi perubahan sifat fisik maupun mekanik. Perubahan sifat mekanik misalnya peningkatan kekerasan, tegangan sisa dan kekuatan tarik/luluh dan penurunan elastisitas akibat pengerjaan dingin. Untuk itu logam perlu dipulihkan ke kondisi awal guna mendapatkan sifat mekanik yang diinginkan dengan cara annealing.

Logam yang mengalami deformasi, mempunyai energi regangan yang tersimpan dalam kisi sehingga kondisinya tidak stabil secara termodinamik dibandingkan dengan kondisi tanpa deformasi. Untuk menghilangkan kondisi pengerjaan dingin dilakukan melalui 3 kombinasi proses yaitu pemulihan, rekristalisasi dan pertumbuhan butir.

Selama proses pemulihan terjadi penurunan energi yang tersimpan dan tahanan listrik. Sedangkan kekuatan tarik/luluh, kekerasan turun sedikit. Pada tahap pemulihan, selama annealing akan tersusun kembali dislokasi guna mengurangi energi kisi dan batas butir tidak mengalami migrasi. Salah satu proses pemulihan terpenting adalah penyusunan kembali dislokasi sehingga terjadi penurunan energi regangan kisi yang disebut poligonisasi.

Proses rekristalisasi akan mengubah sifat struktur kisi yang terdeformasi diganti oleh kisi baru tanpa regangan melalui proses nukleasi dan pertumbuhan. Butir tumbuh dari inti yang terbentuk di matriks yang terdeformasi. Besarnya laju kristalisasi tergantung jumlah deformasi sebelumnya, temperatur annealing dan kemurnian bahan.

Pertumbuhan butir terjadi pada saat kristalisasi primer terhenti (kristal yang tumbuh telah "menelan" semua bahan yang mengalami regangan. Pada saat annealing berlangsung, butir yang kecil menyusut dan yang lebih besar tumbuh. Keadaan ini disebut pertumbuhan butir

Hal ini berarti annealing mempengaruhi sifat mekanis dari baja. Dengan dilakukannya annealing itu menurunkan kekuatan tarik dari sebuah baja.

Hal ini terjadi karena dengan adanya annealing maka terjadi penyusunan kembali dislokasi yang sebelumnya dislokasi tersusun secara tidak teratur dengan adanya penyusunan kembali dislokasi berarti membuat material tersebut menjadi kurang kuat. Selain itu, melalui annealing terjadi pertumbuhan butir yang terjadi dalam proses rekristalisasi.

Seperti yang sudah dijelaskan bahwa pertumbuhan butir terjadi pada kristalisasi primer terhenti dimana kristal yang tumbuh telah menelan semua bahan yang mengalami regangan dan pada saat annealing butir yang kecil menyusut dan yang lebih besar tumbuh. Apabila butir menjadi lebih besar maka dislokasi semakin mudah bergerak karena tidak banyak yang menghalangi pergerakannya.

Apabila dislokasi semakin mudah bergerak maka baja semakin tidak kuat dan kekuatan tariknya menjadi menurun. Hubungan ini juga dapat kita liat melalui persamaan Hall – Patch.

Berdasarkan persamaan diatas kita dapat melihat diameter ukuran butir berbanding terbalik dengan kekuatan tarik/luluh. Jadi, dengan annealing membuat kekuatan tarik baja karbon dan besi tuang menjadi menurun.

*Annealing* dapat didefinisikan sebagai pemanasan pada suhu yang sesuai, diikuti dengan pendinginan pada kecepatan yang sesuai. Hal ini bertujuan untuk menginduksi kelunakan, memperbaiki sifat- sifat pengerjaan dingin dan membebaskan tegangan-tegangan pada baja sehingga diperoleh struktur yang dikehendaki.

Proses *annealing* dibagi menjadi tiga macam, yaitu *annealing* penuh, *annealing isothermal*, annealing pada suhu kritis terendah. Dalam proses *annealing* pada suhu kritis terendah, pemanasan dipertahankan pada beberapa suhu di bawah batas transformasi (perubahan). Suhu itu cukup tinggi untuk membuat pengkristalan kembali dan struktur yang seragam. Apabila proses ini digunakan untuk baja karbon tinggi akan menyebabkan baja itu mudah dibentuk dan dikerjakan mesin perkakas.

Pada waktu baja dikerjakan dengan proses *annealing* dengan cara dipanaskan pada suhu tinggi dalam periode yang cukup lama, berlangsung proses oksidasi. Hal tersebut menyebabkan terjadinya pengelupasan pada bagian luar.

### 2.3 *Quenching*

*Quenching* merupakan pendinginan secara cepat suatu logam dengan pencelupan pada media pendingin (Bayu Adie Septianto 2013). Kekerasan maksimum dapat terjadi dengan mendinginkan secara mendadak sampel yang

telah dipanaskan sehingga mengakibatkan perubahan struktur mikro. Laju *quenching* tergantung pada beberapa faktor yaitu temperatur medium, panas spesifik, panas pada penguapan, konduktivitas termal medium, viskositas, dan agitasi (aliran media pendingin). Kecepatan pendinginan dengan air lebih besar dibandingkan pendinginan dengan oli. Pendinginan dengan udara memiliki kecepatan yang paling kecil (Asep Ruchidayat 2015).

### 2.3.1 Media *Quenching*

Media pendingin yang digunakan untuk mendinginkan baja bermacam-macam (Frandestta 2015). Berbagai bahan media pendingin yang digunakan dalam proses perlakuan panas antar lain:

#### 1. Air

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

Air memiliki titik beku  $0^{\circ}C$  dan titik didih  $100^{\circ}C$ . Air memiliki koefisien viskositas sebesar 0,001 Pa.s pada temperatur  $20^{\circ}C$ . Pendinginan menggunakan air akan memberikan daya pendinginan yang cepat dibandingkan dengan oli (minyak) karena air dapat dengan mudah menyerap panas yang dilewatinya dan panas yang terserap akan cepat menjadi dingin. Kemampuan panas yang dimiliki air besarnya 10 kali dari minyak. Sehingga akan dihasilkan kekerasan dan kekuatan yang baik pada baja. Pendinginan menggunakan air menyebabkan tegangan dalam, distorsi dan retak.

#### 2. Minyak

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

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

### 3. Udara

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

### 4. Garam

Garam dipakai sebagai bahan pendinginan disebabkan memiliki sifat mendinginkan yang teratur dan cepat. Bahan yang didinginkan di dalam cairan garam yang akan mengakibatkan ikatannya menjadi lebih keras karena pada permukaan benda kerja tersebut akan mengikat zat arang. Cairan garam merupakan larutan garam dengan air, titik didih larutan akan lebih tinggi daripada pelarut murninya. Besarnya kenaikan titik didih larutan dalam persamaan dinyatakan dengan:

$$\Delta T_d = K_d \times m \quad \dots\dots\dots (2.8)$$

dimana:

$K_d$  = tetapan kesetaraan titik didih molal yang tergantung pada jenis pelarut, untuk air sebesar  $0,52^\circ\text{C m}^{-1}$ .

$m$  = molalitas larutan

Keuntungan menggunakan air garam sebagai media pendingin adalah pada proses pendinginan suhunya merata pada semua bagian permukaan, tidak ada bahaya oksidasi, karburisasi atau dekarburisasi. Kemampuan suatu media dalam mendinginkan sampel berbeda-beda yang dipengaruhi oleh temperatur, kekentalan, kadar larutan dan bahan dasar media pendingin.

#### 2.4 Klasifikasi Baja

Baja merupakan paduan yang sebagian besar terdiri dari unsur besi dan karbon 0,2%-2,1% .Selain itu juga mengandung unsur-unsur lain seperti sulfur (S), fosfor (P), silikon (Si), mangan (Mn), dan sebagainya (Sarimin 2013). Namun unsur-unsur ini hanya dalam presentase kecil.Sifat baja karbon dipengaruhi oleh presentase karbon dan struktur mikro.Sedangkan struktur mikro pada baja karbon dipengaruhi oleh perlakuan panas dan komposisi baja. Karbon dengan campuran unsur lain dalam baja dapat meningkatkan nilai kekerasan, tahan gores dan tahan suhu. Unsur paduan utama baja adalah karbon, dengan ini baja dapat digolongkan menjadi tiga yaitu baja karbon rendah, baja karbon sedang, dan baja karbon tinggi.

Berdasarkan kandungan karbon, baja dibagi menjadi tiga macam, yaitu:

##### I. Baja karbon rendah

Baja karbon rendah (*low carbon steel*) mengandung karbon dalam campuran baja kurang dari 0,3%C. Baja ini tidak dapat dikeraskan karena kandungan karbonnya tidak cukup untuk membentuk struktur martensit.

##### II. Baja karbon sedang

Baja karbon sedang (*medium carbon steel*) mengandung karbon 0,3%C-0,6%C. Dengan kandungan karbonnya memungkinkan baja untuk dikeraskan melalui proses perlakuan panas yang sesuai. Baja ini lebih keras serta lebih kuat dibandingkan dengan baja karbon rendah.

##### III. Baja karbon tinggi

Baja karbon tinggi memiliki kandungan karbon 0,6%C-1,5%C dan memiliki kekerasan yang lebih tinggi, namun keuletannya lebih rendah. Berkebalikan dengan baja karbon rendah, pengerasan dengan perlakuan panas

pada baja karbon tinggi tidak memberikan hasil yang optimal karena terlalu banyaknya martensit, sehingga membuat baja menjadi getas.

Sedangkan untuk baja paduan terdiri dari:

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

Baja paduan rendah merupakan baja paduan yang elemen paduannya kurang dari 2,5% wt, misalnya unsur Cr, Mn, Ni, S, Si, P dan lain-lain.

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

Baja paduan menengah merupakan baja paduan yang elemen paduannya 2,5% - 10% wt, misalnya unsur Cr, Mn, Ni, S, Si, P dan lain-lain.

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

Baja paduan tinggi merupakan baja paduan yang elemen paduannya lebih dari 10% wt, misalnya unsur Cr, Mn, Ni, S, Si, P dan lain-lain.

#### 2.4.1 Pengaruh Unsur Paduan Terhadap Baja

Baja yang hanya mengandung unsur karbon tidak akan memiliki sifat seperti yang diinginkan. Penambahan unsur-unsur paduan lain seperti Si, Mn, Ni, Cr, V, W, dan lain sebagainya dapat menghasilkan sifat-sifat baja yang diinginkan. Pengaruh penambahan beberapa unsur paduan terhadap sifat baja adalah:

a. Silikon (Si)

Unsur silikon mempunyai pengaruh menaikkan tegangan tarik dan menurunkan kecepatan pendinginan kritis (laju pendinginan minimal yang dapat menghasilkan 100% martensit).

Silikon merupakan unsur paduan yang ada pada setiap baja dengan jumlah kandungan lebih dari 0,4%.

b. Mangan (Mn)

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

c. Nikel (Ni)

Unsur nikel memberikan pengaruh sama dengan Mn, yaitu menurunkan suhu kritis dan kecepatan kritis. Ni membuat struktur butiran menjadi halus dan menambah keuletan.

d. Krom (Cr)

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

e. Vanadium (V) dan Wolfram (W)

Unsur vanadium dan wolfram membentuk karbidat yang sangat keras dan memberikan baja dengan kekerasan yang tinggi. Kekerasan dan tahan panas yang cukup tinggi pada baja sangat diperlukan untuk mesin pemotongan dengan kecepatan tinggi.

#### 2.4.2 Makna Baja ST37

Makna dari St37 :

- ST memiliki makna baja (dalam bahasa Jerman: *stahl*; dalam bahasa Inggris: *steel*).
- 37 memiliki makna kekuatan tarik sebesar 37 kg/mm<sup>2</sup> atau sekitar 360-370 N/mm<sup>2</sup>.
- Sehingga St menunjukkan baja struktural, sedangkan dua digit di belakang menunjukkan kekuatan tarik dalam kg/mm<sup>2</sup>. Oleh karena itu dapat disimpulkan bahwa ST37 merupakan baja struktural dengan kekuatan tarik sebesar 37 kg/mm<sup>2</sup> (Dioalsius 2015).

## BAB 3 METODE PENELITIAN

### 3.1 Tempat dan Waktu

#### 3.1.1 Tempat

Perlakuan *heat treatment* dan pengujian kekerasan ini dilaksanakan di *laboratorium* MKM (Mekanika Kekuatan Material) Teknik Mesin Universitas Muhammadiyah Sumatra Utara.

#### 3.1.2 waktu

Waktu pelaksanaan *heat treatment* ini dimulai dari persetujuan yang diberikan pembimbing, pembuatan dapur, pengujian bahan hingga pengambilan data sampai dinyatakan selesai.

Adapun kegiatan yang dilakukan pada penelitian dapat dilihat pada tabel 3.1 dibawah ini:

NO	Kegiatan	lokasi penelitian	Bulan - 2018											
			Maret	April	Mei	Juni	Juli	Agus	Sept	Okt	Nov	Des		
1	Studi literatur	Lab.UMSU	■											
2	penyelesaian alat dan bahan	Lab. MKM			■									
3	pengelolaan alat dapur pemanas	Lab. MKM				■								
4	pembuatan spesimen	Lab. MKM						■						
5	pengujian	Lab. MKM									■			

Tabel 3.1 Tabel kegiatan Pelaksanaan Penelitian



### 3.2 Alat dan Bahan

#### 3.2.1 Alat yang digunakan antara lain :

1. Gas lpg
2. *Thermocouple*
3. *Thermometer Digital*
4. Mesin Gerinda Potong
5. Ragum Dan Penjepit Tangan
6. Jangka Sorong
7. Sarung Tangan
8. Wadah Media Pendingin
9. Alat Uji Kekerasan
10. Tungku *Heat Treatment*

##### 3.2.1.1 Gas Elpiji

Gas elpiji berfungsi sebagai bahan bakar dapur pemanas pada saat proses pemanasan berlangsung.



Gambar 3.1 Gas Elpiji

##### 3.2.1.2 *Thermocouple Type k*

Berfungsi untuk menentukan besaran suhu yang terjadi pada dapur pemanas atau sebagai sensor suhu.



Gambar 3.2 *Thermocouple*

### 3.2.1.3 *Thermometer Digital*

Berfungsi sebagai *parameter* untuk melihat suhu yang ada pada dapur pemanas.



Gambar 3.3 *Thermometer Digital*

### 3.2.1.4 Mesin *Gerinda Potong*

Mesin ini berfungsi sebagai alat untuk memotong benda kerja yang digunakan dalam proses pengerjaan.



Gambar 3.4 Mesin *Gerinda Potong*

### 3.2.1.5 Ragum Dan Penjepit Tangan

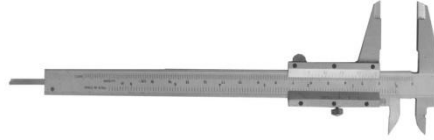
Ragum dan penjepit tangan berfungsi sebagai alat penjepit benda kerja agar lebih memudahkan dalam proses pengerjaan lanjutan.



Gambar 3.5 Ragum Dan Penjepit Tangan

### 3.2.1.6 Jangka Sorong

Jangka sorong berfungsi untuk mengukur panjang ,tinggi,lebar,dan kedalaman pada *specimen*.



Gambar 3.6 Jangka Sorong

### 3.2.1.7 Sarung Tangan

Sarung tangan berfungsi untuk melindungi tangan dari benda benda yang tajam dan panas pada saat proses pengerjaan.



Gambar 3.7 Sarung Tangan

### 3.2.1.8 Wadah Media Pendingin

Berfungsi sebagai wadah/tempat pendinginan *specimen* sesudah dipanaskan.



Gambar 3.8 Wadah media Pendingin

### 3.2.1.9 Alat kekerasan ( *Hardness Test* )

Berfungsi untuk menguji *specimen* yang akan di uji .



Gambar 3.9 Alat Uji Kekerasan

### 3.2.1.10 Tungku *Heat Treatment*

Berfungsi sebagai alat untuk memanaskan *specimen* yang akan diuji.



Gambar 3.10 Tungku *Heat Treatment*

### 3.2 .2 Bahan Yang Digunakan Antara Lain :

#### 3.2.2.1 Baja karbon ST37

Benda uji yang digunakan lalu dipanaskan kemudian didinginkan dengan media air dan oli untuk diuji kekerasan.



Gambar 3.11 *Specimen* Baja ST37

### 3.2.2.2 Media Pendingin Oli

Oli meditrans dengan SAE 10w-40 adalah oli yang digunakan sebagai media pendingin pada saat proses pendinginan berlangsung.



Gambar 3.12 Media Pendingin Oli

### 3.2.2.3 Media Pendingin Air

Air yang bersumber dari PDAM tirtanadi adalah air yang digunakan sebagai media pendingin pada saat proses pendinginan berlangsung.

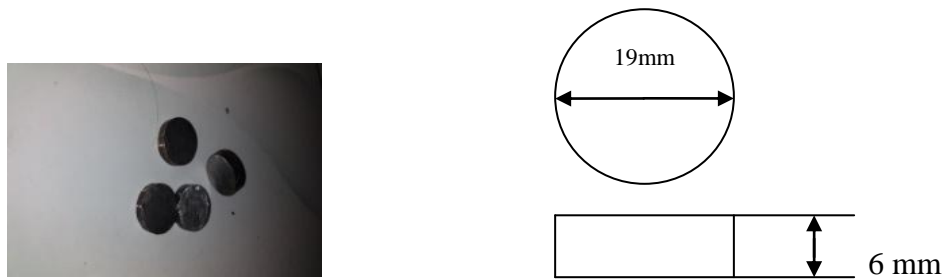


Gambar 3.13 Media Pendingin Air

## 3.3 Pembuatan *Specimen* Penelitian

*Specimen* yang akan diuji, yaitu batang baja persegi panjang yang dipotong menjadi 3 buah dengan diameter  $\phi 19$  mm dan lebar 6 mm. Untuk memudahkan pengidentifikasian dan pengolahan data masing-masing *specimen* diberi tanda. Mula-mula yang dilakukan pada *specimen* hasil pemotongan yaitu digerinda kemudian dilanjutkan dengan proses penyekrapan untuk meratakan dan memperhalus permukaan *specimen*.

Untuk mendapatkan data awal *specimen* dilakukan pengujian terhadap *specimen* yakni meliputi pengujian kekerasan.



Gambar 3.14 *Specimen* Uji Kekerasan

Gambar sketsa pada 3.14 merupakan *specimen* kekerasan *rockwell* serta *specimen* ini merupakan dari standart ASTM D785

(<http://www.ptli.com/testlopedia/test/rockwel-d785.asp>)

### 3.4 Pengujian Proses Pengerasan

#### 3.4.1 Proses Pemanasan

Pada proses pemanasan untuk baja ST37 dilakukuan dengan cara memasukkan *specimen* kedalam dapur pemanas hingga sampai pada temperatur 600° C,dan diikuti dengan proses penahanan dengan waktu masin-masing 15 menit.

#### 3.4.2 Proses Pendinginan

Setelah proses perlakuan panas dan *Annealing* dilakukan, proses selanjutnya adalah proses pendinginan dengan cara mengeluarkan *specimen* dari dalam dapur pemanas kemudian *specimen* didinginkan perlahan-lahan dengan media oli dan air, dengan cara mencelupkan *specimen* kedalam wadah media pendingin sampai suhu pada *specimen* kembali normal.

### 3.5 Proses Pengujian *Specimen*

Langkah selanjutnya setelah semua proses dilakukan adalah proses pengujian untuk mendapatkan data. Pengujian yang dilakukan adalah pengujian pengujian kekerasan.

### 3.5.1 Pengujian Kekerasan

#### a. Metode *Hardnes Test Rockwell*

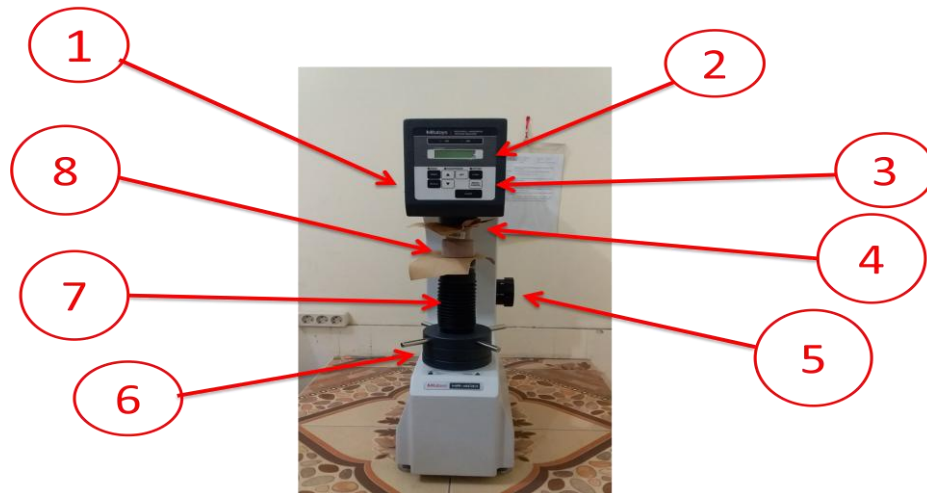
Uji ini menggunakan kedalaman lekukan pada beban yang konstan sebagai ukuran kekerasan. Mula-mula diterapkan beban kecil sebesar 8 kg untuk mendapatkan benda uji.

Hal ini akan memperkecil jumlah preparasi permukaan yang dibutuhkan dan juga diperkecil kecenderungan untuk terjadi permukaan keatas atau penurunan yang disebabkan oleh penumbuk. Kemudian diterapkan beban besar dan secara otomatis kedalaman lekukan akan tekanan pada gage penumbuk yang menyatakan angka kekerasan penunjuk tersebut terdiri atas 0,00008 inci.

Petunjuk kebalikannya sedemikian hingga kekerasan yang tinggi yang berkaitan dengan penembusan yang kecil menghasilkan penunjukkan angka kekerasan yang tinggi. Hal ini sesuai dengan angka kekerasan lain yang dijelaskan sebelumnya.

#### 3.5.2 *Set up* pengujian

Berikut ini adalah gambar bagian-bagian dari mesin *hardness rockwell*.



Gambar 3.15 Mesin *Hardness Rockwell*

Keterangan gambar

Alat yang dipergunakan untuk melakukan uji kekerasan suatu benda yang dilakukan dengan menggunakan alat uji kekerasan *Rockwell* digunakan alat bernama *Rockwell hardness test* .

Nama alat : *rockweel hardnes test*

Merk : *Multitoyo Rockwell hardness scales*

Loading : 98.07 N (10kgf)

Indektor : *Diamond*

HR C load : 1471 N (150kgf)

Indektor : *Steel ball 3,175mm (Ø 1/8)*

HR H : 588.4 N (60kgf)

#### 1. Tombol *Power* Mesin *Hardness Rockwell*



Tombol *power* berfungsi untuk menghidupkan mesin uji *Rockwell*.

#### 2. Layar *Manometer*



Layar berfungsi untuk melihat hasil pengujian dan untuk menyetel skala-skala yang akan digunakan pada saat pengujian.



### 3. Tombol *Instrument*



Tombol *instrument* berfungsi untuk menyetel skala-skala yang akan digunakan pada saat pengujian serta untuk memulai pengujian.

### 4. *Indentor*



*Indentor* berfungsi untuk menguji material.

### 5. Pengatur Beban Pada Saat Pengujian



Pengatur beban berfungsi untuk mengatur beban yang akan digunakan pada saat pengujian.

### 6. Roda Tangan



Roda tangan berfungsi sebagai pengendali untuk menaikkan dan menurunkan anvil.

### 7. Batang Ulir Pengangkat



Batang ulir pengangkat berfungsi untuk mengangkat dudukan benda kerja keatas dan kebawah.

### 8. Anvil ( landasan Benda Kerja)



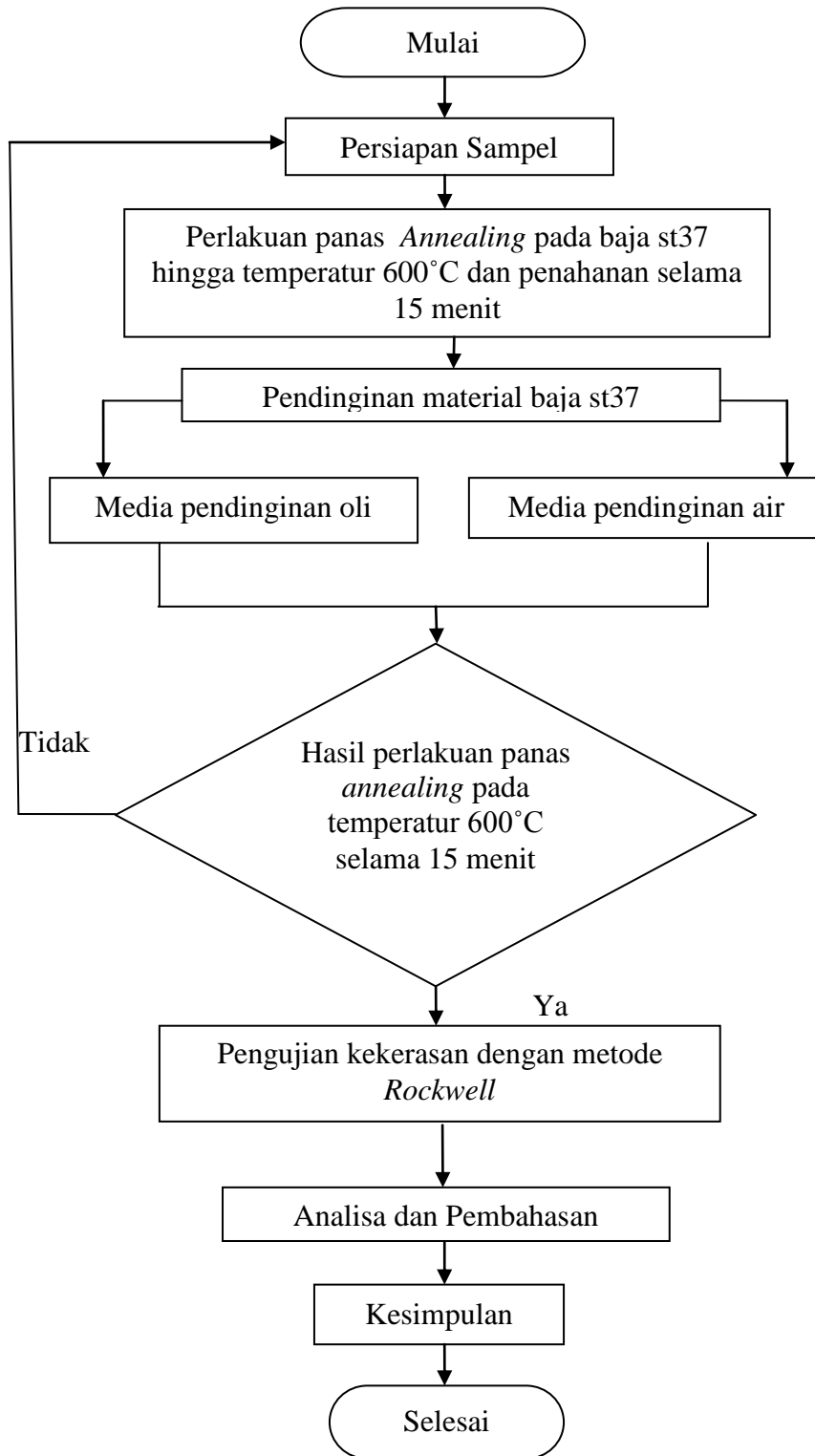
*Anvil* berfungsi sebagai dudukan (landasan benda kerja) yang akan diuji.

#### 3.5.3 Langkah-langkah pengujian kekerasan *hardnes test rockwell*

- Mempersiapkan peralatan dan bahan yang akan dilakukan untuk pengujian *hardness*.
- Membagi benda kerja menjadi 5 titik pada setiap *specimen* dimulai dari tengah benda kerja sampai ke ujung benda kerja.
- Menghidupkan alat *uji hardness*.
- Menyetel benda kerja tepat ditengah titik yang pertama dari *specimen* dengan alat *uji hardness*.
- Mengunci benda kerja,dan memutar batang ulir pengangkat hingga *specimen* mengenai *indenter*,kemudian dilepaskan sehingga terlihat nilai HRCnya.
- Mencatat nilai HRC dan melepaskan benda kerja,dan menjepit benda kerja ditengah titik selanjutnya,kemudian mereset nilai HRC pada *monitor hardness test* menjadi 0 dan mengembalikan ke HRC.
- Setelah titik 2 selesai,melakukan hal yang sama pada titik 3 dan *specimen* lainnya.
- Setelah selesai matikan alat *uji harness* dan membersihkan peralatan dan ruang sekitarnya.
- Menganalisa data hasil percobaan uji kekerasan *hardnes test rockwell*.

### 3.6 Diagram Alir Penelitian

Dibawah ini adalah diagram alir penelitian yang diawali dari mulai hingga selesai seperti yang terlihat pada gambar 3.16berikut ini.



Gambar 3.16 Diagram Alir Penelitian

Keterangan Dari Diagram Alir Penelitian :

- Mulai
  - Mempersiapkan alat yang digunakan
- Mempersiapkan *specimen* yang akan diuji .
- *Specimen* dipanaskan dengan *temperature* 600°C dan melakukan penahanan temperatur selama 15 menit menggunakan tungku pemanas *heattreatment*.  
Melakukan pemanasan pada baja ST37 sampai temperatur 600°C lalu menahan suhu pada temperatur 600°C selama 15 menit.
- Pendinginan dengan media oli dan air  
Setelah melakukan pemanasan sampai temperatur 600°C baja ST37 langsung didinginkan secara cepat dengan media pendingin oli dan air. Setelah mendapatkan hasil kemudian *specimen* siap untuk di uji.
- Pengujian *specimen* sesudah didinginkan  
Sesudah melakukan pendinginan maka dapat melakukan pengujian kekerasan pada baja ST37 dan mencatat hasil yang didapat dari pengujian tersebut.
- Hasil diperoleh setelah pengujian  
Setelah melakukan pengujian kemudian dilakukan pengolahan data untuk mendapatkan nilai-nilai kekerasan (HRC).
- Analisa dan pembahasan  
Setelah dilakukannya pengujian pada material baja ST37 dan mendapatkan hasil kemudian dilakukan analisa dan pembahasan untuk mengetahui nilai-nilai kekerasan sebagai bahan perbandingan.
- Kesimpulan  
Setelah melakukan pengolahan data dari hasil pengujian maka dapat disimpulkan pengujian yang telah dilakukan.
- Selesai  
Proses pengujian baja ST37 dinyatakan selesai.

## BAB 4

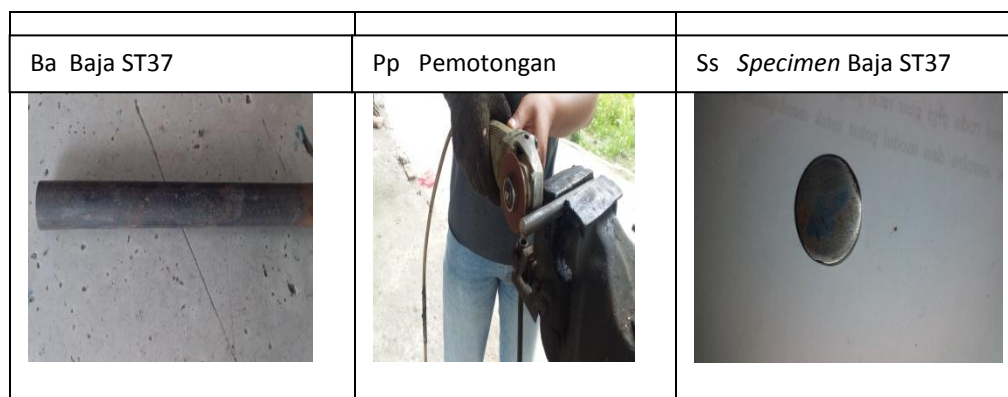
### HASIL DAN PEMBAHASAN

#### 4.1 Pengujian *Hardness*

Pengujian *hardness* ini dilakukan di *laboratorium* teknik mesin Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara. Adapun material yang digunakan adalah baja ST37 dengan diameter 19mm dan tebal 6mm. Pengujian ini menggunakan alat uji *hardnes rockwell*. *Indentor* yang digunakan pada saat pengujian adalah intan. Pengambilan data pada *specimen* dilakukan di 5 titik yang berbeda-beda.

##### 4.1.1 Spesimen Baja ST37



Berikut ini adalah gambar *specimen* pengujian kekerasan sebelum dilakukannya proses perlakuan panas *annealing*.



Gambar 4.1 Gambar *specimen* sebelum dilakukan perlakuan panas *annealing*

##### 4.1.2 Spesimen baja ST37 mengalami perlakuan panas *annealing*



Dibawah ini adalah gambar *specimen* baja ST37 pada saat mengalami perlakuan panas *annealing* pada temperatur 600°C dan ditahan selama 15 menit.

Proses pemanasan	Pemanasan pada temperatur 600°C
	

Gambar 4.2 Gambar *Specimen* Mengalami Perlakuan Panas *Annealing*

#### 4.1.2.1 Pendinginan *specimen*

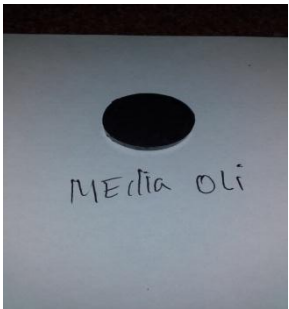
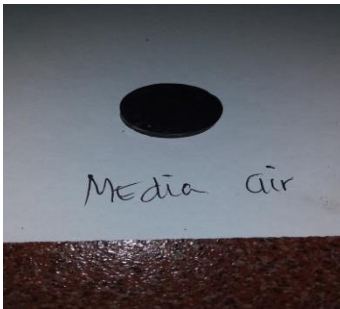

Setelah mengalami perlakuan panas *annealing* baja ST37 kemudian didinginkan menggunakan media pendingin air dan oli. Di bawah ini adalah gambar pendinginan *specimen* menggunakan media air dan oli.

Pendinginan <i>specimen</i> media air	Pendinginan <i>specimen</i> media oli
	

Gambar 4.3 Gambar Pendinginan *Specimen*

#### 4.1.2.2 *Specimen* setelah pendinginan

Berikut ini gambar *specimen* setelah mengalami perlakuan panas *annealing* hingga temperatur 600°C dan didinginkan menggunakan media pendingin air dan oli.

Media pendinginan oli	Media pendinginan air	Baja ST37
 <p>Media oli</p>	 <p>Media air</p>	

Gambar 4.4 *Specimen* Setelah Pendinginan

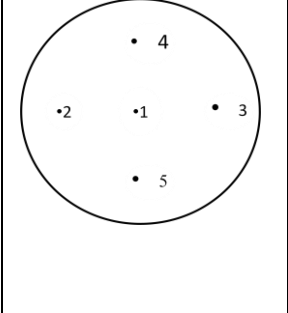


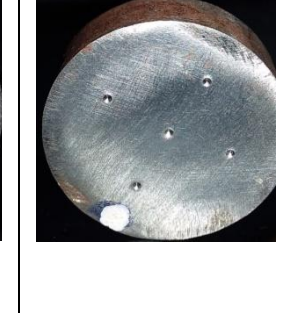
#### 4.1.3 *Specimen* Pengujian *Hardness*

Untuk pengambilan data pada pengujian *hardness* perlu dilakukan berulang kali untuk mendapat hasil yang lebih baik minimal memiliki 3 titik pengambilan data pada satu *specimen*. Berikut ini gambar pengujian kekerasan.

Alat uji kekerasan	Persiapan pengujian	Pengujian material
		

Gambar 4.5 Pengujian Kekerasan

Pada pengujian ini dilakukan 5 titik pengambilan data pada setiap *specimen* dengan titik yang berbeda-beda. jarak pengujian pertama ke berikutnya minimal 4 kali dari diameter hasil pengujian.

			
Sketsa penitikan specimen pengujian	Baja ST37 1	Media pendingin oli 2	Media pendingin air 3

Gambar 4.6 *Specimen* Hasil Pengujian *Hardness*

#### 4.2 Hasil Pengujian *Hardness*

Tabel 4.1 Data Hasil Pengujian *Hardness* Perlakuan Panas *Annealing*

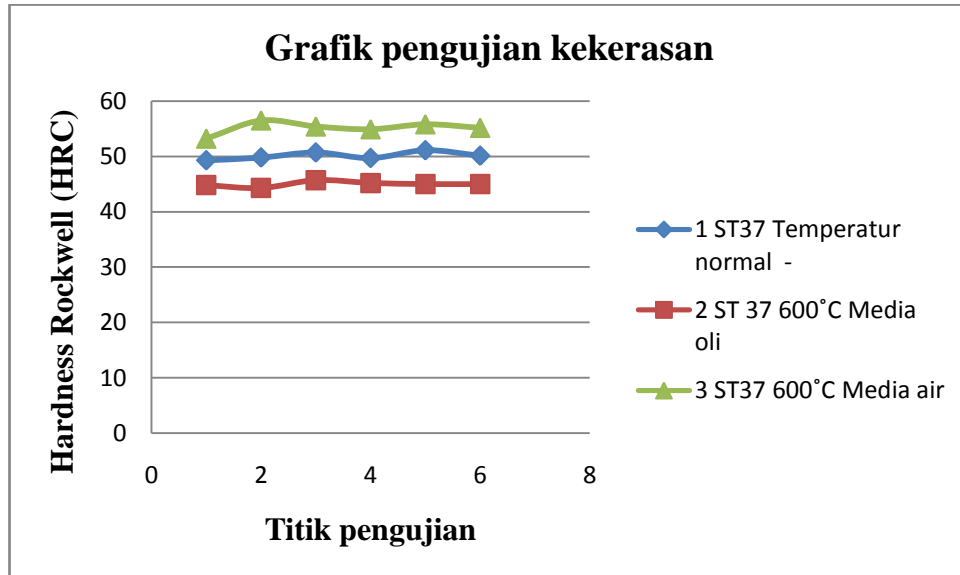
No	Bahan	Temperatur pemanasan	Media pendingin	Uji <i>Hardness Rockwel</i>					Rata-rata
				Titik 1	Titik 2	Titik 3	Titik 4	Titik 5	
Temperatur									
1	ST37	normal	-	49.3	49.8	50.7	49.7	51.1	50.12
2	ST 37	600°C	Media oli	44.8	44.3	45.7	55.2	45	45
3	ST37	600°C	Media air	53.2	56.5	55.4	54.9	55.8	55.16

Tabel di atas merupakan nilai dari hasil uji kekerasan yang telah dilakukan menggunakan alat uji *hardnes rockwell*. Tampak dari hasil tersebut nilai dari *specimen* baja ST37 yang dipanaskan hingga suhu 600°C dan di tahan selama 15 menit kemudian didinginkan menggunakan media air lebih keras dibandingkan nilai *specimen* yang diperlakukan serupa dengan media pendingin yang berbeda yaitu menggunakan media pendingin oli.



#### 4.2.1 Diagram Hasil Dari Pengujian *Hardness Rockwell* HRC

Grafik berikut ini menampilkan data dari tabel 4.1 hasil dari uji kekerasan *hardness rockwell* dengan menggunakan *indentor* intan.



Gambar 4.7 Grafik Hasil Pengujian Kekerasaan *Hardness Rockwell* (HRC)

Grafik di atas menunjukkan nilai kekerasan pada setiap specimen yang telah di uji menggunakan alat uji *hardness rockwell* sebelum dan setelah mengalami perlakuan panas *annealing* hingga suhu 600°C kemudian didinginkan dengan media pendingin air dan oli. Standar yang di gunakan pada alat uji *hardness rockwell* adalah HRC dengan *indentor* kerucut intan.

Tampak jelas pada hasil bahwa, media pendingin oli sangatlah tepat untuk perlakuan panas *annealing* pada temperatur 600°C dan ditahan selama 15 menit. Dikatakan sangat tepat karena media pendingin oli dapat membuat material baja ST37 menjadi lebih lunak sesuai dengan fungsi dari pada *annealing* yaitu untuk membuat baja menjadi lunak.

Berbeda halnya dengan material yang didinginkan menggunakan media pendingin air dapat membuat material baja ST37 menjadi lebih keras.

## **BAB 5**

### **KESIMPULAN DAN SARAN**

#### 5.1. Kesimpulan

Hasil kesimpulan yang di dapat pada penelitian ini adalah proses pembuatan spesimen uji kekerasan dengan material baja ST37 berdiameter 19mm dan tebal 6mm. Kemudian *specimen* diberi perlakuan panas *Annealing* hingga mencapai temperatur 600°C dan di tahan selama 15 menit. Setelah selesai dipanaskan *specimen* tersebut kemudian didinginkan dengan media pendingin air dan oli.

1. Temperatur pemanasan dapat mempengaruhi nilai kekerasan dan struktur pada material yang akan di uji.
2. Hasil pengujian kekerasan rockwell menghasilkan angka kekerasan tertinggi terdapat pada spesimen uji dengan media pendinginan air yaitu HRC 56,5. dan terendah terdapat pada perlakuan serupa dengan media pendingin oli yaitu HRC 44,3.

#### 5.2. Saran

Saran yang dapat diberikan sehubungan dengan analisa uji kekerasan pada material baja ST37 setelah mengalami perlakuan panas *Annealing* adalah sebagai berikut:

- Perlu dilakukan penelitian lanjutan dengan variasi waktu dan suhu yang berbeda serta media pendingin yang baik.
- Selalu berhati-hati dalam proses pengerjaan karna proses pemanasannya menggunakan gas elpiji dengan suhu pemanasan yang tinggi.
- Pengujian ini selain perlakuan panas, media pendingin juga dapat mempengaruhi nilai kekerasan yang terdapat pada material. Untuk itu kita perlu menggunakan pemanasan dan pendinginan yang tepat untu mendapatkan hasil yang lebih baik.

## DAFTAR PUSTAKA

- Adityo Ristyanto, gunawan dwi hayadi, yusuf umardi, 2014. *Pengaruh proses normalizing terhadap nilai kekerasan dan struktur mikro pada sambungan thermomite similar baja UIC-54* ,jurnal teknik mesin (2) : 6-7.
- Asep Ruchidayat, helanianto, 2015, *pengaruh pendinginan oli dan air pada heattreatment sambungan las model SMAN terhadap kekuatan logam yang dihasilkan* ,jurnal perawatan dan perbaikan mesin (8)
- Bayu Adie Septianto dan Yudi setiyorini, 2013. *Pengaruh media pendingin pada heat treatment terhadap struktur mikro dan sifat mekanik friction wedge AISI1340* , jurnal teknik mekanik dan metarlugi (2)
- Brinell, J.A. 1900. *Uji Kekerasan Brinell*.
- Dionisius. 2015. *Penomoran Baja Struktural Menurut IDN1711*. <http://teknikmesinmanufaktur.blogspot.com>
- Fadhil. 2017. *Uji Kekerasan Rockwell*. <https://fadhighlory.wordpress.com>
- Frandesta, Trino. 2015. *Media Quenching*. <http://ejurnal.unp.ac.id>
- Hutauruk Panangian, Samuel. 2014. *Uji Kekerasan Material*. <https://pengujiankekerasan.blogspot.com>
- <http://www.ptli.com/testlopedia/test/rockwel-d785.asp>
- Istiqlalayah, Hesti. 2005. *Pengaruh Variasi Temperatur Annealing Terhadap Kekerasan Sambungan Baja ST 37*.
- Kogoya, Sefnath. 2013. *Ilmu Teknik Mesin Perlakuan Panas*; <https://sefnath.blogspot.com>
- Sarimin, DRN. 2013. *Klasifikasi Baja*. <http://digilib.unila.ac.id>

# LAMPIRAN

LEMBARAN DATA SHEET

Percobaan : *Hardness Test/ Kekerasan Rockwell*

Nama : Dicky Zulfandy

Hari/tanggal : 19 - Desember - 2018

Bahan spesimen	Pengukuran No.	HRC	keterangan
ST37 Tanpa perlakuan panas	1. Titik 1 2. Titik 2 3. Titik 3 4. Titik 4 5. Titik 5	1. 49,3 2. 49,8 3. 50,7 4. 49,7 5. 51,1	
ST37 Perlakuan panas didinginkan dengan oli	1. Titik 1 2. Titik 2 3. Titik 3 4. Titik 4 5. Titik 5	1. 44,8 2. 44,3 3. 45,7 4. 45,2 5. 45	
ST37 Perlakuan panas didinginkan dengan air	1. Titik 1 2. Titik 2 3. Titik 3 4. Titik 4 5. Titik 5	1. 53,2 2. 56,5 3. 55,4 4. 54,9 5. 55,8	

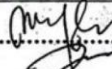
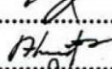
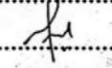
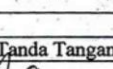












2018

Arya Rudi Nasution S.T

**DAFTAR HADIR SEMINAR  
TUGAS AKHIR TEKNIK MESIN  
FAKULTAS TEKNIK – UMSU  
TAHUN AKADEMIK 2018 – 2019**


Peserta Seminar  
 Nama : Dcky Zulfandi  
 NPM : 1307230183  
 Judul Tugas Akhir : Analisa Uji Kekerasan Pada Material Baja ST 37 Setelah Mengalami Perlakuan Panas Anealing.

DAFTAR HADIR		TANDA TANGAN
Pembimbing – I	: M.Yani.S.T.M.T	: 
Pembimbing – II	: Bekti Suroso.S.T.M.Eng	: 
Pembanding – I	: Ahmad Marabdi.Srg.S.T.M.T	: 
Pembanding – II	: H.Muharnif.S.T.M.Sc	: 

No	NPM	Nama Mahasiswa	Tanda Tangan
1	1407230001	Muhammad Ramadhan	
2	1407230115	YUDI ANGGARA	
3	1407230002	YUDI SYAHPUTRA	
4	1407230010	MITRA GARNIA	
5	1407230068	JUNIEDI SYAH PUTRA	
6	1407230170	RAHMI RAMADHAN	
7	1307230068	MASTARI SOFI	
8	1307230274	DEDI ARIANTO	
9	1507230039	MHD RISYAD ARSAD	
10	1507230097	SAFI	

Medan 28 Jum.Akhir 1440 H  
 05 Maret 2019 M

Ketua Prodi. T.Mesin

  
 Affandi.S.T.M.T

**DAFTAR EVALUASI SEMINAR FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SUMATERA UTARA**

---

NAMA : Dicky Zulfandi  
NPM : 1307230183  
Judul T.Akhir : Analisa Uji Kekerasan Pada Material baja ST.37 Setelah Mengalami Perlakuan Panas Anealing.


Dosen Pembimbing – I : M.Yani.S.T.M.T  
Dosen Pembimbing – II : Bekti Suroso.S.T.M.T  
Dosen Pembanding - I : Ahmad marabdi.Srg.S.T.M.T  
Dosen Pembanding - II : H.Muharnif.S.T.M.Sc

**KEPUTUSAN**

1. Baik dapat diterima ke sidang sarjana ( collogium)
- ② Dapat mengikuti sidang sarjana (collogium) setelah selesai melaksanakan perbaikan antara lain :  
*formulir penulisan; Tabung atau prosedur nya di perbaiki  
lihat catatan pd t.f yg telah di periksa*
3. Harus mengikuti seminar kembali  
Perbaikan :  
.....  
.....  
.....

Medan 28 Jum.Akhir 1440H  
05 Maret 2019 M

Diketahui :  
Ketua Prodi. T.Mesin

  
Affandi.S.T.M.T

Dosen Pembanding- I

  
Ahmad Marabdi Siregar.S.T.M.T

**DAFTAR EVALUASI SEMINAR FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SUMATERA UTARA**

---

NAMA : Dicky Zulfandi  
NPM : 1307230183  
Judul T.Akhir : Analisa Uji Kekerasan Pada Material baja ST.37 Setelah Mengalami Perlakuan Panas Anealing.

Dosen Pembimbing - I : M.Yani.S.T.M.T  
Dosen Pembimbing - II : Bekti Suroso.S.T.M.T  
Dosen Pembanding - I : Ahmad marabdi.Srg.S.T.M.T  
Dosen Pembanding - II : H.Muharnif.S.T.M.Sc

**KEPUTUSAN**

1. Baik dapat diterima ke sidang sarjana ( collogium)  
2. Dapat mengikuti sidang sarjana (collogium) setelah selesai melaksanakan perbaikan antara lain :

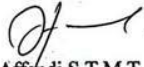
.....  
.....  
.....  
.....

3. Harus mengikuti seminar kembali  
Perbaikan :


.....  
.....  
.....  
.....

Medan 28 Jum.Akhir 1440H  
05 Maret 2019 M

Diketahui :  
Ketua Prodi. T.Mesin

  
Affandi.S.T.M.T

Dosen Pembanding- II

  
H.Muharnif.S.T.M.Sc





MAJELIS PENDIDIKAN TINGGI MUHAMMADIYAH  
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SUMATERA UTARA  
FAKULTAS TEKNIK  
PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN

Alamat Administrasi: Jalan Kapten Mukhtar Basri No.3 Telp. (061) 6611233 – 6624567 –  
6622400 – 6610450 – 6619056 Fax. (061) 6625474 Medan 20238  
Website : <http://www.umsu.ac.id>

Bila menandatangani surat ini agar disebutkan  
Nomor dan tanggalnya

DAFTAR HADIR ASISTENSI

TUGAS SARJANA

NAMA : Dicky Zulfandy

PEMBIMBING I : Muhammad Yani, ST, MT

NPM : 1307230183

PEMBIMBING II : Bekti Suroso, ST, M.Eng

NO	Hari / Tanggal	Uraian	Paraf
1.	20-03-2018	Pemberian spesifikasi tugas	My.
2.	2-04-2018	Perbaiki latar belakang, rumusan masalah, & tujuan penelitian	My.
3	4-07-2018	Aktur kembali susunan pd Hujan pustaka	My.
4.	11-08-2018	Perbaiki Bab IV	My.
5	Senin 7-1-2019.	Perbaiki bab 10, tambahkan photo dari spesimen uji.	My.
6	Sabtu 19-1-2019.	lanjut ke pembantu uji	My
7.	21-1-2019	Perbaiki kerapulan & saran.	Z
8	25-1-2019	Perbaiki Daftar Isi, Abstrak, kata pengantar.	Z
9	1-02-2019	lengkapi Daftar Nidasi	Z
10	Jumat 08-02-19	ACC Seminar	Z

## DAFTAR RIWAYAT HIDUP



### A. DATA PRIBADI

- |                         |                                    |
|-------------------------|------------------------------------|
| 1. Nama                 | : DICKY ZULFANDY                   |
| 2. JenisKelamin         | : Laki-Laki                        |
| 3. Tempat, TanggalLahir | : Medan, 11 Mei 1995               |
| 4. Kewarganegaraan      | : Indonesia                        |
| 5. Status               | : BelumMenikah                     |
| 6. Agama                | : Islam                            |
| 7. Alamat               | : Jln Lembaga Pemasarakatan No 276 |
| 8. No. Hp               | : 0858-3388-6343                   |
| 9. Email                | : dicky_zulfandy@yahoo.com         |
| 10. Orang Tua :         |                                    |
| Ayah                    | : Legiran                          |
| Ibu                     | : sriwati                          |

### B. RIWAYAT PENDIDIKAN

NO	PENDIDIKAN FORMAL	TAHUN
1	SDN 106789 MEDAN	2006 – 2007
2	SMP NEGRI 18 MEDAN	2007 – 2010
3	SMK SWASTA PAB 5 MEDAN	2010 – 2013
4	TEKNIK MESIN UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SUMATRA UTARA	2013 -2019