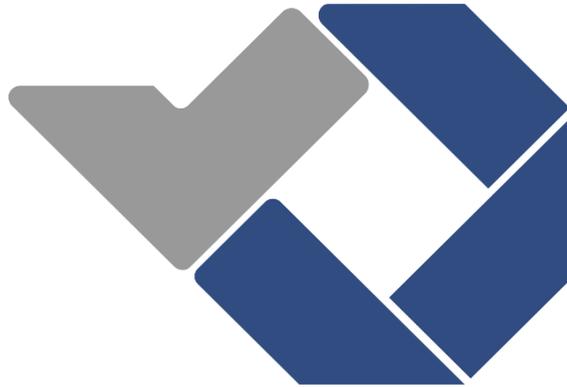


**STUDI EKSPERIMEN PENGARUH SUHU *HARDENING*  
DENGAN *QUENCHING* MEDIA AIR LAUT TERHADAP  
KETANGGUHAN BAJA ST 60**

**PROYEK AKHIR**

Laporan akhir ini dibuat dan diajukan untuk memenuhi salah satu syarat kelulusan Sarjana Terapan/Diploma IV Politeknik Manufaktur Negeri Bangka Belitung



Disusun Oleh:

Abdillah Halim

NIRM: 1041831

**POLITEKNIK MANUFAKTUR NEGERI**

**BANGKA BELITUNG**

**TAHUN 2021/2022**

**LEMBAR PENGESAHAN**

**STUDI EKSPERIMEN PENGARUH SUHU *HARDENING*  
DENGAN *QUENCHING* MEDIA AIR LAUT TERHADAP  
KETANGGUHAN BAJA ST 60**

Oleh:

Abdillah Halim/1041831

Laporan akhir ini telah disetujui dan disahkan sebagai salah satu syarat kelulusan  
Program Sarjana Terapan/Diploma IV Politeknik Manufaktur Negeri Bangka  
Belitung

Menyetujui,

Pembimbing 1

Pembimbing 2

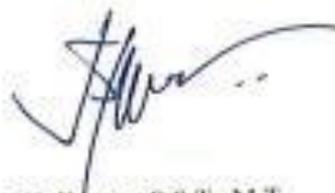


Muhammad Subhan, S.S.T., M.T

Zaldy Kurniawan, S.S.T., M.T

Penguji 1

Penguji 2



Boy Rollastin, S.Tr., M.T

Yuliyanto, S.S.T., M.T

## PERNYATAAN BUKAN PLAGIAT

Yang bertanda tangan di bawah ini:

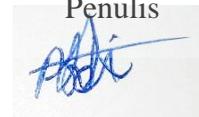
Nama Mahasiswa : Abdillah Halim NIRM: 1041831

Dengan Judul : Studi Eksperimen Pengaruh Suhu *Hardening* Dengan *Quenching* Media Air Laut Terhadap Ketangguhan Baja St 60.

Menyatakan bahwa laporan akhir ini adalah hasil kerja saya sendiri dan bukan merupakan plagiat. Pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya dan bila ternyata dikemudian hari ternyata melanggar pernyataan ini, saya bersedia menerima sanksi yang berlaku.

Sungailiat, 16 Januari 2021

Penulis



Abdillah Halim

## ABSTRAK

*Baja St 60 adalah baja karbon menengah yang sering digunakan pada konstruksi mesin seperti poros dan bangunan kapal namun sering juga terjadi beban impak. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui hasil ketangguhan terbaik baja St 60 dari pengaruh suhu pada proses hardening. Metode yang digunakan untuk pengolahan data pada penelitian ini adalah metode two way anova tanpa interaksi. Variabel yang digunakan pada pada penelitian ini adalah suhu (900, 930, 950°C) dan holding time (30, 60, 90 menit). Hasil ketangguhan terbaik didapatkan pada suhu 900°C dengan holding time 30 menit sebesar (2,5934 J/mm<sup>2</sup>) yang mengalami peningkatan 52,7% dari material uji tanpa perlakuan. Hal ini disebabkan pada saat proses hardening telah membentuk fasa austenit, kemudian didinginkan secara cepat sehingga membentuk martensit dan ferit yang memiliki sifat keras dan kuat, sedangkan hasil ketangguhan terendah didapatkan pada suhu 950°C dan holding time 90 menit didapatkan sebesar (2,5588 J/mm<sup>2</sup>). Hasil perhitungan anova didapatkan bahwa tidak ada pengaruh suhu dan holding time yang signifikan.*

*Kata Kunci: baja St 60, uji impak, suhu hardening, holding time.*

## **ABSTRACT**

*St 60 steel is a medium carbon steel that is often used in machine construction such as shafts and shipbuilding but is often affected by impact loads. The purpose of this study was to determine the best toughness of St 60 steel from the effect of temperature on the hardening process. The method used for data processing in this study is the two way anova method without interaction. The variables used in this study were temperature (900, 930, 950°C) and holding time (30, 60, 90 minutes). The best toughness results were obtained at a temperature of 900°C with a holding time of 30 minutes (2.5934 J/mm<sup>2</sup>) which increased by 52.7% from the test rod without treatment. This is because during the hardening process it has formed austenite phase, then quickly cooled to form martensite and ferrite which has hard and strong properties. And the lowest toughness results were obtained at a temperature of 950°C and a holding time of 90 minutes was obtained at (2.5588 J/mm<sup>2</sup>). The results of the anova calculation show that there is no significant effect of temperature and holding time.*

*Keywords: St 60 steel, impact test, hardening temperature, holding time.*

## KATA PENGANTAR

بِسْمِ اللّٰهِ الرَّحْمٰنِ الرَّحِیْمِ

*Assalamu 'alaikum Warahmatullahi Wabarokatuh*

Puji syukur penulis panjatkan ke hadirat Allah SWT yang telah memberikan rahmat dan karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan penyusunan laporan proyek akhir ini.

Penulis menyadari bahwa keberhasilan penyusunan laporan proyek akhir ini tidak terlepas dari bantuan berbagai pihak baik langsung maupun tidak langsung. Dalam kesempatan ini penulis ingin menyampaikan rasa terima kasih yang sebesar-besarnya kepada :

1. Ibu, Ayah, dan adik tercinta yang telah memberikan motivasi, doa, perhatian dan kasih sayang kepada penulis.
2. Bapak Muhammad Subhan, S.S.T., M.T. selaku pembimbing 1 yang telah memberikan bimbingan, dukungan dan bantuan untuk penelitian proyek akhir ini.
3. Bapak Zaldy Kurniawan, S.S.T., M.T. selaku pembimbing 2 yang telah memberikan banyak ide-ide dan konsep pemikirannya dalam pengembangan laporan proyek akhir ini.
4. Bapak Pristiansyah, S.S.T., M.Eng. selaku Kepala Jurusan Teknik Mesin Politeknik Manufaktur Negeri Bangka Belitung.
5. Bapak Boy Rollastin, S.Tr., M.T. selaku Kepala Program Studi D4 Teknik Mesin dan Manufaktur Politeknik Manufaktur Negeri Bangka Belitung.
6. Bapak Yuliyanto, S.S.T., M.T. yang telah memberikan waktu dan bimbingannya dalam penggunaan mesin Uji Impak yang digunakan pada penelitian proyek akhir ini.
7. Semua pihak yang telah membantu dalam penyelesaian makalah ini yang tidak dapat disebutkan satu persatu.

Akhir kata penulis berharap Tuhan yang maha Esa membalas segala kebaikan untuk semua pihak yang telah membantu dalam penyelesaian proyek akhir ini, semoga proyek akhir ini dapat memberikan manfaat bagi pengembangan ilmu di Politeknik Manufaktur Negeri Bangka Belitung serta bagi pembacanya pada masa yang akan datang.

*Wassalamu'alaikum Warahmatullahi Wabarokatuh*

Sungailiat, 31 Januari 2021

Penulis



Abdillah Halim

# DAFTAR ISI

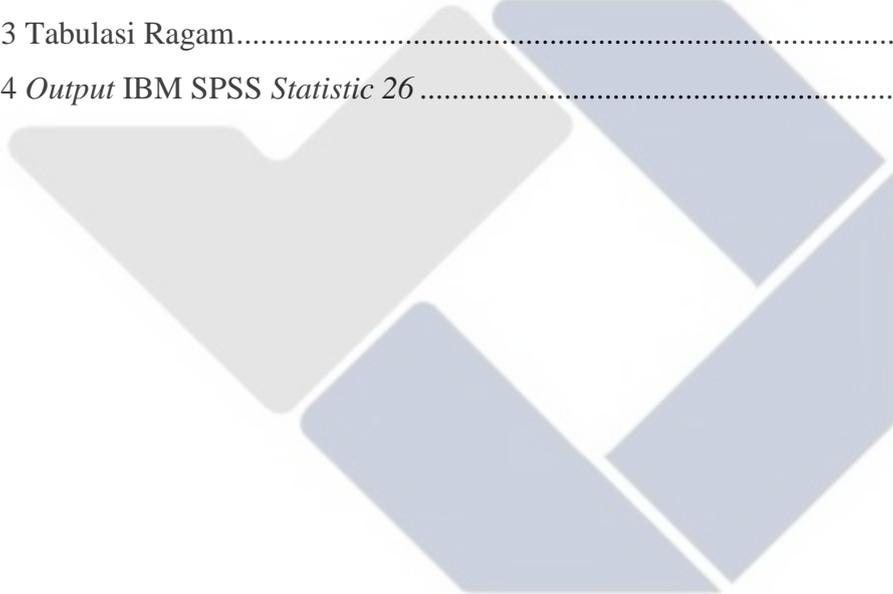
	Halaman
<b>LEMBAR PENGESAHAN</b> .....	i
<b>PERNYATAAN BUKAN PLAGIAT</b> .....	iii
<b>ABSTRAK</b> .....	iv
<i>ABSTRACT</i> .....	v
<b>KATA PENGANTAR</b> .....	vi
<b>DAFTAR ISI</b> .....	vii
<b>DAFTAR TABEL</b> .....	x
<b>DAFTAR GAMBAR</b> .....	xi
<b>DAFTAR LAMPIRAN</b> .....	xii
<b>BAB I PENDAHULUAN</b> .....	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah .....	2
1.3 Batasan Masalah.....	3
1.4 Tujuan Penelitian.....	3
<b>BAB II TINJAUAN PUSTAKA</b> .....	4
2.1 <i>Heat Treatment</i> .....	4
2.1.1 <i>Hardening</i> .....	4
2.1.2 <i>Annealing</i> .....	5
2.1.3 <i>Normalizing</i> .....	5
2.1.4 <i>Tempering</i> .....	5
2.2 <i>Quenching</i> .....	6
2.2.1 Austenit .....	7
2.2.2 Ferit .....	7
2.2.3 Perlit .....	8
2.2.4 Sementit .....	8
2.2.5 Bainit .....	8
2.2.6 Martensit .....	8

2.3	<i> Holding Time (Waktu Tahan)</i> .....	8
2.4	Baja.....	9
2.4.1	Karbon (C) .....	9
2.4.2	Mangan (Mn) .....	9
2.4.3	Silikon (Si) .....	9
2.4.4	Nikel (Ni) .....	10
2.4.5	Kromium (Cr).....	10
2.4.6	Kobalt (Co).....	10
2.4.7	Molibdium (Mo) .....	10
2.4.8	Vanadium (V).....	10
2.4.9	Titanium (Ti).....	11
2.4.10	Aluminium (Al).....	11
2.5	Baja Karbon.....	11
2.5.1	Baja Karbon Rendah .....	11
2.5.2	Baja Karbon Sedang.....	11
2.5.3	Baja Karbon Tinggi.....	12
2.6	Baja St 60 .....	12
2.6.1	Struktur Baja St 60.....	12
2.7	Air Laut .....	12
2.8	Uji Impak.....	13
2.9	Efek Takik ( <i>Notch</i> ).....	14
2.10	Sifat–Sifat Material .....	14
2.9.1	Sifat mekanik .....	14
2.9.2	Sifat fisik .....	16
2.9.3	Sifat teknologi .....	16
2.11	Metode Eksperimental.....	17
2.12	<i>Anova</i> .....	17
2.13	<i>Two Way Anova</i> .....	18
<b>BAB III METODOLOGI PENELITIAN .....</b>		<b>20</b>
3.1	Diagram Alir Penelitian.....	20
3.2	Tempat Penelitian.....	21

3.3	Variabel Penelitian .....	21
3.3.1	Variabel bebas .....	21
3.3.2	Variabel terikat.....	21
3.3.3	Variabel kontrol .....	21
3.3.4	Metode penelitian.....	21
3.4	Alat dan Bahan penelitian .....	21
3.4.1	Bahan penelitian.....	21
3.4.2	Peralatan penelitian .....	22
3.5	Pembuatan Material Uji Mengikuti Standar ASTM E-23.....	25
3.6	<i>Hardening</i> .....	25
3.7	Uji Impak.....	26
3.8	Analisis Data .....	27
<b>BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN.....</b>		<b>29</b>
4.1	Hasil Pengujian.....	29
4.2	Hasil Pengolahan Data .....	30
<b>BAB V KESIMPULAN DAN SARAN .....</b>		<b>35</b>
5.1	Kesimpulan.....	35
5.2	Saran .....	35
<b>DAFTAR PUSTAKA</b>		

## DAFTAR TABEL

Tabel	Halaman
2.1 Komposisi Kimia Baja St 60.....	12
2.2 Analisis Ragam Klasifikasi Dua Arah Sumber .....	19
3.1 Spesifikasi Alat Uji Impak JB-300B.....	24
3.3 Lembar Pengamatan Pengujian Impak Setelah Perlakuan.....	27
4.1 Hasil Perhitungan Harga Impak Setelah Perlakuan .....	29
4.2 Tabel Penolong Perhitungan <i>Two Way Anova</i> .....	31
4.3 Tabulasi Ragam.....	33
4.4 <i>Output IBM SPSS Statistic 26</i> .....	33

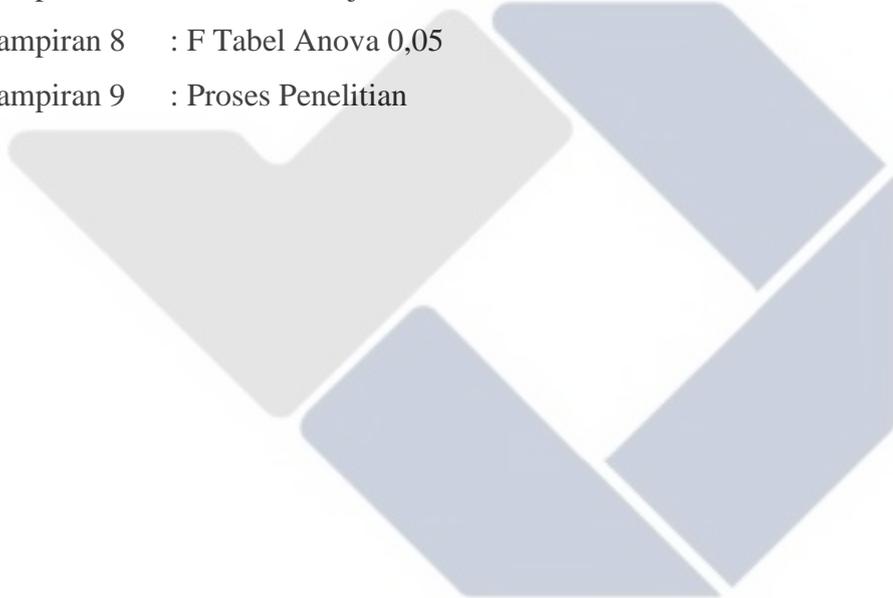


## DAFTAR GAMBAR

Gambar	Halaman
2.1 Diagram Fe-Fe <sub>3</sub> C.....	6
2.2 Diagram CCT Dengan Kandungan Karbon 0,45% C .....	7
2.3 Efek Ketangguhan (A) Ulet Dan (B) Getas .....	15
3.1 Diagram Alir .....	20
3.2 Baja St 60 .....	22
3.3 Kawat Baja .....	22
3.4 Air Laut .....	22
3.5 Gergaji Potong .....	23
3.6 Tungku Pemanas .....	23
3.7 Alat Uji Impak.....	23
3.8 Tang.....	24
3.9 Jangka Sorong .....	24
3.10 Pembuatan Material Uji .....	25
3.11 Pembuatan Takik 45° .....	25
3.12 Diagram Proses <i>Hardening</i> .....	26
3.13 Bentuk <i>Specimen Standar ASTM E-23</i> .....	27
4.1 Grafik Hasil Pengujian Impak.....	30

## DAFTAR LAMPIRAN

- Lampiran 1 : Curriculum Vitae
- Lampiran 2 : Test Of Homogeneity
- Lampiran 3 : Test Of Normality
- Lampiran 4 : Normal dan Destrended Normal Q-Q Of Standardized Residual
- Lampiran 5 : Perhitungan Harga Impak
- Lampiran 6 : Sampel Uji Hasil Penelitian
- Lampiran 7 : Sertifikat Baja
- Lampiran 8 : F Tabel Anova 0,05
- Lampiran 9 : Proses Penelitian



# BAB I

## PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Pada era modern ini, teknologi seperti mesin-mesin sangat diperlukan untuk memudahkan suatu pekerjaan, namun dengan seiringnya pemakaian mesin tersebut maka tidak akan jauh dengan nama kegagalan mekanis, seperti faktor kelelahan, kekuatan impak, ketahanan terhadap korosi seringkali ditemukan pada sistem transmisi seperti pada poros, roda gigi, komponen transmisi lainnya. Untuk mengatasi hal tersebut maka harus dilakukan suatu penelitian sehingga dapat meminimalisir kegagalan tersebut. Kegagalan yang sering terjadi yaitu terjadinya beban kejut. Namun dalam pemilihan material untuk suatu komponen juga harus diperhatikan.

Berkaitan dengan pemilihan material, Baja St 60 adalah baja yang sering digunakan pada *as propeller*, transmisi gardan pada mobil dan konstruksi bangunan kapal, karena memiliki sifat pengerjaan dan kekuatan yang baik. Pada baja tersebut sering juga terjadi kegagalan mekanis salah satunya yaitu beban kejut. Faktor yang menyebabkan beban kejut tersebut adalah pemakaian yang dilakukan terus menerus sehingga terjadi patahan. Untuk meminimalkan kegagalan tersebut maka diperlukan proses *hardening* pada baja tersebut. Pada proses tersebut dilakukan untuk merubah struktur menjadi sifat yang diinginkan. Dengan memanaskan baja tersebut hingga suhu austenit dan ditahan dengan jangka waktu yang ditentukan. Kemudian dilakukan proses *quenching*, pada proses ini struktur baja bisa membentuk struktur baja diinginkan seperti terbentuknya fasa martensit yang sifatnya keras tetapi getas, fasa ferit yang memiliki sifat lunak tapi ulet, dan fasa perlit yang memiliki sifat ketahanan yang baik walaupun tidak seulet ferit dan tidak sekeras martensit. Untuk membentuk fasa maka diperlukan proses *quenching*. Proses *quenching* adalah proses pendinginan cepat, yang dilakukan dengan cara mencelupkan baja pada media

pendingin. Untuk mencari ketangguhan dari baja tersebut maka dilakukan pengujian impak, dengan cara memberi beban kejut pada baja tersebut.

Pada penelitian tentang analisa ketangguhan dan perubahan struktur mikro patahan akibat heat treatment dan variasi sudut impact pada baja St 60 dimana nilai impak suhu *hardening* 600°C dengan variasi sudut *impact*  $\alpha=90^\circ$  mendapatkan hasil ketangguhan sebesar 0.7926 J/mm<sup>2</sup>, sedangkan pada suhu *hardening* 900 °C dengan sudut *impact*  $\alpha=90^\circ$  mendapatkan hasil impak sebesar 1.2729 J/mm<sup>2</sup> mengalami peningkatan sebesar 62,9 % dari baja tanpa perlakuan. Hal ini menunjukkan bahwa suhu *hardening* berpengaruh terhadap ketangguhan baja St 60 dan mempunyai perbedaan hasil impak pada spesimen yang diuji (Widodo, Siswanto, & Puspitasari, 2014).

Penelitian mengenai pengaruh variasi temperatur *hardening* terhadap kekerasan baja S45C dengan media pendingin air dimana nilai kekerasan maksimal yang didapat pada suhu 930°C dengan *holding time* 30 menit yaitu sebesar 57,9 HRC (Syuffi & Irfa'i, 2014).

Penelitian lainnya baja St 60 yang berjudul “variasi media pendingin dan *holding time* terhadap kekerasan pada proses *hardening*” didapatkan nilai kekerasan tertinggi pada temperatur 900°C dengan *holding time* 30 menit menggunakan air garam memiliki nilai kekerasan 68,3 HRA (Fatoni M. , 2021).

Penelitian ini dilakukan untuk mendapatkan nilai ketangguhan yang baik dari eksperimen baja St 60 dengan suhu *hardening* yang berbeda dan di *quenching* menggunakan media air laut. Dari kesimpulan tersebut mendapatkan data tentang ” **Studi Eksperimen Pengaruh Suhu *Hardening* Dengan *Quenching* Media Air Laut Terhadap Ketangguhan Baja St 60**”. Dengan adanya penelitian ini, maka diharapkan dapat bermanfaat dalam bidang industri manufaktur.

## 1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan dari latar belakang yang telah diuraikan diatas, maka permasalahan yang perlu dikaji lebih jauh adalah bagaimana pengaruh suhu *hardening* dan *holding time* yang berbeda-beda menggunakan media pendingin air

laut terhadap ketangguhan baja St 60 dengan menggunakan metode *two way anova*?

### **1.3 Batasan Masalah**

Adapun batasan masalah dari penelitian ini adalah:

1. Penelitian ini difokuskan pada pengaruh suhu *hardening* terhadap nilai *impact*.
2. Material uji baja St 60.
3. Suhu *hardening* 900, 930, dan 950°C.
4. Variasi *holding time* 30, 60, dan 90 menit.
5. Perlakuan panas yang digunakan pada penelitian ini adalah *hardening*.
6. Media pendingin yang digunakan dalam penelitian ini adalah media air laut.
7. Metode pengolahan data berupa metode *two way anova*.

### **1.4 Tujuan Penelitian**

Tujuan dari penelitian ini yang berdasarkan dari rumusan masalah yaitu untuk mengetahui pengaruh suhu *hardening* dan *holding time* yang berbeda-beda menggunakan media pendingin air laut terhadap ketangguhan baja St 60 dengan menggunakan metode *two way anova*.

## **BAB II**

### **TINJAUAN PUSTAKA**

#### **2.1 *Heat Treatment***

*Heat treatment* adalah proses merubah struktur baja khususnya dengan mengubah struktur mikro dengan mengatur laju pemanasan dan pendinginan. Proses ini adalah mekanisme penguatan baja dimana baja yang ingin dirubah sudah dalam keadaan padat. Selama proses baja dipanaskan sampai suhu austenisasi. Suhu austenit yang ditentukan tergantung pada kandungan karbon dari baja yang diproses. Setelah mencapai suhu austenit, diamkan baja sampai yang telah ditentukan untuk mencapai pemanasan menyeluruh pada baja, proses ini disebut homogenisasi. Kemudian, dengan mengatur laju pendinginan, sehingga mendapatkan kekerasan yang diinginkan tercapai. Kekerasan yang dicapai tergantung kandungan karbon baja yang diproses. Sehingga dapat disimpulkan bahwa Perlakuan panas adalah suatu proses yang mengubah sifat-sifat logam, khususnya baja, dengan mengubah struktur mikro dengan mengatur laju. Menurut (Aditadriyanto, 2017) Sebelum benda dikerjakan dilakukan perlakuan panas maka disebut perlakuan panas awal sedangkan setelah benda dikerjakan disebut perlakuan panas akhir. Beberapa jenis perlakuan panas adalah:

##### **2.1.1 *Hardening***

*Hardening* adalah suatu proses untuk memperbaiki kekerasan baja tanpa merubah keseluruhan komposisi kimia. Pada proses ini, dipanaskan hingga suhu austenisasi dan didinginkan secara cepat dengan kecepatan tertentu untuk mendapatkan sifat yang diinginkan. Pemilihan suhu ditentukan oleh jenis baja yang diproses. suhu *hardening* melebihi garis A3 + (50-100°C) untuk baja hypoeutektoid. Sedangkan kecepatan pendinginan dan media quenching bermacam-macam tergantung media yang dipakai pada proses pendinginan. Untuk mendapatkan sifat logam yang keras dan getas maka dilakukan pendinginan yang sangat cepat sebaliknya untuk sifat yang lunak dan ulet maka dilakukan pendinginan yang lambat. untuk mendapatkan struktur pada baja

hypoeutektoid yang berkomposisi seluruh butir austenit maka diperlukan pemanasan hingga temperatur di atas garis A3, dan pada untuk menghasilkan struktur martensit diperlukan pendinginan cepat. Pemanasan melebihi suhu optimal adalah penyebab terjadinya *overheating*. Pada proses *hardening overheating* menyebabkan pembentukan butir martensit kasar yang memiliki sifat kerapuhan yang tinggi. *Overheating* ini disebabkan oleh faktor-faktor tertentu seperti :

1. Suhu pemanasan ini adalah suhu austenisasi yang ditentukan untuk mencapai transformasi material yang serupa.
2. Waktu pemanasan adalah waktu lamanya pemanasan untuk mencapai suhu pemanasan tertentu.
3. Waktu penahanan, yaitu waktu yang diperlukan untuk mencapai distribusi suhu yang serupa pada material (Pramono, 2011).

### **2.1.2 Annealing**

*Annealing* adalah proses perlakuan panas untuk baja. Pada proses annealing dilakukan pemanasan baja hingga temperatur (30°C-50°C). Setelah mencapai perubahan yang diinginkan, kemudian baja didinginkan dengan laju pendinginan lambat. Tujuan dari *annealing* adalah untuk melunakkan dan meratakan butirannya, menghilangkan tekanan internal dan meningkatkan kemampuan mesin.

### **2.1.3 Normalizing**

*Normalizing* adalah perlakuan panas yang dilakukan pemanasan baja hingga di atas suhu daerah transformasi, ditahan sampai suhunya merata kemudian didinginkan di udara bebas, bertujuan untuk mendapatkan struktur butiran yang halus dan homogen biasanya dilakukan untuk memperbaiki sifat mekanis.

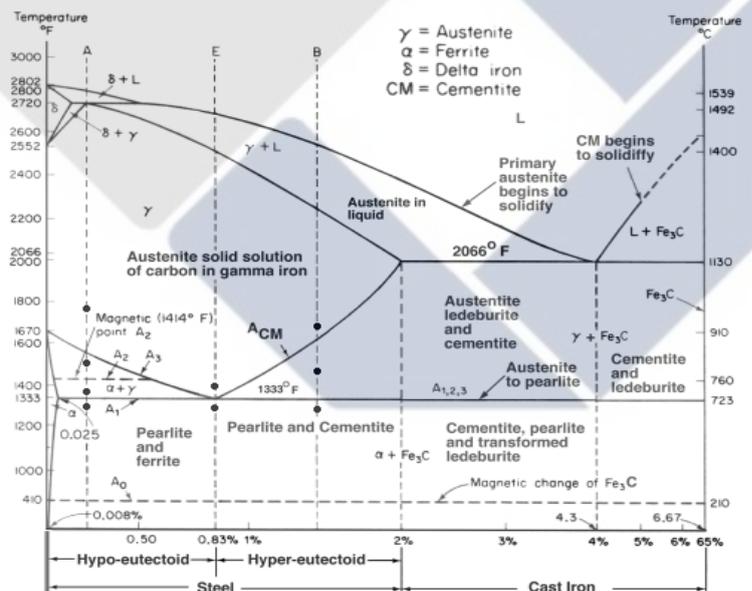
### **2.1.4 Tempering**

*Tempering* adalah proses pemanasan kembali baja yang telah dikeraskan ke suhu kritis (subkritis) untuk mendapatkan sifat ketangguhan dan kekerasan yang lebih baik, dalam hal ini martensit menjadi lebih terstruktur, bagus dan

halus. Temperatur temper tergantung pada sifat yang diinginkan, tetapi biasanya dalam kisaran 180 hingga 650 °C.

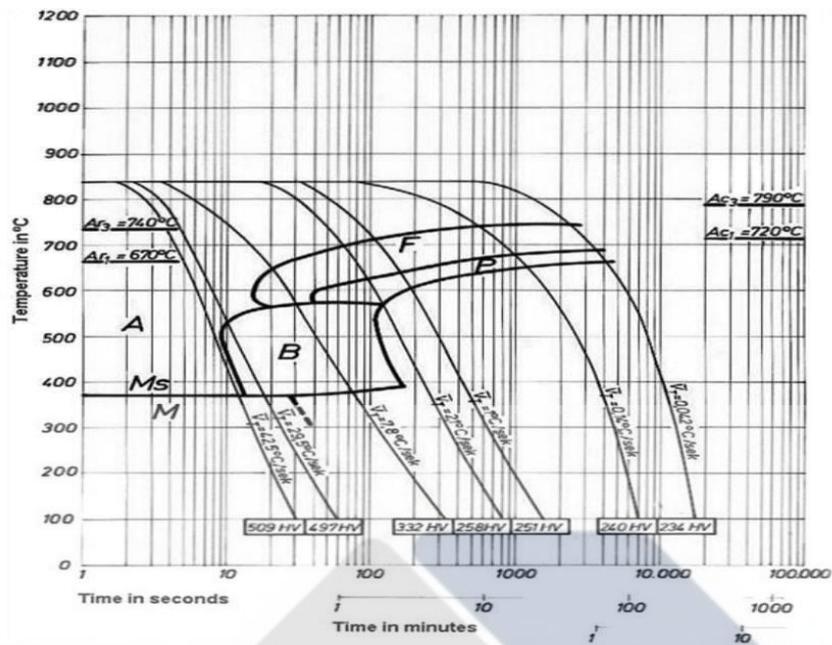
## 2.2 Quenching

*Quenching* merupakan proses pendinginan baja dengan laju pendinginan yang sangat cepat dan telah mencapai temperatur pengerasannya (temperatur austenisasi) untuk mendapatkan kekerasan yang diinginkan. maka terjadi perubahan dari austenit menjadi bainit dan martensit untuk mendapatkan kekuatan dan kekerasan yang tinggi dikarenakan percepatan pendinginan dari temperatur akhir perlakuan. Pengerasan optimal yang bisa didapatkan dalam proses *quenching* sepenuhnya ditentukan oleh banyaknya kadar karbon dan laju pendinginan mengikuti diagram Fe-Fe<sub>3</sub>C seperti yang diperlihatkan pada gambar 2.1 (Bambang Pratowo, 2018).



Gambar 2.1 Diagram Fe-Fe<sub>3</sub>C (blog.ub.ac.id)

Pada Gambar 2.1 menunjukkan diagram fasa Fe-Fe<sub>3</sub>C. Untuk proses heat treatment pada baja terdapat pada diagram dengan kadar karbon dibawah 2%, namun diagram fasa hanya berlaku untuk perlakuan panas pada baja hingga mencair sedangkan untuk proses pendinginan dengan laju kecepatan yang sangat cepat menggunakan diagram CCT (Continuous Cooling Temperatur). Diagram CCT dapat dilihat pada Gambar 2.2.



Gambar 2.2 Diagram CCT Dengan Kandungan Karbon 0,45% C  
(Kirono, Diniardi, & Prasetyo)

Menurut penelitian (Kirono, Diniardi, & Prasetyo) Pada proses *hardening* akan terjadi perubahan struktur, dimana pada proses tersebut akan membentuk struktur seperti ferit, austenite, sementit, dan perlit pada diagram fasa:

### 2.2.1 Austenit

Fasa austenit atau besi gamma ( $\gamma$ ) adalah larutan padat intertisi dengan sel Kristal berupa FCC (*Face Centered Cubic*). Yang dimana ruang antar atomnya lebih besar dari ferit dan pada suhu yang lebih tinggi diantara suhu 910°C hingga 1400°C, pada besi murni maka fasa austenite akan stabil. Pada suhu stabil ini fasa austenit bersifat magnetic pada kondisi apapun. Proses austenisasi seluruh karbon akan larut sebagai larutan padat jika kadar karbon maksimum 2,06% pada suhu 1147°C karena kadar karbon dalam baja umumnya lebih kecil dari 2%. Dalam proses hardening fasa austenit merupakan dasar pembentuk fasa-fasa lainnya.

### 2.2.2 Ferit

Fasa ferit ini merupakan larutan padat intertisi dengan sel Kristal berupa BCC (*Body Centered Cubic*) yang disebut juga besi alpha ( $\alpha$ ). Fasa ini dianggap besi murni karena pada suhu ruang kadar karbonnya hanya 0,008% dan ruang antara atomnya kecil dan rapat sehingga kelarutan karbon sangat kecil. Pada suhu

A1 kadar maksimum fasa ini sebesar 0,02%. Dan pada suhu 768°C ferit bersifat feromagnetik dan ulet.

### **2.2.3 Perlit**

Fasa perlit ini merupakan pаса gabungan dari fasa ferit dan sementit dalam bentuk lamellar yang berselang-seling. Jika laju pendinginan pada fase ini semakin cepat maka butiran yang akan dihasilkan semakin halus dan sifat mekanisnya lebih baik dari pada perlit kasar.

### **2.2.4 Sementit**

Fasa sementit ini juga disebut karbida karena merupakan senyawa intertisi dengan rumus kimia Fe<sub>3</sub>C. Dengan Perbandingan atom Fe dan C yaitu 3 : 1, Pada per unit sel fase ini memiliki sel yang berbentuk kristal yang berisi 12 atom Fe dan 4 atom C. Senyawa ini memiliki sifat keras tetapi rapuh dan kadar karbon maksimum 6,67%. Fase ini dapat meningkatkan kekuatan, ketahanan aus, dan kekerasan pada baja.

### **2.2.5 Bainit**

Fasa ini berbentuk jarum-jarum sementit dengan peletakkan yang acak pada celah ferit yang merupakan gabungan dari fasa ferit dan sementit. Fasa ini tidak terdapat pada diagram Fe<sub>3</sub>C karena fasa ini terbentuk dari fasa austenit yang dilakukan laju pendinginan lebih cepat dari fasa perlit. Untuk mendapatkan fasa bainit 100% maka dilakukan pendinginan isothermal pada suhu tertentu tergantung tipe baja, bainit memiliki sifat lebih keras dari ferit.

### **2.2.6 Martensit**

Martensit merupakan larutan padat intertisi dengan sel yang berbentuk kristal berupa BCT (*Body Centered Tetragonal*) dan kekerasan martensit juga akan jika kadar karbonnya bertambah. Martensit terbentuk dari fasa austenit yang didinginkan dengan laju pendinginan yang sangat cepat, sehingga martensit.

## **2.3 Holding Time (Waktu Tahan)**

*Holding time* merupakan perlakuan untuk mendapatkan kekerasan maksimum dari suatu material dari proses *hardening* dengan menahan suhu untuk mendapatkan pemanasan menyeluruh pada material sehingga bisa membentuk

fase apa yang diinginkan. Tujuan waktu penahanan pada proses tempering adalah agar struktur mikro yang didapat homogen.

## **2.4 Baja**

Baja adalah paduan logam yang terdiri dari besi sebagai unsur utama dan karbon sebagai unsur penguat. Baja memiliki kandungan besi sebesar 97% dan kandungan karbon sebesar 0,2% hingga 2,1% serta unsur campuran lain seperti mangan, krom, vanadium, nikel, silikon, dan lainnya dengan jumlah kadar yang berbeda-beda. Pengaruh utama pada kandungan karbon adalah kekuatan, kekerasan, dan sifat mudah dibentuk. Untuk meningkatkan kekuatan dan kekerasan pada maka dilakukan penambahan karbon namun sebaliknya bisa membuat baja juga menjadi getas serta menurunkan keuletannya (Riadi, 2019). Selain besi, baja juga memiliki beberapa unsur pembentuk lainnya seperti:

### **2.4.1 Karbon (C)**

Karbon merupakan unsur yang dapat meningkatkan kekuatan dan kekerasan baja. Pada baja memiliki kandungan karbon sekitar 0,1% hingga 2,1%, sedangkan unsur pembentuk lainnya dibatasi sesuai kegunaan baja. Karbon bisa meningkatkan kekerasan dan kekuatan tetapi jika karbon berlebihan maka akan menurunkan ketangguhan baja tersebut.

### **2.4.2 Mangan (Mn)**

Mangan dibutuhkan dalam pembuatan baja sehingga mangan terkandung didalam semua baja. Mangan tidak mempengaruhi sifat baja karena kandungan mangan kurang lebih 0,6%. Penambahan unsur mangan juga dapat menaikkan kekuatan tarik pada baja tanpa mengurangi regangan pada baja, sehingga baja memiliki sifat ulet dan kuat.

### **2.4.3 Silikon (Si)**

Silikon merupakan unsur pembentuk ferit, tetapi bukan pembentuk karbida dan unsur silikon juga dimiliki setiap baja dengan kandungan lebih 0,4% sehingga mempunyai pengaruh untuk menaikkan tegangan tarik dan menurunkan laju pendinginan kritis. Unsur silikon pada baja dapat meningkatkan kekerasan, kekuatan, kekenyalan, ketahanan aus, dan ketahanan terhadap panas dan karat. Unsur silikon dapat membentuk grafit sehingga menyebabkan sementit tidak

stabil. Silikon menyebabkan struktur butir semakin halus karena cenderung membentuk partikel oksida, dengan kata lain memperbanyak pengintian kristal dan mengurangi pertumbuhan.

#### **2.4.4 Nikel (Ni)**

Unsur ini sama seperti mangan, karena memiliki sifat yang sama-sama dapat memperbaiki kekuatan, menaikkan keuletan, dan tahan panas. Unsur nikel ini juga dapat menaikkan ketahanan terhadap korosi pada baja paduan jika unsur nikel kurang lebih 25%. Karena nikel bertindak sebagai lapisan penghalang yang berguna melindungi permukaan baja.

#### **2.4.5 Kromium (Cr)**

Penambahan kromium pada baja dapat membuat struktur lebih halus dan membuat baja yang dikeraskan lebih baik, karena kromium dan karbon dapat membentuk karbida sehingga dapat menambah kekuatan tarik dan keplastisan. Kromium juga dapat membentuk lapisan pasif yang berguna untuk melindungi baja dari korosi dan tahan terhadap suhu tinggi.

#### **2.4.6 Kobalt (Co)**

Kobalt dapat meningkatkan kekerasan, tahan aus, dan tahan panas. Pada magnet permanen yang mengandung kobalt mempunyai kepekaan terhadap pemanasan lanjut.

#### **2.4.7 Molibdium (Mo)**

Molibdium dapat meningkatkan kekuatan tarik, batang rentang kemampuan temper menyeluruh, ketahanan panas, batas kelelahan, dan menurunkan kerapuhan. Unsur ini kebanyakan dipadu dengan Co, Ni, dan V dalam ikatan baja.

#### **2.4.8 Vanadium (V)**

Pada baja vanadium memiliki pengaruh yang dapat meningkatkan kekuatan batas rentang keuletan, kekuatan panas, dan ketahanan lelah. Unsur V dalam baja mempunyai keistimewaan yang dapat menurunkan menurunkan kepekaan terhadap sengatan panas yang melewati batas suhu perlakuan panas.

#### **2.4.9 Titanium (Ti)**

Unsur ini banyak digunakan pada bahan kawat las karena ketahanannya hingga suhu 400°C. Jika baja karbon dipadukan dengan titanium akan mempunyai sifat kekerasan yang tinggi, sehingga banyak dipakai sebagai bahan dalam industri, kendaraan perang, kapal udara, dan elemen-elemen yang membutuhkan kekuatan tinggi dan ringan.

#### **2.4.10 Aluminium (Al)**

Unsur Al memiliki tujuan yang sama dengan Si, untuk memberikan keuletan dan kemampuan pada baja serta meningkatkan ketahanan terhadap korosi.

### **2.5 Baja Karbon**

Baja karbon adalah unsur gabungan antara besi dan karbon dengan sedikit unsur tambahan seperti Si, Mn, P, S, dan Cu. Sifat baja karbon tergantung kandungan karbonnya, jika kandungan karbon ditambahkan maka kekuatan dan kekerasan akan bertambah (Wiryosumarto, 2004). Baja karbon dibagi beberapa jenis, yaitu:

#### **2.5.1 Baja Karbon Rendah**

Baja karbon rendah adalah baja karbon yang memiliki kandungan karbon dibawah 0,3%. Baja ini juga sering disebut dengan baja ringan. Jenis baja ringan yang sering digunakan adalah jenis *cold roll steel* dengan kandungan karbon 0,08% - 0,3% yang biasa digunakan untuk *body* kendaraan.

#### **2.5.2 Baja Karbon Sedang**

Baja karbon sedang adalah baja yang memiliki kandungan karbon 0,3% - 0,6%, sehingga baja karbon sedang memiliki kekuatan yang dari baja karbon rendah dan mempunyai perlakuan panas yang tinggi, tidak mudah dibentuk oleh mesin, lebih sulit dilakukan pengelasan, dan dapat dikeraskan dengan baik. Baja ini sering digunakan pada roda gigi, pegas, poros, dan komponen mesin yang membutuhkan kekuatan tinggi.

### 2.5.3 Baja Karbon Tinggi

Baja karbon tinggi adalah baja karbon yang memiliki kandungan karbon paling tinggi yakni 0,6% - 1,7% C dan memiliki ketahanan panas yang tinggi, kekerasan tinggi, namun keuletannya lebih rendah. Baja ini memiliki kekuatan tarik paling tinggi dan banyak digunakan pada material perkakas.

## 2.6 Baja St 60

Baja St 60 adalah baja karbon yang memiliki kandungan unsur bukan besi seperti karbon, silikon, dan mangan sebagai unsur utamanya (Salmon CG, JE Johnson, 1990), karbon dan mangan adalah unsur utama untuk menaikkan kekuatan baja. Baja St 60 banyak digunakan pada poros dan bangunan kapal. tapi masih banyak kegagalan yang terjadi, misalnya kelebihan beban dan pengaruh suhu yang dapat menyebabkan perubahan struktur material. St 60 sendiri merupakan kepanjangan dari *Steel* dan angka 60 menunjukkan kekuatan tarik maksimal baja yaitu  $600 \text{ N/mm}^2$ .

### 2.6.1 Struktur Baja St 60

Baja st 60 memiliki kandungan karbon sebesar 0,42 – 0,45 % dan termasuk ke golongan baja karbon sedang yang biasa digunakan pada komponen–komponen seperti roda gigi, as propeller, baut, konstruksi kapal, dan lainnya. Baja ini mempunyai komposisi yang dapat dilihat pada Tabel 2.1 .

Tabel 2.1 Komposisi Kimia Baja St 60

Komposisi baja st 60					
Kode	C%	Si%	Mn%	P%	S%
St 60	42	15	6	-	-
	48	35	9	30	35

## 2.7 Air Laut

Air laut adalah air murni yang terlarut oleh zat padat dan gas. Sebagai contoh air 1000 g berisi kurang lebih 35 g senyawa terlarut seperti garam. Dapat disimpulkan bahwa 96,5 % air laut adalah air murni dan 3,5 % adalah zat terlarut. Zat yang banyak terlarut disebut salinitas. Zat-zat tersebut meliputi garam anorganik, senyawa organik yang berasal dari organisme hidup, dan gas-gas

terlarut. Air laut adalah zat pelarut yang sangat berdaya guna, yang bisa melarutkan zat-zat lain dalam jumlah besar dari pada zat cair lainnya. Pada penelitian ini menggunakan air laut. Karena pada penelitian (Fatoni Z. , 2015) dapat disimpulkan bahwa baja yang dibakar lalu didinginkan dengan air laut lebih keras dari air tawar, karena air laut mengandung asam yang memiliki kandungan karbon yang lebih tinggi dari air tawar yang membuat struktur mikro baja lebih keras dan lebih tinggi dari air tawar (fontana m.g., 1987).

## 2.8 Uji Impak

Uji impak adalah uji ketangguhan untuk mengetahui kerapuhan atau daktilitas suatu material. Hasil uji impak tidak bisa membaca kondisi perpatahan secara langsung dikarenakan pengujian ini tidak dapat mengukur gaya tiga dimensi dan tidak dapat mendeteksi perbedaan yang tidak bisa dibaca oleh tegangan-regangan. Ada dua metode uji impak yaitu metode *Charpy* dan metode *Izod*. Metode *Charpy* banyak digunakan di Amerika Serikat, sedangkan metode *Izod* banyak digunakan di Eropa. Batang uji metode *Charpy* memiliki ukuran luas penampang 10 mm x 10 mm dan takik berbentuk V dengan sudut 45°. Batang uji *Charpy* kemudian diletakkan secara horizontal pada batang penumpu dan dibebankan secara tiba-tiba dibelakang tepi takik oleh pendulum yang berayun dengan kecepatan pembebanan  $\pm 5\text{m/s}$ . Batang uji diberi energi untuk menekuk pada laju regangan tinggi hingga patah dalam orde  $10^3\text{s}^{-1}$  (Nuhgraha & dkk, 2020).

Untuk mencari energi serap tersebut maka digunakan rumus sebagai berikut (Pribadi, 2018) :

Energi diserap

$$\text{Energi diserap} = E_p - E_m \text{ (Joule)} \dots \dots \dots (2.1)$$

$$\text{Energi diserap} = m \cdot g \cdot h_0 - m \cdot g \cdot h_1 \dots \dots \dots (2.2)$$

$$\text{Energi diserap} = m \cdot g (h_0 - h_1) \dots \dots \dots (2.3)$$

$$\text{Energi diserap} = m \cdot g (L(1 - \cos \alpha) - L(1 - \cos \beta)) \dots \dots \dots (2.4)$$

$$\text{Energi diserap} = m \cdot g \cdot L(\cos \beta - \cos \alpha) \dots \dots \dots (2.5)$$

$$\text{Harga impak} = \text{energi yang diserap dibagi luas patahan} \dots \dots \dots (2.6)$$

Keterangan :

$E_p$	= Energi potensial
$E_m$	= Energi mekanik
$m$	= massa (kg)
$g$	= gravitasi (9,8 m/s <sup>2</sup> )
$L$	= panjang lengan pendulum (m)
$\text{Cos } \alpha$	= sudut akhir pendulum
$\text{Cos } \beta$	= sudut awal pendulum

## 2.9 Efek Takik (*Notch*)

Menurut James Marrow, takik pada batang uji memiliki dua efek, yang keduanya dapat mengurangi energi impak. Pertama, konsentrasi tegangan takik menyebabkan leleh atau deformasi plastis takik. Daerah plastis yang berkembang pada takik dapat mengurangi total deformasi plastik dari batang uji. Kedua, membatasi deformasi takik meningkatkan tegangan tarik di daerah plastis. Tingkat pembatasan tergantung pada kompleksitas takik. Peningkatan tegangan tarik mendorong perpatahan dan menurunkan usaha yang dilakukan oleh deformasi plastis sebelum perpatahan terjadi. Beberapa bahan lebih sensitif terhadap takik daripada yang lain, dan standar jari-jari ujung takik serta kedalaman takik memungkinkan perbandingan antara bahan yang berbeda. Selanjutnya, uji impak *Charpy* menunjukkan takik dari batang uji (Zuhaimi, 2016).

## 2.10 Sifat–Sifat Material

Material memiliki beberapa sifat yang khusus untuk dilakukan perlakuan pada bidang teknik mesin, sifat-sifat ini secara umum dibagi menjadi tiga sifat yaitu, sifat mekanik, sifat fisik, sifat teknologi. Sifat-sifat bahan ini dijelaskan secara rinci di bawah ini:

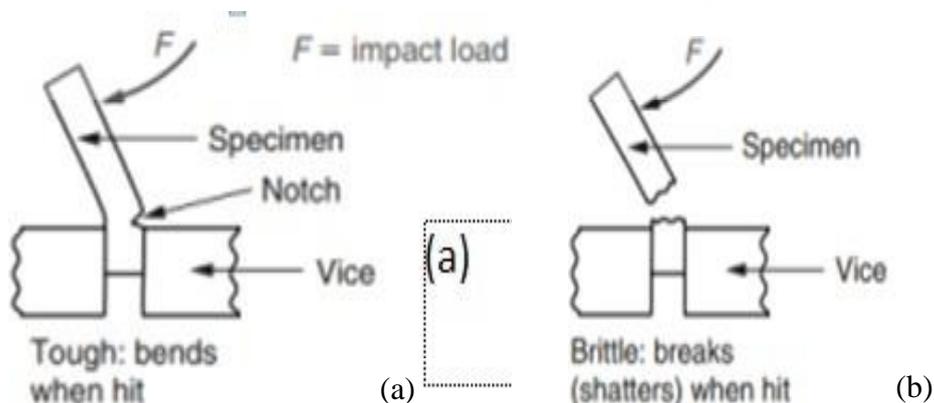
### 2.9.1 Sifat mekanik

Sifat mekanik suatu material pada dasarnya adalah salah satu faktor terpenting. Karena sifat mekanik dapat didefinisikan sebagai respons atau perilaku material terhadap beban yang diberikan dapat berupa; Gaya, torsi, atau kombinasi keduanya. sebenarnya beban material dibagi menjadi dua bagian yaitu beban statis

dan beban dinamis. perbedaan Keduanya hanyalah fungsi waktu di mana beban statis tidak tergantung. Pembebanan dinamis adalah beban bergerak secara tiba-tiba, biasanya dilakukan untuk mendapatkan sifat mekanik suatu material. Pengujian mekanis terutama bersifat destruktif (pengujian destruktif), Dapatkan kurva atau data dari tes yang mencirikan keadaan bahan ini. Setiap bahan uji dibuat dalam bentuk sampel kecil atau spesimen. Spesimen dapat mewakili bahan apapun selama komposisi dan pemrosesan yang sama. Tes yang sesuai hanya dapat ditemukan dalam akurasi pengukuran, kemampuan mesin, kualitas bahan atau kuantitas cacat dan akurasi pembuatan sampel. Sifat mekanik ini meliputi kekuatan tarik, kekuatan impak, fleksibilitas, keuletan, kekerasan, ketahanan abrasi, kekuatan impak, ketahanan mulur, daya leleh dan sebagainya.

Menurut (Rokhman, 2019) sifat mekanik meliputi yaitu;

- Ketangguhan adalah kemampuan suatu material untuk menahan benturan/penghancuran. material menjadi getas jika pecah ketika dikenai beban benturan maka material tersebut getas(misalnya kaca), sedangkan material tahan lama dapat menahan pecah ketika dikenai beban benturan maka material tersebut tangguh (misalnya karet). Setiap material yang tidak menunjukkan atau hanya mengalami perambatan retak permukaan yang sedang dikatakan kuat. Tangguh dan getasnya material dapat dilihat pada Gambar 2.3 .



Gambar 2.3 Efek Ketangguhan (a) Ulet dan (b) Getas  
(<https://taufiqurrokhman.files.wordpress.com>)

- Kekuatan tekan adalah kemampuan suatu material untuk menahan beban tekan tanpa hancur atau rusak.
- Kekuatan tarik adalah kemampuan suatu material untuk menahan beban tarik (tarik) tanpa putus.
- Kuat geser adalah kemampuan suatu material untuk menahan beban perpindahan/geser atau lateral tanpa mengalami kegagalan.
- Keuletan adalah istilah yang digunakan ketika deformasi plastis terjadi karena penerapan beban tarik. Bahan ulet menggabungkan sifat plastisitas dan daktilitas (kekuatan tarik) sehingga mereka dapat meregang atau meregang dan mempertahankan bentuknya ketika regangan ini dihilangkan.
- Kekerasan adalah kemampuan suatu material untuk menahan goresan (abrasi) atau lekukan (indentasi) oleh benda keras lain. Kekerasan juga merupakan indikasi ketahanan aus suatu material.

### **2.9.2 Sifat fisik**

Sifat terpenting kedua ketika memilih bahan adalah sifat fisiknya. Sifat fisik perilaku atau sifat bahan yang bukan karena pembebanan seperti efek pemanasan, pendinginan, dan arus yang lebih besar mengacu pada struktur material. Sifat fisik bahan yaitu suhu cair, konduktivitas termal dan kapasitas panas spesifik. Struktur suatu material erat kaitannya dengan sifat mekaniknya. Hal ini dapat dikendalikan melalui beberapa proses pengolahan fisik. Dengan adanya perlakuan fisik akan membawa penyempurnaan dan pengembangan material bahkan penemuan material baru.

### **2.9.3 Sifat teknologi**

Sifat merupakan sifat yang sangat penting dalam pemilihan material karena sifat teknologi memiliki kemampuan suatu bahan untuk dibentuk atau diolah, dengan kekuatan tinggi dapat diperoleh dengan membentuk seperti *rolling* atau *forging*. Dimungkinkan untuk memproduksi produk dengan bentuk yang kompleks dengan proses pengecoran. Karakteristik teknis termasuk mampu las, *Castability*, *machinability* dan *formability*. Sifat terdiri dari Sifat mekanik, yaitu

sifat material terhadap benturan sifat fisik ditentukan oleh komposisi yang terkandung dalam material itu sendiri.

### **2.11 Metode Eksperimental**

Metode eksperimental adalah eksperimen yang menggabungkan level-level semua faktor dalam suatu eksperimen dengan level-level faktor lainnya. Tingkat faktor dapat digabungkan dengan mengalikan tingkat satu faktor dengan tingkat faktor lain. Eksperimen ini memungkinkan anda untuk menentukan efek individual dari faktor uji dan efek gabungan dari setiap faktor uji. Anda dapat menggunakan eksperimental.

Untuk mengamati perubahan dalam berbagai variabel respons karena perubahan tingkat satu faktor terhadap faktor lain. Keuntungan dari percobaan ini adalah percobaan faktorial dapat menggabungkan beberapa percobaan faktor tunggal, sehingga percobaan ini secara bersamaan dapat menghemat waktu, alat, bahan, modal dan tenaga kerja yang tersedia untuk mencapai semua tujuan percobaan faktor tunggal, dan dapat mendeteksi percobaan faktor, bahwa ada Percobaan, adanya pekerjaan, kesamaan antar faktor, dan pengaruh dua faktor atau lebih. Selain manfaat dari metode eksperimental, ia juga memiliki hal-hal berikut: semakin banyak faktor yang dapat dicoba, semakin besar kombinasi perlakuan, memperbesar ukuran eksperimen dan mengurangi akurasi.

### **2.12 Anova**

*Anova (Analysis of variances)* biasa digunakan untuk menganalisis perbedaan dari banyaknya variabel. Teknik analisis komparatif dengan menggunakan tes “t” yakni dengan mencari perbedaan yang signifikan dari dua buah mean hanya efektif bila jumlah variabelnya dua. Untuk mengatasi hal tersebut ada teknik analisis komparatif yang lebih baik yaitu *analysis of variances* yang disingkat *anova*. *Anova* digunakan untuk membandingkan rata-rata populasi bukan ragam populasi. Jenis data yang tepat untuk *anova* adalah nominal dan ordinal pada variabel bebasnya, jika data pada variabel bebasnya dalam bentuk interval atau *ratio* maka harus diubah dulu dalam bentuk ordinal atau nominal.

(singgih, 2008) Sedangkan data interval atau *ratio* variabel terikatnya. Adapun asumsi dasar yang harus terpenuhi dalam analisis varian adalah :

a. Normalitas

Untuk mencapai data berdistribusi normal, maka distribusi data harus berdistribusi normal. Menambah jumlah sampel dalam kelompok.

b. Homogenitas

Setiap kelompok harus berasal dari populasi yang sama dengan variansi yang sama. Jika ukuran sampel untuk setiap kelompok sama, variansinya mungkin serupa ini akan diabaikan. Namun, jika jumlah sampel pada setiap kelompok tidak sama, varians itu sangat penting.

c. Observasi bebas

Sampel harus diambil secara acak. Akibatnya, setiap nilai pengamatan informasi bebas.

*Anova* digunakan lebih akurat untuk setiap jumlah sampel yang sama. Jumlah kelompok, misalnya setiap variabel sampel atau responden dalam setiap kelompok Sama dengan 250 orang.

*Anova* dapat digolongkan kedalam beberapa kriteria, yaitu :

1. *One way anova*

*One way anova* adalah *anova* yang didasarkan pada pengamatan satu faktor yang menimbulkan variasi level.

2. *Two way anova*

*Two way anova* merupakan *anova* yang didasarkan pada pengamatan dua faktor yang menimbulkan variasi level.

3. *Manova*

*Manova* merupakan *anova* yang didasarkan pada pengamatan lebih dari dua faktor.

### 2.13 *Two Way Anova*

*Two way anova* ini digunakan bila perlu untuk mempertimbangkan tidak hanya satu faktor (perlakuan) yang menyebabkan variabilitas yang terjadi, tetapi juga faktor-faktor lain yang lain dapat menyebabkan variabilitas dalam respon.

Jika faktor-faktor tersebut dikelompokan (diblokir) sehingga keanekaragaman antar kelompok sangat tinggi, tetapi keanekaragaman kelompok itu sendiri rendah, maka faktor kedua harus dimasukkan sebagai sumber keanekaragaman. Tujuan dan pengujian *two way anova* adalah untuk melihat apakah perbedaan kriteria uji mempengaruhi hasil yang diinginkan.

Rumus hitung pada *two way anova* dapat dilihat pada Tabel 2.2 sebagai berikut :

Tabel 2.2 Analisis Ragam Klasifikasi Dua Arah Sumber

Sumber keragaman	Jumlah kuadrat	Derajat bebas	Kuadrat tengah	F hitung
Nilai tengah baris	JKB	r-1	$S_{r-1}^2 = \frac{JKB^1}{r-1}$	$F_1 = \frac{S_1^2}{S_3^2}$
Nilai tengah kolom	JKK	k-1	$S_{c-1}^2 = \frac{JKK}{c-1}$	$F_2 = \frac{S_2^2}{S_3^2}$
Galat	JKG	(r-1)(c-1)	$S_3^2 = \frac{JKG}{(r-1)(c-1)}$	
Total	JKT	rc-1		

Sumber: (Walpole & E., 1995)

$$JKT = \sum_{i=1}^r \sum_{j=1}^c x_{ij}^2 - \frac{T_{..}^2}{rc} \dots \dots \dots (2.7)$$

$$JKB = \frac{\sum_{i=1}^r T_i^2}{c} - \frac{T_{..}^2}{rc} \dots \dots \dots (2.8)$$

$$JKK = \frac{\sum_{j=1}^c T_{.j}^2}{r} - \frac{T_{..}^2}{rc} \dots \dots \dots (2.9)$$

$$JKG = JKT - JKB - JKK \dots \dots \dots (2.10)$$

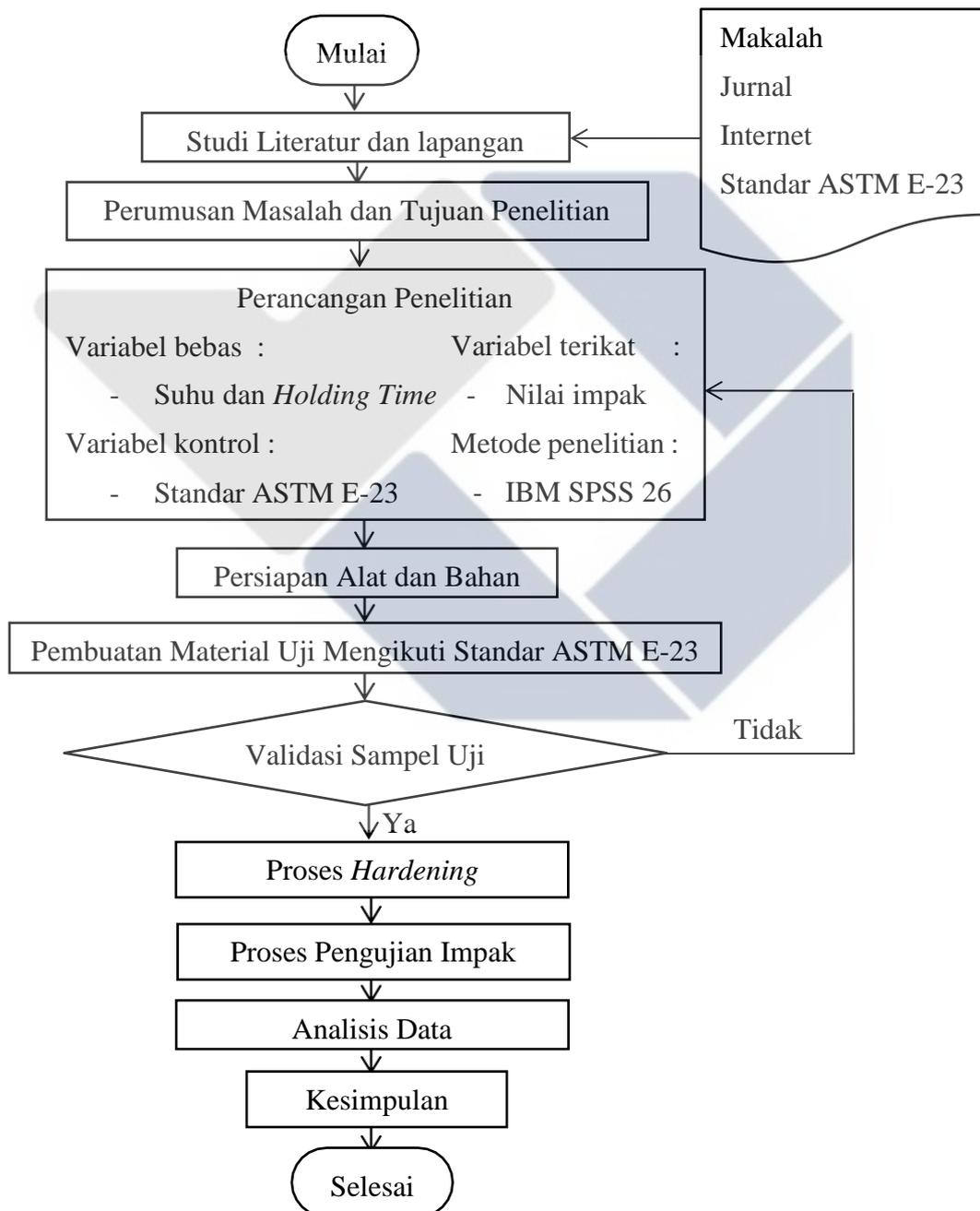
Keterangan :

- JKT : Jumlah Kuadrat Total
- JKB : Jumlah Kuadrat Baris
- JKK : Jumlah Kuadrat Kolom
- JKG : Jumlah Kuadrat Galat

## BAB III METODOLOGI PENELITIAN

### 3.1 Diagram Alir Penelitian

Diagram alir dapat dilihat pada Gambar 3.1.



Gambar 3.1 Diagram Alir

### **3.2 Tempat Penelitian**

Penelitian ini dilakukan di Laboratorium Politeknik Manufaktur Negeri Bangka Belitung.

### **3.3 Rancangan Penelitian**

#### **3.3.1 Variabel bebas**

Variabel bebas pada penelitian ini adalah suhu dan *holding time* yang digunakan.

#### **3.3.2 Variabel terikat**

Variabel terikat dalam penelitian ini adalah nilai ketangguhan hasil dari uji impak baja St 60.

#### **3.3.3 Variabel kontrol**

Variabel kontrol pada penelitian ini adalah dimensi sampel uji mengikuti standar ASTM E-23 adalah P= 55 mm dan A= 10 X 10 mm.

#### **3.3.4 Metode penelitian**

Metode penelitian pada penelitian ini menggunakan IBM SPSS 26

### **3.4 Alat dan Bahan penelitian**

Dalam penelitian ini diperlukan bahan dan peralatan dalam penelitian ini antara lain:

#### **3.4.1 Bahan penelitian**

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

##### **➤ Baja St 60**

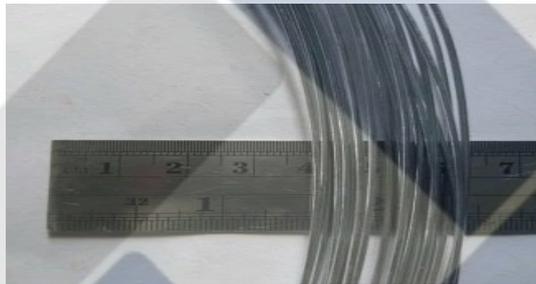
Baja St 60 digunakan sebagai sampel uji dalam proses penelitian ini. dalam penelitian menggunakan standar ASTM E-23 memiliki luas penampang persegi dengan luas (10mm x 10mm) dan panjang 55mm dan mempunyai takik berbentuk v yang memiliki sudut 45° dengan jari-jari 0,25mm dan kedalaman 2mm. Baja St 60 dapat dilihat pada Gambar 3.2.



Gambar 3.2 Baja St 60

➤ **Kawat baja**

Kawat baja digunakan sebagai pengikat sampel uji untuk mempermudah pengangkatan sampel uji pada proses *hardening*. Kawat baja dapat dilihat pada Gambar 3.3.



Gambar 3.3 Kawat Baja

➤ **Media pendingin**

Pada penelitian ini media pendingin yang digunakan adalah air laut. Tujuan menggunakan air laut. Air laut dapat dilihat pada Gambar 3.4.



Gambar 3.4 Air Laut

### 3.4.2 Peralatan penelitian

Peralatan yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

➤ **Mesin gergaji potong DOALL Model C-916**

Mesin gergaji potong digunakan untuk memotong sampel uji. Mesin gergaji potong dapat ditunjukkan seperti pada gambar 3.5 dibawah ini:



Gambar 3.5 Gergaji Potong

➤ **Tungku pemanas**

Tungku pemanas digunakan untuk memanaskan sampel uji pada proses *hardening*. Tungku pemanas yang digunakan tungku pemanas *Nabertherm made in Germany*. Tungku pemanas dapat dilihat pada gambar 3.6 dibawah ini:



Gambar 3.6 Tungku Pemanas

➤ **Alat uji impact**

Alat uji impact digunakan untuk mengetahui hasil uji impact dari nilai ketangguhan sampel uji setelah dilakukan perlakuan panas. Alat uji impact yang digunakan dapat ditunjukkan seperti pada gambar 3.7 dibawah ini:



Gambar 3.7 Alat Uji Impact

Tabel 3.1 Spesifikasi Alat Uji Impak JB-300B

Spesifikasi	Nilai
Dampak energy	150/300J
Jarak antara Pendulum poros dan titik dampak	750mm
Dampak kecepatan	5.2 m/s
Naik sudut port	150 °
Akurasi sudut	0.1 °

Sumber : (<https://indonesian.alibaba.com>)

➤ **Tang**

Tang digunakan untuk memotong kawat. Tang yang digunakan adalah tang kombinasi. Tang dapat ditunjukkan seperti pada gambar 3.8 dibawah ini:



Gambar 3.8 tang

➤ **Jangka sorong**

Jangka sorong digunakan untuk mengukur sampel uji setelah pemotongan. Jangka sorong dapat ditunjukkan seperti pada gambar 3.9 dibawah ini:



Gambar 3.9 Jangka sorong

### 3.5 Pembuatan Material Uji Mengikuti Standar ASTM E-23

Proses pembuatan material uji mengikuti langkah-langkah berikut ini:

- Material uji dibuat menggunakan mesin gergaji potong DOALL Model C-916. Pemotongan batang uji dengan ukuran panjang 55 mm dan dengan luas penampang 10 x 10 mm. jumlah sampel uji yang dibuat sebanyak 30 Pcs. Pembuatan sampel uji dapat dilihat pada Gambar 3.10 berikut.



Gambar 3.10 Pembuatan Batang Uji

- Membuat takik dengan sudut  $45^{\circ}$  pada tengah-tengah sampel uji menggunakan mesin frais dengan kedalaman 2mm. Pembuatan takik dapat dilihat pada Gambar 3.11 berikut.



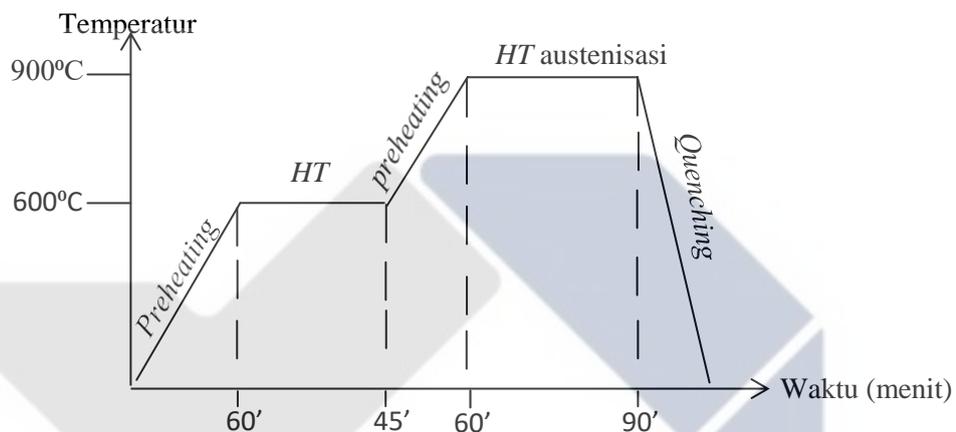
Gambar 3.11 Pembuatan Takik  $45^{\circ}$

### 3.6 *Hardening*

*Hardening* dilakukan setelah persiapan bahan dan peralatan selesai. Untuk tahapan proses sebagai berikut:

1. *Preheating* merupakan pemanasan awal untuk *shock temperature* yang menyebabkan terjadinya suatu keretakan. Proses ini dilakukan dengan waktu 60 menit.
2. *Holding time* pemanasan awal merupakan penahanan waktu yang dilakukan untuk pemanasan menyeluruh terhadap sampel uji. Penahanan waktu ini dilakukan dengan waktu tahan 45 menit pada temperatur  $650^{\circ}\text{C}$ .

3. *Holding time* austenisasi merupakan penahanan waktu untuk pemanasan lanjutan setelah dilakukan pemanasan awal. Pemanasan ini dilakukan sampai temperatur austenisasi dengan waktu tahan 30, 60, dan 90 menit.
4. *Quenching* merupakan proses pencelupan logam pada media pendingin yang dilakukan dengan pendinginan cepat. Proses pendinginan cepat dilakukan disaat suhu telah mencapai temperatur austenisasi dan *holding time* yang telah ditentukan dengan menggunakan media pendingin air laut.



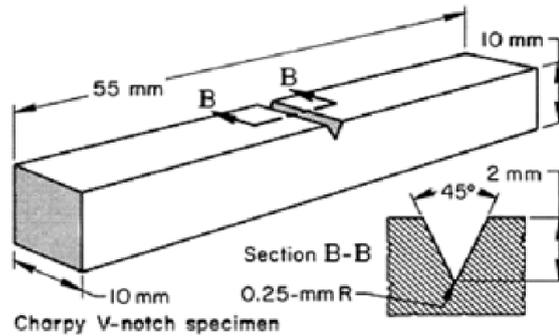
Gambar 3.12 Diagram Proses *Hardening*

### 3.7 Uji Impak

Pada penelitian ini uji impak dilakukan menggunakan metode *Charpy*. Uji impak pada spesimen yang telah dilakukan perlakuan bertujuan untuk mengetahui nilai ketangguhan baja akibat variasi suhu *hardening* dan *holding time* sehingga diketahui perubahan ketangguhan serta ketangguhan rata-rata dari semua sampel uji. Langkah-langkah yang dilakukan untuk mengamati nilai ketangguhan pada penelitian ini:

1. Membuat takikan sebesar sudut 45° ditengah permukaan spesimen.
2. Melakukan uji impak menggunakan alat uji impak metode *charpy*.

Pengujian ini akan dilakukan sebanyak 3 benda kerja untuk setiap variabel yang terikat. Bentuk spesimen bisa dilihat pada gambar 3.13 dibawah ini.



Gambar 3.13 Bentuk *Specimen Standar ASTM E-23* (researchgate.net)

Lembar pengamatan dapat dilihat pada Tabel 3.2 berikut :

Tabel 3.2 Lembar Pengamatan Pengujian Impak Setelah Perlakuan

Suhu ( °C )	Holding time (menit)	Banyak sampel			Rata – rata Harga impak (J/mm <sup>2</sup> )
		1	2	3	
Tanpa perlakuan		R1	R2	R3	$\bar{x}$ R1R2R3
	30 menit	A1	A2	A3	$\bar{x}$ A1A2A3
	900	60 menit	B1	B2	B3
900	90 menit	C1	C2	C3	$\bar{x}$ C1C2C3
	30 menit	D1	D2	D3	$\bar{x}$ D1D2D3
	930	60 menit	E1	E2	E3
930	90 menit	F1	F2	F3	$\bar{x}$ F1F2F3
	30 menit	G1	G2	G3	$\bar{x}$ G1G2G3
	950	60 menit	H1	H2	H3
950	90 menit	I1	I2	I3	$\bar{x}$ I1I2I3

### 3.7 Analisis Data

Analisis data pada penelitian ini menggunakan *two way anova*. Cara perhitungan manual *two way anova* adalah sebagai berikut:

a. Menentukan hipotesis

Pada penelitian ini menggunakan hipotesis:

- $H_0$  : Tidak terdapat pengaruh suhu *hardening*
- $H_1$  : Terdapat pengaruh suhu *hardening*

b. Menentukan  $\alpha$

Dalam penelitian ini menggunakan signifikan  $\alpha$  yaitu 0,05 (5%).

c. Menentukan Kriteria Pengujian

Kriteria uji yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

- Jika nilai  $F_{hitung} < \text{nilai } F_{tabel} (\alpha = 5\%)$ , maka  $H_0$  diterima dan  $H_1$  ditolak dengan kata lain tidak ada pengaruh suhu *hardening* terhadap harga impak.
- Jika nilai  $F_{hitung} > \text{nilai } F_{tabel} (\alpha = 5\%)$ , maka  $H_0$  ditolak dan  $H_1$  diterima dengan kata lain ada pengaruh suhu *hardening* terhadap harga impak.

d. Statistik Uji

Dalam statistik uji maka langkah-langkah yang dilakukan adalah sebagai berikut:

- 1) Membuat tabel penolong
- 2) Menentukan jumlah kuadrat (JK)
- 3) Menentukan derajat bebas (db)
- 4) Menentukan nilai ragam
- 5) Mencari  $F_{tabel}$  dan  $F_{hitung}$
- 6) Membuat tabulasi ragam
- 7) Membandingkan  $F_{hitung}$  dengan  $F_{tabel}$

## BAB IV

### HASIL DAN PEMBAHASAN

#### 4.1 Hasil Pengujian

Perhitungan sampel uji impact dengan bentuk mengikuti standar ASTM E-23 yaitu panjang = 55mm, luas penampang 10 x 10 mm, dan sudut impact 45° dengan kedalaman = 2mm. Hasil pengujian setelah perlakuan dapat dilihat pada Tabel 4.1 berikut :

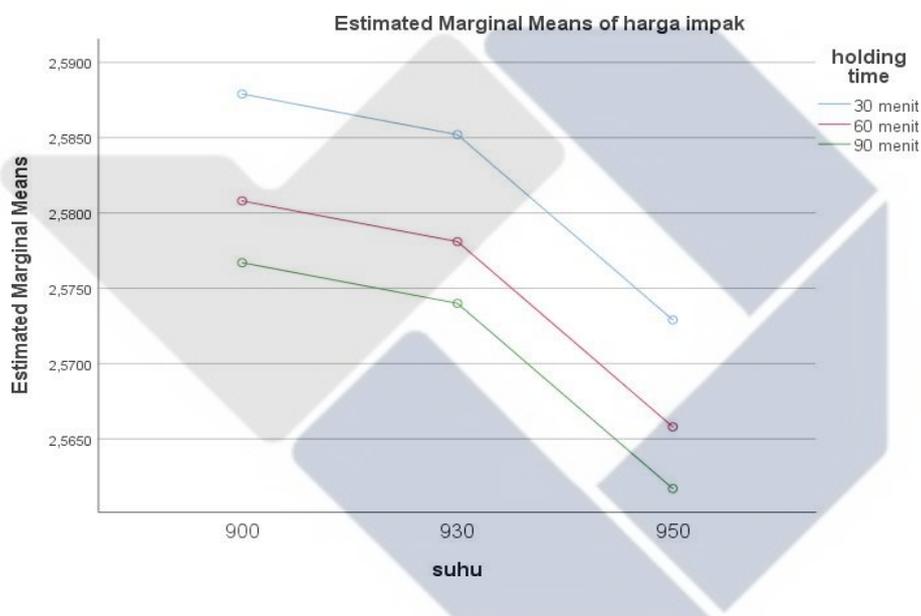
Tabel 4.1 Hasil Perhitungan Harga Impact Setelah Perlakuan

Suhu ( °C )	<i> Holding time(menit)</i>	Banyak sampel			Rata – rata Harga impact (J/mm <sup>2</sup> )
		1	2	3	
Tanpa perlakuan		1,6988	1,6988	1,6988	1,6988
	30 menit	2,593368	2,593368	2,593368	2,593368
900	60 menit	2,579306	2,576181	2,572954	2,576147
	90 menit	2,57458	2,576181	2,576181	2,575647333
	30 menit	2,593368	2,593368	2,562652	2,5831293
930	60 menit	2,577757	2,576181	2,57458	2,576172667
	90 menit	2,576181	2,569622	2,588056	2,577953
	30 menit	2,566188	2,559013	2,582327	2,569176
950	60 menit	2,576181	2,567918	2,572954	2,572351
	90 menit	2,576181	2,569622	2,530696	2,558833

Berdasarkan tabel 4.1 dapat dilihat bahwa variasi suhu dan *holding time* memiliki pengaruh walaupun tidak signifikan. Untuk hasil impact terbaik dapat dilihat pada suhu 900°C dengan *holding time* 30 menit mengalami kenaikan sebesar 52,7% dari ketangguhan baja tanpa perlakuan yang memiliki nilai rata-rata impact yaitu 2,5934 J/mm<sup>2</sup>, sedangkan pada suhu 950°C dengan *holding time*

90 menit mengalami kenaikan sebesar 50,7% dan memiliki nilai impak rata-rata terendah yaitu sebesar 2,5602 J/mm<sup>2</sup>.

Menurut Gambar 4.1 grafik hasil impak dapat disimpulkan bahwa semakin tinggi suhu maka hasil impak yang didapatkan juga semakin rendah. Hal ini berbanding lurus dengan penelitian Lagiyono, Suwandono, Mukhammad Masykur yang menyimpulkan bahwa “terdapat hubungan antara suhu dengan harga impak, ini berarti bahwa jika suhu diperbesar atau dikurangi maka harga impaknya akan menurun atau meningkat”. Grafik hasil pengujian impak dapat dilihat pada Gambar 4.1.



Gambar 4.1 Grafik Hasil Pengujian Impak

## 4.2 Hasil Pengolahan Data

Langkah-langkah yang dilakukan dalam menghitung *two way anova* adalah sebagai berikut:

### i. Hipotesis

Hipotesis dengan faktor suhu

H<sub>0</sub>: Tidak terdapat perbedaan harga impak yang signifikan terhadap variasi suhu *hardening* pada baja St 60.

H<sub>1</sub>: Terdapat perbedaan harga impak yang signifikan terhadap variasi suhu *hardening* pada baja St 60.

Hipotesis penelitian dengan faktor *holding time*

H<sub>0</sub>: Tidak terdapat perbedaan harga impact yang signifikan terhadap variasi *holding time* pada baja St 60.

H<sub>1</sub>: Terdapat perbedaan harga impact yang signifikan terhadap variasi *holding time* pada baja St 60.

ii. Menentukan ( $\alpha$ )

$\alpha = 0,05$  (5%)

iii. Kriteria uji

- Jika nilai  $F_{hitung} < \text{nilai } F_{tabel}$  ( $\alpha = 5\%$ ), maka H<sub>0</sub> diterima dan H<sub>1</sub> ditolak dengan kata lain tidak ada pengaruh suhu *hardening* terhadap ketangguhan baja St 60.
- Jika nilai  $F_{hitung} > \text{nilai } F_{tabel}$  ( $\alpha = 5\%$ ), maka H<sub>0</sub> ditolak dan H<sub>1</sub> diterima dengan kata lain ada pengaruh suhu *hardening* terhadap ketangguhan baja St 60.

iv. Statistika uji

$$F_{hitung} = \frac{S^2_{perlakuan}}{S^2_{galat}}$$

- Membuat tabel penolong. Tabel penolong dapat dilihat pada Tabel 4.2 berikut :

Tabel 4.2 Tabel Penolong Perhitungan *Two Way Anova*

suhu (°C)	<i>holding time</i>			total (xnj)	rata-rata (xnj)
	30 menit	60 menit	90 menit		
<b>900</b>	2,593368	2,576147	2,57564733	7,74516233	2,58172078
<b>930</b>	2,58312933	2,57617267	2,577953	7,737255	2,579085
<b>950</b>	2,569176	2,572351	2,558833	7,70036	2,56678667
<b>total tjb</b>	7,74567333	7,72467067	7,71243333	23,1827773	7,72759244
<b>rata-rata (tjb)</b>	2,58189111	2,57489022	2,57081111	7,72759244	

- Total nilai pada baris.

$$X_{bj} = X_{11} + X_{12} + X_{13} + \dots + X_{ij}, = 7,74516233$$

- Menentukan rata- rata pada baris

$$\bar{x}_b = \frac{\sum x_{bj}}{j}, X_b = 2,58172078$$

- Total nilai pada kolom

$$T_{bj} = X_{11} + X_{21} + X_{31} + \dots + X_{jn} = 7,74567333$$

- Menentukan rata- rata pada kolom,

$$\bar{x}_j = \frac{\sum x_{j}}{n}, j = 2,58189111$$

- Menentukan rata- rata populasi (b x k),

$$\bar{x} = \frac{\sum t_{bj}}{bj}, = 7,72759244$$

- Menghitung jumlah kuadrat antarbaris (JKB)

$$JKB = \frac{(\sum x_1)^2 + (\sum x_2)^2 + \dots + (\sum x_n)^2}{j} - \frac{(Tx)^2}{bj} = 59,71607 - 59,71568 = 0,00039$$

- Mencari derajat kebebasan antarbaris  $dk_b = b - 1 = 3 - 1 = 2$

- Menghitung nilai ragam antarbaris.

$$S^2_{1 \text{ dkb}} = \frac{jkb}{dkb} = 0,000195$$

- Menghitung nilai jumlah kuadrat antarkolom (JKK)

$$JKK = \frac{(\sum T_1)^2 + (\sum T_2)^2 + \dots + (\sum T_n)^2}{b} - \frac{(Tx)^2}{bj} = 59,7158734 - 59,71568 = 0,0001934$$

- Menghitung nilai derajat kebebasan antarkolom  $dk_k = j - 1 = 3 - 1 = 2$

- Menentukan nilai ragam antarkolom

$$S^2_{2 \text{ dkk}} = \frac{jkk}{dkk} = 9,67E-05$$

- Menghitung nilai jumlah kuadrat total (JKT)

$$JKT = [(X_{11})^2 + (X_{12})^2 + \dots + (X_{nj})^2] - \frac{(Tx)^2}{bj}$$

$$JKT = 59,7164 - 59,71568, JKT = 0,00072$$

- Menghitung nilai jumlah kuadrat galat (JKG)

$$JKG = JKT - JKB - JKK = 0,00072 - 0,00039 - 0,0001934 = 0,0001366$$

- Menentukan nilai derajat kebebasan galat

$$dk_G = n(b - 1)(k - 1) = 1(2) \times 2 = 4$$

- Menghitung nilai ragam galat. ,

$$S^2_{3 \text{ dkg}} = \frac{jkg}{dkg} = 3,41E-05$$

- Menentukan nilai Fhitung
- a) Menentukan nilai  $F1 = F1 = \frac{s_1^2}{s_3^2}$ ,  $F1 = 5,398061$
- b) Menentukan nilai  $F2 = F2 = \frac{s_2^2}{s_3^2}$ ,  $F2 = 2,667964$
- Membuat tabulasi ragam. Tabel tabulasi ragam dapat dilihat pada Tabel 4.3 berikut :

Tabel 4.3 Tabulasi Ragam

Sumber keragaman	Jumlah kuadrat	Derajat bebas	Ragam	F rasio
Antar baris	0,000381	2	0,000195	5,398061
Antar kolom	0,000188	2	9,67E-05	2,667964
Antar galat	0,000141	4	3,41E-05	

- Tabel 4.3 hasil uji *anova* dua arah tanpa interaksi (simulasi) jika dibandingkan dengan hasil pengujian menggunakan IBM SPSS *statistic 26* maka hasil yang didapatkan adalah sama sebagai berikut:

Tabel 4.4 *Output IBM SPSS Statistic 26*

Tests of Between-Subjects Effects					
Dependent Variable: harga impak					
Source	Type III Sum of Squares	Df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	,001 <sup>a</sup>	4	,000	4,033	,103
Intercept	59,716	1	59,716	1691125,98	,000
Suhu	,000	2	,000	5,398	,073
Waktu	,000	2	9,421E-5	2,668	,184
Error	,000	4	3,531E-5		
Total	59,716	9			
Corrected Total	,001	8			

a.  $R Squared = ,801$  ( $Adjusted R Squared = ,603$ )

---

- Langkah- langkah menghitung nilai  $F_1$ tabel Nilai  $F_2$ tabel dapat dicari dengan menggunakan tabel F

Caranya :  $F_1$ tabel dan  $F_2$ tabel =  $F_{\{(a) (dkb = pembilang), (dkk = penyebut)\}}$

Dimana :  $n = 3, j = 3, \alpha = 5\% \diamond 0,05$

Pembilang =  $n-1 = 3-1 \Rightarrow 2$

Atau =  $j-1 = 3-1 \Rightarrow 2$

Penyebut =  $(n-1)(j-1) = (3-1)(3-1) \Rightarrow 4$

Sehingga nilai  $F_1$ tabel =  $F_1 (0,05) (2,4) = 6,94$

nilai  $F_2$ tabel =  $F_2 (0,05) (2,4) = 6,94$

Membandingkan Ftabel dan Fhitung :

$F_1$ hitung =  $5,7185 < Ftabel 6,94$

maka  $H_{0b}$  diterima, tidak ada pengaruh variasi suhu terhadap ketangguhan baja St 60.

$F_2$ hitung =  $2,8358 < Ftabel 6,94$

maka  $H_{0k}$  diterima, tidak ada pengaruh variasi *holding time* terhadap ketangguhan baja St 60

Kesimpulan: Karena Ftabel lebih besar dari Fhitung dan Ftabel *anova*, maka  $H_0$  diterima  $H_1$  ditolak, jadi tidak ada pengaruh variasi suhu dan variasi *holding time* terhadap ketangguhan baja St 60.

## **BAB V**

### **KESIMPULAN DAN SARAN**

#### **5.1 Kesimpulan**

Berdasarkan hasil pengujian dan analisis data, maka dapat disimpulkan beberapa hal yaitu:

1. Setelah melakukan penelitian dan menganalisis data terdapat perubahan nilai ketangguhan namun tidak terlalu signifikan. Nilai ketangguhan optimum setelah perlakuan panas yaitu pada suhu 900 °C dengan variasi *holding time* 30 menit sebesar (2,5934 j/mm<sup>2</sup>), sedangkan hasil ketangguhan terendah pada suhu 950 °C dengan variasi *holding time* 90 menit sebesar (2,558833 j/mm<sup>2</sup>). dikarenakan pada perhitungan metode *anova* manual dan IBM SPSS *Statistic 26* nilai yang didapatkan Ftabel lebih besar daripada Fhitung. Maka dapat disimpulkan bahwa pada proses *hardening* terjadi perubahan fasa austenit menjadi fasa martensit dan ferit yang memiliki sifat keras dan kuat.

#### **5.2 Saran**

1. Penelitian selanjutnya, sebaiknya menggunakan SEM untuk mengetahui struktur mikro dari batang uji tersebut.
2. Penelitian selanjutnya lebih memvariasikan faktor-faktor yang dipakai seperti menambahkan perlakuan panas lainnya.

## DAFTAR PUSTAKA

- Aditadriyanto. (2017, July 6). *Perlakuan Panas*. Retrieved January 27, 2020, From Mechanical Engineering By Rangga Agung: <https://Materialengineeringranggaagung.wordpress.com/>
- Bambang Pratowo, A. F. (2018). Analisa Kekerasan Baja Karbon Aisi 1045 Setelah Mengalami Perlakuan. *Jurnal Teknik Mesin Ubl*, 11.
- Fatoni, M. (2021). Analisis Pengaruh Variasi Media Pendingin Dan Holding Time. *University Of Islam Malang Repository*, 2-11.
- Fatoni, Z. (2015). Pengaruh Konstruksi Baja Terbakar Diberi Perlakuan Pendinginan Air. *Jurnal Desiminasi Teknologi*, 16-22.
- Fontana M.G. (1987). *"Corrosion Engineering" 3rd Edition*. New York: Mcgraw Hill Series In Materials Science And Engineering.
- Kirono, S., Diniardi, E., & Prasetyo, I. (N.D.). Analisa Perubahan Dimensi Baja Aisi 1045 Setelah Proses Perlakuan Panas (Heat Treatment). *Analisa Perubahan Dimensi Baja Aisi 1045 Setelah Proses Perlakuan Panas (Heat Treatment)*, 1-11.
- Nuhgraha, Y., & Dkk. (2020). Perancangan Alat Uji Impak Digital Dengan Metode Charpy. *Jurnal Amplifier* , 15-16.
- Pramono, A. (2011). Karakterisrik Mekanik Proses Hardening Baja Aisi 1045 Media. *Jurnal Ilmiah Teknik Mesin*, 33.
- Pribadi, B. (2018). *Modul Praktikum Pengujian Impact*. Yogyakarta: Tidak Diterbitkan.
- Riadi, M. (2019, Desember 20). *Pengertian, Unsur, Jenis, Dan Pembentukan Baja*. Retrieved Januari Rabu, 2022, From Kajianpustaka: [www.kajianpustaka.com](http://www.kajianpustaka.com)
- Rokhman, T. (2019, Maret 21). *Intisari Sifat Mekanik Material*. Retrieved Januari 28, 2020, From Taufiqurrokhman.wordpress.com: [taufiqurrokhman.wordpress.com](http://taufiqurrokhman.wordpress.com)
- Salmon Cg, Je Johnson. (1990). *Struktur Baja Disain Dan Prilaku*. Jakarta: Erlangga.
- Singgih, S. (2008). *Panduan Lengkap Mengikuti Panduan Spss 16*. Jakarta: Pt. Alex Media Komputindao.
- Syuffi, R. F., & Irfa'i, M. A. (2014). Pengaruh Variasi Temperatur Hardening Terhadap Kekerasan Baja S45c. *Jtm. Volume 03*, 106-112.

- Walpole, & E., R. (1995). *Pengantar Statistika Edisi Ke-3*. Jakarta: Pt. Gramedia Pustaka Utama.
- Widodo, D. S., Siswanto, & Puspitasari, R. P. (2014). Analisa Ketangguhan Dan Perubahan Struktur Mikro Patahan Akibat Heat Treatment Dan Variasi Sudut Impact Pada Baja St 60 . *Jurnal Teknik Mesin, Tahun 22, No. 1, April 2014* , 39-45.
- Wiryo Sumarto, H. (2004). *Teknologi Pengelasan Logam*. Jakarta: Pradnya Paramita.
- Zuhaimi. (2016). Kekuatan Impak Baja St 60 . *Jurnal Polimesin*, 33-40.



## Lampiran 1

### Curriculum Vitae

#### Mahasiswa Politeknik Manufaktur Negeri

#### Bangka Belitung



Informasi Pribadi :

Nama : Abdillah Halim

NPM : 1041831

TTL : air lintang, 19 November 2000

Jenis Kelamin : Laki-laki

Prodi/Jurusan/kelas : D-IV/Teknik Mesin dan Manufaktur/4 TMM B

Alamat : Jln. Telkom Dalam, Tempilang, Bangka Barat

Nama Orang Tua

    Ayah : Alm. Drs. Mandi

    Ibu : Jumilah

No.Handpone : 082280954892

Email : [Abdillahhalim27@gmail.com](mailto:Abdillahhalim27@gmail.com)

Golongan Darah : B+

## Lampiran 2

### Test Of Homogeneity

#### harga impact

Tukey HSD<sup>a,b</sup>

suhu	N	Subset 1
950	3	2,566800
930	3	2,579100
900	3	2,581800
Sig.		,081

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

Based on observed means.

The error term is Mean

Square(Error) = 3,666E-5.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 3,000.

b. Alpha = ,05.

#### harga impact

Tukey HSD<sup>a,b</sup>

holding time	N	Subset 1
90 menit	3	2,570800
60 menit	3	2,574900
30 menit	3	2,582000
Sig.		,173

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

Based on observed means.

The error term is Mean Square(Error) = 3,666E-5.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 3,000.

b. Alpha = ,05.

### Lampiran 3

#### Tests of Normality

	Kolmogorov-Smirnov <sup>a</sup>			Shapiro-Wilk		
	Statistic	df	Sig.	Statistic	df	Sig.
Standardized Residual for nilai	,268	9	,061	,855	9	,084

a. Lilliefors Significance Correction

#### Standardized Residual for nilai

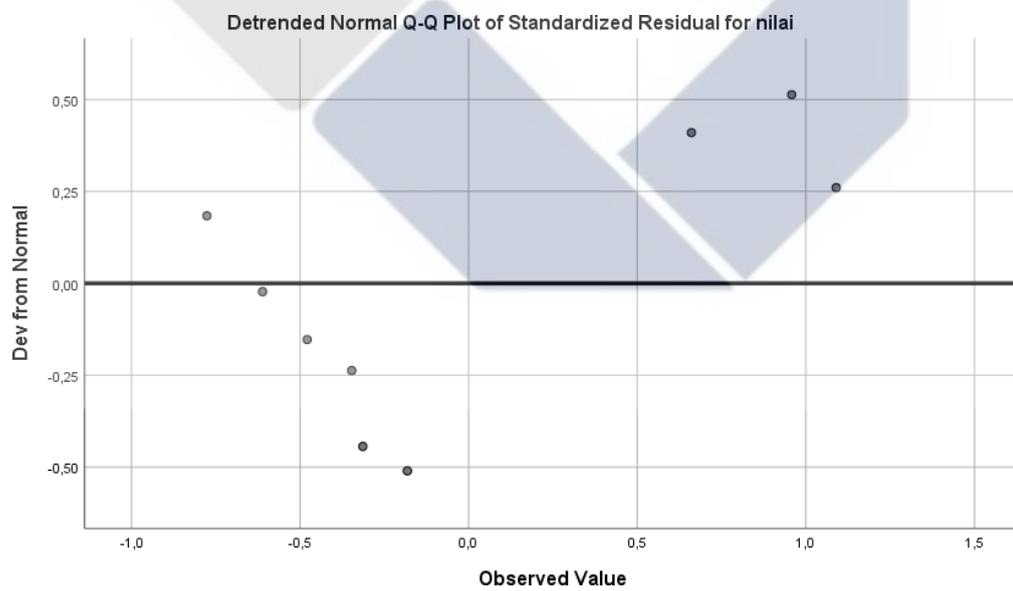
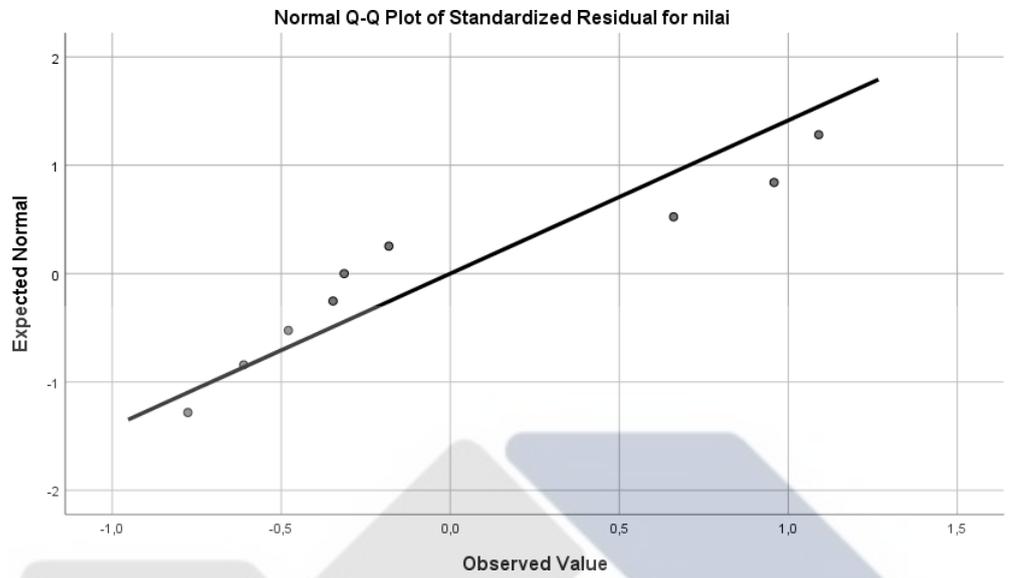
Standardized Residual for nilai Stem-and-Leaf Plot

Frequency Stem & Leaf

2,00 -0 . 67  
4,00 -0 . 1334  
,00 0 .  
2,00 0 . 69  
1,00 1 . 0

Stem width: 1,00  
Each leaf: 1 case(s)

## Lampiran 4



## Lampiran 5

### Perhitungan Harga Impak

Rumus mencari energi serap dan hasil harga uji impact

Dik :  $L = 750\text{mm} = 0,75 \text{ m}$  ( panjang lengan pendulum )

$m = 150 \text{ N}$  ( berat pendulum )

Dit :  $E = m \cdot g(h_0 - h_1)$

$$= m \cdot g\{l(1 - \cos \beta)\} - \{l[1 - (\cos(\beta - \alpha))]\}$$

$$= m \cdot g \cdot L(1 - \cos \beta) - (1 - \cos(\beta - \alpha))$$

$$= m \cdot L (\cos \beta - \cos \alpha)$$

$$= 150 \cdot 0,75 (\cos 150^\circ - \cos(150 - 80)^\circ)$$

$$= 112,5(-0,866025 - 0,342020)$$

$$= 112,5 (-1,208045)$$

$$= 135,905078 \text{ J}$$

$$\text{Harga impact} = \frac{E}{A} = \frac{135,905078}{8.10} = 1,6988 \text{ J/mm}^2$$

## Lampiran 6

### Sampel Uji Hasil Pengujian



900°C / 30 menit



930°C / 30 menit



950°C / 30 menit



900°C / 60 menit



930°C / 60 menit



950°C / 60 menit



900°C / 90 menit



930°C / 90 menit



950°C / 90 menit

Lampiran 7

Sertifikat Baja



SeAH Steel Corp.  
1-A, SONGDO-GONG KIRUMAK,  
OSONGSAK, KOREA(573-711)

MILL CERTIFICATE

TEL : +82-(0)53-480-8572, 831810A  
482-(0)53-480-8144(Rever.)  
FAX : +82-(0)53-480-8423 Page(0/10)

Date : 2018-03-11  
Cert. No. : 201803-019634  
Customer :  
Heat No. : 276685

Steel Grade : ST 60  
Shape of Product : ROUND BAR  
Delivery Condition : As Rolled

Size (mm) : 25  
Length (mm) : 6,000  
Weight (kg) : 24  
Quantity(pcs) : 1,000

Inspection Item	Chemical Composition (wt. %)				
	C	Si	Mn	P	S
	x 100	x 100	x 100	x 100	x 100
SPEC.	Min.	42	15	5	35
	Max.	48	25	9	35
Result	45	23	8	MAX	MAX
Inspection Item	Product Hardness (HB)				
	SURFACE	190-220 HB	45-50 HRC		

Mechanical Properties ST 60

Mechanical Properties	Symbol	Steel
Young's modulus (GPa)	E	190 - 210
Poisson's ratio	ν	0.27 - 0.30
Density(Kg/m <sup>3</sup> )	P	7.700 - 8.030
Yield strength (MPa)		569
Shear strength (MPa)		343
Extension ratio (%)		30
Area reduction (%)		30
Hardness (Hb)	Hb	190 - 220

<Remark>

8/08 : 4

End of report

We hereby certify that the material described herein has been made in accordance with the rules of the contract.

Certified by

*O. Y. Cho*

Manager of Quality Assurance Dept

Lampiran 8

F Tabel Anova 0,05

Titik Persentase Distribusi F untuk Probabilita = 0,05															
df untuk penyebut (N2)	df untuk pembilang (N1)														
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
1	161	199	216	225	230	234	237	239	241	242	243	244	245	245	246
2	18.51	19.00	19.16	19.25	19.30	19.33	19.35	19.37	19.38	19.40	19.40	19.41	19.42	19.42	19.43
3	10.13	9.55	9.28	9.12	9.01	8.94	8.89	8.85	8.81	8.79	8.76	8.74	8.73	8.71	8.70
4	7.71	6.94	6.59	6.39	6.26	6.16	6.09	6.04	6.00	5.96	5.94	5.91	5.89	5.87	5.86
5	6.61	5.79	5.41	5.19	5.05	4.95	4.88	4.82	4.77	4.74	4.70	4.68	4.66	4.64	4.62
6	5.99	5.14	4.76	4.53	4.39	4.28	4.21	4.15	4.10	4.06	4.03	4.00	3.98	3.96	3.94
7	5.59	4.74	4.35	4.12	3.97	3.87	3.79	3.73	3.68	3.64	3.60	3.57	3.55	3.53	3.51
8	5.32	4.46	4.07	3.84	3.69	3.58	3.50	3.44	3.39	3.35	3.31	3.28	3.26	3.24	3.22
9	5.12	4.26	3.86	3.63	3.48	3.37	3.29	3.23	3.18	3.14	3.10	3.07	3.05	3.03	3.01
10	4.96	4.10	3.71	3.48	3.33	3.22	3.14	3.07	3.02	2.98	2.94	2.91	2.89	2.86	2.85
11	4.84	3.98	3.59	3.36	3.20	3.09	3.01	2.95	2.90	2.85	2.82	2.79	2.76	2.74	2.72
12	4.75	3.89	3.49	3.26	3.11	3.00	2.91	2.85	2.80	2.75	2.72	2.69	2.66	2.64	2.62
13	4.67	3.81	3.41	3.18	3.03	2.92	2.83	2.77	2.71	2.67	2.63	2.60	2.58	2.55	2.53
14	4.60	3.74	3.34	3.11	2.96	2.85	2.76	2.70	2.65	2.60	2.57	2.53	2.51	2.48	2.46
15	4.54	3.68	3.29	3.06	2.90	2.79	2.71	2.64	2.59	2.54	2.51	2.48	2.45	2.42	2.40
16	4.49	3.63	3.24	3.01	2.85	2.74	2.66	2.59	2.54	2.49	2.46	2.42	2.40	2.37	2.35
17	4.45	3.59	3.20	2.96	2.81	2.70	2.61	2.55	2.49	2.45	2.41	2.38	2.35	2.33	2.31
18	4.41	3.55	3.16	2.93	2.77	2.66	2.58	2.51	2.46	2.41	2.37	2.34	2.31	2.29	2.27
19	4.38	3.52	3.13	2.90	2.74	2.63	2.54	2.48	2.42	2.38	2.34	2.31	2.28	2.26	2.23
20	4.35	3.49	3.10	2.87	2.71	2.60	2.51	2.45	2.39	2.35	2.31	2.28	2.25	2.22	2.20
21	4.32	3.47	3.07	2.84	2.68	2.57	2.49	2.42	2.37	2.32	2.28	2.25	2.22	2.20	2.18
22	4.30	3.44	3.05	2.82	2.66	2.55	2.46	2.40	2.34	2.30	2.26	2.23	2.20	2.17	2.15
23	4.28	3.42	3.03	2.80	2.64	2.53	2.44	2.37	2.32	2.27	2.24	2.20	2.18	2.15	2.13
24	4.26	3.40	3.01	2.78	2.62	2.51	2.42	2.36	2.30	2.25	2.22	2.18	2.15	2.13	2.11
25	4.24	3.39	2.99	2.76	2.60	2.49	2.40	2.34	2.28	2.24	2.20	2.16	2.14	2.11	2.09
26	4.23	3.37	2.98	2.74	2.59	2.47	2.39	2.32	2.27	2.22	2.18	2.15	2.12	2.09	2.07
27	4.21	3.35	2.96	2.73	2.57	2.46	2.37	2.31	2.25	2.20	2.17	2.13	2.10	2.08	2.06
28	4.20	3.34	2.95	2.71	2.56	2.45	2.36	2.29	2.24	2.19	2.15	2.12	2.09	2.06	2.04
29	4.18	3.33	2.93	2.70	2.55	2.43	2.35	2.28	2.22	2.18	2.14	2.10	2.08	2.05	2.03
30	4.17	3.32	2.92	2.69	2.53	2.42	2.33	2.27	2.21	2.16	2.13	2.09	2.06	2.04	2.01
31	4.16	3.30	2.91	2.68	2.52	2.41	2.32	2.25	2.20	2.15	2.11	2.08	2.05	2.03	2.00
32	4.15	3.29	2.90	2.67	2.51	2.40	2.31	2.24	2.19	2.14	2.10	2.07	2.04	2.01	1.99
33	4.14	3.28	2.89	2.66	2.50	2.39	2.30	2.23	2.18	2.13	2.09	2.06	2.03	2.00	1.98
34	4.13	3.28	2.88	2.65	2.49	2.38	2.29	2.23	2.17	2.12	2.08	2.05	2.02	1.99	1.97
35	4.12	3.27	2.87	2.64	2.49	2.37	2.29	2.22	2.16	2.11	2.07	2.04	2.01	1.99	1.96
36	4.11	3.26	2.87	2.63	2.48	2.36	2.28	2.21	2.15	2.11	2.07	2.03	2.00	1.98	1.95
37	4.11	3.25	2.86	2.63	2.47	2.36	2.27	2.20	2.14	2.10	2.06	2.02	2.00	1.97	1.95
38	4.10	3.24	2.85	2.62	2.46	2.35	2.26	2.19	2.14	2.09	2.05	2.02	1.99	1.96	1.94
39	4.09	3.24	2.85	2.61	2.46	2.34	2.26	2.19	2.13	2.08	2.04	2.01	1.98	1.95	1.93
40	4.08	3.23	2.84	2.61	2.45	2.34	2.25	2.18	2.12	2.08	2.04	2.00	1.97	1.95	1.92
41	4.08	3.23	2.83	2.60	2.44	2.33	2.24	2.17	2.12	2.07	2.03	2.00	1.97	1.94	1.92
42	4.07	3.22	2.83	2.59	2.44	2.32	2.24	2.17	2.11	2.06	2.03	1.99	1.96	1.94	1.91
43	4.07	3.21	2.82	2.59	2.43	2.32	2.23	2.16	2.11	2.06	2.02	1.99	1.96	1.93	1.91
44	4.06	3.21	2.82	2.58	2.43	2.31	2.23	2.16	2.10	2.05	2.01	1.98	1.95	1.92	1.90
45	4.06	3.20	2.81	2.58	2.42	2.31	2.22	2.15	2.10	2.05	2.01	1.97	1.94	1.92	1.89

## Lampiran 9

### Proses Penelitian

Pada penelitian memiliki beberapa proses yang akan dilakukan mulai dari persiapan sampel uji, *hardening*, dan pengujian impak. Adapun langkah-langkah yang dilakukan sebagai berikut:

a. Persiapan sampel uji

Berikut langkah-langkah persiapan batang uji:

- sampel uji dibuat menggunakan mesin gergaji potong DOALL Model C-916. Pemotongan batang uji dengan ukuran panjang 55 mm dan dengan luas penampang 10 x 10 mm. jumlah sampel uji yang dibuat sebanyak 30 Pcs. Pembuatan sampel uji dapat dilihat pada Gambar berikut.



Gambar Pembuatan Batang Uji

- Membuat takik dengan sudut 45° pada tengah-tengah sampel uji menggunakan mesin frais dengan kedalaman 2mm. Pembuatan takik dapat dilihat pada Gambar berikut.



Gambar Pembuatan Takik 45°

- batang uji diikat dengan kawat untuk mempermudah ketika proses pengangkatan dan pencelupan ke media pendingin. Pengikatan spesimen dapat dilihat pada Gambar berikut.



Gambar Pengikatan Batang Uji

b. Perlakuan panas

Ada beberapa tahapan yang dilakukan dalam proses *hardening*, yaitu:

- Menyiapkan air laut sebagai media pendingin. Air laut dapat dilihat pada Gambar berikut.



Gambar Air Laut

- Selanjutnya melakukan persiapan pada tungku pemanas. memasukan sampel uji yang telah diikat kedalam tungku pemanas. Sampel uji dipanaskan hingga suhu 900, 930, dan 950°C dan ditahan selama 30, 60, dan 90 menit. Memasukan batang uji dapat dilihat pada Gambar berikut.



Gambar Memasukan Batang Uji

- Proses *quenching* dilakukan setelah suhu dan waktu penahanan telah mencapai waktu yang telah ditentukan. Sampel uji didinginkan secara

cepat setelah dipanaskan pada suhu 900, 930, 950°C kedalam wadah berisi air laut. Angkat sampel uji ketika sudah dingin lalu keringkan menggunakan majun. Pengangkatan sampel uji dapat dilihat pada Gambar berikut.



Gambar Pengangkatan Sampel Uji

c. Pengujian

Pada pengujian ini dilakukan uji impak metode *charpy*, berikut langkah-langkah yang dilakukan pada pengujian ini:

- Mempersiapkan batang uji yang telah dilakukan proses *hardening*.
- Mengatur jarum ke titik awal pada alat uji sebesar 150°. Mengatur beban alat uji dapat dilihat pada Gambar berikut.



Gambar Mengatur Beban Alat Uji

- Mengangkat pendulum ke titik awal hingga terkunci. Pengangkatan pendulum dapat dilihat pada Gambar 4.8.



Gambar Pengangkatan pendulum

- Meletakkan sampel uji pada meja uji dengan takikan membelakangi arah pendulum. Peletakkan sampel uji dapat dilihat pada Gambar berikut.



Gambar Peletakkan Sampel Uji

- Melepaskan pendulum dengan menekan tombol pada remote control alat uji impak. Pelepasan pendulum dapat dilihat pada Gambar berikut.



Gambar Pelepasan Pendulum

- Setelah itu catat hasil sudut akhir yang didapatkan. Sudut akhir dapat dilihat pada Gambar dibawah.

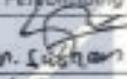
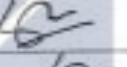
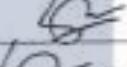
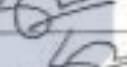
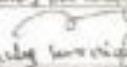


Gambar Sudut Akhir

- Setelah alat uji selesai membaca nilai sudut, letakkan kembali pendulum ke titik awal.
- Lakukan pengulangan pada batang uji yang akan dilakukan pengujian.



FORM-PPR-3- 4: Bimbingan Proyek Akhir

 FORM BIMBINGAN PROYEK AKHIR TAHUN AKADEMIK 2021/2022			
JUDUL	Studi Eksperimen Pengaruh Suhu Hardening Dengan Quenching media airlaut Terhadap Ketangguhan Baja S160		
Nama Mahasiswa	ABDULLAH HALIM NIRM: 1091829		
Nama Pembimbing	1. MUHAMMAD SIBHAN S.S.T., M.T 2. ZALDI KURNIDIAN S.S.T., M.T 3.		
Pertemuan Ke	Tanggal	Topik Bimbingan	Paraf dan nama Pembimbing
1	18/11 <sup>21</sup>	Pembahasan bab 1-3	 m. sibhan
2	23/11 <sup>21</sup>	metode pengam bingkisan	
3	26/11 <sup>21</sup>	revisi Bab 4	
4	30/11 <sup>21</sup>	Pengolahan data	
5	7/12 <sup>21</sup>	KESIMPULAN	
6	10/1 <sup>22</sup>	Bab 5	
7	13/1 <sup>22</sup>	Pembahasan Bab 4	 zaldi kurnidian S.S.T., M.T
8	12/1 <sup>22</sup>	penulisan metode	 zaldi kurnidian S.S.T., M.T
9			
10			

Catatan:

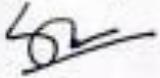
- Jika pertemuan bimbingan lebih dari sepuluh kali, dapat mengambil Form kembali di Panitia/Komisi Proyek Akhir



FORM-PPR-3- 6: Form Monitoring Proyek Akhir

 <p style="text-align: center;">FORM MONITORING PROYEK AKHIR TAHUN AKADEMIK 2021 / 2022</p>			
JUDUL		Studi Eksperimen Pengaruh Suhu Rendah dengan Gunting Media Air Laut terhadap Kelayakan Bahan Isaja S.E.60	
Nama Mahasiswa		1. ABDILLAH HALIM /NIRM: 1041831 2. .... /NIRM: ..... 3. .... /NIRM: ..... 4. .... /NIRM: ..... 5. .... /NIRM: .....	
Monitoring ke	Tanggal	Progress Alat	Paraf Pembimbing
1	22/2021 10/oktober	Persiapan alat dan bahan	
			

KESIAPAN ALAT UNTUK SIDANG: SIAP / BELUM (coret salah satu) 50%

Mengetahui		
Pembimbing 1  ( M. Subhan )	Pembimbing 2  ( Zaldy Murnipuan )	Pembimbing 3 ( ..... )

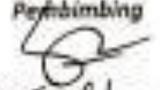
FORM-PPR-3- 6: Form Monitoring Proyek Akhir

		FORM MONITORING PROYEK AKHIR TAHUN AKADEMIK 2021-2020	
JUDUL		Studi Eksperimen pengaruh suhu Hardening dengan media Quenching media Air Laut terhadap ketangguhan baja St 60	
Nama Mahasiswa		1. Abdullah Halim /NIRM: 1041031 2. /NIRM: 3. /NIRM: 4. /NIRM: 5. /NIRM:	
Monitoring ke	Tanggal	Progress Alat	Paraf Pembimbing
23/12	23/12	Tahap pengambilan data	 M. Sughan
		Lanjutan pembuatan B&B	

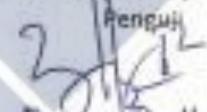
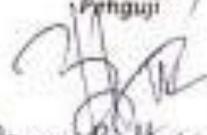
KESIAPAN ALAT UNTUK SIDANG: ~~SIA~~ / BELUM (coret salah satu)

Mengetahui		
Pembimbing 1  (M. Sughan)	Pembimbing 2 (.....)	Pembimbing 3 (.....)

FORM-PPR-3- 8: Form Revisi Laporan Akhir

 <p>FORM REVISI LAPORAN AKHIR TAHUN AKADEMIK <u>2021 / 2022</u></p>	
JUDUL :	<u>studi Eksperimen pengaruh suhu terhadap daya penguapan media atau hasil Terhingga Catangan Bg = ST 6a</u>
Nama Mahasiswa :	1. <u>Abdilah Halwa</u> NIRM: <u>1041031</u> 2. _____ NIRM: _____ 3. _____ NIRM: _____ 4. _____ NIRM: _____ 5. _____ NIRM: _____
Bagian yang direvisi	Halaman
<p><u>Lebar mabahan</u>  <u>(tabel di dalam revisi</u>  <u>jenis katam)</u></p>	
Sungailiat, <u>20-01-2022</u> Penguji  (.....)	
Menyatakan telah menyetujui revisi laporan akhir yang telah dilakukan oleh mahasiswa	
Mengetahui, Pembimbing  (M. Subhan)	Sungailiat, <u>20-01-2022</u> Penguji  (.....)

FORM-PPR-3- B: Form Revisi Laporan Akhir

		FORM REVISI LAPORAN AKHIR TARIK AKADEMIK _____	
JUDUL :	Studi Etapesiman Pengaruh Ruler Hardening Dengan Quenching Media Air Laut Terhadap Ketangguhan Baja ST 60		
Nama Mahasiswa :	1. _____	NIRM: _____	
	2. _____	NIRM: _____	
	3. _____	NIRM: _____	
	4. _____	NIRM: _____	
	5. _____	NIRM: _____	
Bagian yang direvisi		Halaman	
① Revisi Ada dimaklatah !			
② Sakti Revisi harap membawa Makalah yang lama.			
③ Revisi tidak melalui batas waktu yg di tentukan !			
Sungailiat, 25/01/2021 Penguji  (Boy Rollastin)			
Menyatakan telah menyetujui revisi laporan akhir yang telah dilakukan oleh mahasiswa			
Mengetahui, Pembimbing  (M. Subhan)		Sungailiat, 08/02/2022 Penguji  (Prag Piliara)	



## Cek1

### ORIGINALITY REPORT

**17%**

SIMILARITY INDEX

**17%**

INTERNET SOURCES

**4%**

PUBLICATIONS

**8%**

STUDENT PAPERS

### PRIMARY SOURCES

1	<a href="http://www.kajianpustaka.com">www.kajianpustaka.com</a> Internet Source	3%
2	<a href="http://jurnalsyntaxadmiration.com">jurnalsyntaxadmiration.com</a> Internet Source	3%
3	<a href="http://jurnal.umj.ac.id">jurnal.umj.ac.id</a> Internet Source	2%
4	<a href="http://jazirahkomputer.blogspot.com">jazirahkomputer.blogspot.com</a> Internet Source	1%
5	<a href="http://media.neliti.com">media.neliti.com</a> Internet Source	1%
6	<a href="http://repositori.uin-alauddin.ac.id">repositori.uin-alauddin.ac.id</a> Internet Source	1%
7	<a href="http://repository.polman-babel.ac.id">repository.polman-babel.ac.id</a> Internet Source	1%
8	<a href="http://taufiqurrohman.wordpress.com">taufiqurrohman.wordpress.com</a> Internet Source	1%
9	<a href="http://riset.unisma.ac.id">riset.unisma.ac.id</a> Internet Source	1%