

## **TUGAS AKHIR**

# **PENGUJIAN PERFORMA ALAT *HEAT TREATMENT* BERBASIS MIKROKONTROLER SKALA LABORATORIUM MENGGUNAKAN SPESIMEN ALUMINIUM**

Diajukan sebagai salah satu syarat untuk  
menyelesaikan pendidikan tahap sarjana

Oleh :

**MUHAMMAD FIKRI**

**NIM: 16250011**



**PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN  
UNIVERSITAS DHARMA ANDALAS  
PADANG  
2023**

LEMBARAN PENGESAHAN  
PROPOSAL TUGAS AKHIR

“PENGUJIAN PERFORMA ALAT *HEAT TREATMENT* BERBASIS  
MIKROKONTROLER SKALA LABORATORIUM MENGGUNAKAN  
SPESIMEN ALUMINIUM 6061-T6”

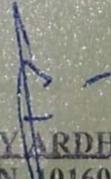
NAMA : MUHAMMAD FIKRI  
NO. BP 16250011  
PROGRAM STUDI : S1 TEKNIK MESIN

Mengetahui,

Dosen Pembimbing

  
DR. SANNY ARDHY, ST., MT  
NIDN. 016068101

Koordinator Tugas Akhir,

  
DR. SANNY ARDHY, ST., MT  
NIDN. 016068101



**PENETAPAN TUGAS AKHIR**

Tugas Akhir ini merupakan salah satu syarat untuk menyelesaikan Pendidikan Sarjana Teknik Mesin, diberikan kepada:

Nama : Muhammad Fikri  
Nomor BP : 16250011  
Pembimbing : Dr. Sanny Ardhy, ST.,  
Waktu Pembuatan Alat : ± 4 Bulan  
Judul Tugas Akhir : Pengujian Performa Alat *Heat Treatment*  
Berbasis Mikrokontroler Skala Laboratorium  
Menggunakan Spesimen Aluminium 6061 –  
T6  
Uraian Tugas : 1. Studi literatur yang relevan  
2. Proses perancangan cetakan tutup galon air  
minum dan pengujian cetakan tutup galon  
air minum  
3. Pembuatan cetakan tutup galon air minum  
4. Analisis dan Pembahasan  
5. Penulisan laporan

Padang, Agustus 2023

Dosen Pembimbing

Dr. SANNY ARDHY, ST., MT

NIDN. 1016068101



## PERNYATAAN KEASLIAN

Saya yang bertanda tangan dibawah ini:

Nama : Muhammad Fikri  
NIM : 16250011  
Tempat & Tanggal Lahir : Padang, 25 November 1997  
Judul TA : Pengujian Performa Alat *Heat Treatment*  
Berbasis Mikrokontroler Skala Laboratorium  
Menggunakan Spesimen Aluminium 6061 –  
T6

Menyatakan dengan sebenarnya bahwa penulisan Laporan TA ini berdasarkan hasil penelitian, pemikiran dan pemaparan asli dari saya sendiri, baik untuk naskah laporan maupun kegiatan lain yang tercantum sebagai bagian dari laporan TA ini. Seluruh ide, pendapat, atau materi dari sumber lain telah dikutip dengan cara penulisan referensi yang sesuai.

Pernyataan ini saya buat dengan sesungguhnya dan apabila di kemudian hari terdapat penyimpangan dan ketidakbenaran dalam pernyataan ini, maka saya bersedia menerima sanksi akademik berupa pencabutan gelar dan sanksi lain sesuai dengan peraturan yang berlaku di Universitas Dharma Andalas.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan kesadaran sadar tanpa paksaan dari pihak manapun.

Padang, Oktober 2023

Yang memberi pernyataan,

Muhammad Fikri

NIM. 16250011



**UNIVERSITAS DHARMA ANDALAS**

**PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN**

**KEKHUSUSAN PRODUKSI**

Skripsi ini telah diuji di hadapan sidang sarjana Program Studi Teknik Mesin Universitas Dharma Andalas pada tanggal *Dua puluh Sembilan* bulan *Agustus* tahun *Dua Ribu Dua Puluh Tiga* dan telah dinyatakan: **LULUS**

Tim Penguji:

- Ketua** : Zulkifli Amia, Ph.D
- Anggota** :
1. Meili Era Putra, ST., MT
  2. Dr. Sunny Ardhy, ST., MT
  3. Reodhy Hamzah, S.Pd., M.Eng
  4. Iskandar, ST., MT

## ABSTRAK

Baja karbon rendah merupakan material yang banyak digunakan sebagai material konstruksi umum. Karena baja karbon rendah mempunyai keuletan yang tinggi, namun kekerasannya rendah dan tidak tahan aus. Hal ini dapat diatasi dengan mengubah sifat material yang ada melalui proses perlakuan panas. Struktur mikronya tergantung pada proses yang dialami, terutama proses pengolahan panas yang diterima selama proses berlangsung. Ketahanan panas terhadap baja karbon rendah adalah penting. Perlakuan Panas merupakan salah satu proses perubahan struktur logam dengan cara memanaskan benda uji pada terance listrik (tungku) pada suhu rekristalisasi selama jangka waktu tertentu kemudian didinginkan pada media pendingin seperti udara, air, minyak dan solar yang masing-masing mempunyai massa jenis yang berbeda-beda. pendinginan. Pada proses perlakuan panas ini suhu pemanasannya adalah 800-900<sup>0</sup>C, 60% serbuk karbon dan 40% Barium Karbonat sebagai energizer yang mempercepat proses, waktu penahanan 20 menit dengan media pendingin oli SAE 20 - 50. Hasilnya adalah perubahan struktur material yang mengalami proses perlakuan panas dengan waktu penahanan paling lama 20 menit dengan suhu 900<sup>0</sup>C. Dari data hasil pengujian material dapat diperoleh kesimpulan bahwa dengan perlakuan panas diperoleh material yang mempunyai kekerasan tinggi pada permukaannya dan masih lunak pada bagian dalamnya.

**Kata kunci:** Perlakuan panas, Oli SAE 20-50

## **ABSTRACT**

*Low carbon steels are materials that are mostly used as materials of general construction. Because low carbon steels have high ductility, but the hardness is low and not wear resistant. This can be solved by changing the properties of the available material by the heat treatment process. The microstructure depends on the process experienced, especially the heat-processing process received during the process. Heat resistance to low carbon steels is important. Heat Treatment is one of the processes to change the metal structure by heating the specimen on electric furnace (furnace) at recrystallization temperature for a certain period of time then cooled to cooling medium such as air, water, oil and diesel which each have different density cooling. In this heat treatment process the heating temperature is 800-900°C, 60% carbon powder and 40% Barium Carbonate as energizer which accelerates the process, the holding time is 20 minutes with the cooling medium is SAE 20 - 50 oil. The result is a material structural change that undergoes heat treatment process with the longest detention time of 20 minutes with a temperature of 900°C. From the results of material testing data it can be obtained a conclusion that the heat treatment obtained material that has high hardness on the surface and still soft on the inside.*

**Keyword:** Heat Treatment, Oli SAE 20-50

## KATA PENGANTAR



Puji dan syukur penulis ucapkan atas kehadiran Allah SWT, yang telah memberikan rahmat dan anugerah-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi ini dengan baik. Shalawat dan salam senantiasa tercurah kepada Rasulullah SAW yang mengantarkan manusia dari zaman kegelapan ke zaman yang terang benderang ini. Penyusunan skripsi ini dimaksudkan untuk memenuhi syarat mencapai gelar Sarjana Teknik di Universitas Dharma Andalas Padang.

Penulis menyadari bahwa penulisan ini tidak dapat terselesaikan tanpa dukungan dari berbagai pihak baik moril maupun materil. Oleh karena itu, penulis ingin menyampaikan ucapan terimakasih kepada semua pihak yang telah membantu dalam penyusunan skripsi ini terutama kepada :

1. Kedua orang tua yang telah memberikan dukungan baik moril maupun materil.
2. Zulkifli Amin, Ph.D., selaku Ketua Program Studi Teknik Mesin Universitas Dharma Andalas.
3. Dr. Sanny Ardhy, S.T., M.T., yang telah bersedia membimbing dan mengarahkan penulis selama menyusun skripsi dan memberikan banyak ilmu serta solusi pada setiap permasalahan atas kesulitan dalam penulisan skripsi ini.
4. Rully Oktavian dan Laila Septiana, SP.d selaku kakak yang telah memberikan dukungan penuh di setiap pengerjaan skripsi ini.
5. Ahmad Yusuf, Padrinaldi, Muhammad Fikri dan Aditya Pratama selaku teman satu team yang telah saling support dan solusi dalam menyelesaikan skripsi ini.
6. Seluruh Bapak/Ibu dosen Prodi Teknik Mesin yang telah memberikan pengetahuan yang sangat bermanfaat selama masa perkuliahan.
7. Seluruh teman-teman seangkatan, terutama angkatan 2017 yang selalu mengisi hari-hari menjadi sangat menyenangkan.
8. Terima kasih untuk seluruh senior dan junior yang telah memberikan

semangat dan arahan kepada penulis.

Penulis menyadari bahwa skripsi ini masih jauh dari kesempurnaan. Untuk itu, kritik dan saran yang membangun dari berbagai pihak sangat dibutuhkan guna menyempurnakan skripsi ini. Semoga skripsi ini dapat bermanfaat bagi para pembaca dan semua pihak khususnya dalam bidang Material, Amin Ya Robbal`alamin.

Padang, Juni 2023

Penulis,



Muhammad Fikri

BP : 16250011

## DAFTAR ISI

|                                                    |             |
|----------------------------------------------------|-------------|
| <b>KATA PENGANTAR</b> .....                        | <b>iii</b>  |
| <b>DAFTAR ISI</b> .....                            | <b>v</b>    |
| <b>DAFTAR GAMBAR</b> .....                         | <b>vii</b>  |
| <b>DAFTAR TABEL</b> .....                          | <b>viii</b> |
| <b>BAB I PENDAHULUAN</b> .....                     | <b>1</b>    |
| 1.1 Latar Belakang.....                            | 1           |
| 1.2 Rumusan Masalah .....                          | 3           |
| 1.3 Tujuan.....                                    | 3           |
| 1.4 Manfaat.....                                   | 3           |
| 1.5 Batasan Masalah.....                           | 4           |
| 1.6 Sistematika Penulisan.....                     | 4           |
| <b>BAB II TINJAUAN PUSTAKA</b> .....               | <b>5</b>    |
| 2.1 Logam.....                                     | 5           |
| 2.2 Sifat-sifat logam .....                        | 8           |
| 2.3 Karakteristik Baja ST-41 .....                 | 11          |
| 2.4 Struktur Baja.....                             | 12          |
| 2.5 <i>Heat treatment</i> .....                    | 15          |
| 2.6 <i> Holding time</i> .....                     | 16          |
| 2.7 <i>Quenching</i> .....                         | 17          |
| 2.8 <i>Tempering</i> .....                         | 18          |
| 2.9 <i>Hardening</i> .....                         | 19          |
| 2.10 Pengujian tarik ( <i>Tensile Test</i> ) ..... | 19          |
| 2.11 Macam-macam tipe data statistik .....         | 24          |
| 2.12 Jenis-jenis patahan material.....             | 27          |
| 2.13 Material baja ST-41 .....                     | 28          |
| <b>BAB III METODOLOGI</b> .....                    | <b>29</b>   |
| 3.1. Diagram Alir Penelitian.....                  | 29          |
| 3.2. Prosedur Penelitian .....                     | 30          |
| 3.3. Tempat pengujian spesimen uji .....           | 31          |

|                                          |                                                              |           |
|------------------------------------------|--------------------------------------------------------------|-----------|
| 3.4.                                     | Alat dan bahan penelitian .....                              | 31        |
| 3.5.                                     | Standar dimensi spesimen uji pada pengujian tarik .....      | 35        |
| 3.6.                                     | Prosedur pengolahan data hasil uji tarik.....                | 37        |
| <b>BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN .....</b> |                                                              | <b>46</b> |
| 4.1.                                     | Analisa hasil pengujian performa <i>heat treatment</i> ..... | 46        |
| <b>BAB V PENUTUP .....</b>               |                                                              | <b>62</b> |
| 5.1                                      | Kesimpulan.....                                              | 62        |
| 5.2                                      | Saran.....                                                   | 62        |
| <b>DAFTAR PUSTAKA.....</b>               |                                                              | <b>64</b> |

## DAFTAR GAMBAR

|                                                                                                               |    |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| <b>Gambar 2. 1</b> Logam baja [1].....                                                                        | 5  |
| <b>Gambar 2. 2</b> Diagram Fe-Fe <sub>3</sub> C [1].....                                                      | 15 |
| <b>Gambar 2. 3</b> <i>Tensile test</i> [11].....                                                              | 20 |
| <b>Gambar 2. 4</b> Bentuk batang uji tarik [11].....                                                          | 20 |
| <b>Gambar 2. 5</b> <i>Stress-strain</i> diagram dalam daerah linear [11].....                                 | 21 |
| <b>Gambar 2. 6</b> Nonlinear <i>stress-strain</i> diagram [11].....                                           | 21 |
| <b>Gambar 2. 7</b> Detail profil uji tarik [11] .....                                                         | 22 |
| <b>Gambar 2. 8</b> Batas proposional untuk logam pada umumnya [11] .....                                      | 22 |
| <b>Gambar 2. 9</b> <i>Typical engineering stress-strain behavior</i> [11].....                                | 23 |
| <b>Gambar 2. 10</b> Perbandingan material ulet dan getas [11].....                                            | 24 |
| <b>Gambar 2. 11</b> <i>Ductile fracture</i> (patah ulet) [8].....                                             | 27 |
| <b>Gambar 2. 12</b> <i>Brittle fracture</i> (patahan getas) [8] .....                                         | 28 |
| <b>Gambar 3. 1</b> <i>Flowchart</i> penelitian.....                                                           | 29 |
| <b>Gambar 3. 2</b> Tungku <i>heat treatment</i> .....                                                         | 31 |
| <b>Gambar 3. 3</b> Mesin bubut konvensional (dokumentasi pribadi) .....                                       | 33 |
| <b>Gambar 3. 4</b> Mesin uji tarik (dokumentasi pribadi) .....                                                | 33 |
| <b>Gambar 3. 5</b> Tang jepit (Dokumentasi pribadi).....                                                      | 34 |
| <b>Gambar 3. 6</b> Jangka sorong [11].....                                                                    | 34 |
| <b>Gambar 3. 7</b> Sarung Tangan [8] .....                                                                    | 34 |
| <b>Gambar 3. 8</b> Gerinda [8].....                                                                           | 35 |
| <b>Gambar 3. 9</b> spesimen uji tarik ST-41 [12] .....                                                        | 36 |
| <b>Gambar 3. 10</b> Titik patahan spesimen uji tarik [12].....                                                | 36 |
| <b>Gambar 3. 11</b> Grafik <i>heat treatment</i> .....                                                        | 41 |
| <b>Gambar 3. 12</b> Grafik <i>quenching</i> .....                                                             | 42 |
| <b>Gambar 3. 13</b> Grafik <i>tempering</i> .....                                                             | 43 |
| <b>Gambar 4. 1</b> Salah satu spesimen pengujian tarik sebelum di- <i>heat treatment</i> ....                 | 48 |
| <b>Gambar 4.3</b> Nilai tegangan minimum dan maksimum spesimen uji sebelum di-<br><i>heat treatment</i> ..... | 50 |

## DAFTAR TABEL

|                                                                               |    |
|-------------------------------------------------------------------------------|----|
| <b>Tabel 2. 1</b> Komposisi Kimia Material Baja ST-41 .....                   | 28 |
| <b>Tabel 2. 1</b> Komposisi Kimia Material Baja ST-41 .....                   | 28 |
| <b>Tabel 3. 1</b> Ukuran spesimen ST-41[8] .....                              | 36 |
| <b>Tabel 3. 2</b> Dimensi aktual spesimen [11]. .....                         | 38 |
| <b>Tabel 3. 3</b> Uji tarik spesimen sebelum di <i>heat treatment</i> . ..... | 39 |
| <b>Tabel 3. 4</b> Proses <i>heat treatment</i> [8].....                       | 41 |

# BAB I

## PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Pertumbuhan dan perkembangan teknologi di bidang material semakin maju dan pesat, perlakuan panas sangat dibutuhkan di industri logam karena dapat memperbaiki kemampuan mekanisme dan kekuatan dari material [1]. Perlakuan panas (*heat treatment*) adalah suatu proses pemanasan dan pendinginan logam dalam keadaan padat untuk mengubah sifat-sifat fisis logam tersebut. Baja dapat dikeraskan sehingga tahan aus dan kemampuan memotong meningkat, atau baja dapat dilunakkan untuk memudahkan pemesinan lebih lanjut [2]. Melalui perlakuan panas yang tepat, tegangan dalam dapat dihilangkan, besar butir diperbesar atau diperkecil, ketangguhan ditingkatkan atau dapat dihasilkan suatu permukaan yang keras di sekeliling inti yang ulet [3].

Pada penelitian sebelumnya, penggunaan *lining* (lapisan) ini banyak menggunakan bahan yang tidak mampu untuk menahan temperatur dari pemanasan logam. Adapun kesalahan yang dilakukan adalah pemilihan dan penggunaan tipe dari semen *refractory* sehingga menyebabkan rusaknya dinding yang akan menahan panas pada tungku peleburan. Oleh karena itu, penulis memerlukan dinding pelapis yang mampu menahan temperatur yang sangat tinggi. Maka penulis akan menggunakan tipe semen *refractory* C-16 yang memiliki titik lebur mencapai 1600°C [2].

Pada penelitian yang dilakukan oleh Huda Fathu Rohman, dkk. (2014), melakukan penelitian pengaruh *heat treatment* pada sambungan las baja NP-42 yang memiliki kelebihan yaitu menjadikan spesimen memiliki kekerasan yang berlebih dengan dilakukan proses perlakuan panas pada temperatur 800 °C dengan waktu penahanan 60 menit. Namun pada penelitian ini, memiliki kekurangan yaitu dengan terlalu kerasnya material yang dihasilkan mengakibatkan pengurangan ketangguhan ketika dilakukan pengelasan [4].

Pada penelitian yang dilakukan oleh Ian Wiharja, dkk (2014), melakukan penelitian pengaruh proses *heat treatment tempering* terhadap struktur mikro dan nilai kekerasan pada sambungan las *thermite* baja UIC-54 yang memiliki kelebihan yaitu memperbaiki struktur butiran akibat adanya tegangan sisa setelah terjadinya

pengelasan *thermite* dengan proses perlakuan panas pada temperatur 475 °C dengan waktu penahanan 60 menit [5]. Namun pada penelitian ini, memiliki kekurangan yaitu menjadikan material menjadi getas akibat pemanasan dan pendinginan yang tidak terkontrol.

Pada penelitian yang dilakukan oleh Prawoto dan Fernando (2018), telah melakukan penelitian tentang analisa kekerasan baja karbon AISI 1045 yang dipanaskan sampai suhu 950 °C dengan waktu pemanasan 45 menit, kemudian didinginkan secara cepat. Media yang digunakan untuk proses pendinginan pada penelitian tersebut yaitu air, oli, dan air garam. Pengujian yang dilakukan adalah uji kekerasan. Hasil uji kekerasan AISI 1045 dengan media air garam memiliki nilai kekerasan 91,73 HRB, dengan media air memiliki nilai kekerasan 88,33 HRB, dengan media oli garam memiliki nilai kekerasan 77,73 HRB, dan *raw material* 65,40 HRB [1].

Pada penelitian yang dilakukan Taghizadeh (2013), telah melakukan penelitian tentang pengembangan model prediksi kekerasan pada *quenching* mediaair dan *tempering* AISI 1045 melalui ANN (*artificial neural network*) [6]. Pada penelitian tersebut, menggunakan AISI 1045 yang diberi perlakuan panas 840 °C dan dilakukan penahanan selama 15 menit. Setelah itu, bahan uji dicelup cepat dengan cara direndam media air pada temperatur kamar. Kemudian dilanjutkan dengan proses *tempering* dengan tiga variasi suhu (200, 350 dan 500 °C) dan enam variasi waktu (10, 20, 40, 80 dan 100 menit). Dari eksperimen yang dilakukan, didapatkan 18 nilai hasil pengujian *rockwell*, sehingga dapat disimpulkan bahwa nilai maksimal penurunan kekerasan adalah 29,5 HRC pada suhu *tempering* 500 °C dengan waktu selama 60 menit dan nilai minimum penurunan kekerasan adalah 3 HRC pada variasi *tempering* suhu 200 °C dengan waktu 10-20 menit.

Untuk penelitian selanjutnya oleh Nofriady.H, dkk. (2015), melakukan penelitian pengaruh perlakuan panas AISI 1029 dengan metoda *quenching* dan media pendinginan terhadap sifat mekanik dan makro struktur yang memiliki kelebihan yaitu menjadikan spesimen memiliki nilai kekuatan 972 MPa dengan proses perlakuan panas pada temperatur 820 °C dengan waktu penahanan 20 menit [7].

Namun pada penelitian ini, memiliki kekurangan yaitu belum bisa dikontrol menggunakan sistem *controller*. Oleh karena itu, penulis akan melakukan penelitian tentang **“PENGUJIAN PERFORMA ALAT *HEAT TREATMENT* BERBASIS MIKROKONTROLER SKALA LABORATORIUM MENGGUNAKAN SPESIMEN BAJA ST-41”**.

## **1.2 Rumusan Masalah**

Dalam penulisan tugas akhir ini, adapun rumusan masalah berdasarkan latar belakang di atas yaitu :

1. Bagaimana prosedur yang tepat untuk pengujian performa alat *heat treatment* berbasis mikrokontroler?
2. Bagaimana menganalisa pengaruh *heat treatment* terhadap sifat mekanik spesimen ST-41?
3. Bagaimana melakukan pengujian sifat mekanik spesimen ST-41 menggunakan alat uji tarik dan membandingkan hasil pengujian dengan studi literatur?

## **1.3 Tujuan**

Tujuan dari penelitian ini adalah:

1. Menguji performa alat *heat treatment* berbasis mikrokontroler.
2. Menguji pengaruh *heat treatment* terhadap kekuatan tarik spesimen ST-41.
3. Membandingkan nilai tegangan *ultimate strength* dari hasil uji tarik menggunakan spesimen ST-41 setelah di-*heat treatment* dengan studi literatur.

## **1.4 Manfaat**

Adapun manfaat dari penelitian ini yaitu:

1. Mengetahui performa alat *heat treatment* berbasis mikrokontroler.
2. Mengetahui pengaruh *heat treatment* terhadap spesimen ST-41.
3. Mengetahui hasil perbandingan nilai tegangan *ultimate strength* dari hasil uji tarik menggunakan spesimen ST-41 setelah di-*heat treatment* dengan studi literatur.

## 1.5 Batasan Masalah

Adapun Batasan Masalah dari penelitian ini yaitu :

1. Spesimen yang digunakan Baja ST-41.
2. Alat *heat treatment* yang digunakan adalah alat *heat treatment* berbasis mikrokontroler yang telah dirancang oleh tim peneliti.
3. Jenis *heat treatment* yang akan dilakukan adalah *quenching* dan *tempering*.

## 1.6 Sistematika Penulisan

Tugas akhir ini ditulis dengan tiga bab, sebagai berikut:

- BAB I PENDAHULUAN  
Berisikan tentang latar belakang, tujuan, manfaat, rumusan masalah, batasan masalah, sistematika penulisan.
- BAB II TINJAUAN PUSTAKA  
Berisikan tentang teori dasar & studi literatur Tungku Elektrik Pemanasan Logam Berbasis Otomasi.
- BAB III METODOLOGI  
Berisikan tentang metode yang dilakukan dalam pembuatan alat.
- BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN  
Berisikan tentang hasil dan pembahasan data hasil pengujian performa alat *heat treatment* menggunakan spesimen baja st-41.
- BAB V PENUTUP  
Berisikan tentang kesimpulan dan saran yang diambil dari hasil pembahasan tentang perbaikan.
- DAFTAR PUSTAKA  
Berisikan tentang sumber referensi dari penerbit yang diambil.
- LAMPIRAN  
Berisikan tentang data-data penunjang pada penelitian ini.

## BAB II TINJAUAN PUSTAKA

### 2.1 Logam

Material logam tersusun dari atom-atom logam yang merupakan unsur terbanyak dalam tabel periodik. Atom-atom logam saling berikatan dalam bentuk ikatan logam, dimana elektron valensinya bebas bergerak sehingga material ini memiliki konduktivitas listrik dan konduktivitas termal yang cukup baik, serta tidak tembus cahaya. Logam memiliki kekuatan yang cukup tinggi, namun cukup ulet (dapat dideformasi/diubah bentuk) [8].



**Gambar 2. 1** Logam baja [1]

Klasifikasi Logam:

1) Logam Besi (*Ferro*)

Logam besi adalah suatu logam paduan yang terdiri dari campuran unsur karbon dengan besi. Untuk menghasilkan suatu logam paduan yang mempunyai sifat yang berbeda dengan besi dan karbon, maka dicampurlah dengan bermacam-macam logam lainnya. Logam besi terdiri dari komposisi kimia yang sederhana antara besi dengan karbon. Masuknya unsur kimia ke dalam besi dapat dilakukan dengan berbagai cara.

Logam *ferro* juga disebut besi karbon atau baja karbon. Bahan dasarnya adalah unsur besi (Fe) dan karbon (C), tetapi sebenarnya juga mengandung unsur lain seperti: silikon, mangan, fosfor, belerang dan sebagainya yang kadarnya relatif rendah. Unsur-unsur dalam campuran itulah yang mempengaruhi sifat-sifat besi atau baja pada umumnya, tetapi unsur zat arang

(karbon) yang paling besar pengaruhnya terhadap besi atau baja adalah kekerasannya.

Pembuatan besi atau baja dilakukan dengan mengolah bijih besi di dalam dapur tinggi yang akan menghasilkan besi kasar atau besi mentah. Besi kasar belum dapat digunakan sebagai bahan untuk membuat benda jadi maupun setengah jadi. Oleh karena itu, besi kasar itu masih harus diolah kembali di dalam dapur-dapur baja. Logam yang dihasilkan oleh dapur baja itulah yang dikatakan sebagai besi atau baja karbon, yaitu bahan untuk membuat benda jadi maupun setengah jadi [8].

- Jenis-jenis logam besi diantara lain [8]:

a. Besi Tuang

Komposisinya yaitu campuran besi dan karbon. Kadar karbon sekitar 4%, sifatnya rapuh tidak dapat ditempa, baik untuk dituang, liat dalam pemadatan, lemah dalam tegangan. Digunakan untuk membuat alas mesin, meja perata, badan ragum, bagian-bagian mesinbubut, blok silinder, dan cincin torak.

b. Besi Tempa

Komposisi besi tempa terdiri dari 99% besi murni, sifat dapat ditempa, liat, dan tidak dapat dituang. Besi tempa dapat digunakan untuk membuat rantai jangkar, kait keran, dan landasan kerja pelat.

c. Besi Lunak

Komposisi campuran besi dan karbon, kadar karbon 0,1% - 0,3%, mempunyai sifat dapat ditempa dan liat. Digunakan untuk membuat mur, sekrup, pipa, dan keperluan umum dalam pembangunan.

d. Baja Karbon Rendah

Baja karbon rendah merupakan baja dengan kandungan unsur karbon dalam struktur baja kurang dari 0,3% C. Baja karbon rendah ini memiliki ketangguhan dan keuletan tinggi akan tetapi memiliki sifat kekerasan dan ketahanan aus yang rendah. Pada umumnya baja jenis ini digunakan sebagai bahan baku untuk pembuatan komponen struktur bangunan, pipa gedung, jembatan, bodi mobil, dan lain-lainnya.

e. Baja Karbon Sedang

Baja karbon sedang merupakan baja karbon dengan persentase kandungan karbon pada besi sebesar 0,3% C – 0,59% C. Baja karbon ini memiliki kelebihan bila dibandingkan dengan baja karbon rendah, baja karbon sedang memiliki sifat mekanis yang lebih kuat dengan tingkat kekerasan yang lebih tinggi dari pada baja karbon rendah. Besarnya kandungan karbon yang terdapat dalam besi memungkinkan baja untuk dapat dikeraskan dengan memberikan perlakuan panas (*heat treatment*) yang sesuai. Baja karbon sedang biasanya digunakan untuk pembuatan poros, rel kereta api, roda gigi, baut, pegas, dan komponen mesin lainnya.

f. Baja Karbon Tinggi

Baja karbon tinggi adalah baja karbon yang memiliki kandungan karbon sebesar 0,6% C – 1,4% C. Baja karbon tinggi memiliki sifat tahan panas, kekerasan serta kekuatan tarik yang sangat tinggi akan tetapi memiliki keuletan yang lebih rendah sehingga baja karbon ini menjadi lebih getas. Baja karbon tinggi ini sulit diberi perlakuan panas untuk meningkatkan sifat kekerasannya, hal ini dikarenakan baja karbon tinggi memiliki jumlah martensit yang cukup tinggi sehingga tidak akan memberikan hasil yang optimal pada saat dilakukan proses pengerasan permukaan. Dalam pengaplikasiannya baja karbon tinggi banyak digunakan dalam pembuatan alat-alat perkakas seperti palu, gergaji, pembuatan kikir, pisau cukur, dan sebagainya.

2) Logam bukan besi (*Non ferro*)

Logam *non-ferro* atau logam bukan besi adalah logam yang tidak mengandung unsur besi (Fe). Logam *non ferro* murni kebanyakan tidak digunakan begitu saja tanpa dipadukan dengan logam lain karena sifat-sifatnya belum memenuhi syarat yang diinginkan, kecuali logam *non ferro* murni, seperti platina, emas, dan perak tidak dipadukan karena sudah memiliki sifat yang baik, misalnya ketahanan kimia dan daya hantar listrik yang baik serta cukup kuat, sehingga dapat digunakan dalam keadaan murni, tetapi karena harganya mahal, ketiga jenis logam ini hanya digunakan untuk keperluan

khusus, misalnya dalam teknik proses dan laboratorium di samping keperluan tertentu seperti perhiasan dan sejenisnya.

Logam *non-ferro* juga digunakan untuk campuran besi atau baja dengan tujuan memperbaiki sifat-sifat baja. Jenis logam *non ferro* berat yang sering digunakan untuk paduan baja antara lain: nikel, kromium, molibdenum, wolfram, dan sebagainya. Sedangkan dari logam *non ferro* ringan antara lain: magnesium, titanium, kalsium, dan sebagainya [8].

- Adapun yang termasuk logam *non-ferro* antara lain [8]:

- a. Tembaga (Cu)

Warnanya cokelat kemerah-merahan, sifatnya dapat ditempa, liat, baik untuk penghantar panas, listrik, dan kukuh. Tembaga digunakan untuk membuat suku cadang bagian listrik, radio penerangan, dan alat-alat dekorasi.

- b. Aluminium (Al)

Warnanya biru putih, sifatnya dapat ditempa, liat, bobot ringan, penghantar panas dan listrik yang baik, dan mampu dituang. Aluminium digunakan untuk membuat peralatan masak, elektronik, industri mobil dan pesawat terbang.

- c. Timbal (Pb)

Warnanya biru kelabu, sifatnya dapat ditempa, sangat liat, tahan korosi, air asam, dan bobotnya sangat berat. Timbal digunakan sebagai bahan pembuat kabel, baterai, bubungan atap, atau bahan pengisi.

- d. Timah (Sn)

Warnanya bening keperak-perakan, sifatnya dapat ditempa, liat, dan tahan korosi. Timah digunakan sebagai pelapis lembaran baja lunak (pelat timah) dan industri pengawetan.

## 2.2 Sifat-sifat logam

Setiap jenis dan tipe logam mempunyai daya tahan terhadap berbagai perlakuan, mulai dari pembebanan, perlakuan panas, interaksi dengan cairan, menerima gaya dari luar dan sebagainya. Dari berbagai perlakuan tersebut akan berpengaruh terhadap sifat-sifat logam. antara lain sebagai berikut [8]:

## A. Sifat mekanik

Sifat mekanik material, merupakan salah satu faktor terpenting yang mendasari pemilihan bahan dalam suatu perancangan. Sifat mekanik dapat diartikan sebagai respon atau perilaku material terhadap pembebanan yang diberikan, dapat berupa gaya, torsi atau gabungan keduanya. Dalam praktiknya pembebanan pada material terbagi dua yaitu beban statik dan beban dinamik. Perbedaan antara keduanya hanya pada fungsi waktu dimana beban statik tidak dipengaruhi oleh fungsi waktu sedangkan beban dinamik dipengaruhi oleh fungsi waktu. Untuk mendapatkan sifat mekanik material, biasanya dilakukan pengujian mekanik. Pengujian mekanik pada dasarnya bersifat merusak (*destructive test*), dari pengujian tersebut akan dihasilkan kurva atau data yang mencirikan keadaan dari material tersebut.

Sifat-sifat mekanik material yang perlu diperhatikan:

- 1) Kekuatan (*Strength*)

Yaitu kemampuan material atau bahan untuk menahan pengaruh gaya-gaya luar yang bekerja sampai pada batas kerusakan. Beberapa macam kekuatan logam dapat dibaca dalam materi pengujian sifat mekanik logam.

- 2) Kekerasan (*Hardness*)

Yaitu kemampuan bahan untuk tahan terhadap penggoresan, pengikisan (abrasi), indentasi atau penetrasi. Sifat ini berkaitan dengan sifat tahan aus (*wear resistance*). Kekerasan juga mempunyai korelasi dengan kekuatan.

- 3) Kekenyalan (*Elasticity*)

Yaitu sifat bahan yang dapat kembali (*regain*) ke bentuk semula setelah deformasi terjadi, pada saat gaya luar atau beban dihilangkan.

- 4) Plastisitas (*Plasticity*)

Kemampuan bahan dalam mengalami sejumlah deformasi (perubahan bentuk secara permanen) permanen sebelum terjadi patah, hal ini setelah masuk wilayah plastis. Material yang mempunyai plastisitas tinggi dikatakan sebagai material yang ulet (*ductile*), sedangkan material yang mempunyai plastisitas rendah dikatakan sebagai material yang getas (*brittle*).

5) Kekakuan (*Stiffness*)

Kemampuan material dalam mempertahankan bentuk setelah mendapat gaya dari arah tertentu atau kemampuan suatu material untuk menerima tegangan/beban tanpa mengakibatkan terjadinya deformasi.

6) Ketangguhan (*Toughness*)

Menyatakan kemampuan bahan untuk menyerap energi tanpa menyebabkan terjadinya kerusakan. Juga dapat dikatakan sebagai ukuran banyaknya energi yang diperlukan untuk mematahkan suatu benda kerja pada suatu kondisi tertentu. Sifat ini dipengaruhi oleh banyak faktor, sehingga sifat ini sulit diukur.

7) Kelelahan (*Fatigue*)

Merupakan kecenderungan pada logam untuk patah bila menerima tegangan berulang-ulang (*cyclic stress*) yang besarnya masih jauh di bawah batas kekuatan elastiknya. Sebagian besar dari kerusakan yang terjadi pada komponen mesin disebabkan oleh kelelahan. Karenanya kelelahan merupakan sifat yang sangat penting, tetapi sifat ini juga sulit diukur karena sangat banyak faktor yang mempengaruhinya.

8) Mulur (*Creep*)

Merupakan kecendrungan suatu logam untuk meng-alami deformasi plastik yang besarnya merupakan fungsi waktu, pada saat bahan tadi menerima beban yang besarnya relatif tetap.

## **B. Sifat fisik**

Sifat penting yang kedua dalam pemilihan material adalah sifat fisik. Sifat fisik adalah kelakuan atau sifat-sifat material yang bukan disebabkan oleh pembebanan seperti pengaruh pemanasan, pendinginan dan pengaruh arus listrik yang lebih mengarah pada struktur material. Sifat fisik material antara lain: temperatur cair, konduktivitas panas, kemagnetan, panas spesifik, penghantar listrik yang baik. Struktur material sangat erat hubungannya dengan sifat mekanik. Sifat mekanik dapat diatur dengan serangkaian proses perlakuan fisik. Dengan adanya perlakuan fisik akan membawa penyempurnaan dan pengembangan material bahkan penemuan material baru.

### 2.3 Karakteristik Baja ST-41

Spesifikasi ST-41 Karbon adalah logam paduan dimana logam besi sebagai unsur dasar dengan beberapa elemen lainnya, termasuk karbon. Kandungan unsur karbon dalam baja berkisar antara 0.20% berat sesuai gradenya. Unsur lain yang ada dalam baja adalah karbon, mangan, fosfor, sulfur.

Pada baja dapat meningkatkan kekerasan (*hardness*) serta kekuatan tariknya (*tensile strength*), namun di sisi lain membuatnya menjadi getas (*brittle*) serta menurunkan keuletan (*ductility*). Kebanyakan dari produk baja ini terbentuk pelat hasil pembentukan roll dingin dan proses annil. Kandungan karbonnya yang rendah dan mikro strukturnya yang terdiri dari fasa *ferrit* dan *pearlit* menjadikan baja karbon rendah bersifat lunak dan kekuatannya lemah namun keuletan dan ketangguhannya sangat baik. Baja karbon rendah kurang responsif terhadap perlakuan panas untuk mendapatkan mikro struktur *martensit* maka dari itu untuk meningkatkan kekuatan dari baja karbon rendah dapat dilakukan dengan proses roll dingin maupun karburisasi.

Karena kadar karbon yang sangat rendah maka baja ini lunak dan tentu saja tidak dapat dikeraskan, dapat ditempa, dituang, mudah dilas dan dapat dikeraskan permukaannya (*case hardening*). Baja dengan persentase karbon di bawah 0.15% memiliki sifat *machineability* yang rendah dan biasanya digunakan untuk konstruksi jembatan, bangunan, dan lainnya. Adapun spesifikasi dari baja karbon rendah [9].

Baja karbon diklasifikasikan menjadi tiga macam [9]:

a) Baja karbon rendah

Baja karbon rendah merupakan bukan baja yang keras karena kadar karbonnya sedikit. Baja ini disebut baja ringan (*mild steel*) atau baja perkakas yang mengandung karbon kurang dari 0,3 %. Baja ini dapat dijadikan mur, baut, ulir, sekrup, dan lain-lain.

b) Baja karbon sedang

Baja karbon sedang merupakan baja dengan kandungan karbon 0,3 - 0,6%, cukup keras dibandingkan dengan baja karbon rendah. Baja ini memungkinkan untuk dikeraskan sebagian dengan pengerjaan panas (*heat treatment*) yang sesuai. Baja karbon sedang digunakan untuk roda gigi, poros engkol, ragum dan sebagainya.

c) Baja karbon tinggi

Baja karbon tinggi mempunyai kandungan karbon 0,6 - 1,4%, baja ini sangat keras namun keuletannya rendah, biasanya digunakan untuk alat potong seperti gergaji, pahat, kikir dan lain sebagainya. Karena baja karbon tinggi sangat keras, maka jika digunakan untuk produksi harus dikerjakan dalam keadaan panas.

### 2.3.1. Sifat-sifat Baja ST-41

Sifat-sifat ST-41 diantaranya [10]:

- a. Memiliki sifat mekanik yaitu kekerasan, keuletan, dan ketangguhan yang baik.
- b. Memiliki ketahanan korosi yang kurang baik.
- c. Penghantar listrik yang baik.
- d. Dapat diberi muatan magnet.
- e. Dapat dikeraskan dengan melakukan proses perlakuan panas.

### 2.3.2 Pengaplikasian Baja ST-41

Pengaplikasian ST-41 diantaranya [10]:

- a. *Gear*.
- b. Poros kereta api.
- c. poros roda mobil.
- d. Rangka kendaraan.
- e. Pipa dan lainnya.

## 2.4 Struktur Baja

Baja adalah salah satu logam *ferro* yang banyak digunakan dalam dunia teknik dan industri. Kandungan baja yang utama diantaranya yaitu besi dan karbon. Kandungan besi (Fe) pada baja sekitar 97% dan karbon (C) sekitar 0,2% hingga 2,1% sesuai *grade*-nya. Selain unsur besi (Fe) dan karbon (C), baja mengandung unsur lain seperti mangan (Mn) dengan kadar maksimal 1,65%, silikon (Si) dengan kadar maksimal 0,6%, tembaga (Cu) dengan kadar maksimal 0,6%, sulfur (S), fosfor (P) dan lainnya dengan jumlah yang dibatasi dan berbeda-beda.

Sifat dan produksi baja tersebut banyak dipengaruhi oleh sifat kimia dan proses pembuatannya. Untuk keperluan industri baja dibagi menjadi beberapa kelompok berdasarkan beberapa karakteristik umum. Baja merupakan paduan yang terdiri dari besi, karbon dan unsur paduan lainnya. Baja dapat dibentuk melalui pengecoran, pencanaian, atau penempaan unsur karbon dalam baja merupakan salah satu unsur terpenting karena dapat meningkatkan kekerasan dan keuletan baja tersebut, sebagai bahan produk, baja sering dijumpai dalam bentuk plat, batang, profil, dan sebagainya [8].

Macam-macam struktur baja [8]:

a) Struktur *ferrite*

Struktur *ferrite* sering disebut juga besi murni. Struktur *ferrite* dapat berubah-ubah apabila dipanaskan :

1) Besi murni atau besi alfa ( $\alpha$ )

Struktur besi murni *ferrite* atau besi *alfa*, dibawah suhu  $723^{\circ}\text{C}$ , sifatnya magnetis dan lunak serta Susunan kristalnya berbentuk kubus pusat ruang (BBC).

2) Besi beta ( $\beta$ )

Struktur *ferrite* pada suhu  $768^{\circ}\text{C}$  -  $910^{\circ}\text{C}$  mulai berubah sifat dari magnetis menjadi tidak magnetis yang disebut besi beta, Susunan kristalnya mulai berubah dari kubus pusat ruang (BBC) menjadi kubus pusat bidang (FCC).

3) Besi gamma ( $\gamma$ )

Struktur *ferrite* pada suhu  $910^{\circ}\text{C}$  -  $1391^{\circ}\text{C}$  mulai berubah menjadi struktur *austenite* (besi gamma) yang mempunyai sifat tidak magnetis serta Susunan kristalnya dalam bentuk kubus pusat bidang (FCC).

4) Besi delta ( $\delta$ )

Struktur *ferrite* yang sudah menjadi yang sudah menjadi struktur *austenite* pada suhu  $1392^{\circ}\text{C}$  sampai mencair pada suhu  $1539^{\circ}\text{C}$  berubah menjadi besi delta yang susunan kristalnya sama dengan besi dalam bentuk kubus pusat ruang (BBC) tapi jarak antar atomnya lebih besar.

b) Struktur *pearlite*

*Pearlit* merupakan campuran antara *Ferrite* dan *Sementit* yang berbentuk

seperti pelat-pelat yang disusun secara bergantian antara *Sementit* dan *Ferrit*. Fasa *Perlite* ini terbentuk pada saat kandungan karbon mencapai 0,76% C, besi pada fase *Perlit* akan memiliki sifat keras, ulet dan kuat.

c) Struktur *sementite*

*Sementite* disebut juga karbid besi atau  $Fe_3C$  yang mengandung 6,67% C. Sifat-sifat besi ini keras, rapuh dan magnetis sampai pemanasan 210 °C tapi diatas temperature 210 °C tidak magnetis lagi.

d) Struktur *austenite*

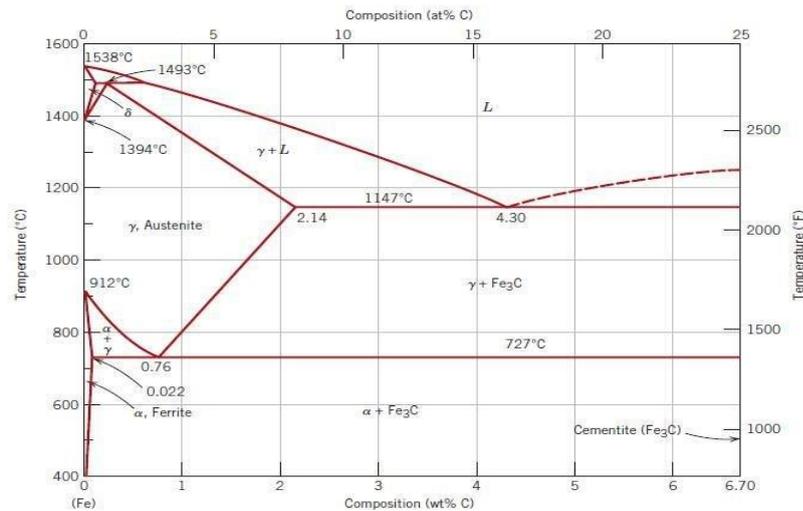
*Austenite* yaitu besi gamma ( $\gamma$ ) yaitu larutan padat dari karbon pada besi dengan sel kubus berpusat sisi atau muka. fase ini diatas temperatur 723 °C. Sifat-sifat dari baja *austenite* adalah lunak, tidak magnetis dan mudah ditempa.

e) Struktur *martensite*

*Martensite* adalah suatu fasa yang terjadi karena pendinginan yang sangat cepat sekali, dan terjadi pada suhu dibawah *eutektoid* tetapi masih diatas suhu kamar. Karena struktur *austenit* FCC tidak stabil maka akan berubah menjadi struktur BCT secara serentak. Pada reaksi ini tidak terjadi difusi tetapi terjadi pengerasan (dislokasi). Semula atom bergerak serentak dan perubahan ini langsung dengan sangat cepat dimana semua atom yang tinggal tetap berada pada larutan padat karena terperangkap dalam kisi sehingga sukar menjadi slip, maka *martensit* akan menjadi kuat dan keras tetapi sifat getas dan rapuh menjadi tinggi. *Martensit* dapat terjadi bila *austenit* didinginkan dengan cepat sekali (dicelup) hingga temperatur dibawah pembentukkan bainit.

f) Diagram Fasa Fe-C

Fasa didefinisikan sebagai bagian dari bahan yang memiliki struktur atau komposisi tersendiri. Diagram fasa Fe-C atau biasa disebut diagram kesetimbangan besi karbon merupakan diagram yang menjadi parameter untuk mengetahui segala jenis fasa yang terjadi di dalam baja dengan segala perlakuannya. Konsep dasar dari diagram fasa adalah mempelajari bagaimana hubungan antara besi dan paduannya dalam keadaan setimbang.



**Gambar 2. 2** Diagram Fe-Fe<sub>3</sub>C [1]

### 2.5 Heat treatment

*Heat treatment* (Perlakuan panas) adalah suatu proses pemanasan dan pendinginan logam dalam keadaan padat untuk mengubah sifat-sifat fisis logam tersebut. Baja dapat dikeraskan sehingga tahan aus dan gesekan sehingga kemampuan pakai (*life timenya*) meningkat, atau baja dapat dilunakkan untuk memudahkan pemesinan lebih lanjut. Melalui perlakuan panas yang tepat, tegangan dalam dapat dihilangkan, besar butir diperbesar atau diperkecil, ketangguhan ditingkatkan atau dapat dihasilkan suatu permukaan yang keras di sekeliling inti yang ulet. Untuk memungkinkan perlakuan panas yang tepat, susunan kimia baja harus diketahui karena perubahan komposisi kimia, khususnya karbon dapat mengakibatkan perubahan sifat- sifat fisis baja. Sebelum dirol, lembaran baja dipanaskan terlebih dahulu, setelah selesai dibentuk lembaran logam tersebut dinormalkan disusul dengan proses pelurusan [10].

Untuk mengetahui suhu yang digunakan pada proses kerja perlakuan panas pada baja yaitu [10]:

- Setiap jenis baja mempunyai daerah suhu yang optimal untuk pencelupan yang terbentang dari suhu awal yang tinggi ke suhu akhir yang rendah.
- Bahan campuran baja dengan keadaan kadar karbon yang tinggi 0,3%, beroksidasi dengan intensif oleh karenanya harus dipanaskan sampai suhu awal.
- Baja karbon yang tinggi dan campuran merupakan penghantar panas yang

buruk sehingga harus dipanaskan secara perlahan-lahan dan menyeluruh hingga di atas suhu kritis.

- d) Jika pemanasan dilakukan melampaui batas suhu yang diperbolehkan akan terjadi gosong pada baja dan setelah dingin akan mengalami kerapuhan.

## 2.6 *Holding time*

*Holding time* dilakukan untuk mendapatkan kekerasan maksimum dari suatu bahan pada proses  *hardening* dengan menahan pada temperatur pengerasan untuk memperoleh pemanasan yang homogen sehingga struktur  *austenitnya* homogen atau terjadi kelarutan karbida ke dalam  *austenite*, difusi karbon dan unsur paduannya. Pedoman untuk menentukan  *holding time* dari berbagai jenis baja pada yang umum diantaranya sebagai berikut [10].

- Baja konstruksi dari baja karbon dan baja paduan rendah, yang mengandung karbida yang mudah larut, diperlukan  *holding time* yang singkat, 5 – 15 menit setelah mencapai temperatur pemanasannya dianggap sudah memadai.
- Baja konstruksi dari baja paduan menengah dianjurkan menggunakan  *holding time* 15 – 25 menit, tidak tergantung ukuran benda kerja.
- *Low alloy tool steel*; memerlukan  *holding time* yang tepat agar kekerasan yang diinginkan dapat tercapai. Dianjurkan menggunakan 0,5 menit per millimeter tebal benda, atau 10 – 30 menit.
- *High alloy chrome steel*; membutuhkan  *holding time* yang paling panjang diantara semua baja perkakas, juga tergantung pada temperatur pemanasannya. Juga diperlukan kombinasi temperatur dan  *holding time* yang tepat. Biasanya dianjurkan menggunakan 0,5 menit per millimeter tebal benda dengan minimum 10 menit, maksimum 3 jam.
- *Hot work tool steel*; mengandung karbida yang sulit larut, baru akan larut pada suhu 1000 °C. Pada temperatur ini kemungkinan terjadinya pertumbuhan butir sangat besar, karena itu  *holding time* harus dibatasi, 15 – 30 menit.
- *High speed steel*; memerlukan temperatur pemanasan yang sangat tinggi 1200 °C – 1300 °C. Untuk mencegah terjadinya pertumbuhan  *holding time* diambil hanya beberapa menit saja.

## 2.7 Quenching

*Quenching* merupakan proses pengerjaan logam dengan pendinginan secara cepat. Sehingga melalui *quenching* akan mencegah adanya proses yang dapat terjadi pada pendinginan lambat seperti pertumbuhan butir. Secara umum, *quenching* akan menyebabkan menurunnya ukuran butir dan dapat meningkatkan nilai kekerasan pada suatu paduan logam. Laju *quenching* tergantung pada beberapa faktor yaitu medium, panas spesifik, panas pada penguapan, konduktifitas termal medium, viskositas, dan agitasi (aliran media pendingin). Kecepatan pendinginan dengan air lebih besar dibandingkan pendinginan dengan oli, sedangkan pendingin dengan udara memiliki kecepatan yang paling kecil.

Pada umumnya baja yang telah mengalami proses *quenching* memiliki kekerasan yang tinggi serta dapat mencapai kekerasan yang maksimum tetapi agak rapuh. Dengan adanya sifat yang rapuh, maka kita harus menguranginya dengan melakukan proses lebih lanjut seperti *tempering*. Merupakan salah satu dari beberapa proses perlakuan panas yang bertujuan untuk meningkatkan kekuatan dan kekerasan baja dengan cara memanaskan logam tersebut pada temperatur tertentu, biasanya antara 845 °C - 870 °C, kemudian didinginkan secara cepat pada pendingin untuk mendapatkan struktur *martensit*. Pada baja – baja jenis tertentu, terdapat titik – titik laju pendinginan kritis yang dapat menghasilkan kekerasan maksimal dari transformasi struktur *austenite* pada suhu tinggi menjadi struktur *martensit* tanpa terjadi pembentukan struktur *perlit* atau *bainit* [10].

Adapun unsur-unsur media *quenching* antara lain [10]:

- Oli SAE 40

Oli sebagai media pendingin lebih lunak jika dibandingkan dengan air, digunakan pada material yang kritis antara lain material yang mempunyai bagian tipis atau ujung tajam, dikarenakan oleh lebih lunak maka kemungkinan adanya tegangan dalam distorsi dan retakan kecil. Oleh karena itu, media oli tidak menghasilkan logam sekeras yang dihasilkan media air.

- Air Garam

Air garam didalamnya terkandung yodium yang mampu merubah sifat mekanik pada logam dengan antara lain kekerasan, keausan, dan

lengkung. Dengan seperti itu air garam sangat cocok untuk media *quenching* sehingga mampu merubah dari sifat raw material.

- *Air coolant*

*Air coolant* adalah media yang paling banyak digunakan untuk pendinginan, karena biayanya yang murah digunakan serta pendinginan yang cepat. *Air coolant* digunakan pada logam yang memerlukan penuruntan temperatur dengan cepat dengan tujuan untuk memperoleh kekerasan dan kekuatan yang baik.

## 2.8 *Tempering*

*Tempering* adalah perlakuan untuk menghilangkan tegangan dalam dan menguatkan baja dari kerapuhan disebut dengan memudakan (*tempering*). *tempering* didefinisikan sebagai proses pemanasan logam setelah dikeraskan pada temperatur *tempering* (di bawah suhu kritis), yang dilanjutkan dengan proses pendinginan. Baja yang telah dikeraskan bersifat rapuh dan tidak cocok untuk digunakan. Melalui *temper*, kekerasan dan kerapuhan dapat diturunkan sampai memenuhi persyaratan penggunaan. Kekerasan turun, kekuatan tarik akan turun, sedang keuletan dan ketangguhan baja akan meningkat. Proses temper terdiri dari pemanasan kembali dari baja yang telah dikeraskan pada temperatur di bawah temperatur kritis, disusul dengan pendinginan. Meskipun proses ini menghasilkan baja yang lebih lunak, proses ini berbeda dengan proses anil karena di sini sifat-sifat fisis dapat dikendalikan dengan cermat. Struktur akhir hasil temper baja yang dikeraskan disebut *martensit temper* [10].

*Tempering* dibagi menjadi tiga tahap ketika suhu turun di bawah suhu kritis untuk jangka waktu yang lama:

1. Pendinginan pada suhu rendah (150 °C –300 °C). Tujuannya adalah untuk mengurangi kerapuhan baja dan tegangan kusut. Alat bor dan alat potong adalah contoh alat kerja yang belum berpengalaman. banyak ketegangan.

2. Pendinginan pada suhu sedang (300 °C - 500 °C). Konsep Ini meningkatkan keuletan, sekaligus menurunkan kekerasan. Metode ini berlaku untuk alat kerja tugas berat alat seperti palu, pahat, dan pegas.

3. Pengerasan pada suhu tinggi (500 °C - 650 °C). Tujuannya adalah untuk mempertahankan kehalusan sambil mencapai keuletan yang tinggi. Metode ini

digunakan untuk roda gigi, poros dan batang penggerak. Diantara yang lain.

## **2.9 Hardening**

Pengerasan atau *hardening* adalah proses pemanasan baja sampai temperatur di daerah atau di atas daerah kritis disusul dengan pendinginan yang cepat. Akan tetapi, bila komposisi baja tidak diketahui, perlu diadakan percobaan untuk mengetahui daerah pemanasannya. Cara yang terbaik ialah memanaskan dan mencelup beberapa potong baja pada berbagai temperatur disusul dengan pengujian kekerasan atau pengamatan *mikroskopik*. Bila temperatur yang tepat telah diperoleh akan terjadi perubahan dalam kekerasan dan sifat lainnya.

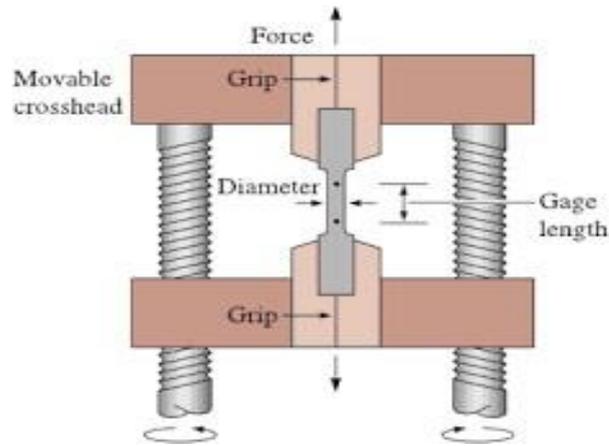
Pada setiap operasi perlakuan panas, laju pemanasan merupakan faktor yang penting. Panas merambat dari luar ke dalam dengan kecepatan tertentu. Bila pemanasan terlalu cepat, bagian luar akan jauh lebih panas dari bagian dalam sehingga tidak dapat diperoleh struktur yang merata. Bila bentuk benda tidak teratur, benda harus dipanaskan perlahan-lahan agar tidak mengalami distorsi atau retak. Makin besar potongan benda, makin lama waktu yang diperlukan untuk memperoleh hasil yang merata. Kekerasan yang dapat dicapai tergantung pada laju pendinginan, kadar karbon dan ukuran benda. Pada baja paduan, jenis dan jumlah paduan akan mempengaruhi kemampuan pengerasan [10].

## **2.10 Pengujian tarik (*Tensile Test*)**

Uji tarik adalah suatu metode yang digunakan untuk menguji kekuatan suatu bahan atau material dengan cara memberi beban gaya yang seimbang, hasil yang didapat dari pengujian tarik sangat penting untuk rekayasa teknik dan desain produk karena menghasilkan data kekuatan material. Pengujian uji tarik digunakan untuk mengukur ketahanan suatu material terhadap gaya statis yang diberikan secara lambat.

Salah satu hal yang bisa menyebabkan kegagalan pada elemen sebuah konstruksi mesin adalah beban yang bekerja pada elemen mesin besarnya melebihi kekuatan material. Kekuatan merupakan sifat yang dimiliki oleh setiap material. Kekuatan pada material dibagi menjadi dua bagian yaitu kekuatan tarik dan kekuatan mulur. Kekuatan material bias diperoleh dari sebuah pengujian yang dikenal dengan nama uji tarik. Dari pengujian itu selain diperoleh spesimen kerja yang putus karena proses penarikan, juga dihasilkan sebuah kurva uji tarik. Kurva

ini merupakan gambaran dari proses pembebanan pada spesimen kerja mulai dari awal penarikan hingga spesimen kerja itu putus [12].



**Gambar 2. 3** Tensile test [11]

### 2.10.1 Spesimen uji tarik

Pengujian tarik biasanya dilakukan terhadap spesimen/batang uji yang standar. Bahan yang akan diuji tarik, mawal dibuat menjadi batang uji dengan bentuk sesuai dengan suatu standar uji. Salah satu bentuk batang uji dapat dilihat pada gambar 2.3. Pada bagian tengah dari batang uji (pada bagian yang paralel) merupakan bagian yang menerima tegangan yang uniform, dan pada bagian ini disebut panjang ukur (*gauge length*), yaitu bagian yang dianggap menerima pembebanan, bagian ini yang selalu diukur panjangnya selama proses pengujian.

Batang uji ini dipasang pada mesin tarik, dijepit dengan pencekam dan di tarik pada ujung-ujungnya ke arah memanjang secara perlahan, pada penarikan setiap saat dicatat/tercatat dengan grafik yang tersedia pada uji tarik, besarnya gaya tarik yang bekerja dan besarnya pertambahan panjang yang terjadi sebagai akibat dari gaya tarik tersebut. Penarikan berlangsung sampai batang uji putus [11].

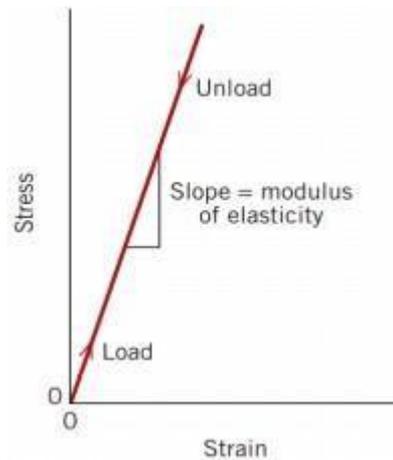


**Gambar 2. 4** Bentuk batang uji tarik [11]

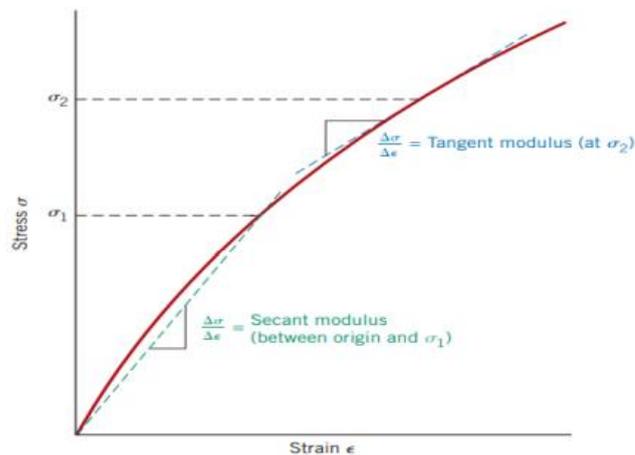
### 2.10.2 Stress-strain

#### A. Elastic deformation

*Elastic deformation* merupakan perubahan bentuk, dimana hubungan antara *stress* dan *strain* adalah proporsional. Dari Gambar 2.5 dapat terlihat, jika beban diberikan sebuah bahan dalam daerah elastis dan kemudian beban itu dihilangkan, maka bahan tersebut akan hampir kembali ke kondisi semula, yaitu regangan nol. Nilai kemiringan dari kurva ini bergantung pada modulus elastis suatu bahan tersebut [11].



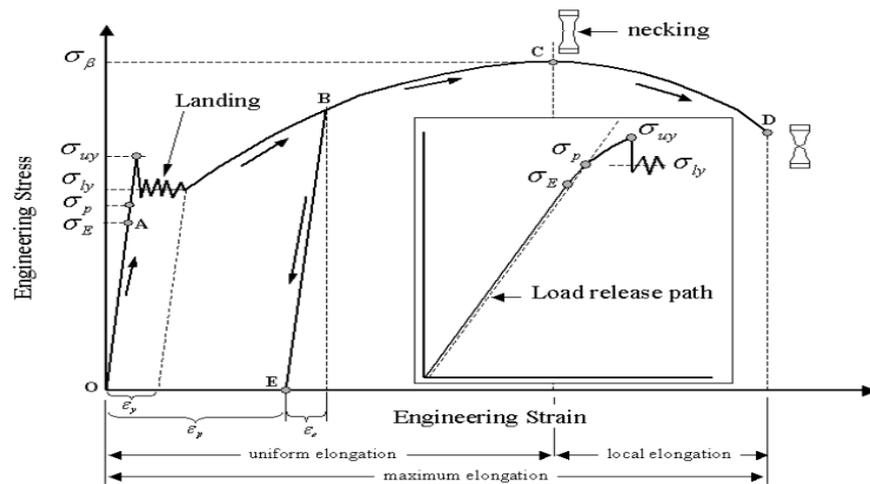
**Gambar 2. 5** *Stress-strain* diagram dalam daerah linear [11]



**Gambar 2. 6** Nonlinear *stress-strain* diagram [11]

Namun demikian ada beberapa bahan yang tidak memiliki daerah linear, dari kurva yang tidak memiliki daerah linear ini, nilai *modulus elastis* dapat ditentukan baik dengan *tangent modulus* ataupun dengan *scant modulus*. Dari Gambar 2.6 nilai *secant modulus* diperoleh dengan memotong kurva dari [11].

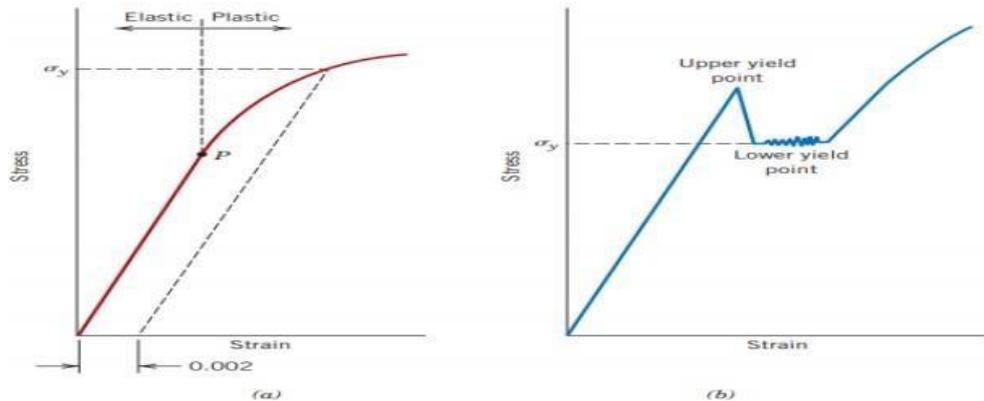
Titik nol sampai ke nilai tegangan tertentu, sedangkan untuk *tangent modulus* diperoleh dari garis singgung pada suatu titik tegangan tertentu. Untuk batas elastisitas (*elastic limit*), dapat dilihat pada gambar 2.6 yaitu titik A, dimana dalam proses pembebanan, jika nilai tegangan melewati batas ini, bahan tidak akan kembali ke bentuk semula. Sementara nilai batas proporsional / *proportional limit* ( $\sigma_p$ ) adalah batas dimana penerapan hukum *hooke* masih berlaku, biasanya nilai batas ini sama dengan batas elastis.



**Gambar 2. 7** Detail profil uji tarik [11]

### B. *Plastic deformation*

*Plastic deformation* merupakan bahan logam pada umumnya, batas elastis tidaklah sampai dengan 0.005, setelah melewati batas ini nilai *stress* tidak proporsional lagi terhadap nilai *strain*, dan terjadilah deformasi plastis [11].



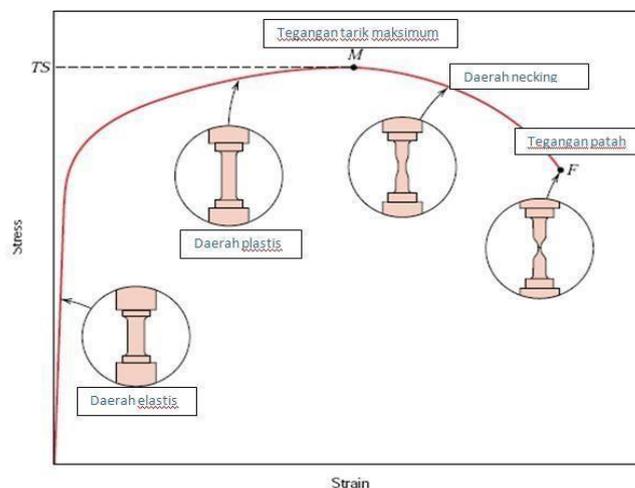
**Gambar 2. 8** Batas proporsional untuk logam pada umumnya [11]

### C. Yielding

*Yielding* merupakan daerah landing / daerah peralihan dari deformasi elastis ke deformasi plastis. Pada gambar 2.18b tegangan maksimum pada daerah ini disebut tegangan luluh atas / *upper yield stress* ( $\sigma_{uy}$ ), sedangkan untuk *lower yield stress* ( $\sigma_{ly}$ ) merupakan tegangan rata-rata sebelum benar-benar memasuki daerah plastis, tegangan inilah yang biasa disebut sebagai tegangan luluh / *yield stress*. Sedangkan untuk logam pada umumnya nilai dari tegangan luluh diperoleh dengan menarik garis lurus (gambar 2.6a) sejajar dengan *elastic proportional*, dengan offset tertentu dan biasanya mempunyai nilai 0.002 [8].

### D. Tensile strength

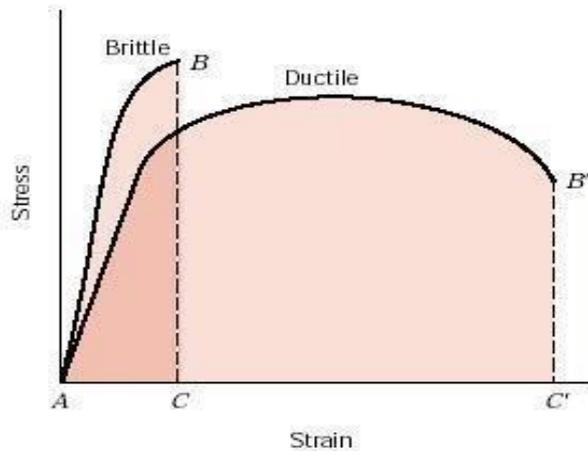
*Tensile strength* merupakan besar tegangan maksimum yang diperoleh dari kurva uji tarik, jika tegangan terus diberikan pada titik ini maka akan terjadi perpatahan pada bahan. Pada proses uji tarik, setelah melewati titik ini, maka bahan akan mengalami *contriction* atau *necking*, untuk ilustrasinya bisa dilihat pada Gambar 2.9 [11].



**Gambar 2.9** Typical engineering stress-strain behavior [11]

### E. Ductility

*Ductility* merupakan sifat mekanik bahan yang menunjukkan derajat deformasi plastis yang terjadi sebelum suatu bahan putus atau gagal pada uji tarik. Bahan disebut lentur (*ductile*) bila regangan plastis yang terjadi sebelum putus lebih dari 5%, bila kurang dari itu suatu bahan disebut getas (*brittle*) [11].



## 2.11 Macam-macam tipe data statistik

**Gambar 2. 10** Perbandingan material ulet dan getas [11]

Data adalah kumpulan keterangan atau informasi yang di peroleh dari suatu pengamatan. Data dibagi menjadi beberapa macam, yaitu [11]

### 1). Berdasarkan Jenis Data

#### a. Data Kuantitatif

Data kuantitatif adalah data yang dipaparkan dalam bentuk angka-angka. Misalnya adalah jumlah pembeli saat hari raya idul adha, tinggi badan siswa kelas 3 ips 2, nilai matematika (... ,6,7,8,9,10,) dan lain-lain.

#### b. Data Kualitatif

Data kualitatif adalah data yang disajikan dalam bentuk kata-kata yang mengandung makna. Contohnya seperti persepsi konsumen terhadap botol air minum dalam kemasan, anggapan para ahli terhadap psikopat, warna (merah, hijau, biru, kuning, hitam, dll) dan lain-lain.

### 2). Pembagian jenis data berdasarkan sifat data

#### a. Data Diskrit (cacahan)

Data diskrit ialah data statistik yang tidak mungkin berbentuk pecahan. Contohnya adalah data statistik tentang jumlah anggota keluarga: 1 – 2 – 3 – 4 – 5 – 6 – 7.

b. Data kontinyu

Adalah data statistik yang angka-angkanya merupakan deretan angka yang sambung-menyambung, dengan kata lain data kontinyu ialah data yang deretan angkanya merupakan suatu kontinu. Contohnya data statistik mengenai berat badan (dalam ukuran kilogram): 40 – 40,1 – 40,2 – 40,3 – 40,4 – 40,5 – dan seterusnya.

3). Data statistik berdasarkan cara menyusun angka

a. Data nominal

Adalah data statistik yang cara menyusun angkanya didasarkan atas penggolongan atau klasifikasi tertentu (misalnya berdasarkan jenis kelamin).

b. Data ordinal

Sering disebut data urutan, yaitu data statistik yang cara menyusun angkanya didasarkan atas urutan kedudukan atau ranking.

c. Data Interval

Adalah data statistik dimana terdapat jarak yang sama diantara hal-hal yang sedang diselidiki atau dipersoalkan.

4). Data statistik berdasarkan bentuk angkanya

a. Data tunggal

Adalah data statistik yang masing-masing angkanya merupakan satu unit (satu kesatuan); dengan kata lain data tunggal adalah data statistik yang angka-angkanya tidak dikelompokkan.

b. Data kelompok

Adalah data statistik yang tiap-tiap unitnya terdiri dari sekelompok angka.

Langkah-langkah pengolahan data yaitu:

1. Rumus menghitung rata-rata ( $\bar{x}$ ) data sebagai berikut.

$$\bar{x} = \frac{\sum x_i}{n} \dots\dots\dots(2.1)$$

Keterangan:

$x_i$  = Nilai data yang ada

$\bar{x}$  = Rata-rata

N = Jumlah data

2. Rumus standar deviasi (SD) data sebagai berikut.

$$SD = \sqrt{\frac{\sum(x_i - \bar{x})^2}{n}} \dots\dots\dots(2.2)$$

Keterangan:

- SD = Deviasi standar
- $\bar{x}$  = Nilai rata-rata
- $x_i$  = Nilai data yang ada
- n = Jumlah data

3. Rumus *margin error* dan *persentase error* sebagai berikut.

$$Margin\ Error = \frac{x - x_i}{x} \dots\dots\dots(2.3)$$

$$\% \ error = \frac{(x - x_i) \times 100}{x} \dots\dots\dots(2.4)$$

Keterangan:

- x = Data acuan
- $x_i$  = data hasil pengujian

4. Rumus standar deviasi relatif dan tingkat kepercayaan sebagai berikut.

$$RSD = \frac{SD \times 100}{\bar{x}} \dots\dots\dots(2.5)$$

$$Tingkat\ kepercayaan = 100\% - RSD \dots\dots\dots(2.6)$$

Keterangan:

- RSD = Standar deviasi relatif (%)
- SD = Standar deviasi
- $\bar{x}$  = Rata-rata

Persamaan regresi linier sederhana secara matematika dideskripsi oleh:

$$Y = a + bX \dots\dots\dots (2.7)$$

Keterangan:

- Y = garis regresi/ *variable response*
- X = variabel bebas/ *predictor*
- a = konstanta (*intercept*), perpotongan dengan sumbu vertikal
- b = konstanta regresi (*slope*)

## 2.12 Jenis-jenis patahan material

*Fracture* atau patah adalah terbaginya sebuah benda menjadi beberapa bagian atau lebih, dikarenakan tegangan yang statis pada suhu yang lebih rendah dari temperatur leleh materialnya. Tegangan yang terjadi bisa berupa *tensile strength*, tegangan geser atau karena torsi. Untuk material teknik, patahan yang mungkin terjadi dikarenakan oleh 2 hal yaitu *ductile fracture* (patah ulet) dan *brittle fracture* (patah getas). Hal ini ditentukan dari kemampuan material ketika mengalami deformasi plastis [8].

### 2.12.1 *Ductile fracture* (patah ulet)

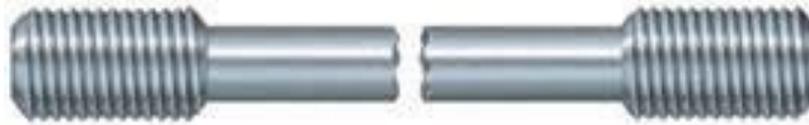
*Ductile* merupakan perpatahan yang terjadi akibat pembebanan yang berlebih dimana sebelumnya terjadi penyerapan energi dan deformasi plastis perpatahan ini biasanya terjadi pada energi pembebanan yang tinggi. Dalam ilmu material, keuletan ditentukan oleh sejauh mana suatu material dapat mempertahankan deformasi plastis di bawah tegangan tarik sebelum kegagalan. Daktilitis merupakan pertimbangan penting dalam teknik dan manufaktur, yang menentukan kesesuaian material untuk operasi manufaktur tertentu (seperti pengerjaan dingin) dan kapasitasnya untuk menyerap kelebihan beban mekanis. Bahan yang secara umum disebut ulet termasuk emas dan tembaga [8].



**Gambar 2. 11** *Ductile fracture* (patah ulet) [8]

### 2.12.2 *Brittle fracture* (patah getas)

*Brittle* merupakan patahan yang terjadi secara tiba-tiba dengan sedikit atau tanpa deformasi. Dalam kehidupan nyata, peristiwa patah getas dinilai lebih berbahaya daripada patah ulet, karena terjadi tanpa disadari begitu saja. Biasanya patah getas terjadi pada material berstruktur *martensit*, atau material yang memiliki komposisi karbon yang sangat tinggi sehingga sangat kuat namun rapuh [8].



**Gambar 2. 12** *Brittle fracture* (patahan getas) [8]

### 2.13 Material baja ST-41

Baja karbon rendah (*low carbon steel*) mempunyai karbon kurang dari 0,30% sehingga memiliki sifat lunak dan juga memiliki kekuatan yang lemah dibandingkan dengan baja karbon menengah dan baja karbon tinggi akan tetapi baja karbon rendah memiliki sifat ulet dan tangguh yang sangat baik. Baja karbon rendah memiliki kandungan karbon yaitu kurang dari 0,30% perlu perlakuan tambahan jika ingin melakukan modifikasi material atau ingin dilakukan pengerasan material.

Pada umumnya baja dengan kandungan karbon diatas 0,30% bisa langsung dikeraskan, namun untuk kandungan sebuah karbon dibawah 0,30% melalui proses penambahan karbon terlebih dahulu. Dengan sifat-sifat yang dimiliki baja karbon rendah, maka baja karbon rendah dapat dipergunakan sebagai baja-baja plat atau sirip, untuk bahan body kendaraan, untuk konstruksi bangunan jembatan, untuk dibuat sebagai

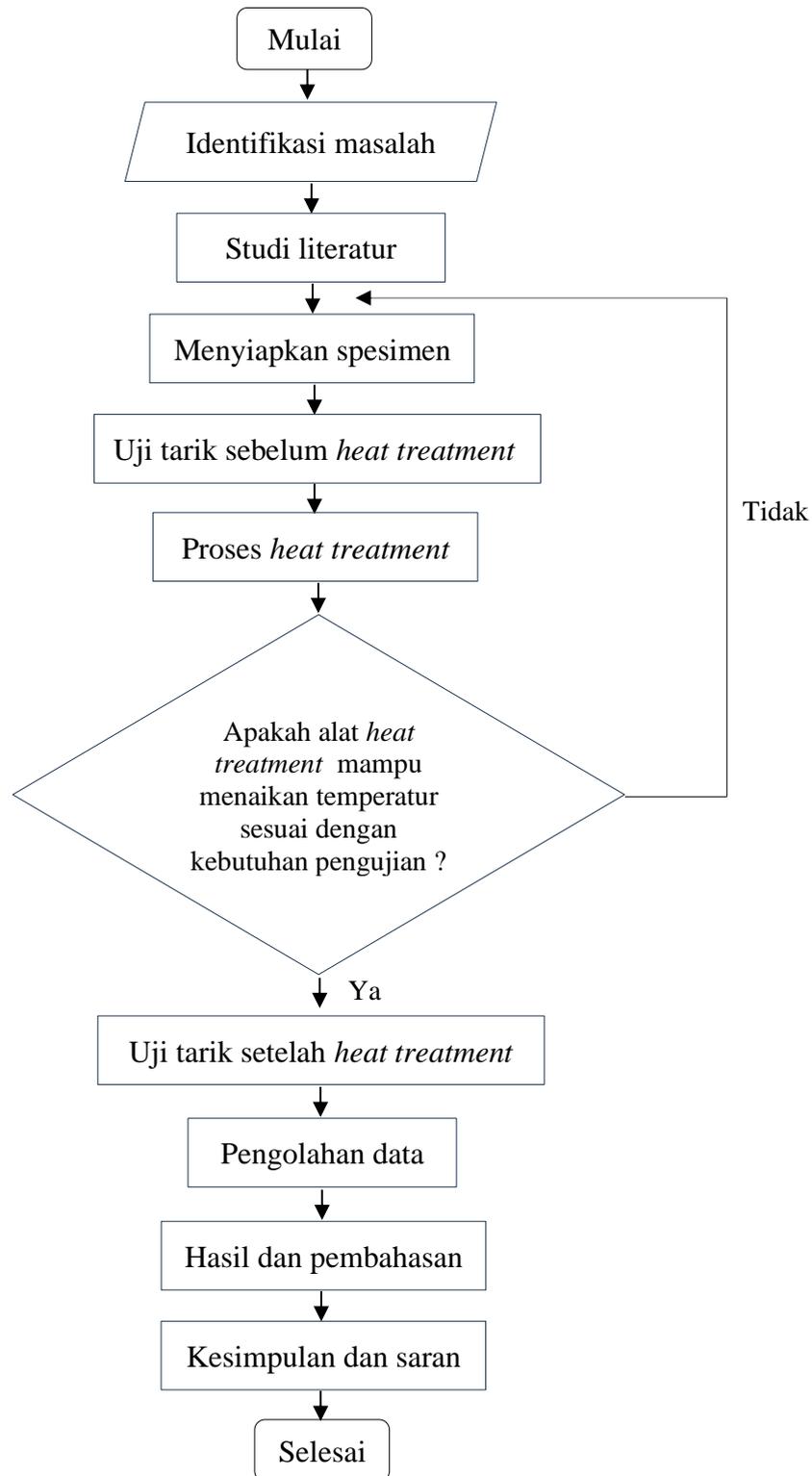
**Tabel 2. 1** Komposisi kimia material baja ST-41 [9]

| Nama Brand        | ST 41    |
|-------------------|----------|
| Carbon (C) %      | 0,24     |
| Mangan (Mn) %     | 0,90     |
| Phosphorus (P) %  | 0,035    |
| Sulfur (S) %      | 0,04     |
| Silicon (Si) %    | 0,15-0,4 |
| Chromium (Cr) %   | -        |
| Nickel (Ni) %     | -        |
| Molybdenum (Mo) % | -        |
| Nitrogen (N) %    | -        |
| Tembaga (Cu) %    | 0,2      |

Jenis ST-41 adalah baja karbon rendah dengan kekuatan tarik minimum hingga  $40 \text{ kg/mm}^2$  atau  $400 \text{ N/mm}^2$  (MPa) dan memiliki komposisi (0,24% C), (0,15-0,4% Si), (0,90% Mn), (0,035% P), (0,05% S). ST-41 memiliki kekuatan tarik maksimum sampai dengan  $400\text{-}550 \text{ N/mm}^2$  (MPa) termasuk kedalam golongan baja *hypoeutectid* yang memiliki kandungan struktur mikro *ferrite* dan *pearlite* [8]

**BAB III**  
**METODOLOGI**

**3.1. Diagram Alir Penelitian**



**Gambar 3. 1** Flowchart penelitian

### 3.2. Prosedur Penelitian

#### 1. Identifikasi masalah

Latar belakang penelitian merupakan acuan awal tahap identifikasi permasalahan yang terjadi pada pengujian spesimen pada alat *heat treatment*. Identifikasi masalah ini ditunjukkan untuk mengetahui inti permasalahan yang terjadi.

#### 2. Studi literatur

Studi literatur merupakan Sebagian referensi dari berbagai macam sumber, diantaranya buku atau jurnal untuk mendukung penyelesaian penelitian ini. Dari studi literatur yang didapatkan maka diperoleh sebuah teori dasar, konsep serta metode yang dapat digunakan sebagai penunjang dan pemecahan masalah.

#### 3. Siapkan spesimen baja ST-41

Siapkan spesimen ST-41 merupakan tahap mempersiapkan spesimen yang akan di uji sesuai standar dan spesifikasi yang dibutuhkan pada penelitian ini.

#### 4. Uji tarik sebelum di *heat treatment*

Uji tarik merupakan tahap pengujian yang dilakukan dengan melakukan penarikan terhadap spesimen uji untuk mengetahui kekuatan dan sifat mekanik sebelum dilakukan tahap *heat treatment*.

#### 5. Proses *heat treatment*

*Heat treatment* merupakan suatu metode yang digunakan untuk mengubah sifat logam dengan cara mengubah struktur mikro melalui proses pemanasan dan pengatur kecepatan pendinginan untuk mendapatkan kekuatan spesimen uji.

#### 6. Pengujian performa alat *heat treatment*

Pengujian performa alat *heat treatment* merupakan suatu proses pengujian pada alat *heat treatment* untuk mengetahui performa dari alat apakah sudah sesuai dengan kebutuhan pengujian atau tidak.

#### 7. Uji tarik setelah di *heat treatment*

Uji tarik merupakan tahap pengujian yang dilakukan dengan melakukan penarikan terhadap spesimen uji untuk mengetahui nilai kekuatan dan sifat mekanik sesudah dilakukan tahap *heat treatment*.

#### 8. Pengolahan data

Salah satu data hasil pengujian tarik yang telah dilakukan sebagai data input pada

perangkat lunak yang dibuat akan diperoleh hasil kekuatan material tersebut.

#### 9. Hasil dan pembahasan

Data yang diperoleh kemudian diolah untuk mendapatkan data-data aktual dari pengujian spesimen ST-41. Selanjutnya dilakukan menganalisis untuk membandingkan nilai kekuatan pada setiap spesimen yang sudah dilakukan proses *heat treatment* dengan standar internasional.

#### 10. Kesimpulan dan Saran

Dari analisis yang telah dilakukan diperoleh kesimpulan dan saran.

### 3.3. Tempat pengujian spesimen uji

Proses pengujian spesimen uji dilakukan pada Mei 2023 di *Workshop* program studi Teknik Mesin, Universitas Dharma Andalas, Padang.

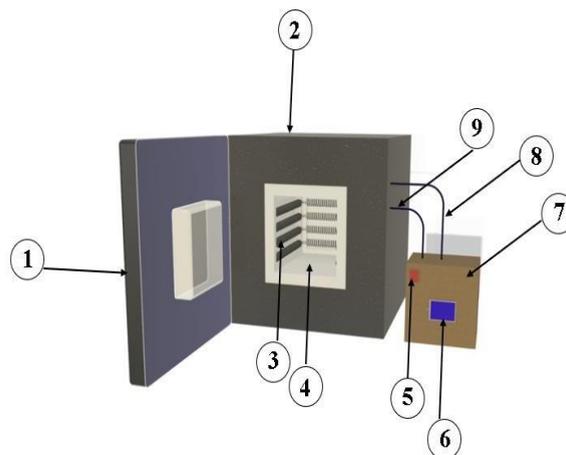
### 3.4. Alat dan bahan penelitian

#### A. Alat

Alat-alat yang digunakan pada penelitian ini sebagai berikut:

- Tungku *heat treatment*

Tungku *heat treatment* berfungsi untuk proses perlakuan panasspesimen uji sampai batas temperatur perlakuan panas, yang dapat dilihat pada gambar 3.2.



**Gambar 3. 2** Tungku *heat treatment*

**Tabel 3.1** Spesifikasi tungku *heat treatment*

| NO | Keterangan |
|----|------------|
|    |            |

|   |                             |
|---|-----------------------------|
| 1 | <i>Door</i>                 |
| 2 | <i>Cover Carbon Fiber</i>   |
| 3 | <i>Nickel Wire</i>          |
| 4 | <i>Specimen Position</i>    |
| 5 | <i>Saklar Switch On/Off</i> |
| 6 | <i>TFT</i>                  |
| 7 | <i>Box Controller</i>       |
| 8 | <i>Pipe To Termokopel</i>   |
| 9 | <i>Pipe To Nickel Wire</i>  |

**Gambar 3.2** tungku *heat treatment*

Spesifikasi alat tungku heat treatment dapat memberikan informasi yang berguna sebagai bahan pertimbangan untuk dijadikan acuan. Adapun spesifikasi alat tungku heat treatment seperti ditampilkan pada Tabel 3.1.

**Tabel 3. 2** Spesifikasi alat *heat treatment*.

| <b>No</b> | <b>Spesifikasi</b> | <b>Dimensi</b> |
|-----------|--------------------|----------------|
| 1         | Berat total        | 131,51 kg      |
| 2         | Tinggi             | 400 mm         |
| 3         | Panjang            | 410 mm         |
| 4         | Lebar              | 400 mm         |
| 5         | Suhu max           | 950 °C         |
| 6         | Daya               | 881,6 Watt     |
| 7         | Input              | 220 V          |

- Mesin bubut konvensional

Mesin bubut berfungsi untuk memotong dan membentuk spesimen yang akan di uji pada penelitian ini, yang dapat dilihat pada Gambar3.3.



**Gambar 3. 3** Mesin bubut konvensional (dokumentasi pribadi)

- Mesin uji tarik

Mesin uji tarik berfungsi untuk menguji kekuatan sifat mekanik pada spesimen uji yang belum dilakukan proses *heat treatment* dan yang sudah dilakukan proses *heat treatment*, yang dapat dilihat padagambar 3.4



**Gambar 3. 4** Mesin uji tarik (dokumentasi pribadi)

- Tang jepit

Tang jepit berfungsi untuk pengambilan spesimen setelah dilakukan perlakuan *heat treatment*, yang dapat dilihat pada gambar 3.5



**Gambar 3. 5** Tang jepit (Dokumentasi pribadi)

- Jangka sorong  
Jangka sorong berfungsi untuk mengukur diameter, ketebalan dan Panjang pada spesimen uji, yang dapat dilihat pada gambar 3.6.



**Gambar 3. 6** Jangka sorong [11]

- Sarung tangan  
Sarung tangan berfungsi untuk *safety* Ketika pengambilan spesimensetelah dilakukan perlakuan *heat treatment*, yang dapat dilihat padagambar 3.7.



**Gambar 3. 7** Sarung Tangan [8]

- Gerinda

Gerinda berfungsi untuk memotong spesimen sesuai dengan ukuran pengujian, yang dapat dilihat pada gambar 3.8



**Gambar 3. 8** Gerinda [8]

## **B. Bahan**

Bahan atau spesimen uji yang digunakan pada penelitian ini yaitu ST-41 dengan unsur paduan yang dapat dilihat pada tabel 3.2.

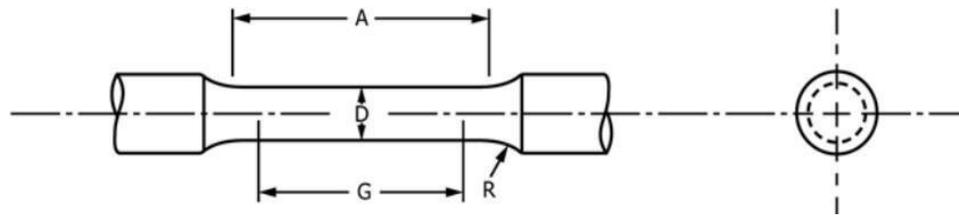
**Tabel 3. 3** Unsur paduan pada spesimen ST-41[8]

| <b>Unsur</b> | <b>Persentase</b> |
|--------------|-------------------|
| C            | 0,24%             |
| Mn           | 0,90 %            |
| Si           | 0,4 %             |

### **3.5. Standar dimensi spesimen uji pada pengujian tarik**

Berdasarkan standar ASTM A370-03a spesimen uji dari pengujian tarik yang dijadikan objek dalam penelitian ini. Jenis material spesimen yang digunakan adalah ST-41 dengan jenis penampang lingkaran seperti terlihat pada gambar 3.9 sebagai berikut:

### C. Menentukan dimensi spesimen ST-41



**Gambar 3. 9** spesimen uji tarik ST-41 [12]

Keterangan:

D = Diameter Spesimen (mm)

R = Radius 45° (mm)

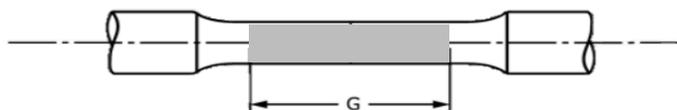
A = Panjang spesimen uji (mm)

G = Panjang ukur (mm)

**Tabel 3. 1** Ukuran spesimen ST-41[8]

| No | Spesimen  |
|----|-----------|
| 1. | D = 4 mm  |
| 2. | A = 30 mm |
| 3. | G = 25 mm |
| 4. | R = 5 mm  |

### D. Menentukan titik patahan pada spesimen



**Gambar 3. 10** Titik patahan spesimen uji tarik [12]

Pada gambar 3.10 menjelaskan panjang ukur pada spesimen uji tarik dengan material baja ST-41 yang berpenampang lingkaran, berdasarkan standar ASTM A370-03a mempunyai panjang area patahan (G) dengan panjang 25mm. Apabila titik patahan diluar dari ukuran yang sudah ditentukan maka proses pengujian tarik gagal dilakukan.

### 3.6. Prosedur pengolahan data hasil uji tarik

Untuk mengolah data hasil pengukuran seperti itu dapat digunakan analisis statistik. Agar cara-cara statistik yang digunakan dan keterangan (interpretasi) yang diberikannya bermanfaat, diperlukan jumlah pengukuran yang banyak, dan ketidakpastian yang terjadi harus lebih kecil dari ketidakpastian acak nya. Pengolahan data hasil pengukuran berulang ini akan melibatkan pengertian-pengertian nilai rata-rata (*arithmetic mean*), simpangan terhadap nilai rata-rata, simpangan rata-rata (*average deviation*), dan deviasi standar:

#### 1). Nilai rata-rata

Perhitungan nilai rata-rata menggunakan persamaan (2.1). Nilai rata-rata ini semakin mendekati nilai yang sesungguhnya dari nilai besaran yang diukur, jika pengukuran diulang sebanyak mungkin. Secara teoretis pendekatan yang terbaik akan diperoleh bila jumlah pengulangan pengukuran tak berhingga, tetapi secara praktis jumlah pengulangan pengukuran pasti akan terbatas. Nilai rata-rata besaran  $x$  yang diukur sebanyak  $N$  kali pengukuran.

#### 2). Standar deviasi

Perhitungan nilai deviasi standar menggunakan persamaan (2.2) merupakan simpangan hasil pengukuran terhadap nilai yang sebenarnya, tetapi merupakan simpangan hasil pengukuran berulang terhadap nilai rata-rata pembacaan hasil pengukuran berulang.

#### 3). Margin *error* dan persentase *error*

Perhitungan margin *error* dan persentase *error* menggunakan persamaan (2.3) dan (2.4) merupakan perbedaan nilai teoritis dan nilai hasil pengujian serta persentase kesalahan data tersebut.

#### 4). Standar deviasi relatif dan tingkat kepercayaan

Perhitungan Standar Deviasi Relatif dan Tingkat Kepercayaan menggunakan persamaan (2.5) dan (2.6) merupakan nilai kesalahan dari standar deviasi terhadap rata-rata yang dihasilkan yang memungkinkan data yang dihasilkan layak diolah atau tidak.

#### 5). Regresi linear

Perhitungan nilai regresi linear menggunakan persamaan (2.7) merupakan pendekatan keseragaman antara semua data yang dihasilkan.

### 3.7 Prosedur penelitian

#### 3.7.1 Persiapkan spesimen

Berikut ini merupakan langkah-langkah dalam mempersiapkan spesimen yang akan dilakukan, diantaranya adalah sebagai berikut:

- Siapkan ST-41.
- Potong spesimen menggunakan gerinda dengan dimensi yang telah ditentukan.
- Setelah itu proses pembubutan sesuai dengan ukuran standar ASTM A370-03a.
- Setelah itu haluskan sisi-sisi spesimen menggunakan amplas.

**Tabel 3. 2** Dimensi aktual spesimen [11].

| No | Nomor Spesimen | Material | Diameter (mm) | Panjang Awal (mm) | Luas Penampang (mm <sup>2</sup> ) |
|----|----------------|----------|---------------|-------------------|-----------------------------------|
| 1  | Spesimen 1     | ST-41    | 4             |                   |                                   |
| 2  | Spesimen 2     |          | 4             |                   |                                   |
| 3  | Spesimen 3     |          | 4             |                   |                                   |
| 4  | Spesimen 4     |          | 4             |                   |                                   |
| 5  | Spesimen 5     |          | 4             |                   |                                   |

Luas penampang spesimen:

$$\begin{aligned} A &= \frac{1}{4} \pi D^2 \\ &= \frac{1}{4} \times 3,14 \times (4)^2 \\ &= 12,56 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

### 3.7.2 Uji tarik sebelum di-*heat treatment*

Berikut ini merupakan langkah-langkah dari pengujian tarik spesimen ST-41 tanpa *heat treatment*, diantaranya adalah sebagai berikut:

- Siapkan spesimen yang akan di uji tarik
- Siapkan mesin uji tarik yang akan digunakan.
- Pasang spesimen uji tarik dan pastikan terjepit dengan kuat dan benar.
- Hidupkan mesin dan *desktop*, kemudian hubungkan ke *wifi*.
- Hidupkan laptop dan hubungkan dengan *wifi*, kemudian masuk ke *website* yang telah disediakan.
- Jalankan program untuk melihat proses tampilan *desktop* uji tarik.
- Kemudian login dengan *website* yang telah disediakan.
- Pada halaman *dashboard* di panel *process controller*, tekan tombol dengan tanda tambah (+) pada menu *choose testing* untuk menambahkan data pengujian spesimen tersebut. Setelah mengisi formulir tersebut tekan tombol simpan.
- Selanjutnya tekan tombol tambah (+) pada menu *choose spesimen item*, isikan data spesimen yang akan diuji. Kemudian isi formulir ini, sebagai pengujian tarik. Setelah mengisi formulir tersebut tekan tombol simpan
- Pasangkan spesimen pada mesin uji tarik, pasang kedua ujungnya dengan benar dan tegak lurus.
- Pastikan *loadcell* mulai pembebanan yang terbaca di *desktop*  $\pm 40$  N.
- Pilih nama uji tarik dan nama pengujian tadi yang diisi. Selanjutnya tekan tombol *start*.
- Amati *website* dengan melihat data dan grafik yang sedang berlangsung pada saat pengujian tarik sampai spesimen terputus. Tunggu hingga *website* dan *desktop* menampilkan hasil pengujian data *yield*, *ultimate*, *fracture* dan *strain*.
- Simpan hasil pengujian, selanjutnya tekan tombol *export*. Untuk mendapatkan data detail hasil pengujian.
- Lakukan pengujian ini sebanyak 5 spesimen pengujian tarik.
- Hitung data hasil pengujian tarik.

**Tabel 3. 3** Uji tarik spesimen sebelum di *heat treatment*.

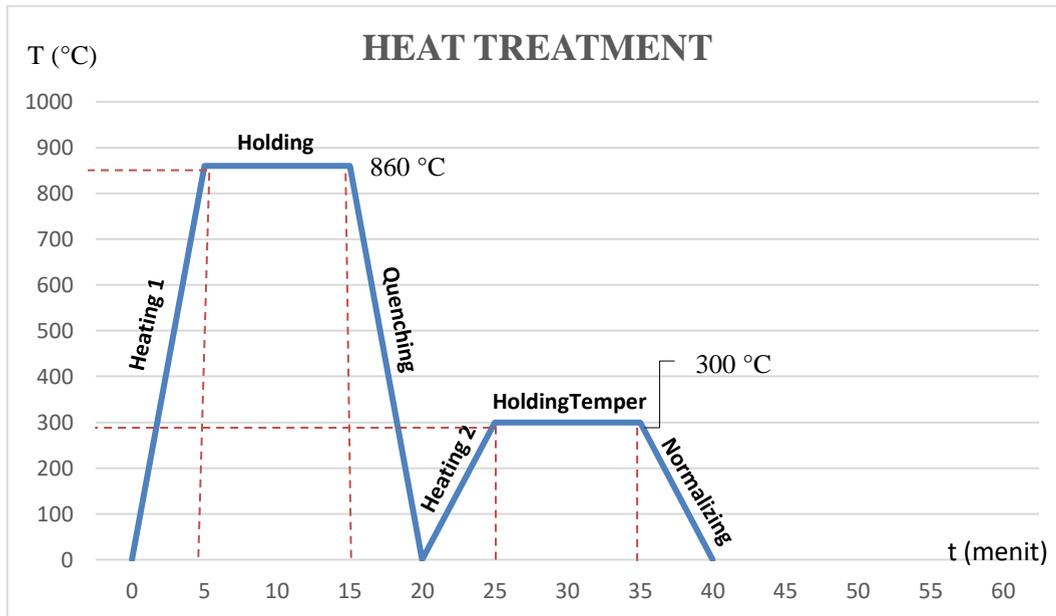
| Spesimen                    | Material | $\sigma_y$ (MPa) | $\sigma_u$ (MPa) | $\sigma_f$ (MPa) | $\varepsilon$ (%) | e (mm) |
|-----------------------------|----------|------------------|------------------|------------------|-------------------|--------|
| 1                           | ST41     |                  |                  |                  |                   |        |
| 2                           | ST41     |                  |                  |                  |                   |        |
| 3                           | ST41     |                  |                  |                  |                   |        |
| 4                           | ST41     |                  |                  |                  |                   |        |
| 5                           | ST41     |                  |                  |                  |                   |        |
| Nilai Minimum               |          |                  |                  |                  |                   |        |
| Nilai Maksimum              |          |                  |                  |                  |                   |        |
| Rata-rata                   |          |                  |                  |                  |                   |        |
| Standar Deviasi             |          |                  |                  |                  |                   |        |
| Standar Deviasi Relatif (%) |          |                  |                  |                  |                   |        |
| Tingkat Kepercayaan (%)     |          |                  |                  |                  |                   |        |

Keterangan:  $\sigma_y$  = *yield strength* (MPa),  $\sigma_u$  = *ultimate strength* (MPa),  $\varepsilon$  = *strain* (%), e = *elongation* (mm).

### 3.7.3 Proses *heat treatment*

Spesimen yang sudah di uji tarik untuk mengetahui kekuatan tariknya kemudian dilakukan proses perlakuan panas, Langkah-langkah perlakuan panasnya adalah sebagai berikut:

- Siapkan spesimen dan dapur pemanas dengan temperatur 30 °C
- Masukkan spesimen lalu Panaskan dapur pemanas dengan temperatur 30 °C sampai temperatur 860 °C dan *holding time* selama 10 menit pada ke 5 spesimen.
- Setelah itu ambil spesimen dari dapur pemanas menggunakan tang penjepit dan sarung tangan anti panas.
- Spesimen siap untuk didinginkan.



**Gambar 3. 11** Grafik *heat treatment*

Keterangan:

1. Proses *heating 1* dimulai dari temperatur 30 °C lalu dipanaskan sampai dengan temperatur 860 °C.
2. Kemudian proses *holding* pada temperatur 860 °C dengan waktu penahanan selama 10 menit.
3. Lalu proses selanjutnya di *quenching* dengan media Oli.
4. Setelah di *quenching*, spesimen di *tempering* pada temperatur 300 °C.
5. Kemudian di *holding tempering* selama 10 menit.
6. Lalu proses selanjutnya di *normalizing* sampai temperatur spesimen 0 °C.

**Tabel 3. 4** Proses *heat treatment* [8]

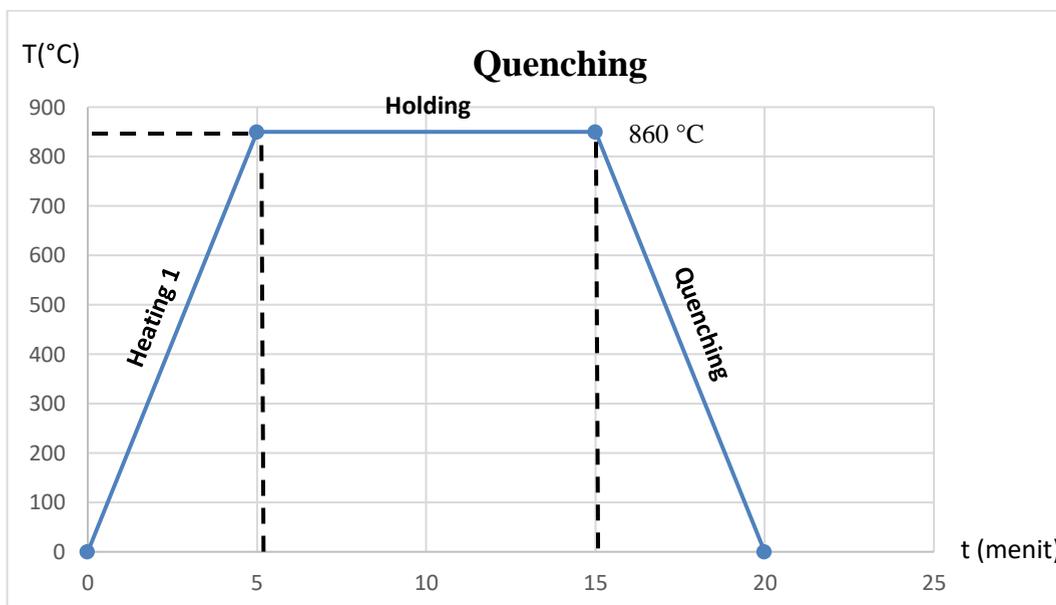
| No | Proses           | Tawal | Takhir | tawal | takhir | $\Delta T$ | $\Delta t$ |
|----|------------------|-------|--------|-------|--------|------------|------------|
| 1. | <i>Heating</i>   |       |        |       |        |            |            |
| 2. | <i>Holding</i>   |       |        |       |        |            |            |
| 3. | <i>Quenching</i> |       |        |       |        |            |            |
| 4. | <i>Heating</i>   |       |        |       |        |            |            |
| 5. | <i>Tempering</i> |       |        |       |        |            |            |
| 6. | <i>Holding</i>   |       |        |       |        |            |            |

|    |             |  |  |  |  |  |  |
|----|-------------|--|--|--|--|--|--|
| 7. | Normalizing |  |  |  |  |  |  |
|----|-------------|--|--|--|--|--|--|

### A. Quenching

Untuk pendinginan spesimen pada media pendinginan oli dilakukan langkah-langkah sebagai berikut:

1. Setelah proses *heat treatment* selesai, siapkan media pendinginan berupa oli dengan rincian 1 liter dalam ember.
2. Melakukan pendinginan pada spesimen ST-41 secara bersamaan dengan rincian 5 spesimen dalam ember.
3. Menunggu sekitar 15 menit sampai spesimen dingin, kemudian bersihkan spesimen.



**Gambar 3.12** Grafik *quenching*

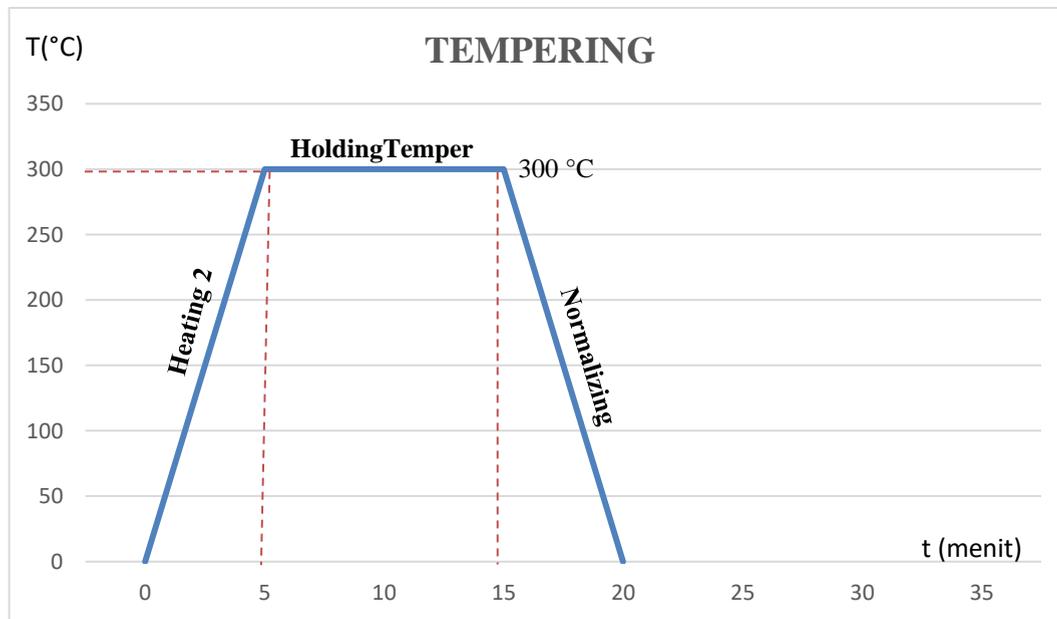
Keterangan:

1. Proses *heating 1* dimulai dari temperatur 30 °C lalu dipanaskan sampai dengan temperatur 860 °C.
2. Kemudian proses *holding* pada temperatur 860 °C dengan waktu penahanan selama 10 menit.
3. Lalu proses selanjutnya di *quenching* dengan media Oli.

### B. Tempering

Untuk pendinginan spesimen pada proses *tempering* dilakukan Langkah-langkah sebagai berikut:

1. Setelah dilakukan proses *quenching*, kemudian siapkan temperatur *tempering* tungku *heat treatment* untuk memanaskan Kembali spesimen.
2. Melakukan pemanasan spesimen ST-41 secara bersamaan dengan rincian 5 spesimen dalam tungku *heat treatment*.
3. Panaskan spesimen pada temperatur 30 °C sampai dengan temperatur 300 °C dan *holding time* selama 10 menit, kemudian dinginkan dengan media udara dan siap untuk dilakukan uji tarik.



**Gambar 3. 13** Grafik *tempering*

Keterangan:

1. Spesimen di *heating 2* pada temperatur 300 °C.
2. Kemudian di *holding tempering* selama 10 menit.
3. Lalu proses selanjutnya di *normalizing* sampai temperatur spesimen 0 °C dengan media udara.

### 3.7.4 Pengujian performa alat *heat treatment*

Berikut ini merupakan langkah-langkah dari pengujian performa alat *heat treatment*, diantaranya sebagai berikut:

1. Tungku *heat treatment* dipanaskan mulai dari temperatur 0 °C sampai dengan temperatur *heating 1* sebesar 860 °C.
2. Untuk memastikan temperatur sesuai dengan temperatur *heating*, maka dilakukan pengecekan kenaikan temperatur pada monitor dan pada tungku menggunakan

*thermogun*.

3. Memastikan kenaikan temperatur permenit sudah sesuai dengan kebutuhan pengujian spesimen.
4. Memastikan *holding time* sensor sudah sesuai dengan kebutuhan pengujian spesimen.

**Tabel 3.8** Metoda pengukuran kenaikan temperatur performa alat *heat treatment*

| No | Temperatur (°C) | Waktu (s) |
|----|-----------------|-----------|
| 1. |                 |           |
| 2. |                 |           |
| 3. |                 |           |
| 4. |                 |           |
| 5. |                 |           |
| 6. |                 |           |
| 7. |                 |           |
| 8. |                 |           |
| 9. |                 |           |

### 3.7.5 Uji tarik setelah perlakuan panas

Berikut ini merupakan langkah-langkah dari pengujian tarik spesimen ST-41 setelah di *heat treatment*, diantaranya adalah sebagai berikut:

- Siapkan mesin uji tarik yang akan digunakan.
- Pasang spesimen uji tarik yang telah dilakukan proses *heat treatment* dan pastikan terjepit dengan kuat dan benar.
- Hidupkan mesin dan *dekstop*, kemudian hubungkan ke *wifi*.
- Hidupkan laptop dan hubungkan dengan *wifi*, kemudian masuk ke *website* yang telah disediakan.
- Jalankan program untuk melihat proses tampilan *dekstop* uji tarik.
- Kemudian login dengan *website* yang telah disediakan.
- Pada halaman *dashboard* di panel *process controller*, tekan tombol dengan tanda tambah (+) pada menu *choose testing* untuk menambahkan data pengujian spesimen tersebut. Setelah mengisi formulir tersebut tekan tombol simpan.

- Selanjutnya tekan tombol tambah (+) pada menu *Choose* spesimen item, isikan data spesimen yang akan diuji. Kemudian isi formulir ini, sebagai pengujian tarik. Setelah mengisi formulir tersebut tekan tombol simpan.
- Pasangkan spesimen pada mesin uji tarik, pasang kedua ujungnya dengan benar dan tegak lurus.
- Pastikan *loadcell* mulai pembebanan yang terbaca di *desktop*  $\pm 40$  N.
- Pilih nama uji tarik dan nama pengujian tadi yang diisi. Selanjutnya tekan tombol *start*
- Amati *website* dengan melihat data dan grafik yang sedang berlangsung pada saat pengujian tarik sampai spesimen terputus. Tunggu hingga *website* dan *desktop* menampilkan hasil pengujian data *yield*, *ultimate*, *fracture* dan *strain*.
- Simpan hasil pengujian, selanjutnya tekan tombol *export*. Untuk mendapatkan data detail hasil pengujian.
- Lakukan pengujian ini sebanyak 5 spesimen pengujian tarik.
- Hitung data hasil pengujian tarik yang dihasilkan dengan langkah-langkah uji normalitas data.
- Setelah itu cetak hasil dari proses penarikan tersebut dengan printer.

**Tabel 3. 7** Uji tarik spesimen setelah di *heat treatment*.

| Spesimen                    | Material | $\sigma_y$ (MPa) | $\sigma_u$ (MPa) | $\sigma_f$ (MPa) | $\epsilon$ (%) | e (mm) |
|-----------------------------|----------|------------------|------------------|------------------|----------------|--------|
| 1                           | ST41     |                  |                  |                  |                |        |
| 2                           | ST41     |                  |                  |                  |                |        |
| 3                           | ST41     |                  |                  |                  |                |        |
| 4                           | ST41     |                  |                  |                  |                |        |
| 5                           | ST41     |                  |                  |                  |                |        |
| Nilai Minimum               |          |                  |                  |                  |                |        |
| Nilai Maksimum              |          |                  |                  |                  |                |        |
| Rata-rata                   |          |                  |                  |                  |                |        |
| Standar Deviasi             |          |                  |                  |                  |                |        |
| Standar Deviasi Relatif (%) |          |                  |                  |                  |                |        |
| Tingkat Kepercayaan (%)     |          |                  |                  |                  |                |        |

## BAB IV

### HASIL DAN PEMBAHASAN

#### 4.1. Analisa hasil pengujian performa *heat treatment*

Pada penelitian ini, penulis melakukan proses pengujian performa pada alat *heat treatment* menggunakan spesimen ST-41 yang telah dirancang oleh tim peneliti. Proses yang dilakukan bertujuan untuk membandingkan hasil yang diperoleh dari pengujian performa alat *heat treatment* menggunakan ST-41 dengan nilai pengujian studi literatur.

Proses pengujian dilakukan menggunakan spesimen uji ST-41. Pengujian ini dilakukan dengan dimensi spesimen yaitu diameter 4 mm. Selanjutnya, dilakukan proses analisis terkait hasil pengujian yang diperoleh dari alat dan dibandingkan dengan nilai pengujian studi literatur. Adapun variabel yang akan dibandingkan atau dianalisis yaitu tegangan maksimum (*ultimate strength*) dari hasil pengujian peneliti dibandingkan dengan studi literatur.

##### 4.1.1. Hasil pengujian uji tarik ST-41 sebelum di-*heat treatment*

Proses pengujian dilakukan pada spesimen uji tarik dengan diameter  $\pm 4$  mm sebelum di-*heat treatment*. Detail dimensi spesimen tersebut dapat dilihat pada tabel 4.1. Proses pengujian dilakukan sebanyak 5 spesimen pengujian. Data hasil pengujian pada spesimen-spesimen tersebut dapat dilihat pada tabel 4.2.

**Tabel 4.1** Spesifikasi spesimen sebelum di-*heat treatment*.

| No | Nomor Spesimen | Material | Diameter (mm) | Panjang Awal (mm) | Luas Penampang (mm <sup>2</sup> ) |
|----|----------------|----------|---------------|-------------------|-----------------------------------|
| 1  | Spesimen 1     | ST-41    | 4,00          | 30,50             | 12,56                             |
| 2  | Spesimen 2     |          | 4,00          | 29,50             | 12,56                             |
| 3  | Spesimen 3     |          | 4,10          | 30,80             | 13,20                             |
| 4  | Spesimen 4     |          | 4,00          | 30,10             | 12,56                             |
| 5  | Spesimen 5     |          | 3,96          | 29,30             | 12,31                             |

**Tabel 4.2** Hasil pengujian spesimen sebelum di-*heat treatment*.

| Spesimen                    | Material | <i>Yield strength</i> (MPa) | <i>Ultimate strength</i> (MPa) | <i>Fracture strength</i> (MPa) | Elongation (mm) | <i>Strain</i> (%) |
|-----------------------------|----------|-----------------------------|--------------------------------|--------------------------------|-----------------|-------------------|
| 1                           | ST41     | 531,15                      | 538,42                         | 310,92                         | 7,42            | 24,16             |
| 2                           | ST41     | 519,84                      | 557,31                         | 352,40                         | 4,80            | 16,29             |
| 3                           | ST41     | 497,07                      | 557,14                         | 354,12                         | 5,32            | 17,28             |
| 4                           | ST41     | 546,43                      | 605,16                         | 390,21                         | 6,24            | 20,72             |
| 5                           | ST41     | 514,65                      | 557,67                         | 354,41                         | 5,02            | 17,14             |
| Nilai Minimum               |          | 497,07                      | 557,14                         | 310,92                         | 4,80            | 16,29             |
| Nilai Maksimum              |          | 546,43                      | 605,16                         | 390,21                         | 7,42            | 24,16             |
| Rata-rata                   |          | 521,83                      | 563,14                         | 352,41                         | 5,76            | 19,12             |
| Standar Deviasi             |          | 18,44                       | 24,88                          | 28,09                          | 1,08            | 3,29              |
| Standar Deviasi Relatif (%) |          | 3,53                        | 4,42                           | 7,97                           | 18,72           | 17,20             |
| Tingkat Kepercayaan (%)     |          | 96,47                       | 95,58                          | 92,03                          | 81,28           | 82,80             |

Pada tabel 4.2 dapat dilihat bahwa nilai rata-rata tegangan luluh (*yield strength*) yang diperoleh dari hasil pengujian adalah sebesar 521,83 MPa. Dimana, nilai terkecil tegangan luluh yang diperoleh adalah sebesar 497,07 MPa dan nilai terbesar tegangan luluh adalah sebesar 546,43 MPa. Nilai standar deviasi yang diperoleh adalah sebesar 18,44. Nilai standar deviasi relatif yang diperoleh adalah sebesar 3,53 % dan tingkat kepercayaan yang diperoleh adalah sebesar 96,47 %.

Data hasil pengujian dengan nilai rata-rata tegangan maksimum (*ultimate strength*) yang diperoleh adalah sebesar 563,14 MPa. Dimana, nilai terkecil dari tegangan maksimum yang diperoleh adalah sebesar 557,14 MPa dan nilai terbesar dari tegangan maksimum adalah sebesar dan 605,16 MPa. Nilai standar deviasi yang diperoleh adalah sebesar 22,88. Nilai standar deviasi relatif yang diperoleh adalah sebesar 4,42 % dan tingkat kepercayaan yang diperoleh adalah sebesar 95,58 %.

Data hasil pengujian dengan nilai rata-rata tegangan patah (*fracture strength*) yang diperoleh adalah sebesar 352,41 MPa. Dimana, nilai terkecil tegangan patah yang diperoleh adalah sebesar 310,92 MPa dan nilai terbesar tegangan patah yang diperoleh adalah 390,21 MPa. Nilai standar deviasi yang diperoleh adalah sebesar 28,09. Nilai standar deviasi relatif yang diperoleh adalah sebesar 7,97 % dan tingkat kepercayaan yang diperoleh adalah

sebesar 92,03 %.

Data hasil pengujian dengan nilai rata-rata regangan (*strain*) yang diperoleh adalah sebesar 19,12 %. Dimana, nilai terkecil regangan yang diperoleh adalah sebesar 16,29 % dan nilai terbesar regangan yang diperoleh adalah sebesar 24,16. Nilai standar deviasi yang diperoleh adalah sebesar 3,29. Nilai standar deviasi relatif yang diperoleh adalah sebesar 17,20 % dan tingkat kepercayaan yang diperoleh adalah sebesar 82,80 %.

Data hasil pengujian dengan nilai rata-rata pertambahan panjang (*elongation*) yang diperoleh adalah sebesar 5,76 mm. Dimana, nilai terkecil pertambahan panjang yang diperoleh adalah sebesar 4,8 mm dan nilai terbesar pertambahan panjang yang diperoleh adalah sebesar 7,42 mm. Nilai standar deviasi yang diperoleh adalah sebesar 1,08. Nilai standar deviasi relatif yang diperoleh adalah sebesar 18,72 % dan tingkat kepercayaan yang diperoleh adalah sebesar 81,28 %.

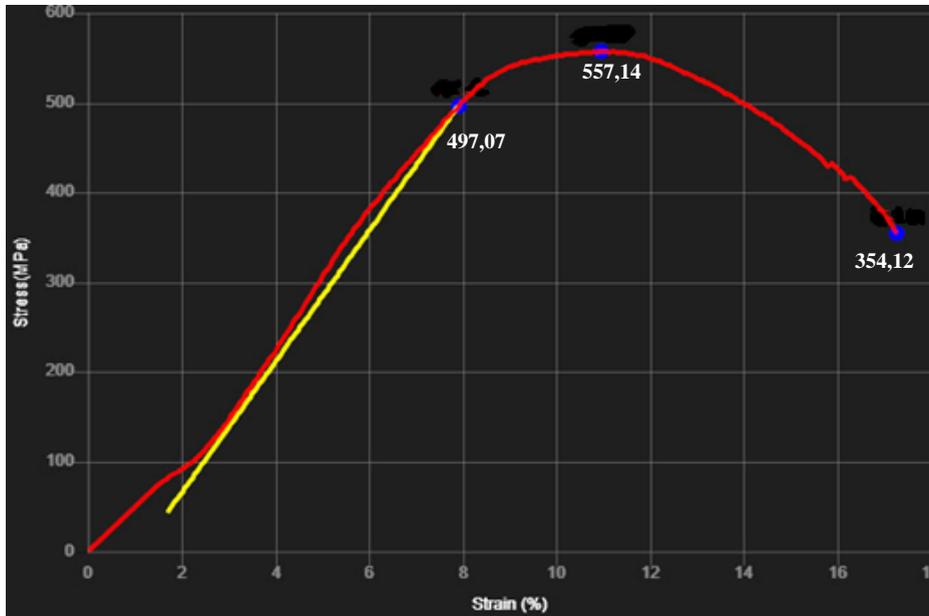
Berikut ini merupakan dokumentasi spesimen  $\pm 4$  mm sebelum pengujian dan sesudah pengujian bisa dilihat pada gambar 4.1.



**Gambar 4. 1** (a) Salah satu spesimen pengujian tarik sebelum di- (b) *heat treatment*

Pada gambar 4.1 menjelaskan spesimen uji tarik dengan material baja ST-41 yang ditandai merupakan daerah patahan ideal pada spesimen. Berdasarkan standar ASTM A370-03a [12] mempunyai panjang area patahan dengan panjang 25 mm. Dapat dilihat pada gambar 4.1 area patahan spesimen yang diuji masuk dalam panjang standar ASTM A370-03a [12] mempunyai panjang area patahan dengan panjang 25 mm, Apabila titik patahan di luar dari ukuran yang sudah ditentukan, maka proses pengujian tarik gagal dilakukan.

Grafik hasil pengujian yang diolah dan ditampilkan pada aplikasi *desktop* dan *website* alat uji tarik ini dapat dilihat pada gambar 4.2.



**Gambar 4.2** Salah satu grafik hasil pengujian tarik sebelum di-*heat treatment*

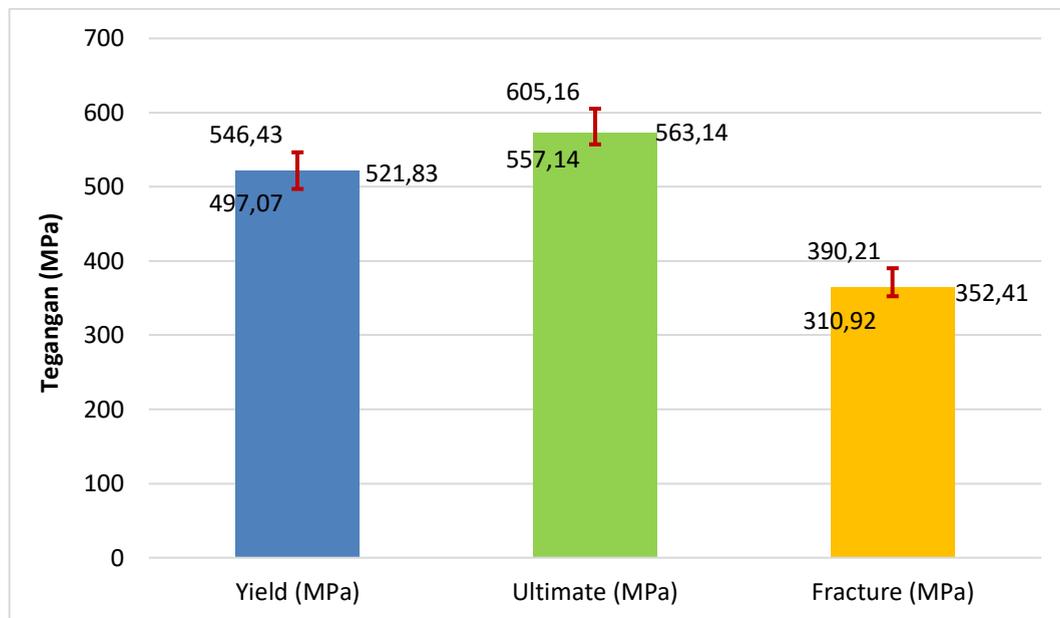
Pada gambar 4.2 merupakan grafik hasil pengujian tarik dengan diameter  $\pm 4$  mm sebelum dilakukan *heat treatment*. Dimana, data tegangan luluh (*yield strength*) yang diperoleh adalah sebesar 497,07 MPa. Tegangan luluh (*yield strength*) ini didapatkan menggunakan metode *offset 0,2%*, artinya dengan menggeser nilai *strain* sebesar 0,2%, kemudian lihat garis yang bersinggungan dengan grafik hasil uji tarik dan di situlah tegangan luluh (*yield strength*) berada.

Untuk tegangan maksimum (*ultimate strength*), data yang diperoleh adalah sebesar 557,14 MPa. Tegangan maksimum (*ultimate strength*) merupakan titik tegangan terbesar yang mampu dicapai suatu material setelah dilakukan pengujian tarik pada spesimen tersebut.

Untuk tegangan patah (*fracture strength*), data yang diperoleh adalah sebesar 354,12 MPa. Tegangan patah (*fracture strength*) merupakan tegangan yang diperoleh saat spesimen patah atau putus. Untuk regangan (*strain*), data yang diperoleh adalah sebesar 24,16 %. Regangan merupakan persentase pertambahan panjang yang dialami pada spesimen sampai putus.

Berikut ini merupakan grafik batang rata-rata untuk 5 kali pengujian data tegangan luluh (*yield strength*), tegangan maksimum (*ultimate strength*) dan tegangan patah (*fracture*

*strength*) dapat dilihat pada gambar 4.3.



**Gambar 4.2** Nilai tegangan minimum dan maksimum spesimen uji sebelum di-*heat treatment*

Pada gambar 4.3 merupakan rentang nilai terkecil dan terbesar dari hasil pengujian tarik spesimen st-41 sebelum di-*heat treatment*, untuk nilai terkecil dan terbesar pada *yield strength* sebesar 497,07 - 546,43 MPa dengan rata-rata 521,83 MPa, untuk nilai terkecil dan terbesar pada *ultimate strength* 557,14 - 605,16 MPa dengan rata-rata 563,14 MPa, untuk nilai terkecil dan terbesar pada *fracture strength* sebesar 310,92 - 390,21 MPa dengan rata-rata 352,41 MPa.

#### 4.1.2 Hasil pengujian ST-41 setelah *heat treatment*

Proses pengujian *heat treatment* dilakukan pada spesimen uji dengan diameter  $\pm 4$  mm sebanyak 5 spesimen dengan beberapa perlakuan yaitu *quenching* dan *tempering*, Dapat dilihat pada lampiran. Pada proses pengujian *heat treatment* peneliti melakukan 2 tahapan perlakuan pada spesimen yaitu *quenching* dan *tempering*.

##### A. *Quenching*

Berdasarkan hasil pengujian yang telah dilakukan pada baja ST-41 dengan perlakuan panas *quenching*, maka didapatkan data hasil pengujian sebagai berikut. Spesimen baja ST-41 dipanaskan pada temperatur *heating* sebesar 860 °C lalu di *holding* selama 10 menit lalu spesimen didinginkan (*quenching*) dengan media oli selama 10 menit untuk membentuk struktur *martensit* yang memiliki kekerasan yang lebih dari *ferrite* dan *perlite*. Tujuan dari

*quenching* adalah meningkatkan kekerasan namun keuletan pada material menurun.

### **B. Tempering**

Berdasarkan hasil pengujian yang telah dilakukan pada baja ST-41 dengan perlakuan panas *quenching*, kemudian proses selanjutnya dilakukan proses pemanasan kembali yaitu *tempering*. Maka didapatkan data hasil *tempering* pada proses *heat treatment*. Dimana temperatur *heating* sebesar 300°C lalu di *holding* selama 10 menit untuk menekan terjadinya retak atau timbulnya tegangan dalam akibat pencelupan (pendinginan) yang mendadak pada media pendingin. Proses temper terdiri dari pemanasan kembali dari baja yang telah dikeraskan pada suhu dibawah suhu kritis disusul dengan pendinginan. *temper* dimungkinkan dikarenakan struktur *martensite* yang tidak stabil. lalu spesimen didinginkan dengan udara yaitu *normalizing* untuk mendapatkan perubahan nilai kekuatan pada spesimen.

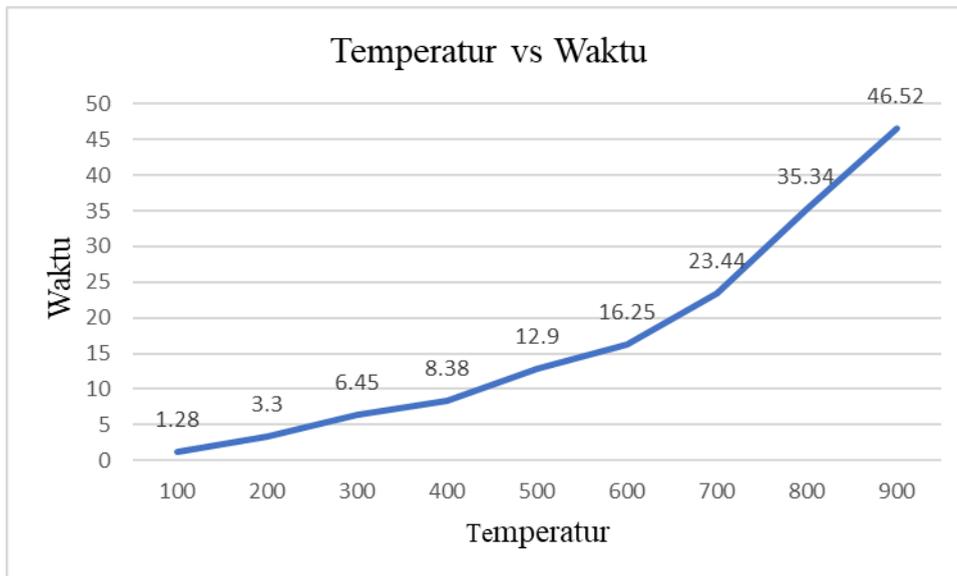
#### **4.1.3 Hasil pengujian performa alat *heat treatment***

berikut merupakan hasil pengujian performa alat *heat treatment*, dimana didapatkan data hasil sebagai berikut:

**Tabel 4.3** Metoda pengukuran kenaikan temperatur performa alat *heat treatment*,

| No | Temperatur (°C) | Waktu (s)   |
|----|-----------------|-------------|
| 1. | 100 °C          | 1,28 menit  |
| 2. | 200 °C          | 3,30 menit  |
| 3. | 300 °C          | 6,45 menit  |
| 4. | 400 °C          | 8,38 menit  |
| 5. | 500 °C          | 12,9 menit  |
| 6. | 600 °C          | 16,25 menit |
| 7. | 700 °C          | 23,44 menit |
| 8. | 800 °C          | 35,34 menit |
| 9. | 900 °C          | 46,52 menit |

Pada tabel 4.3 hasil pengukuran kenaikan temperatur performa alat *heat treatment* sesuai dengan data yang didapat setelah melakukan pengujian.



**Gambar 4.3** Grafik hasil pengukuran temperatur dan laju pemanas

Pada grafik di atas terlihat hasil dari pengukuran temperatur dan laju pemanas sesuai dengan hasil pengujian yang didapat saat melakukan pengujian.

#### 4.1.4 Hasil pengujian uji tarik ST-41 setelah di-heat treatment

Proses pengujian dilakukan pada spesimen uji tarik dengan diameter  $\pm 4$  mm setelah di-heat treatment. Detail dimensi spesimen tersebut dapat dilihat pada tabel 4.3. Proses pengujian dilakukan sebanyak 5 spesimen pengujian. Data hasil pengujian pada spesimen-spesimen tersebut dapat dilihat pada tabel 4.4.

**Tabel 4.4** Spesifikasi spesimen setelah di-heat treatment.

| No | Nomor Spesimen | Material | Diameter (mm) | Panjang Awal (mm) | Luas Penampang (mm <sup>2</sup> ) |
|----|----------------|----------|---------------|-------------------|-----------------------------------|
| 1  | Spesimen 1     | ST-41    | 4,10          | 28,70             | 13,19                             |
| 2  | Spesimen 2     |          | 4,20          | 29,30             | 13,84                             |
| 3  | Spesimen 3     |          | 4,10          | 29,90             | 13,19                             |
| 4  | Spesimen 4     |          | 4,00          | 30,10             | 12,56                             |
| 5  | Spesimen 5     |          | 3,70          | 30,10             | 10,74                             |

**Tabel 4.5** Hasil pengujian spesimen setelah di-*heat treatment*.

| Spesimen                    | Material | <i>Yield strength</i> (MPa) | <i>Ultimate strength</i> (MPa) | <i>Fracture strength</i> (MPa) | Elongation (mm) | <i>Strain</i> (%) |
|-----------------------------|----------|-----------------------------|--------------------------------|--------------------------------|-----------------|-------------------|
| 1                           | ST41     | 306,47                      | 343,06                         | 206,38                         | 7,35            | 25,62             |
| 2                           | ST41     | 329,62                      | 363,26                         | 221,33                         | 9,76            | 33,30             |
| 3                           | ST41     | 307,06                      | 333,53                         | 200,72                         | 7,99            | 26,71             |
| 4                           | ST41     | 245,01                      | 295,46                         | 192,22                         | 7,44            | 24,10             |
| 5                           | ST41     | 316,06                      | 363,27                         | 215,62                         | 6,30            | 20,12             |
| Nilai Minimum               |          | 245,01                      | 295,46                         | 192,22                         | 6,30            | 20,12             |
| Nilai Maksimum              |          | 329,62                      | 363,27                         | 221,33                         | 9,76            | 33,30             |
| Rata-rata                   |          | 300,84                      | 339,27                         | 207,25                         | 7,77            | 26,0              |
| Standar Deviasi             |          | 32,59                       | 27,92                          | 11,59                          | 1,27            | 4,80              |
| Standar Deviasi Relatif (%) |          | 10,83                       | 8,22                           | 5,59                           | 16,35           | 18,48             |
| Tingkat Kepercayaan (%)     |          | 89,17                       | 91,78                          | 94,41                          | 83,65           | 81,52             |

Pada tabel 4.4 dapat dilihat bahwa nilai rata-rata tegangan luluh (*yield strength*) yang diperoleh dari hasil pengujian setelah di-*heat treatment* adalah sebesar 300,84 MPa. Dimana, nilai terkecil tegangan luluh yang diperoleh adalah sebesar 245,01 MPa dan nilai terbesar tegangan luluh adalah sebesar 329,62 MPa. Nilai standar deviasi yang diperoleh adalah sebesar 32,59. Nilai standar deviasi relatif yang diperoleh adalah sebesar 10,83 % dan tingkat kepercayaan yang diperoleh adalah sebesar 89,17 %.

Data hasil pengujian setelah di-*heat treatment* dengan nilai rata-rata tegangan maksimum (*ultimate strength*) yang diperoleh adalah sebesar 339,27 MPa. Dimana, nilai terkecil dari tegangan maksimum yang diperoleh adalah sebesar 295,46 MPa dan nilai terbesar dari tegangan maksimum adalah sebesar dan 363,27 MPa. Nilai standar deviasi yang diperoleh adalah sebesar 27,92. Nilai standar deviasi relatif yang diperoleh adalah sebesar 8,22 % dan tingkat kepercayaan yang diperoleh adalah sebesar 91,78 %.

Data hasil pengujian setelah di-*heat treatment* dengan nilai rata-rata tegangan patah (*fracture strength*) yang diperoleh adalah sebesar 207,25 MPa. Dimana, nilai terkecil tegangan patah yang diperoleh adalah sebesar 192,22 MPa dan nilai terbesar tegangan patah yang diperoleh adalah 221,33 MPa. Nilai standar deviasi yang diperoleh adalah sebesar 11,59. Nilai standar deviasi relatif yang diperoleh adalah sebesar 5,59 % dan tingkat kepercayaan yang diperoleh adalah sebesar 94,41 %.

Data hasil pengujian setelah di-*heat treatment* dengan nilai rata-rata regangan (*strain*)

yang diperoleh adalah sebesar 26,0 %. Dimana, nilai terkecil regangan yang diperoleh adalah sebesar 20,12 % dan nilai terbesar regangan yang diperoleh adalah sebesar 33,30. Nilai standar deviasi yang diperoleh adalah sebesar 4,80. Nilai standar deviasi relatif yang diperoleh adalah sebesar 18,48 % dan tingkat kepercayaan yang diperoleh adalah sebesar 81,52 %.

Data hasil pengujian setelah di-*heat treatment* dengan nilai rata-rata pertambahan panjang (*elongation*) yang diperoleh adalah sebesar 7,77 mm. Dimana, nilai terkecil pertambahan panjang yang diperoleh adalah sebesar 6,30 mm dan nilai terbesar pertambahan panjang yang diperoleh adalah sebesar 9,76 mm. Nilai standar deviasi yang diperoleh adalah sebesar 1,27. Nilai standar deviasi relatif yang diperoleh adalah sebesar 16,35 % dan tingkat kepercayaan yang diperoleh adalah sebesar 83,65 %.

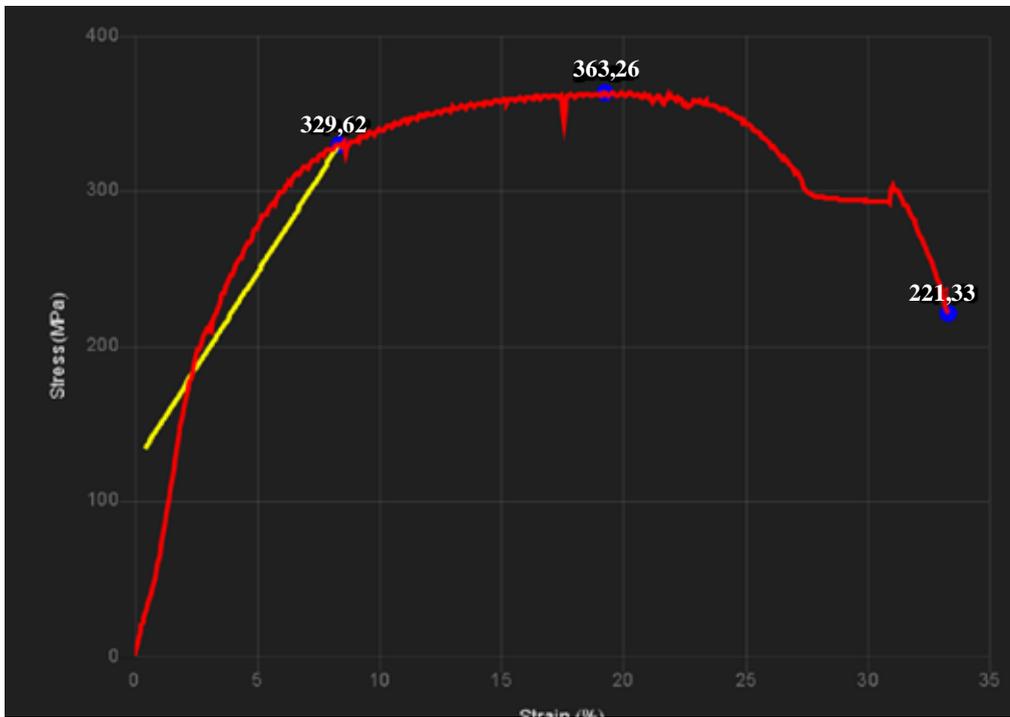
Berikut ini merupakan dokumentasi spesimen sebelum pengujian dan sesudah pengujian bisa dilihat pada gambar 4.4.



**Gambar 4.4** (a) salah satu spesimen pengujian tarik setelah di-*heat treatment*

Pada gambar 4.4 menjelaskan spesimen uji tarik dengan material baja ST-41 yang ditandai merupakan daerah patahan ideal pada spesimen. Berdasarkan standar ASTM A370-03a [12], mempunyai panjang area patahan dengan panjang 25 mm. Dapat dilihat pada gambar 4.4 area patahan spesimen yang di uji masuk dalam panjang standar ASTM A370-03a [12] mempunyai panjang area patahan dengan panjang 25 mm, Apabila titik patahan diluar dari ukuran yang sudah ditentukan maka proses pengujian tarik gagal dilakukan.

Grafik hasil pengujian yang diolah dan ditampilkan pada aplikasi *desktop* dan *website* alat uji tarik ini dapat dilihat pada gambar 4.5.



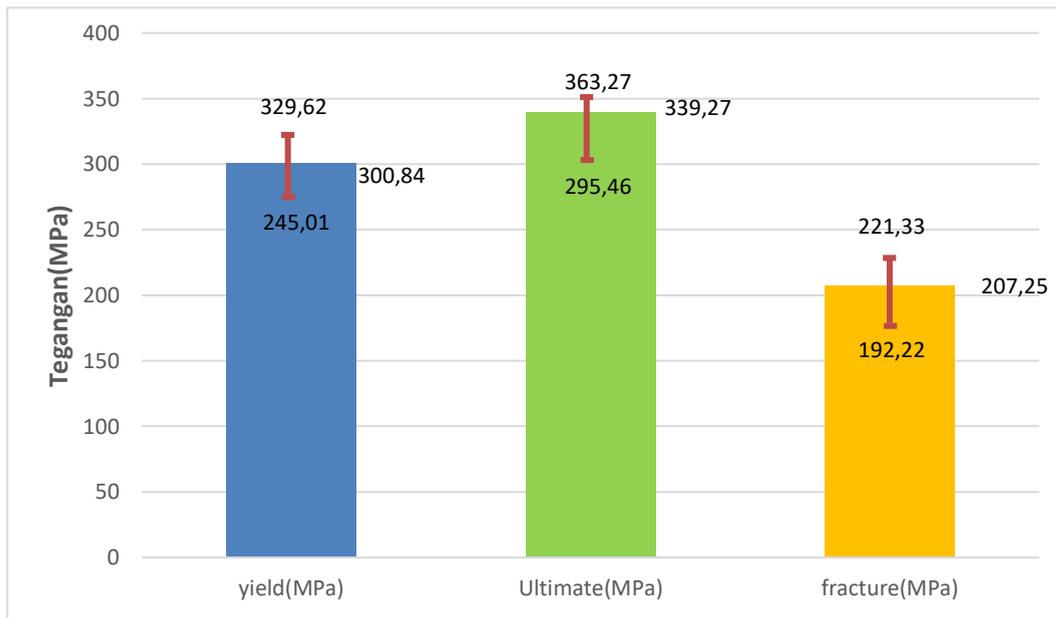
**Gambar 4. 5** Salah satu grafik hasil pengujian tarik setelah di-*heat treatment*

Pada gambar 4.6 merupakan grafik hasil pengujian tarik dengan diameter  $\pm 4$  mm setelah dilakukan *heat treatment*. Dimana, data tegangan luluh (*yield strength*) yang diperoleh adalah sebesar 497,07 MPa. Tegangan luluh (*yield strength*) ini didapatkan menggunakan metode *offset 0,2%*, artinya dengan menggeser nilai *strain* sebesar 0,2%, kemudian lihat garis yang bersinggungan dengan grafik hasil uji tarik dan di situ lah tegangan luluh (*yield strength*) berada.

Untuk tegangan maksimum (*ultimate strength*), data yang diperoleh adalah sebesar 557,14 MPa. Tegangan maksimum (*ultimate strength*) merupakan titik tegangan terbesar yang mampu dicapai suatu material setelah dilakukan pengujian tarik pada spesimen tersebut.

Untuk tegangan patah (*fracture strength*), data yang diperoleh adalah sebesar 354,12 MPa. Tegangan patah (*fracture strength*) merupakan tegangan yang diperoleh saat spesimen patah atau putus. Untuk regangan (*strain*), data yang diperoleh adalah sebesar 24,16 %. Regangan merupakan persentase pertambahan panjang yang dialami pada spesimen sampai putus.

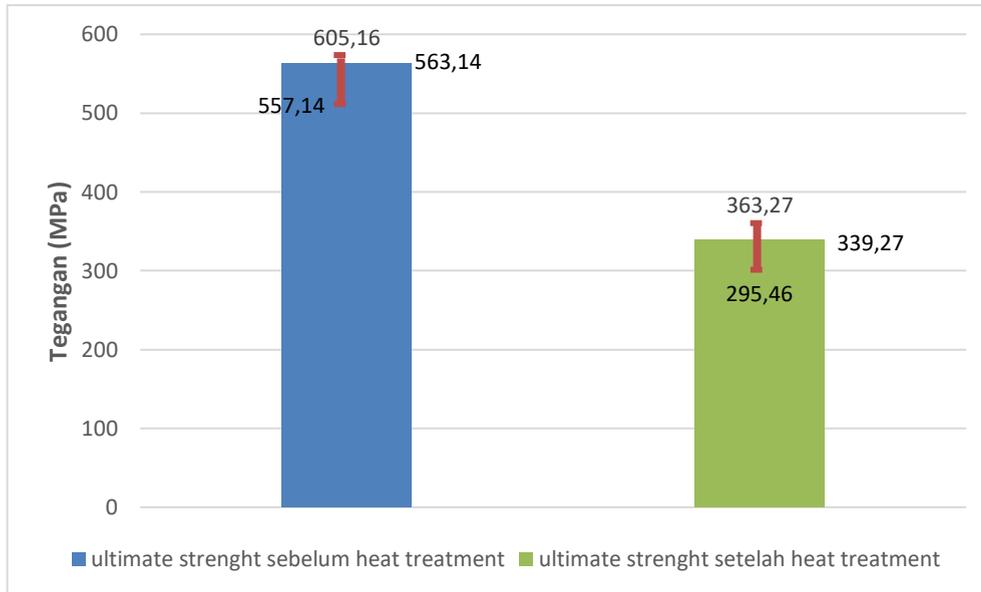
Berikut ini merupakan grafik batang rata-rata untuk 5 kali pengujian data tegangan luluh (*yield strength*), tegangan maksimum (*ultimate strength*) dan tegangan patah (*fracture strength*) dapat dilihat pada gambar 4.6.



**Gambar 4.6** Nilai tegangan minimum dan maksimum setelah di-*heat treatment*

Pada gambar 4.6 merupakan rentang nilai terkecil dan terbesar dari hasil pengujian tarik spesimen ST-41 setelah di-*heat treatment*, untuk nilai terkecil dan terbesar pada *yield strength* sebesar 245,01 - 329,62 MPa dengan rata-rata 300,84 MPa, untuk nilai terkecil dan terbesar pada *ultimate strength* 295,46 - 363,27 MPa dengan rata-rata 339,27 MPa, untuk nilai terkecil dan terbesar pada *fracture strength* sebesar 192,22 - 221,33 MPa dengan rata-rata 207,25 MPa.

Berikut ini merupakan grafik batang data hasil pengujian perbandingan *ultimate strength* sebelum di-*heat treatment* dengan data hasil pengujian perbandingan *ultimate strength* Setelah di-*heat treatment*, dapat dilihat pada gambar 4.7.



**Gambar 4.7** Grafik *ultimate strenght* sebelum dan setelah di-*heat treatment*

Pada gambar 4.7 merupakan nilai terkecil dan terbesar dari hasil pengujian tarik spesimen ST-41 sebelum dan setelah di-*heat treatment*, untuk nilai terkecil dan terbesar pada *ultimate strenght* sebelum di-*heat treatment* sebesar 605,16 -557,14 MPa dengan rata-rata 563,14 MPa, untuk nilai terkecil dan terbesar pada *ultimate strenght* setelah di-*heat treatment* sebesar 295,46 - 363,27 MPa dengan rata-rata 339,27 MPa.

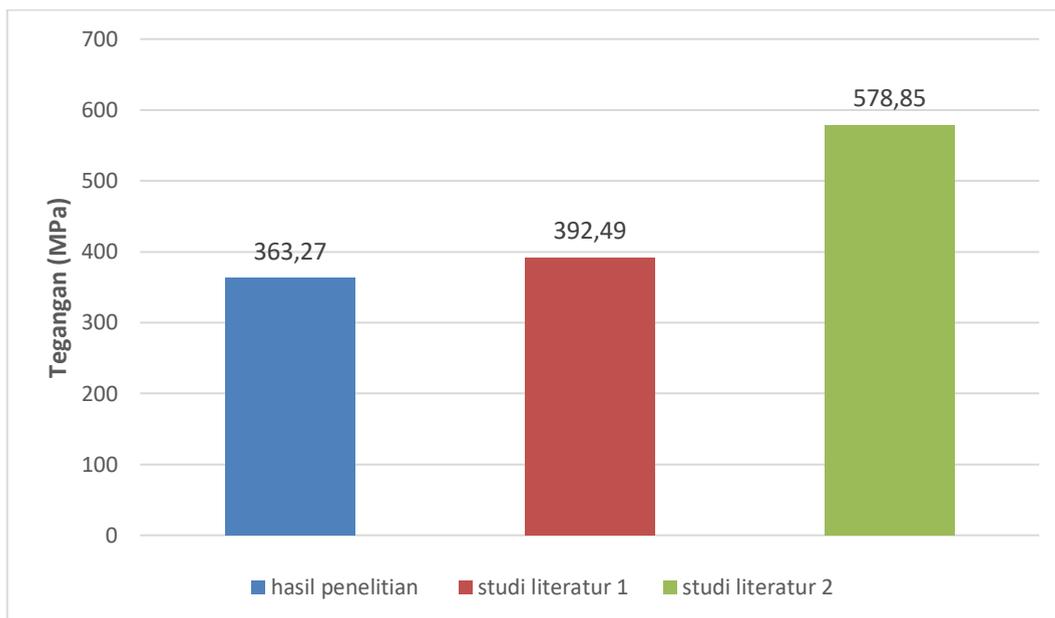
Dari hasil pengujian data hasil spesimen sebelum dan setelah di-*heat treatment* didapatkan hasil data perbandingan kekuatan spesimen untuk dapat di analisa. Dimana didapatkan faktor penyebab terjadinya perubahan kekuatan pada spesimen yang telah diuji. Berdasarkan pengujian data hasil spesimen sebelum dan setelah di-*heat treatment* didapatkan hasil data sebagai berikut :

Baja ST-41 sebelum di-*heat treatment* didapatkan nilai *ultimate strenght* sebesar 605,16 MPa dan nilai setelah di-*heat treatment* yang telah dilakukan proses perlakuan panas berupa *quenching* dan *tempering* didapatkan nilai *ultimate strenght* sebesar 363,27 MPa. Data *ultimate strenght* sebelum di-*heat treatment* didapatkan nilai lebih besar dibanding data *ultimate strenght* setelah di-*heat treatment*.

Faktor penyebab lebih besarnya nilai data *ultimate strenght* sebelum di-*heat treatment* dibanding setelah di-*heat treatment* karena perlakuan panas *tempering* merupakan proses yang dapat menurunkan kekuatan namun menaikkan keuletan dari material baja. durasi pada proses *tempering* dapat mengubah struktur mikro baja. Proses *quenching*

merupakan proses yang dapat menyebabkan baja menjadi keras akibat terbentuknya struktur *martensit*. Namun *tempering* setelah *quenching* dapat mengurangi kekerasan dan kekuatan baja. Penurunan kekuatan baja setelah di-*tempering* disebabkan oleh penurunan kekuatan luluh sedangkan keuletan dan ketangguhan meningkat. Proses pemanasan kembali *tempering* dapat menyebabkan logam menjadi lebih ulet dan kurang elastis sehingga menyebabkan penurunan kekuatan tarik dari material tersebut.

Berikut ini merupakan grafik batang data hasil pengujian perbandingan *ultimate strength* setelah di-*heat treatment* dengan data hasil pengujian perbandingan *ultimate strength* Setelah di-*heat treatment* studi literatur, dapat dilihat pada gambar 4.8.



**Gambar 4.8** Grafik perbandingan *ultimate strenght* peneliti dan studi literatur

Pada gambar 4.8 merupakan nilai *ultimate strenght* dari hasil pengujian tarik spesimen ST-41 setelah di-*heat treatment* peneliti yaitu sebesar 363,27 MPa dan nilai *ultimate strenght* dari hasil pengujian tarik spesimen ST-41 setelah di-*heat treatment* studi literatur 1 [9] yaitu sebesar 392,49 MPa. Dan nilai *ultimate strenght* dari hasil pengujian tarik spesimen ST-41 setelah di-*heat treatment* studi literatur 2 [13] yaitu sebesar 578,85 MPa.

Dari hasil pengujian data hasil spesimen sebelum dan setelah di-*heat treatment* didapatkan hasil data perbandingan kekuatan spesimen untuk dapat di analisa dengan dua pengujian penelitian studi literatur. Dimana didapatkan faktor penyebab terjadinya perubahan kekuatan pada spesimen yang telah diuji. Berdasarkan data hasil pengujian yang

telah di-*heat treatment* dibandingkan dengan data hasil pengujian penelitian studi literatur [9] didapatkan hasil data sebagai berikut :

Baja ST-41 setelah di-*heat treatment* yang telah dilakukan proses perlakuan panas yang dilakukan oleh peneliti berupa *quenching* dan *tempering* didapatkan nilai *ultimate strength* sebesar 363,27 MPa. Dan nilai data *ultimate strength* yang dilakukan pengujian studi literatur didapatkan data nilai *ultimate strength* sebesar 392,49 MPa [9]. Data *ultimate strength* setelah di-*heat treatment* yang dilakukan peneliti didapatkan nilai lebih kecil dibanding Data *ultimate strength* setelah di-*heat treatment* yang dilakukan studi literatur [9].

Faktor penyebab lebih besarnya nilai data *ultimate strength* setelah di-*heat treatment* yang dilakukan oleh peneliti dibanding setelah di-*heat treatment* yang dilakukan oleh studi literatur. Proses *quenching* merupakan proses pendinginan cepat dengan tujuan untuk mengubah struktur mikro baja dari *perlite* dan *ferrite* menjadi *austenit*. Baja yang dipanaskan hingga suhu *austenit* setelah didinginkan cepat akan membentuk struktur *martensit* yang memiliki nilai kekerasan lebih tinggi.

Namun *tempering* setelah *quenching* dapat mengurangi kekerasan dan kekuatan baja. Penurunan kekuatan baja setelah di-*tempering* disebabkan oleh penurunan kekuatan luluh akibat pemanasan kembali yang dilakukan peneliti pada suhu *temper* 300 °C yang menghasilkan hanya mengurangi tegangan kerut dan kerapuhan dari baja tetapi keuletan dan ketangguhan meningkat. Proses pemanasan kembali *tempering* dapat menyebabkan logam menjadi lebih ulet dan kurang elastis sehingga menyebabkan penurunan kekuatan tarik dari material tersebut.

Hasil pengujian studi literatur [9] yang telah melakukan perlakuan panas dengan proses *quenching* dan *tempering* didapatkan hasil uji struktur mikro yang memiliki fasa *ferrite* dan *perlite*. Fasa *ferrite* hanya bisa diperoleh jika kandungan karbon dalam baja adalah rendah. *Ferrite* merupakan fasa yang memiliki kekuatan rendah namun memiliki keuletan yang tinggi.

Fasa *perlite* merupakan campuran dari *ferrite* dan *sementit*, dimana dua fasa ini adalah hasil transformasi dari fasa *austenit*. Pembentukan fasa *perlite* memerlukan pendinginan lambat dari daerah *austenit* dan juga tergantung dari komposisi yang terkandung dalam struktur mikro baja yang diuji. Dari hasil pengujian yang dilakukan studi literatur didapatkan kekuatan tarik menurun akibat proses perlakuan panas *tempering*.

Dapat ditarik kesimpulan bahwa spesimen uji baja ST-41 setelah di-*heat treatment*

yang dilakukan peneliti dengan spesimen uji baja ST-41 setelah di-*heat treatment* yang dilakukan studi literatur [9] didapatkan hasil penurunan kekuatan tarik akibat laju perlakuan panas (*holding time*) yang terlalu cepat dan juga menggunakan proses perlakuan panas *tempering* yang menghasilkan penurunan kekuatan pada baja namun keuletan meningkat.

Dimana didapatkan faktor penyebab terjadinya perubahan kekuatan pada spesimen yang telah diuji. Berdasarkan data hasil pengujian yang telah di-*heat treatment* dibandingkan dengan data hasil pengujian studi literatur [13] didapatkan hasil data sebagai berikut :

Baja ST-41 setelah di-*heat treatment* yang telah dilakukan proses perlakuan panas yang dilakukan oleh peneliti didapatkan berupa *quenching* dan *tempering* didapatkan nilai *ultimate strength* sebesar 363,27 MPa. Dan nilai data *ultimate strength* yang dilakukan pengujian studi literatur didapatkan data nilai *ultimate strength* sebesar 578,85 MPa [14]. Data *ultimate strength* setelah di-*heat treatment* yang dilakukan peneliti didapatkan nilai lebih kecil dibanding Data *ultimate strength* setelah di-*heat treatment* yang dilakukan studi literatur [13].

Faktor penyebab lebih besarnya nilai data *ultimate strength* setelah di-*heat treatment* yang dilakukan oleh peneliti dibanding setelah di-*heat treatment* yang dilakukan oleh studi literatur. Proses *quenching* merupakan proses pendinginan cepat dengan tujuan untuk mengubah struktur mikro baja dari *perlite* dan *ferrite* menjadi *austenit*. Baja yang dipanaskan hingga suhu *austenit* setelah didinginkan cepat akan membentuk struktur *martensit* yang memiliki nilai kekerasan lebih tinggi.

Namun *tempering* setelah *quenching* dapat mengurangi kekerasan dan kekuatan baja. Penurunan kekuatan baja setelah di-*tempering* disebabkan oleh penurunan kekuatan luluh akibat pemanasan kembali yang dilakukan peneliti pada suhu *temper* 300 °C yang menghasilkan hanya mengurangi tegangan kerut dan kerapuhan dari baja, tetapi keuletan dan ketangguhan meningkat. Proses pemanasan kembali *tempering* dapat menyebabkan logam menjadi lebih ulet dan kurang elastis sehingga menyebabkan penurunan kekuatan tarik dari material tersebut.

Hasil pengujian studi literatur [13] yang telah melakukan perlakuan panas dengan proses *quenching* dan *tempering* didapatkan hasil uji struktur mikro yang diamati menggunakan variasi *holding time tempering* (15 menit, 1 jam dan 5 jam), struktur mikro material awal terdiri dari matriks *ferrit*. Ini menunjukkan bahwa material awal telah

dilakukan perlakuan panas. Hal ini dilakukan pada baja karbon medium agar dapat meningkatkan keuletan material yang memiliki kekuatan tarik cukup tinggi sehingga dapat meningkatkan ketangguhan.

Dengan proses *quenching* yang dilakukan pada material pada temperatur *austenisasi* seluruh struktur mikro material akan berubah pada fasa *austenit* namun masih ada sedikit krbida-karbida sisa. Dan ketika didinginkan secara cepat menggunakan media oli yang memungkinkan mulainya proses pembentukan *perlite*, namun pembentukan ini tidak berlangsung lama diteruskan dengan pembentukan *martensit* pada temperatur rendah namun memiliki kekerasan yang tinggi.

Setelah proses *quenching* selesai dilanjutkan dengan pemanasan kembali (*tempering*) pada temperatur 200 °C sehingga muncul *martensit temper*, pertumbuhan *martensit temper* ini tidak lepas dari peranan energi panas akibat kenaikan temperatur dan lama penahanan. Struktur *martensit* yang masih tegang akibat adanya atom karbon yang terperangkap berubah menjadi BCC. Semakin lama waktu penahanan akan memberikan kesempatan terhadap atom karbon untuk keluar dari struktur. Oleh karena itulah, jumlah *martensit temper* semakin banyak ketika material di-*temper* dengan waktu penahanan lama.

Dapat ditarik kesimpulan bahwa spesimen uji baja ST-41 setelah di-*heat treatment* yang dilakukan peneliti dengan spesimen uji baja ST-41 setelah di-*heat treatment* yang dilakukan Jurnal penelitian perbandingan [13] didapatkan kekerasan akan semakin menurun dengan bertambahnya waktu penahanan karena *martensit temper* yang dihasilkan makin banyak. Hal ini disebabkan *martensit temper* bersifat lebih stabil dan lunak dari *martensit* hasil *quenching*.

## **BAB V**

### **PENUTUP**

#### **5.1 Kesimpulan**

Setelah melaksanakan pengujian performa alat *heat treatment* menggunakan spesimen Baja ST-41 pada tugas akhir ini, maka dapat diambil kesimpulan sebagai berikut :

1. Berdasarkan hasil pengujian performa alat *heat treatment* yang telah di uji didapatkan temperatur 860 °C pada waktu 35,34 menit dan temperatur 300 °C pada waktu 6,45 menit.
2. Berdasarkan hasil pengujian *heat treatment* yang telah diuji tarik dengan perlakuan panas *quenching* dan *tempering* memiliki nilai *ultimate strength* yang dilakukan peneliti didapatkan hasil sebesar 363,27 MPa, dan nilai hasil pengujian *heat treatment* yang telah diuji tarik yang dilakukan oleh pengujian studi literatur 1 memiliki nilai *ultimate strength* sebesar 392,49 MPa.
3. Berdasarkan hasil pengujian *heat treatment* yang telah diuji tarik dengan perlakuan panas *quenching* dan *tempering* memiliki nilai *ultimate strength* yang dilakukan Peneliti didapatkan hasil sebesar 363,27 MPa, dan nilai hasil pengujian *heat treatment* yang telah diuji tarik yang dilakukan oleh pengujian studi literatur 2 memiliki nilai *ultimate strength* sebesar 578,85 MPa.
4. *Tempering* setelah *quenching* dapat mengurangi kekerasan dan kekuatan baja, Penurunan kekuatan baja setelah di-*tempering* disebabkan penurunan kekuatan luluh sedangkan keuletan dan ketangguhan meningkat. Proses pemanasan kembali *tempering* dapat menyebabkan logam menjadi lebih ulet dan kurang elastis sehingga menyebabkan penurunan kekuatan tarik dari material tersebut.

#### **5.2 Saran**

Pengujian performa alat *heat treatment* menggunakan spesimen Baja ST-41 pada tugas akhir ini masih dapat dikembangkan lebih lanjut, antara lain :

1. Agar dapat memperhatikan proses *heat treatment* untuk mendapatkan nilai data hasil *ultimate strength* yang lebih besar setelah di-*heat treatment* dibanding sebelum di *heat treatment*.
2. Menambahkan variasi perlakuan *heat treatment* dan juga variasi *holding time* pada

pengujian performa alat *heat treatment* menggunakan spesimen.

3. Melakukan pengujian metalografi pada spesimen uji.

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] B. Pratowo and A. Fernando, “Analisa Kekerasan Baja Karbon AISI 1045 Setelah Mengalami Perlakuan Quenching,” *J. Tek. Mesin*, vol. 5, no. 2, pp. 1–30, 2008.
- [2] M. Zamroji, “Analisa Pengaruh Heat Treatment (Hardening) Terhadap Sifat Mekanik dan Struktur Mikro Besi COR Nodular (FCD 60),” vol. 53, no. 9, pp. 45–53, 2018.
- [3] Q. Hadi, “Pengaruh Perlakuan Panas Pada Baja Konstruksi ST37 Terhadap Distorsi, Kekerasan Dan Perubahan Struktur Mikro,” *Semin. Nas. Tah. Tek. Mesin SNTTM ke-9*, pp. 213–220, 2010.
- [4] H. Fathu Rohman, Y. Umardani, and A. Tri Hardjuno, “Pengaruh Proses Heat Treatment Annealing Terhadap Struktur Mikro Dan Nilai Kekerasan Pada Sambungan Las Thermite Baja Np-42,” *J. Tek. Mesin S-1*, vol. 2, no. 3, pp. 195–203, 2014.
- [5] I. Wiharja, G. D. Haryadi, Y. Umardani, and A. T. Hardjuno, “Pengaruh Proses Heat Treatment Tempering Terhadap Struktur Mikro Dan Nilai Kekerasan Pada Sambungan Las Thermite Baja Uic-54,” *J. Tek. Mesin S-1*, vol. 2, pp. 454–462, 2014.
- [6] S. Bahri, “Analisa Perlakuan Panas Terhadap Baja Karbon Ns 1045,” *Bul. Utama Tek.*, vol. 3814, 2017.
- [7] N. H and Sudarisman, “Metoda Quenching Dan Media Pendingin Terhadap,” *J. Tek. mesin, Inst. Teknol. Padang*, vol. Vol.5, No., pp. 59–64, 2015.
- [8] Hajar Isworo, “Pengaruh  *Holding Time*  dan Media Pendinginan terhadap kekerasan dan struktur mikro Baja ST-41 pada Proses  *Carburizing*  arang tempurung kelapa” Kalimantan Selatan, 2020.
- [9] A. Mustofa, S. Jokosisworo, and A. W. B. S., “Analisa Kekuatan Tarik, Kekuatan Lentur Putar Dan Kekuatan Puntir Baja St 41 Sebagai Bahan Poros Baling-Baling Kapal (Propeller Shaft) Setelah Proses Quenching,” *J. Tek. Perkapalan*, vol. 6, no. 1, pp. 199–206, 2018.
- [10] Danilo Gomes de Arruda, “Analisa Laju Korosi Akibat Proses Heat Treatment Bertingkat pada Baja Karbon ST 41,” p. 6, 2021.
- [11] Maizul fadli saputra, “Pengujian  *prototipe*  alat uji tarik menggunakan spesimen uji st-41 skala laboratorium berbasis  *internet of things*  (IoT)” Padang, 2022.
- [12] ASTM A370-03a  *Standard Test Methods and Definitions for Mechanical Testing of Steel*

*Products. United states.*

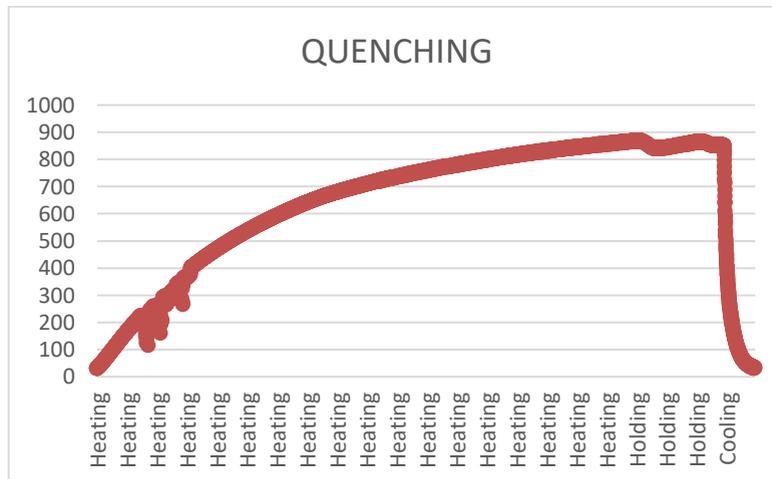
- [13] Ahmad fahrur rozaq, “Pengaruh waktu *temper* perlakuan panas *quench-temper* terhadap umur lelah Baja ST-41 pada pembebanan lentur putar siklus tinggi” Surabaya, 2013.

**LAMPIRAN 1**  
**PENGUJIAN *HEAT TREATMENT***

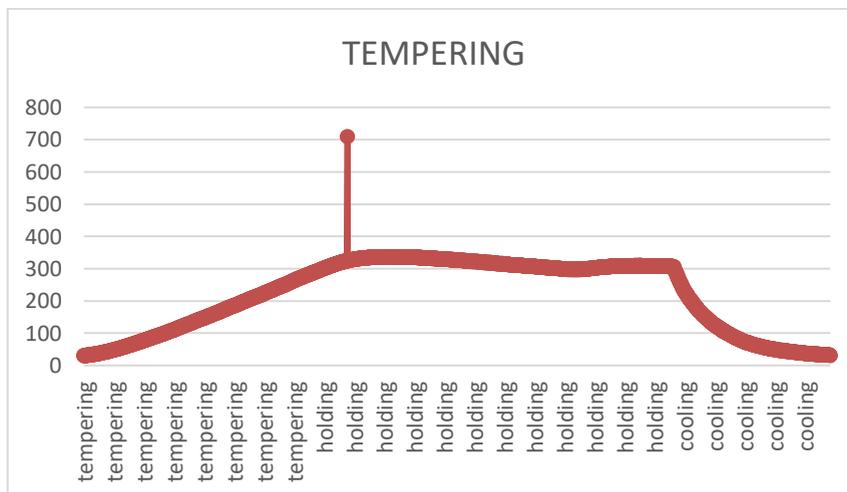
**Lampiran 1.1 Hasil pengujian *heat treatment*.**



**Gambar 1.1** Spesimen uji setelah di-*heat treatment*



**Gambar 1.2** Grafik hasil *heat treatment (quenching)* pada spesimen uji



**Gambar 1.3** Grafik hasil *heat treatment (tempering)* pada spesimen uji

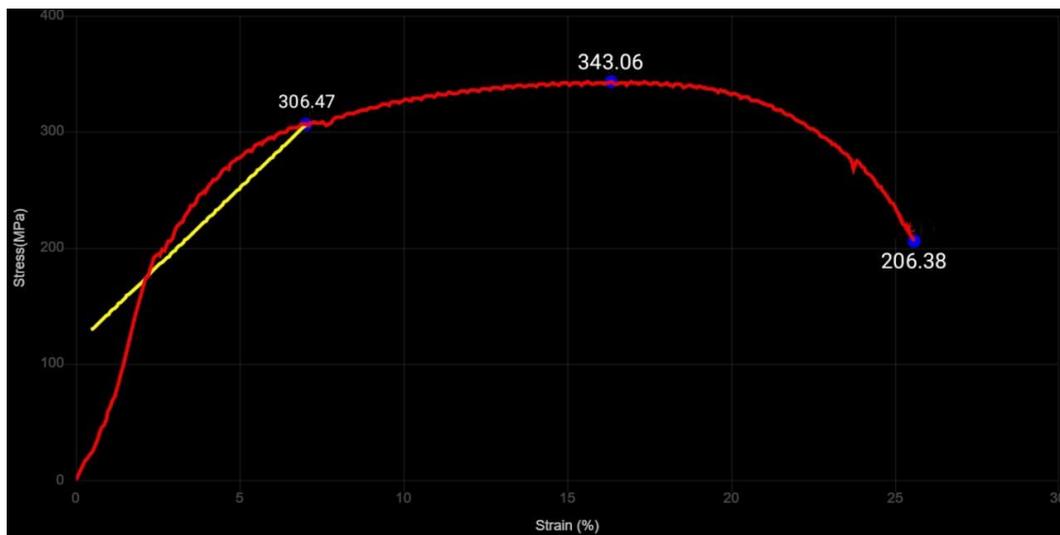
**LAMPIRAN 2**  
**PENGUJIAN TARIK SETELAH *HEAT***  
***TREATMENT***

**Lampiran 2.1 Hasil pengujian tarik setelah *heat treatment*.**

**2.1.1 Hasil spesimen 1 pengujian tarik setelah *heat treatment*.**



**Gambar 2.1** Hasil spesimen 1 pengujian tarik setelah *heat treatment*.



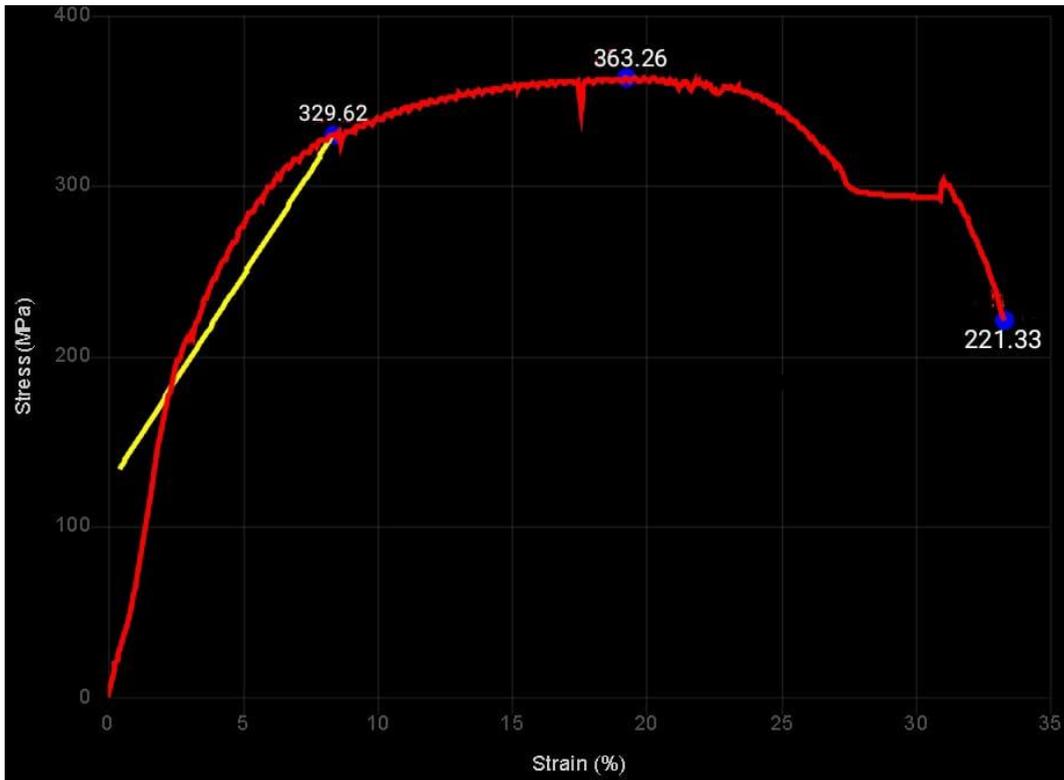
**Gambar 2.2** Grafik hasil spesimen 1 pengujian tarik setelah *heat treatment*.

| nama_spesimen              | yield  | ultimate | fracture | strain | elongation |
|----------------------------|--------|----------|----------|--------|------------|
| SPESIMEN 1 SETELAH HT TRIO | 306.47 | 343.06   | 206.38   | 25.62  | 7.35       |

**2.1.2 Hasil spesimen 2 pengujian tarik setelah *heat treatment*.**



**Gambar 2.3** Hasil spesimen 2 pengujian tarik setelah *heat treatment*.



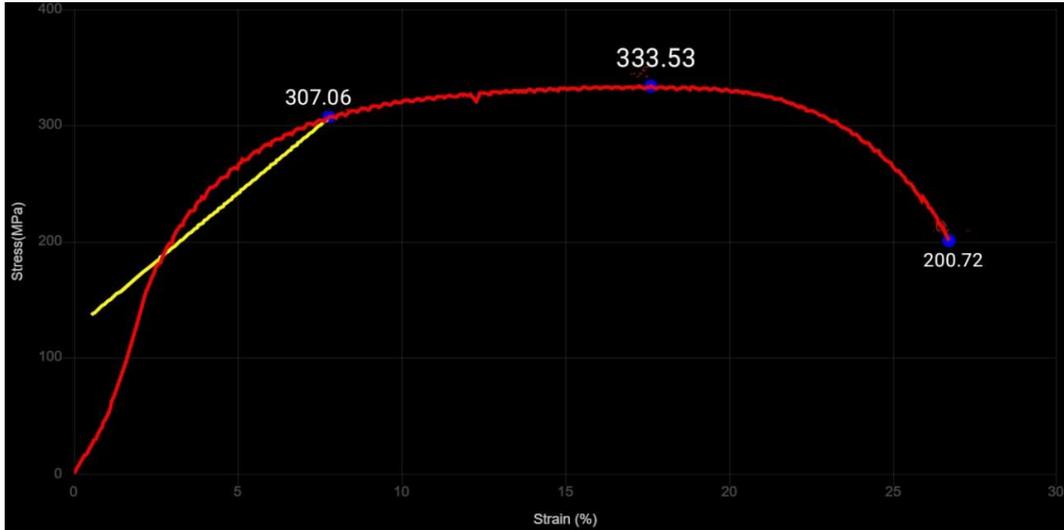
**Gambar 2.4** Grafik hasil spesimen 2 pengujian tarik setelah *heat treatment*.

| nama_spesimen              | yield  | ultimate | fracture | strain | elongation |
|----------------------------|--------|----------|----------|--------|------------|
| SPESIMEN 2 SETELAH HT TRIO | 329.62 | 363.26   | 221.33   | 33.30  | 9.76       |

**2.1.3 Hasil spesimen 3 pengujian tarik setelah *heat treatment*.**



**Gambar 2.5** Hasil spesimen 3 pengujian tarik setelah *heat treatment*.



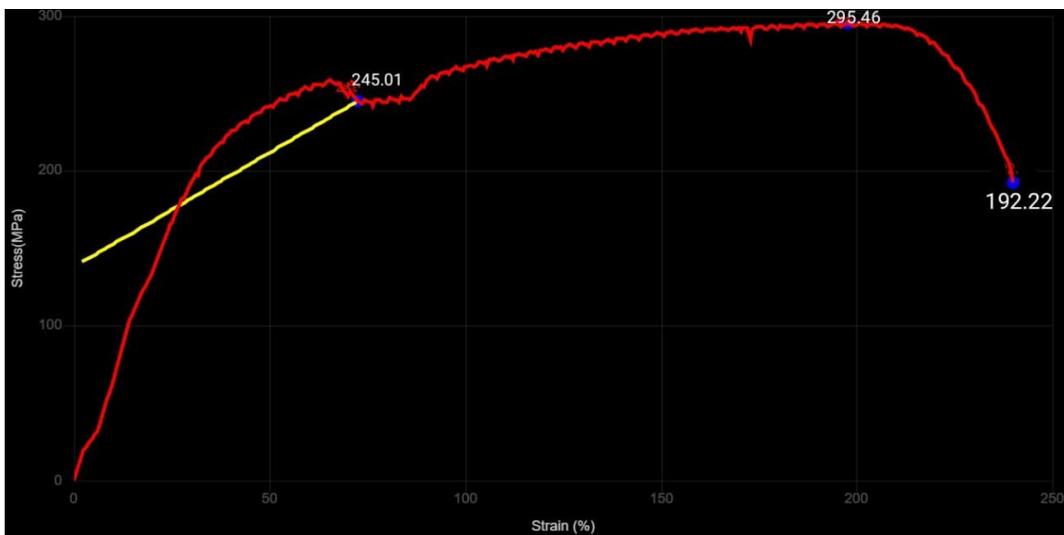
**Gambar 2.6** Grafik hasil spesimen 3 pengujian tarik setelah *heat treatment*.

| nama_espesimen             | yield  | ultimate | fracture | strain | elongation |
|----------------------------|--------|----------|----------|--------|------------|
| SPESIMEN 3 SETELAH HT TRIO | 307.06 | 333.53   | 200.72   | 26.71  | 7.99       |

**2.1.4 Hasil spesimen 4 pengujian tarik setelah *heat treatment*.**



**Gambar 2.7** Hasil spesimen 4 pengujian tarik setelah *heat treatment*.



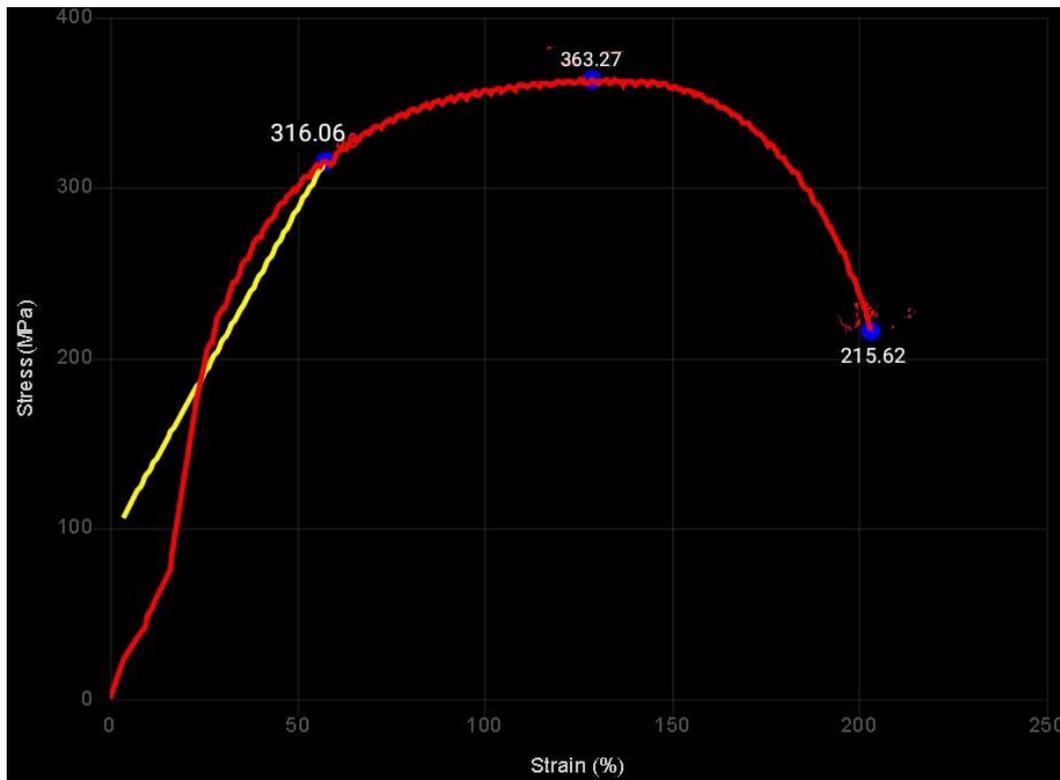
**Gambar 2.8** Grafik hasil spesimen 4 pengujian tarik setelah *heat treatment*.

| nama_spesimen              | yield  | ultimate | fracture | strain | elongation |
|----------------------------|--------|----------|----------|--------|------------|
| SPESIMEN 4 SETELAH HT TRIO | 245.01 | 295.46   | 192.22   | 240.10 | 7.44       |

**2.1.5 Hasil spesimen 5 pengujian tarik setelah *heat treatment*.**



**Gambar 2.9** Hasil spesimen 5 pengujian tarik setelah *heat treatment*.



**Gambar 2.10** Grafik hasil spesimen 5 pengujian tarik setelah *heat treatment*.

| nama_spesimen              | yield  | ultimate | fracture | strain | elongation |
|----------------------------|--------|----------|----------|--------|------------|
| SPESIMEN 5 SETELAH HT TRIO | 316.06 | 363.27   | 215.62   | 203.12 | 6.30       |

## BIODATA PENULIS

Nama : MUHAMMAD FIKRI  
Jenis Kelamin : Laki-laki —  
Tempat/Tanggal Lahir : Padang /25 November 1997  
Agama : Islam  
Kewarganegaraan : Indonesia  
Alamat : Jl.By pass kayu gadang Padang Rt 001/ Rw 006  
Telepon/No. Hp : 082210336017  
E-mail : [mhmdfikri1125@gmail.com](mailto:mhmdfikri1125@gmail.com)

## PENDIDIKAN FORMAL

2016 - 2021 : Jurusan Teknik Mesin, Program Studi Teknik Mesin UniversitasDharma  
Andalas

2013 - 2016 : SMA HUDAYA

2010- 2013 : MTS Durian Tarung

2004 – 2010 : SD Negeri 04 Pasar Ambacang

## PENGELAMAN AKADEMIK

2022 : Kerja Praktek di PT Semen Padang Di Row Mill Indarung IV

## PENGALAMAN KERJA, SEMINAR DAN PELATIHAN

2021 : Sebagai Peserta Seminar Dalam Rangka “*Pelatihan Motivasional Untuk Mahasiswa Teknik*” Yang Diselenggarakan Pada Tahun 2019 Di Universitas Dharma Andalas.

2018 : Sebagai Panitia ”*AutoCAD Training 2018 SMK Se-Kota Padang*” Yang Diselenggarakan Pada Tahun 2018 Di Universitas Dharma Andalas.

2020 : Sebagai Peserta Dalam *Webinar Series 2 ”Prospek Kerja Dan Tantangandunia*

*Engineering Di Perusahaan Energi” Yang Diselenggarakan Pada Tahun 2020 Di Universitas Dharma Andalas.*

2020 : Sebagai Peserta Dalam *Webinar Series 1 ”Prospek Kerja Dan TantanganduniaEngineering Di Masa Pandemi Dan Pasca Covid-19”* Yang Diselenggarakan Pada Tahun 2020 Di Universitas Dharma Andalas.