

**TUGAS AKHIR – TL184834**

**ANALISIS PENGARUH VARIASI ARUS DAN TEGANGAN  
PENGELASAN METODE FCAW TERHADAP STRUKTUR  
MIKRO DAN SIFAT MEKANIK SAMBUNGAN BAJA S355JR**

**IZZUDDIN HABIBURRAHMAN**  
NRP. 0251184000094

Dosen Pembimbing  
**Ir. Rochman Rochiem, M.Sc.**  
NIP. 195809101986031002  
**Budi Agung Kurniawan, ST., M.Sc**  
NIP. 197604102002121002

**Program Studi Teknik Material**  
Departemen Teknik Material dan Metalurgi  
Fakultas Teknologi Industri dan Rekayasa Sistem  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
Surabaya  
2022





**TUGAS AKHIR – TL184834**

**ANALISIS PENGARUH VARIASI ARUS DAN TEGANGAN  
PENGELASAN METODE FCAW TERHADAP STRUKTUR  
MIKRO DAN SIFAT MEKANIK SAMBUNGAN BAJA S355JR**

**IZZUDDIN HABIBURRAHMAN**  
NRP. 0251184000094

Dosen Pembimbing  
**Ir. Rochman Rochiem, M.Sc.**  
NIP. 195809101986031002  
**Budi Agung Kurniawan, ST., M.Sc**  
NIP. 197604102002121002

**Program Studi Teknik Material**  
Departemen Teknik Material dan Metalurgi  
Fakultas Teknologi Industri dan Rekayasa Sistem  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
Surabaya  
2022

*(Halaman ini sengaja dikosongkan)*



**FINAL PROJECT – TL184834**

**ANALYSIS EFFECT OF CURRENT AND VOLTAGE FCAW  
WELDING METHOD TO MICRO STRUCTURE AND  
MECHANICAL PROPERTIES OF S355JR STEEL JOINT**

**IZZUDDIN HABIBURRAHMAN**  
NRP. 0251184000094

Advisor  
**Ir. Rochman Rochiem, M.Sc.**  
NIP. 195809101986031002  
**Budi Agung Kurniawan, ST., M.Sc**  
NIP. 197604102002121002

**Study Program of Materials Engineering**  
Departement of Materials and Metallurgical Engineering  
Faculty of Industrial Technology and Systems Engineering  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
Surabaya  
2022

*(This page is intentionally blank)*

## LEMBAR PENGESAHAN

### ANALISIS PENGARUH VARIASI ARUS DAN TEGANGAN PENGELASAN METODE FCAW TERHADAP STRUKTUR MIKRO DAN SIFAT MEKANIK SAMBUNGAN BAJA S355JR


#### TUGAS AKHIR

Diajukan untuk memenuhi salah satu syarat  
memperoleh gelar Sarjana Teknik pada  
Program Studi S-1 Teknik Material  
Departemen Teknik Material dan Metalurgi  
Fakultas Teknologi Industri dan Rekayasa Sistem  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh : IZZUDDIN HABIBURRAHMAN  
NRP. 0251184000094


Disetujui oleh Tim Penguji Tugas Akhir :

1. Ir. Rochman Rochiem, M.Sc.
2. Budi Agung Kurniawan, S.T., M.Sc.
3. Mavindra Ramadhani, S.T., M.T.
4. Tubagus Noor Rohmannudin, S.T., M.Sc.

  
Pembimbing

  
Ko-Pembimbing

  
Penguji

  
Penguji



**SURABAYA**  
**Juli, 2022**

*(Halaman ini sengaja dikosongkan)*



## APPROVAL SHEET

### ANALYSIS EFFECT OF CURRENT AND VOLTAGE FCAW WELDING METHOD TO MICRO STRUCTURE AND MECHANICAL PROPERTIES OF S355JR STEEL JOINT

#### FINAL PROJECT

Submitted to fulfill one of the requirements  
for obtaining a degree of bachelor of engineering at  
Undergraduate Study Program of Materials Engineering  
Departement of Materials and Metallurgical Engineering  
Faculty of Industrial Technology and Systems Engineering  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

By : IZZUDDIN HABIBURRAHMAN  
NRP. 0251184000094

Approved by Final Project Examiner Team :

1. Ir. Rochman Rochiem, M.Sc.
2. Budi Agung Kurniawan, S.T., M.Sc.
3. Mavindra Ramadhani, S.T., M.T.
4. Tubagus Noor Rohmannudin, S.T., M.Sc.

  
Advisor

  
Co-Advisor

  
Examiner

  
Examiner



**SURABAYA**  
**July, 2022**

*(This page is intentionally blank)*

## PERNYATAAN ORISINALITAS

Yang bertanda tangan di bawah ini:

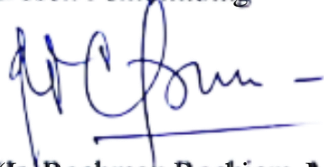
Nama mahasiswa/NRP : Izzuddin Habiburrahman/02511840000094  
Departemen : Teknik Material dan Metalurgi  
Dosen Pembimbing/NIP : Ir. Rochman Rochiem, M.Sc./NIP. 195809101986031002

Dengan ini menyatakan bahwa Tugas Akhir dengan judul “ANALISIS PENGARUH VARIASI ARUS DAN TEGANGAN PENGELASAN METODE FCAW TERHADAP STRUKTUR MIKRO DAN SIFAT MEKANIK SAMBUNGAN BAJA S355JR” adalah hasil karya sendiri, bersifat orisinal, dan ditulis dengan mengikuti kaidah penulisan ilmiah.

Bilamana di kemudian hari ditemukan ketidaksesuaian dengan pernyataan ini, maka saya bersedia menerima sanksi sesuai dengan ketentuan yang berlaku di Institut Teknologi Sepuluh Nopember.

Surabaya, 19 Juli 2022

Mengetahui  
Dosen Pembimbing



(Ir. Rochman Rochiem, M.Sc.)  
NIP. 195809101986031002

Mahasiswa



(Izzuddin Habiburrahman)  
NRP. 02511840000094

*(Halaman ini sengaja dikosongkan)*

## STATEMENT OF ORIGINALITY

The undersigned below:

Name of student/NRP : Izzuddin Habiburrahman/02511840000094  
Departement : Material and Metallurgical Engineering  
Advisor/NIP : Ir. Rochman Rochiem, M.Sc./NIP. 195809101986031002

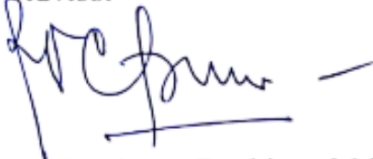
Hereby declare that the Final Project with the title of “ANALYSIS EFFECT OF CURRENT AND VOLTAGE FCAW WELDING METHOD TO MICRO STRUCTURE AND MECHANICAL PROPERTIES OF S355JR STEEL JOINT” is the result of my own work, is original, and is written by following the rules of scientific writing.

If in the future there is a discrepancy with this statement, then I am willing to accept sanctions in accordance with the provisions that apply at Institut Teknologi Sepuluh Nopember.

Surabaya, 19 July 2022

Acknowledged

**Advisor**



(Ir. Rochman Rochiem, M.Sc.)  
NIP. 195809101986031002

**Student**



(Izzuddin Habiburrahman)  
NRP.02511840000094

*(This page is intentionally blank)*

# ANALISIS PENGARUH VARIASI ARUS DAN TEGANGAN PENGELASAN METODE FCAW TERHADAP STRUKTUR MIKRO DAN SIFAT MEKANIK SAMBUNGAN BAJA S355JR

**Nama Mahasiswa / NRP** : Izzuddin Habiburrahman/0251184000094  
**Departemen** : Teknik Material dan Metalurgi FTIRS-ITS  
**Dosen Pembimbing 1** : Ir. Rochman Rochiem, M.Sc.  
**Dosen Pembimbing 2** : Budi Agung Kurniawan, S.T., M.Sc.

## Abstrak

Industri Kereta Api Indonesia merupakan salah satu industri strategis. Proses pengelasan merupakan tahap manufaktur kereta. Metode pengelasan FCAW tepat digunakan dalam perakitan gerbong kereta api. Baja S355JR merupakan baja struktural yang umum digunakan karena sifat mampu las yang baik. Variasi arus dan tegangan menjadi faktor penting yang diperhatikan dalam parameter pengelasan. Tujuan dari penelitian ini adalah menganalisis pengaruh variasi arus dan tegangan pengelasan terhadap struktur mikro dan sifat mekanik baja S355JR. Adapun variasi arus dan tegangan yang digunakan pada penelitian ini adalah Arus 170 A, 190 A, 200 A, tegangan 26,5 V dan 27,5 V. Skema penelitian yang dilakukan dengan melakukan pengelasan pada sepasang plat baja dimensi 250 mm x 125 mm x 14 mm posisi 1G. Kemudian dilakukan pengujian sifat mekanik yang meliputi uji tarik dan uji kekerasan. Sedangkan struktur mikro dilakukan uji metalografi. Hasil pengujian tarik menunjukkan adanya pengaruh arus dan tegangan pada nilai ultimate tensile strength, yield strength, dan elongation. Variasi arus 200 A tegangan 26,5 V memiliki nilai tertinggi yaitu, tensile strength 526,80 MPa, yield strength 382,25 MPa, dan elongation 28,70%. Pada pengujian kekerasan didapatkan peningkatan distribusi kekerasan pada daerah HAZ dan weld metal dibandingkan base metal. Terjadi transformasi ukuran butir struktur mikro daerah HAZ dan *weld metal*. Struktur mikro HAZ dan *weld metal* cenderung lebih halus dari *base metal* baja S355JR. Semakin rendah masukan panas pengelasan, maka struktur mikro semakin halus. Ketiga daerah tersebut tidak terjadi perubahan fasa pada struktur mikro. Dari sifat mekanik didapatkan hasil yang paling optimal didapatkan pada variasi arus 200 A dan tegangan 26,5 V. Variasi tersebut memiliki nilai tensile strength 526,80 MPa, yield strength 382,25 MPa, dan elongation 28,70%. Untuk nilai kekerasan pada HAZ 251,67 HV dan pada *weld metal* 242,33 HV.

**Kata Kunci:** *Arus, Tegangan, Pengelasan, FCAW*

*(Halaman ini sengaja dikosongkan)*



# **ANALYSIS EFFECT OF CURRENT AND VOLTAGE FCAW WELDING METHOD TO MICRO STRUCTURE AND MECHANICAL PROPERTIES OF S355JR STEEL JOINT**

**Student Name / NRP** : Izzuddin Habiburrahman/0251184000094  
**Departement** : Material and Metallurgical Engineering  
**Advisor** : Ir. Rochman Rochiem, M.Sc.  
**Co-Advisor** : Budi Agung Kurniawan, S.T., M.Sc.

## **Abstract**

The Indonesian Railway Industry is one of the industrial strategies. The welding process is a stage of manufacturing trains. The FCAW welding method is appropriate for the assembly of railroad cars. S355JR steel is a commonly used structural steel due to its good weldability. Current and voltage variations are important factors to consider in parameter welding. The purpose of this study was to analyze the effect of current and welding variations on the microstructure and mechanical properties of S355JR steel. The current and voltage variations used in this study are currents 170 A, 190 A, 200 A, voltage 26.5 V and 27.5 V. The scheme of the study was carried out by welding on a pair of steel plates with dimensions of 250 mm x 125 mm x 14mm position 1G. Then the mechanical properties were tested which included tensile test and hardness test. Meanwhile, the microstructure was tested by metallography. The test results show the influence of current and stress on the ultimate tensile strength, yield strength, and elongation. The current variation of 200 A with a voltage of 26.5 V has the highest value, namely, tensile strength of 526.80 MPa, yield strength of 382.25 MPa, and elongation of 28.70%. The hardness test showed an increase in the distribution of hardness in the HAZ area and the weld metal compared to the base metal. There was a grain size transformation of the microstructure of the HAZ region and the weld metal. The microstructure of HAZ and weld metal more fine than the base metal of S355JR steel. The lower the welding heat input, the finer the microstructure. The three regions did not have a phase change in the microstructure. From the mechanical properties, the most optimal results were obtained at a current variation of 200 A and a voltage of 26.5 V. These variations had a tensile strength value of 526.80 MPa, yield strength 382.25 MPa, and elongation 28.70%. For the value of hardness on HAZ 251.67 HV and on weld metal 242.33 HV.

**Keywords:** *Current, Voltage, Welding, FCAW*

*(This page is intentionally blank)*

## KATA PENGANTAR


Puji dan syukur atas kehadiran Allah SWT yang telah memberikan rahmat dan karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan penelitian tugas akhir dengan judul, “ANALISIS PENGARUH VARIASI ARUS DAN TEGANGAN PENGELASAN METODE FCAW TERHADAP STRUKTUR MIKRO DAN SIFAT MEKANIK SAMBUNGAN BAJA S355JR”. terselesaikannya laporan tugas akhir ini tidak luput dari dukungan, bantuan, motivasi serta partisipasi dari semua pihak, untuk itu penulis ingin mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada:

1. Bapak Ir. Rochman Rochiem, M.Sc. dan Bapak Budi Agung Kurniawan, S.T., M.Sc. selaku dosen pembimbing tugas akhir atas segala ilmu dan bimbingan yang telah diberikan selama pelaksanaan tugas akhir hingga laporan selesai.
2. Bapak Sigit Tri Wicaksono, S.Si., M..Si., Ph.D., selaku Kepala Departemen Teknik Material dan Metalurgi FT-IRS ITS.
3. Ibu Dian Mughni Felicia, S.T., M.Sc. selaku dosen wali penulis yang senantiasa memberikan nasihat dan arahan selama masa perkuliahan.
4. Bapak/Ibu Dosen yang telah membimbing dan memberikan banyak ilmu kepada penulis.
5. Orang tua, keluarga, dan teman kuliah penulis yang selalu memberikan dukungan kepada penulis.

Penulis menyadari bahwa penyusunan laporan ini masih jauh dari kata sempurna. Untuk itu, penulis sangat mengharapkan kritik dan saran yang membangun dari pembaca. Semoga laporan ini dapat bermanfaat bagi penulis dan semua pihak terkait.

Surabaya, 19 Juli 2022

Penulis



Izzuddin Habiburrahman

*(Halaman ini sengaja dikosongkan)*

## DAFTAR ISI

<b>ABSTRAK</b> .....	<b>xiii</b>
<b>ABSTRACT</b> .....	<b>xv</b>
<b>KATA PENGANTAR</b> .....	<b>xvii</b>
<b>DAFTAR ISI</b> .....	<b>xix</b>
<b>DAFTAR GAMBAR</b> .....	<b>xxi</b>
<b>DAFTAR TABEL</b> .....	<b>xxiii</b>
<b>1 BAB I PENDAHULUAN</b> .....	<b>1</b>
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Perumusan Masalah.....	1
1.3 Batasan Masalah.....	1
1.4 Tujuan Penelitian.....	1
1.5 Manfaat Penelitian.....	2
<b>2 BAB II TINJAUAN PUSTAKA</b> .....	<b>3</b>
2.1 Pengelasan .....	3
2.2 Jenis-Jenis Pengelasan.....	3
2.2.1 <i>Fusion Welding</i> .....	4
2.2.2 <i>Solid-State Welding</i> .....	4
2.3 <i>Flux Cored Arc Welding (FCAW)</i> .....	4
2.3.1 Arus Pengelasan .....	4
2.3.2 Tegangan Pengelasan .....	5
2.3.3 Polaritas .....	5
2.3.4 Elektroda E71T-1C.....	5
2.3.5 Kelebihan Metode FCAW .....	6
2.3.6 Kekurangan Metode FCAW .....	6
2.4 <i>Heat Input</i> .....	6
2.5 Pengelasan Pada Baja Karbon.....	7
2.6 Siklus Thermal Daerah Pengelasan .....	7
2.6.1 <i>Weld Metal</i> .....	8
2.6.2 <i>Heat-Affected Zone</i> .....	8
2.6.3 <i>Base Metal</i> .....	8
2.7 Baja S355JR .....	8
2.8 Cacat Pengelasan .....	9
2.9 Inspeksi dan Pengujian Material .....	10
2.9.1 <i>Non-Destructive Test</i> .....	10
2.9.2 Pengujian Metalografi .....	10
2.9.3 Pengujian Kekerasan .....	10
2.9.4 Pengujian Tarik .....	10
2.10 Penelitian Sebelumnya .....	12
<b>3 BAB III METODOLOGI PENELITIAN</b> .....	<b>15</b>
3.1 Diagram Alir.....	15
3.2 Metode Penelitian .....	16
3.3 Alat Penelitian .....	16
3.4 Bahan Penelitian .....	17
3.5 Prosedur Penelitian.....	18
3.5.1 Prosedur Pengelasan .....	18
3.5.2 Prosedur Pemotongan .....	19
3.6 Proses Pengujian.....	19
3.6.1 Pengujian Metalografi .....	20

3.6.2	Pengujian Kekerasan.....	20
3.6.3	Pengujian Tarik.....	20
3.7	Rancangan Penelitian.....	21
<b>4</b>	<b>BAB IV ANALISIS DATA DAN PEMBAHASAN.....</b>	<b>23</b>
4.1	Hasil Pengujian Tarik.....	23
4.2	Hasil Pengujian Kekerasan .....	25
4.3	Hasil Pengujian Metalografi .....	28
4.4	Analisis Pengaruh Arus dan Tegangan Terhadap Pengujian Metalografi, Pengujian Kekerasan, dan Pengujian Tarik .....	33
<b>BAB V</b>	<b>KESIMPULAN DAN SARAN .....</b>	<b>35</b>
5.1	Kesimpulan .....	35
5.2	Saran.....	35
	<b>DAFTAR PUSTAKA.....</b>	<b>37</b>
	<b>LAMPIRAN.....</b>	<b>39</b>
	<b>UCAPAN TERIMA KASIH .....</b>	<b>59</b>
	<b>BIODATA PENULIS.....</b>	<b>61</b>

## DAFTAR GAMBAR

<b>Gambar 2.1</b>	Jenis-jenis pengelasan.....	3
<b>Gambar 2.2</b>	Skema pengelasan metode FCAW .....	4
<b>Gambar 2.3</b>	Karakteristik daerah thermal pengelasan busur.....	7
<b>Gambar 2.4</b>	Struktur Mikro Baja S355JR .....	9
<b>Gambar 2.5</b>	Kurva <i>stress-strain</i> dari uji tarik.....	11
<b>Gambar 2.6</b>	Spesimen uji tarik transversal pada sambungan las.....	11
<b>Gambar 3.1</b>	Diagram Alir.....	15
<b>Gambar 3.2</b>	Mesin las <i>Flux-Cored Arc Welding</i> .....	16
<b>Gambar 3.3</b>	Pelat baja S355JR sebelum preparasi .....	17
<b>Gambar 3.4</b>	<i>Test piece</i> pengelasan baja S355JR .....	17
<b>Gambar 3.5</b>	Kawat elektroda SC-71LH .....	18
<b>Gambar 3.6</b>	Lokasi spesimen uji untuk <i>butt joint</i> pada pelat .....	19
<b>Gambar 3.7</b>	Spesimen uji tarik standar ISO 4136 .....	20
<b>Gambar 4.1</b>	Grafik nilai rata-rata <i>ultimate tensile strength</i> .....	24
<b>Gambar 4.2</b>	Grafik nilai rata-rata <i>yield strength</i> .....	24
<b>Gambar 4.3</b>	Grafik nilai rata-rata <i>elongation</i> .....	25
<b>Gambar 4.4</b>	Grafik perbandingan kekerasan variasi 26,5 V .....	26
<b>Gambar 4.5</b>	Grafik perbandingan kekerasan variasi 27,5 V .....	27
<b>Gambar 4.6</b>	Struktur mikro spesimen 170 A 26,5 V perbesaran 500× (a) <i>base metal</i> , (b)HAZ, dan (c) <i>weld metal</i> .....	28
<b>Gambar 4.7</b>	Struktur mikro spesimen 190 A 26,5 V perbesaran 500× (a) <i>base metal</i> , (b)HAZ, dan (c) <i>weld metal</i> .....	29
<b>Gambar 4.8</b>	Struktur mikro spesimen 200 A 26,5 V perbesaran 500× (a) <i>base metal</i> , (b)HAZ, dan (c) <i>weld metal</i> .....	30
<b>Gambar 4.9</b>	Struktur mikro spesimen 170 A 27,5 V perbesaran 500× (a) <i>base metal</i> , (b)HAZ, dan (c) <i>weld metal</i> .....	30
<b>Gambar 4.10</b>	Struktur mikro spesimen 190 A 27,5 V perbesaran 500× (a) <i>base metal</i> , (b)HAZ, dan (c) <i>weld metal</i> .....	31
<b>Gambar 4.11</b>	Struktur mikro spesimen 200 A 27,5 V perbesaran 500× (a) <i>base metal</i> , (b)HAZ, dan (c) <i>weld metal</i> .....	32

*(Halaman ini sengaja dikosongkan)*



## DAFTAR TABEL

<b>Tabel 2.1</b>	Komposisi Kimia Elektroda E71T-1C .....	5
<b>Tabel 2.2</b>	Sifat Mekanik Elektroda E71T-1C .....	5
<b>Tabel 2.3</b>	Komposisi Kimia Baja S355JR .....	8
<b>Tabel 2.4</b>	Sifat Mekanik Baja S355JR.....	9
<b>Tabel 3.1</b>	Parameter Pengelasan .....	18
<b>Tabel 3.2</b>	Perhitungan <i>Heat Input</i> .....	18
<b>Tabel 3.3</b>	Rancangan penelitian.....	21
<b>Tabel 4.1</b>	Hasil Pengujian Tarik .....	23
<b>Tabel 4.2</b>	Data pengujian tarik <i>base material S355JR</i> .....	23
<b>Tabel 4.3</b>	Hasil pengujian kekerasan .....	26
<b>Tabel 4.4</b>	Tren hasil pengujian kekerasan .....	27
<b>Tabel 4.5</b>	Persentase zona spesimen uji metalografi .....	32

*(Halaman ini sengaja dikosongkan)*

# **BAB I**

## **PENDAHULUAN**

### **1.1 Latar Belakang**

Industri Kereta Api Indonesia sebagai salah satu industri strategis sedang mengalami perkembangan, baik dari sisi teknologi maupun bisnis. Hal tersebut dapat dilihat dari produk-produk yang dihasilkan oleh PT.INKA (Persero). Kereta api batubara adalah salah satu produk yang telah digunakan pada distribusi batubara dalam negeri khususnya di wilayah Sumatra. Kualitas produk kereta api menjadi faktor penting untuk dapat memenuhi kebutuhan tersebut. Proses manufaktur kereta api adalah salah satu instrumen dari hasil kualitas produk kereta api. Pada proses manufaktur kereta api, komponen-komponen struktur gerbong kereta dirakit dengan menggunakan proses pengelasan(Sasmito et al., 2019).

Proses pengelasan adalah proses fabrikasi dimana dua atau lebih bagian disatukan dengan cara pemberian panas setempat, tekanan atau keduanya sehingga terbentuk sebagai sambungan. Baja struktural merupakan bahan baku utama pembuatan gerbong kereta api. Metode pengelasan yang tepat diperlukan saat produksi gerbong kereta dengan bahan baku baja tersebut. Pengelasan metode GMAW dan FCAW umumnya digunakan untuk konstruksi, seperti struktur kereta, kapal dan jembatan. Meskipun prinsip prosesnya sama, kedua metode pengelasan ini memiliki kelebihan dan kekurangannya sendiri(Čekys & Jankauskienė, 2020).

FCAW adalah proses pengelasan busur yang membutuhkan elektroda umpan yang dapat digunakan secara terus menerus. Penggunaan gas pelindung diperlukan untuk menghasilkan perlindungan dari pengaruh udara disekitar lingkungan. Proses pengelasan ini menarik karena umumnya memberikan penetrasi yang baik ke dalam *base metal*, dan dapat diaplikasikan pada beberapa klasifikasi baja paduan(Olabi et al., 2014). FCAW memiliki beberapa keunggulan dibandingkan GMAW seperti, tingkat deposisi yang tinggi, pengelasan pada plat tebal dan tingkat keterampilan operator yang lebih minim(Čekys & Jankauskienė, 2020).

Namun metode FCAW membutuhkan variasi pada parameter yang sesuai dalam mencapai hasil pengelasan yang baik. Seperti dari pengaturan tegangan yang terlalu tinggi dapat menyebabkan adanya percikan elektroda pada hasil pengelasan(Mohamat et al., 2012). Dari keterbatasan tersebut dibutuhkan penentuan yang tepat dari parameter pengelasan metode FCAW. Oleh karena itu penelitian ini akan membahas analisis pengaruh variasi arus dan tegangan metode FCAW terhadap sifat mekanik dan struktur mikro pada sambungan baja S355JR.

### **1.2 Perumusan Masalah**

Adapun rumusan masalah dalam penelitian ini, sebagai berikut :

1. Bagaimana pengaruh arus dan tegangan pengelasan metode FCAW pada sambungan baja S355JR terhadap struktur mikro?
2. Bagaimana pengaruh arus dan tegangan pengelasan metode FCAW pada sambungan baja S355JR terhadap sifat mekanik?

### **1.3 Batasan Masalah**

Batasan masalah yang digunakan pada penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Pengaruh lingkungan diabaikan.
2. Material homogen dan bebas cacat.
3. Pengelasan dilakukan oleh operator bersertifikat.

### **1.4 Tujuan Penelitian**

Adapun tujuan dalam penelitian ini, sebagai berikut:

1. Menganalisis pengaruh arus dan tegangan pengelasan metode FCAW pada sambungan baja S355JR terhadap struktur mikro.
2. Menganalisis pengaruh arus dan tegangan pengelasan metode FCAW pada sambungan baja S355JR terhadap sifat mekanik.

### **1.5 Manfaat Penelitian**

Manfaat dari penelitian ini adalah untuk diperolehnya data pada ranah pengelasan metode *Flux Cored Arc Welding* dengan tujuan dapat diaplikasikan ke dalam industri untuk menunjang pengembangan teknologi dan ilmu material dalam bidang Teknik Material dan Metalurgi.

## BAB II TINJAUAN PUSTAKA

### 2.1 Pengelasan

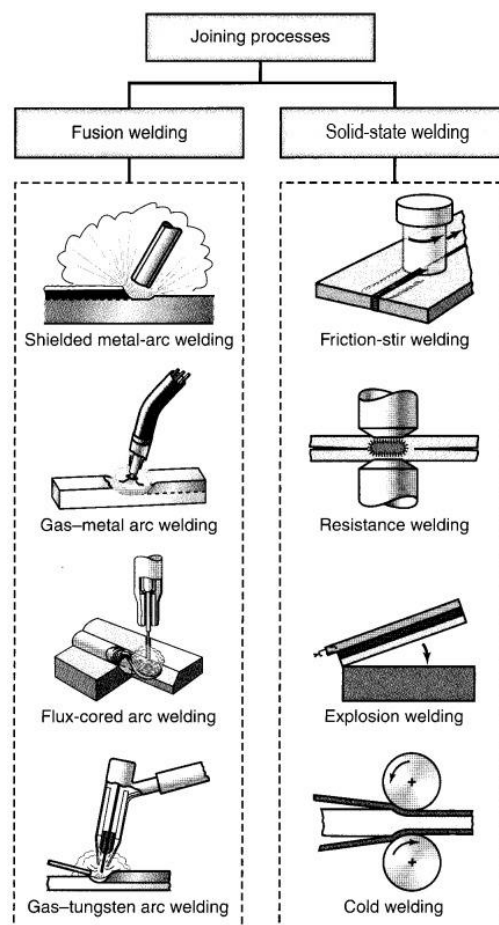
Menurut *Deutche Industrie Normen* (DIN) definisi pengelasan adalah ikatan metalurgi pada sambungan logam atau logam paduan yang dikerjakan dalam keadaan lebur atau cair (Wirjosumarto & Okumura, 1996).

Sedangkan menurut *American Welding Society* (AWS), pengelasan adalah suatu proses penyambungan yang menghasilkan penggabungan material dengan memanaskannya mencapai temperatur pengelasan, dengan atau tanpa penerapan tekanan atau dengan penerapan tekanan saja, dan dengan atau tanpa penggunaan logam pengisi (American Welding Society. Structural Welding Committee et al., n.d.).

Dari dua definisi tersebut pengelasan adalah proses penyambungan permanen dua material (umumnya logam) melalui koalesensi lokal yang dihasilkan dari kombinasi temperatur, tekanan dan kondisi metalurgi yang sesuai (Khan, 2007).

### 2.2 Jenis-Jenis Pengelasan

*American Welding Society* (AWS) mengkategorikan jenis-jenis pengelasan berdasarkan berbagai jenis atau kombinasi energi untuk menyediakan daya yang dibutuhkan dalam pengelasan. Proses pengelasan dapat dibagi menjadi dua kelompok besar yang dapat dilihat pada Gambar 2.1 (Kalpakjian & Schmid, 2010).



**Gambar 2.1** Jenis-jenis pengelasan (Kalpakjian & Schmid, 2010)

### 2.2.1 Fusion Welding

Proses *fusion welding* (pengelasan cair) adalah proses pengelasan yang menggunakan energi panas untuk melelehkan *base metal*. Dalam banyak metode pengelasan cair, *filler metal* (logam pengisi) ditambahkan ke *molten pool* untuk berjalannya proses dan kekuatan pada sambungan las. Pengelasan cair yang tidak menggunakan *filler metal* disebut sebagai las *autogenous* (Mikell P. Groover, 2012).

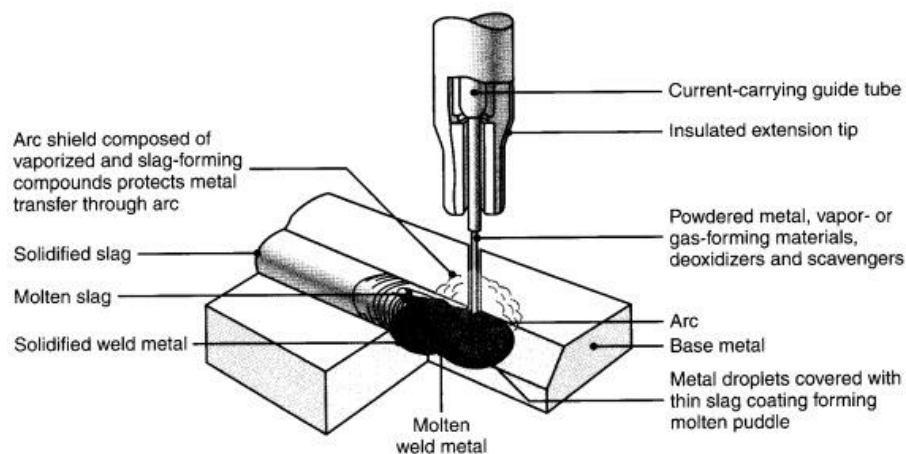
Secara umum *fusion welding* terbagi menjadi dua kelompok yaitu *oxyfuel-gas* dan *arc welding*. *Oxyfuel-gas welding* (OFW) adalah proses pengelasan yang menggunakan bahan bakar gas yang dikombinasikan dengan oksigen untuk menghasilkan nyala api. *Arc welding* adalah proses pengelasan yang menggunakan busur dari pelepasan listrik berkelanjutan dalam media konduktor. Catu daya AC atau DC menghasilkan busur antara ujung elektroda dan logam induk yang akan dilas. Pengelasan busur mencakup *Shielded Metal-Arc Welding* (SMAW), *Gas Metal-Arc Welding* (GMAW), *Flux-Cored Arc Welding* (FCAW) dan *Gas Tungsten-Arc Welding* (GTAW) (Kalpakjian & Schmid, 2010).

### 2.2.2 Solid-State Welding

*Solid-state welding* (pengelasan tekan) mengacu pada proses penyambungan di mana hasil koalesensi dari penerapan tekanan saja atau kombinasi panas dan tekanan. Jika panas digunakan, temperatur dalam proses berada di bawah titik leleh logam yang dilas. Pada *Solid-state welding* tidak menggunakan *filler metal* (Mikell P. Groover, 2012).

### 2.3 Flux Cored Arc Welding (FCAW)

FCAW adalah proses pengelasan busur yang menggunakan busur antara elektroda logam pengisi secara kontinu dan *weld pool*. Metode pengelasan ini digunakan dengan gas pelindung dari fluks yang terkandung di dalam elektroda tabung, dengan atau tanpa pelindung tambahan dari gas yang disuplai secara eksternal, dan tanpa penerapan tekanan (American Welding Society. Structural Welding Committee et al., n.d.). Skema pengelasan FCAW dapat dilihat pada Gambar 2.2.



**Gambar 2.2** Skema pengelasan metode FCAW (Kalpakjian & Schmid, 2010)

#### 2.3.1 Arus Pengelasan

Arus pengelasan sebanding dengan laju umpan elektroda untuk diameter elektroda tertentu, komposisi, dan ekstensi elektroda. Sumber daya tegangan konstan dengan ukuran yang tepat digunakan untuk melelehkan elektroda agar menjaga keluaran tegangan pengelasan (panjang busur). Ketika variabel pengelasan lainnya dipertahankan konstan untuk diameter elektroda tertentu, mengubah arus pengelasan umumnya akan memiliki efek berikut:

1. Peningkatan arus meningkatkan laju deposisi elektroda
2. Peningkatkan arus meningkatkan penetrasi.
3. Arus yang berlebihan menghasilkan *weld bead* cembung dengan fisiologi lasan yang buruk.

### 2.3.2 Tegangan Pengelasan

Kehalusan, kekuatan dan sifat dari hasil pengelasan elektroda metode *FCAW* dapat dipengaruhi oleh tegangan pengelasan. Tegangan yang terlalu tinggi (busur las yang terlalu panjang) dapat menyebabkan percikan yang berlebihan dan bentuk *weld bead* yang tak beraturan, dan pada elektroda *mild steel* dapat menyebabkan terjadinya porositas. Tegangan yang terlalu rendah (busur las yang terlalu pendek) akan menghasilkan *weld bead* yang cembung dan kecil serta dapat mengurangi penetrasi pengelasan(O'Brien, 2004).

### 2.3.3 Polaritas

Polaritas merupakan salah satu variabel yang harus diperhatikan dalam pemilihan elektroda *FCAW*. Beberapa elektroda berinti fluks dirancang untuk digunakan dengan *Direct Current Electrode Positive* (DCEP) dan lainnya untuk *Direct Current Electrode Negative* (DCEN). Beberapa klasifikasi elektroda berinti fluks berpelindung diri tentukan polaritas DCEN. Polaritas ini menghasilkan penetrasi logam dasar yang lebih sedikit. Akibatnya, elektroda berdiameter kecil seperti 0,8 mm, 0,9 mm, dan 1,2 mm telah terbukti cukup berhasil untuk bekerja pada bahan pengukur tipis(O'Brien, 2004).

### 2.3.4 Elektroda E71T-1C

E71T-1C, merupakan kawat elektroda berbentuk tabung yang aplikasinya banyak digunakan di industri otomotif. Kawat elektroda ini dalam penerapannya di industri, menggunakan sumber daya konvensional, arus antara 200 dan 250 A, gas pelindung 100% CO<sub>2</sub>(Soeiro Junior et al., 2017).

Penamaan elektroda tersebut berdasarkan AWS A5.20, E menunjukkan elektroda, 7 menunjukkan kekuatan minimum (bila dikalikan dengan 10.000 psi), 1 menunjukkan dapat dilakukan semua posisi pengelasan, T menunjukkan elektroda *FCAW*, 1 menunjukkan polaritas DCEP, C menunjukkan penggunaan gas pelindung 100% CO<sub>2</sub>. Berdasarkan standar AWS A5.20 elektroda E71T-1C memiliki komposisi kimia dan sifat mekanik yang dapat dilihat pada Tabel 2.1 dan Tabel 2.2 berikut:

**Tabel 2.1** Komposisi Kimia Elektroda E71T-1C

Unsur	Komposisi(%)
Karbon (C), <i>Max</i>	0.12
Mangan (Mn), <i>Max</i>	1.75
Silikon (Si), <i>Max</i>	0.90
Belerang (S), <i>Max</i>	0.03
Fosforus (P), <i>Max</i>	0.03

**Tabel 2.2** Sifat Mekanik Elektroda E71T-1C

Sifat Mekanik	Besaran Nilai
<i>Tensile Strength</i>	490-670 MPa
<i>Minimum Yield Strength</i>	390 MPa
<i>Minimum Elongation</i>	22%

### 2.3.5 Kelebihan Metode FCAW

Metode FCAW memiliki kelebihan tertentu dibandingkan beberapa metode pengelasan. Dalam banyak aplikasi, FCAW menghasilkan logam las berkualitas tinggi dengan biaya lebih rendah dibandingkan SMAW. FCAW lebih mentolelir perbedaan kecil dalam prosedur dan perbedaan keterampilan operator las daripada GMAW, dan lebih fleksibel daripada SAW. Di antara keunggulan yang ditawarkan oleh FCAW adalah sebagai berikut:

1. Penampilan fisiologi las yang sangat baik.
2. Pengelasan baja dalam rentang ketebalan yang beragam.
3. Faktor operasi tinggi dan mudah dimekanisasi.
4. Tingkat deposisi tinggi dan kerapatan arus tinggi.
5. Busur yang terlihat memudahkan dalam penggunaan.
6. Membutuhkan lebih sedikit pembersihan daripada GMAW.
7. Fusi yang baik pada FCAW-G dibandingkan dengan GMAW-S.
8. Penggunaan gas pelindung mentoleransi pada kondisi pengelasan di ruang terbuka.
9. Toleransi tinggi terhadap kontaminan yang dapat menyebabkan retak las.
10. Resistensi terhadap retak bawah(O'Brien, 2004).

### 2.3.6 Kekurangan Metode FCAW

Dibandingkan dengan proses GMAW bebas *slag*, kebutuhan untuk menghilangkan *slag* pada hasil pengelasan adalah proses kerja tambahan saat menggunakan FCAW. Namun, dalam banyak kasus, *slag* mudah dihilangkan dan hanya sedikit waktu dalam pembersihan. Berikut adalah beberapa kekurangan metode FCAW:

1. FCAW terbatas pada pengelasan logam besi dan logam paduan nikel.
2. Proses menghasilkan *slag* yang harus dihilangkan.
3. Kawat elektroda FCAW lebih mahal berdasarkan berat daripada kawat elektroda padat, kecuali untuk beberapa baja paduan tinggi.
4. Peralatan lebih mahal, kompleks, dan perawatan peralatan rumit daripada yang dibutuhkan untuk SMAW, namun peningkatan produktivitas biasanya mengimbangi hal ini.
5. Mesin pengumpan elektroda dan sumber listrik harus cukup dekat dengan titik pengelasan(O'Brien, 2004).

## 2.4 Heat Input

Pada proses pengelasan terdapat fenomena perpindahan energi panas per unit satuan panjang yang disebut *heat input*. Energi panas dihasilkan oleh parameter pengelasan yaitu arus, tegangan, dan *travel speed*. *Heat Input* merupakan faktor penting dalam pengelasan karena berpengaruh terhadap laju pendinginan. Pembentukan struktur metalurgi dan sifat mekanik daerah HAZ dan *weld metal* dipengaruhi oleh laju pendinginan tersebut(Yuniarto et al., 2019). Perhitungan *heat input* dapat diperoleh dengan menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$HI = \frac{E \times I}{v} \quad (2.1)$$

Dimana:

HI = Masukan panas (J/mm)

E = Tegangan busur las (Volt)

I = Arus las (Ampere)

v = Kecepatan pengelasan (mm/s)



## 2.5 Pengelasan Pada Baja Karbon

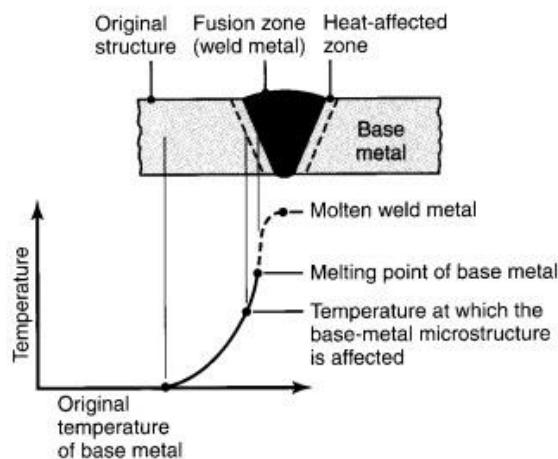
Penggunaan baja karbon dalam proses dan prosedur pengelasan perlu mempertimbangkan sifat *weldability* baja karbon. Sifat tersebut dipengaruhi oleh komposisi kandungan karbon dan paduan pada baja. Klasifikasi baja karbon pada prinsipnya didasarkan pada kandungan karbonnya. Kelompok tersebut terdiri dari baja karbon rendah (hingga 0,30% C), baja karbon sedang (0,30 hingga 0,45% Karbon), dan baja karbon tinggi (0,45 hingga 1,7% Karbon). Baja karbon rendah dapat dibagi lagi menjadi baja karbon sangat rendah (hingga 0,15% C) dan *mild steel* (0,15 hingga 0,30% C) (Wiryosumarto & Okumura, 1996).

Baja karbon yang sangat rendah (hingga 0,13%) adalah baja las yang baik, tetapi bukan yang terbaik untuk pengelasan produksi kecepatan tinggi. Kandungan karbon yang rendah dan kandungan mangan yang rendah (hingga 0,30%) cenderung menghasilkan porositas. Kondisi ini biasanya diperbaiki dengan sedikit memodifikasi prosedur pengelasan seperti memperlambat kecepatan pengelasan (*travel speed*). Jika terdapat beberapa porositas internal yang tidak memiliki efek merugikan dalam standar keberterimaan porositas pada perakitan, prosedur pengelasan kecepatan tinggi standar dapat digunakan (Parmar, 1997).

*Mild steel* dengan kandungan karbon 0,15 hingga 0,20 % memiliki *weldability* yang baik. Baja ini digunakan untuk kecepatan produksi maksimum pada rakitan atau struktur yang memerlukan proses pengelasan yang panjang. *Mild steel* kadar karbon 0,25 hingga 0,30% dengan mangan 1,40% memiliki *weldability* baik. Namun ketika satu atau lebih komposisi elemen paduan melebihi batas yang diizinkan, lasan rentan mengalami retak *underbead* terutama pada lasan *fillet*. Dengan kecepatan dan arus yang sedikit berkurang, elektroda standar dapat digunakan untuk baja ini. Untuk ketebalan baja hingga 8 mm, prosedur pengelasan standar berlaku. Jika beberapa unsur terutama C, Si, atau S kadarnya lebih tinggi dari batas yang diizinkan, permukaan lasan dapat berlubang. Masalah ini dapat diminimalisir dengan mengurangi arus dan kecepatan pengelasan (Parmar, 1997).

## 2.6 Siklus Thermal Daerah Pengelasan

Sambungan las terdiri dari 3 daerah yaitu, *weld metal*, *heat-affected zone*, dan *base metal*. Ketiga zona tersebut dapat diidentifikasi pada sambungan las seperti pada Gambar 2.3. Metalurgi setiap daerah las berkaitan dengan komposisi antara logam dasar dan logam las, proses pengelasan, dan prosedur yang digunakan. Untuk mencapai sifat mekanik dan fisik yang hampir sama dengan logam dasar, logam las yang dimodifikasi dengan penambahan logam pengisi sering kali memiliki komposisi kimia yang mirip dengan logam dasar (O'Brien & Jenney, 2001).



**Gambar 2.3** Karakteristik daerah thermal pengelasan busur (Kalpakjian & Schmid, 2010)

### 2.6.1 *Weld Metal*

Struktur mikro *weld metal* sangat berbeda dari *base metal* dengan komposisi serupa. Perbedaan struktur mikro tidak berhubungan dengan komposisi kimia, tetapi perbedaan riwayat perlakuan termal dan mekanik dari *base metal* dan *weld metal*. Struktur *base metal* adalah hasil dari operasi pengerolan panas dan rekristalisasi ganda dari *hot-worked metal*. Sebaliknya, *weld metal* belum mengalami deformasi mekanis. Struktur mikro dan sifat mekanik yang terjadi merupakan akibat langsung dari rangkaian peristiwa yang terjadi saat solidifikasi *weld metal*. Peristiwa ini termasuk reaksi *weld metal* dengan gas di dekat lasan dan dengan fase cair nonlogam (*slag* atau fluks) selama pengelasan dan yang terjadi di las setelah solidifikasi (O'Brien & Jenney, 2001).

### 2.6.2 *Heat-Affected Zone*

HAZ adalah daerah-daerah yang secara terukur dipengaruhi oleh panas dari proses pengelasan. Temperatur logam pada zona ini berada di bawah titik lebur, namun cukup tinggi untuk menyebabkan perubahan mikrostruktur pada logam. Komposisi kimia HAZ sama dengan logam dasar, tetapi daerah ini telah mengalami perlakuan panas karena temperatur pengelasan sehingga sifat dan strukturnya berubah. Perubahan sifat metalurgi pada HAZ tergantung pada faktor-faktor seperti besaran *heat input* dan temperatur puncak yang dicapai, jarak dari zona fusi, lamanya waktu logam mengalami suhu tinggi, laju pendinginan, dan sifat termal logam. Efek pada sifat mekanik HAZ biasanya negatif, dan di daerah sambungan las kegagalan pengelasan sering terjadi (Mikell P. Groover, 2012).

HAZ pada umumnya ditentukan oleh variasi kekerasan atau perubahan struktur mikro di sekitar sambungan las. Perubahan struktur mikro yang dihasilkan oleh panas pengelasan ini dapat diamati dengan etsa atau diukur dalam sifat kekerasan material (O'Brien & Jenney, 2001).

### 2.6.3 *Base Metal*

*Base metal* (logam induk) adalah daerah pada logam pada proses pengelasan yang tidak terpengaruh oleh temperatur panas dan memiliki struktur mikro serta sifat mekanik awal logam tersebut. Logam induk dipertimbangkan untuk aplikasi spesifik berdasarkan sifat mekanik atau kombinasi sifat mekanik tertentu, seperti *yeild*, *tensile strength*, dan densitas (O'Brien & Jenney, 2001).

## 2.7 **Baja S355JR**

Baja S355 adalah baja konstruksi yang paling umum digunakan dalam konstruksi. Baja S355 dimaksudkan untuk konstruksi yang dilas, membawa dan struktur yang dibebani secara dinamis, seperti: kolom, menara, platform, elemen mesin, perangkat. Simbol baja "S" berarti baja struktural. Baja S355JR sesuai dengan standar BS EN 10025 memiliki komposisi kimia dan sifat mekanik yang dapat dilihat pada Tabel 2.3 dan Tabel 2.4 (Major et al., 2019).

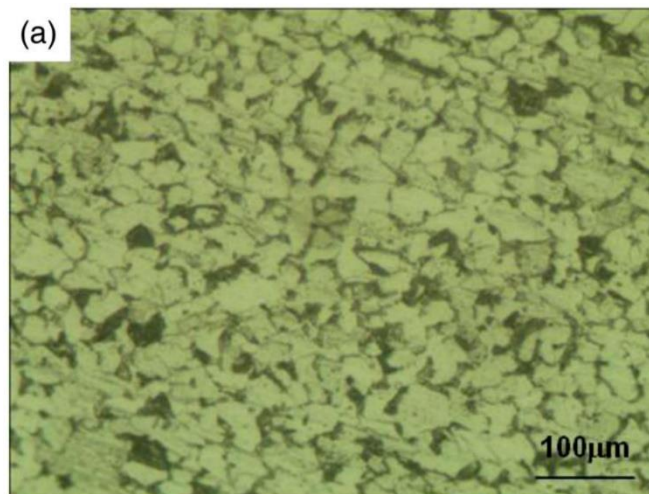
**Tabel 2.3** Komposisi Kimia Baja S355JR

Unsur	Komposisi (%)
Karbon (C), <i>Max</i>	0.24
Silikon (Si), <i>Max</i>	0.55
Mangan (Mn), <i>Max</i>	1.60
Fosforus (P), <i>Max</i>	0.035
Belerang (S), <i>Max</i>	0.035
Nitrogen (N), <i>Max</i>	0.012
Tembaga (Cu), <i>Max</i>	0.55
Besi (Fe), <i>Max</i>	<i>Balance</i>

**Tabel 2.4** Sifat Mekanik Baja S355JR

Sifat Mekanik	Besaran Nilai
<i>Yield Strength</i>	355 MPa
<i>Tensile Strength</i>	510-680 MPa
<i>Elongation</i>	22%

Baja S355JR banyak digunakan dalam berbagai komponen dan konstruksi. Karena sifat *weldability* yang baik, baja S355JR sering digunakan dalam struktur yang dilas dan bertekanan tinggi panas termasuk tangki dan pipa bertekanan. Baja S355JR memiliki struktur mikro terdiri dari *ferrite* dan *pearlite* yang dapat dilihat pada Gambar 2.4(Huang et al., 2016).



**Gambar 2.4** Struktur Mikro Baja S355JR(Huang et al., 2016)

## 2.8 Cacat Pengelasan

Bentuk fisik dari struktur pengelasan tergantung pada kualitas lasan. Kualitas pengelasan yang tidak sesuai dapat mengakibatkan cacat pada pengelasan(Mikell P. Groover, 2012). Berikut adalah beberapa dari cacat pengelasan:

### 1. Crack

*Crack* (Retak) adalah cacat yang berupa patahan baik pada lasan itu sendiri atau pada logam dasar yang berdekatan dengan lasan. Diskontinuitas pada logam yang mengalami retak secara signifikan dapat mengurangi kekuatan las(Mikell P. Groover, 2012).

### 2. Porosity

*Porosity* (Porositas) terdiri dari rongga kecil dalam logam las yang dibentuk oleh gas yang terperangkap saat tahap solidifikasi. Rongga yang terbentuk bervariasi antara *blow hole* atau *worm hole*. Porositas biasanya disebabkan oleh pengaruh udara pada lingkungan pengelasan, belerang dalam logam las, atau kontaminan pada permukaan(Mikell P. Groover, 2012).

### 3. Lack of Fusion

*Lack of Fusion* adalah kurang sempurnanya logam las yang terbentuk pada logam induk. Cacat ini disebabkan oleh kurangnya panas pada pengelasan, di mana panas hanya pada *weld bead* dan tidak mencapai ke seluruh penampang sambungan(Mikell P. Groover, 2012).

### 4. Solid Inclusion

*Solid Inclusions* adalah adanya material padat non-logam yang terperangkap di dalam logam las. Bentuk yang paling umum adalah *slag inclusions* yang dihasilkan selama proses pengelasan busur yang menggunakan fluks(Mikell P. Groover, 2012).

---

## 2.9 Inspeksi dan Pengujian Material

Sifat mekanik erat kaitannya dengan desain pada proses produksi mencakup metode uji dalam menilai berbagai sifat tersebut. Terdapat berbagai metode inspeksi dan pengujian untuk memeriksa kualitas sambungan las. Prosedur standar telah dikembangkan dan ditetapkan seperti standar AWS yang umum digunakan. Prosedur dari inspeksi dan pengujian ini dapat dibagi menjadi dua kategori yaitu, *non-destructive* dan *destructive test* (Mikell P. Groover, 2012).

### 2.9.1 Non-Destructive Test

*Non-Destructive Testing* (NDT) adalah metode inspeksi tanpa memerlukan penghancuran komponen atau sistem yang dievaluasi. Tugas utama industri untuk meningkatkan keamanan pengguna produk, kualitas produk dan efektivitas biaya. NDT umumnya membutuhkan keterampilan operator yang cukup besar, dan menafsirkan hasil tes secara akurat mungkin sulit karena pengamatannya bisa subjektif (Hallai & Kulcsar, 1992).

Pengujian NDT pada hasil pengelasan yang umum digunakan di industri adalah pengujian visual, inspeksi *dye-penetrant*, pengujian magnetik, pengujian radiografi dan pengujian ultrasonik. Pada 3 pengujian terakhir merupakan pengujian yang paling banyak digunakan pada industri (Khan, 2007).

### 2.9.2 Pengujian Metalografi

Metalografi adalah studi tentang mikrostruktur berbagai logam. Lebih tepatnya, ini adalah disiplin ilmu mengamati struktur kimia dari material tersebut. Langkah-langkah persiapan spesimen metalografi meliputi berbagai operasi, dan beberapa di antaranya adalah *sectioning*, *cutting*, *mounting*, *polishing* dan *etching* (Akca & Trgo, 2015).

Pengujian metalografi pada hasil pengelasan untuk mendapatkan karakteristik metalurgi las dan pengaruhnya terhadap logam induk. Dari pengujian tersebut dapat menentukan beberapa hal yaitu, lokasi dan kedalaman penetrasi las, luas HAZ, dan struktur metalurgi pada logam las dan HAZ (O'Brien & Jenney, 2001).

### 2.9.3 Pengujian Kekerasan

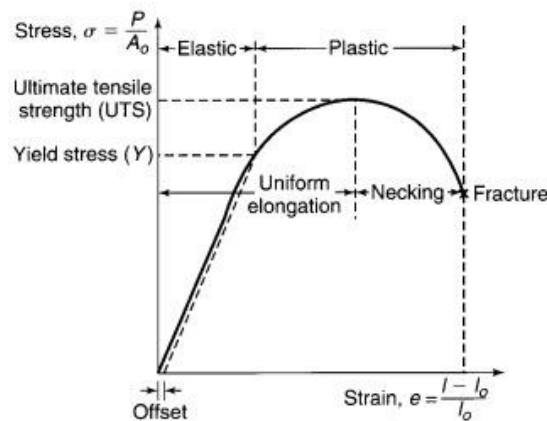
Terdapat berapa metode pengujian kekerasan menggunakan material dan bentuk indenter yang berbeda. Salah satu pengujian yang umum digunakan adalah *vickers test*. *Vickers test* menggunakan indenter intan berbentuk piramida dan beban berkisar antara 1 kg hingga 120 kg. Angka kekerasan *vickers* ditunjukkan dengan HV. Hasil yang diperoleh biasanya kurang dari 0,5 mm pada diagonal. Uji Vickers pada dasarnya memberikan angka kekerasan yang sama terlepas dari bebannya, dan cocok untuk menguji material dengan rentang kekerasan yang luas, termasuk baja yang diberi perlakuan panas (Kalpakjian & Schmid, 2010).

Pengujian kekerasan memberikan informasi tentang perubahan metalurgi yang disebabkan oleh pengelasan. Pengujian ini lasan dilakukan di permukaan lasan, dipoles dan etsa pada *cross-section* sambungan las. Indentasi dibuat di area tertentu seperti garis tengah las, permukaan muka atau akar deposit, HAZ, dan logam induk. Indentasi pengujian *vickers* relatif kecil dan demikian sangat cocok untuk pengukuran kekerasan berbagai daerah HAZ untuk lintasan skala halus. Nilai kekerasan yang diperoleh sangat bergantung pada metode pengujian yang digunakan, termasuk ukuran indentasi serta titik indentasi pada sambungan las (Parmar, 1997).

### 2.9.4 Pengujian Tarik

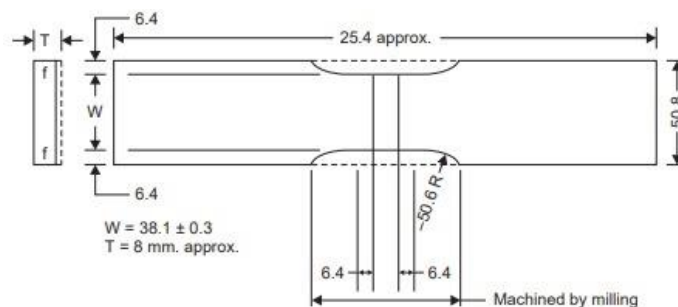
Uji tarik adalah metode yang paling umum untuk menentukan sifat mekanik material, seperti kekuatan (*strength*), keuletan (*ductility*), ketangguhan (*toughness*), dan modulus elastisitas. Ketika beban pertama kali diterapkan, spesimen memanjang sebanding dengan

beban, yang disebut perilaku *linear elastic*. Jika beban dihilangkan, spesimen kembali ke panjang dan bentuk semula. Dengan bertambahnya beban, spesimen mulai mengalami deformasi *nonlinear elastic* pada tegangan yang disebut batas proporsional. Pada titik tersebut tegangan dan regangan tidak lagi proporsional, seperti pada daerah *linear elastic*, tetapi ketika diturunkan, spesimen uji masih kembali ke bentuk semula. Deformasi permanen (plastis) terjadi ketika *yield stress* ( $Y$ ) dari material tercapai. Saat spesimen mulai memanjang di bawah beban yang terus meningkat, luas *cross-sectional* berkurang secara permanen dan seragam di seluruh *gauge length*. Ketika beban ditingkatkan lebih lanjut, tegangan akhirnya mencapai titik maksimum dan kemudian mulai berkurang. Tegangan maksimum disebut *tensile strength*, atau *ultimate tensile strength* (UTS), dari material (Kalpakjian & Schmid, 2010). Perbandingan antara tegangan dan regangan pada uji tarik dapat dilihat pada Gambar 2.5.



**Gambar 2.5** Kurva *stress-strain* dari uji tarik (Kalpakjian & Schmid, 2010)

Uji tarik untuk hasil pengelasan berbeda dengan logam induk karena bagian uji las bersifat heterogen yang mengandung logam induk, HAZ dan logam las. Untuk mendapatkan nilai dari kekuatan dan keuletan, beberapa tes yang berbeda harus dilakukan. Salah satu bentuk pengujian tersebut adalah uji tarik transversal yang dapat dilihat pada Gambar 2.6. Pengujian ini menunjukkan nilai kekuatan antara logam las dan logam induk. Jika kegagalan terjadi pada logam dasar, maka logam las lebih kuat dari logam induk. Kegagalan tersebut menunjukkan komparasi pada pemilihan jenis elektroda (Khan, 2007).



**Gambar 2.6** Spesimen uji tarik transversal pada sambungan las (Khan, 2007)

Ketika kekuatan logam las lebih rendah dari logam induk, *plastic strain* terjadi pada sambungan las. Dengan demikian, *ultimate strength* diperoleh tetapi data keuletan sambungan tidak diperoleh. Idealnya tidak ada regangan seragam dalam *gauge length*, oleh karena itu tidak



mungkin untuk mendapatkan ukuran *yeild strength* yang akurat di sepanjang sambungan las (Khan, 2007).

## 2.10 Penelitian Sebelumnya

Peneliti	Judul	Hasil
Bang, 2008	<i>Effects of welding parameters on tensile strength of weld metal in flux cored arc welding</i>	Pada penelitian ini membahas tentang pengaruh parameter pengelasan yaitu tegangan dan arus terhadap kekuatan tarik. Hasilnya diinterpretasikan dalam hal komposisi kimia dan perubahan mikrostruktur pada logam las. Ketika masukan panas ditingkatkan menjadi 2,1 KJ/mm dengan meningkatkan arus pengelasan, kekuatan tarik logam las meningkat. Namun, kekuatan tarik logam las menurun ketika masukan panas ditingkatkan dari 2,1 menjadi 4,5 KJ/mm dengan meningkatkan tegangan. Itu menunjukkan bahwa ketika masukan panas lebih besar dari 2,1 KJ/mm penurunan kekuatan tarik terkait dengan perubahan mikrostruktur. Namun, ketika masukan panas lebih rendah dari 2,1 KJ/mm peningkatan kekuatan tarik hampir tidak terkait dengan perubahan mikrostruktur. Nilai <i>tensile strength</i> tertinggi diperoleh 725 MPa pada nilai <i>heat input</i> 2,1 KJ/mm.
Kurtulmuş, 2018	<i>Effects of Primary Welding Parameters on FCAW Steel Weld Form</i>	Pada penelitian ini membahas tentang pengaruh parameter pengelasan FCAW terhadap sifat mekanik las dan kualitas las pada weld beads baja SAE 1015. Parameter yang digunakan sebagai berikut, arus 220 A dan travel speed 4,5 mm/s konstan pada proses pengelasan sedangkan tegangan divariasikan 26,5-32,5 V. Dalam operasi las busur listrik, busur terbentuk antara logam induk dan elektroda. Peningkatan tegangan busur memperbesar bagian bawah busur. Dengan demikian, lebih banyak pemanasan dan dengan demikian lebih banyak pelelehan terjadi pada permukaan logam dasar. Peleburan lebar ini menghasilkan kolam las yang lebar. Hasil yang didapatkan semakin tinggi tegangan semakin meningkatkan lebar las, ukuran las, dan kedalaman penetrasi. (Makalesi & Kurtulmuş, 2018)
Haq, 2019	Analisa Kekuatan Tarik, Tekuk, dan Impak Pengelasan <i>Flux Cored Arc Welding</i> Material Baja St 40 Posisi 3G	Pada penelitian ini membahas pengaruh dari variasi arus listrik pengelasan FCAW posisi 3G pada baja ST 40 terhadap kekuatan tarik, tekuk, dan impak. Variasi arus yang digunakan adalah 135 A dan 165 A dengan tegangan konstan 25

---

	dengan Variasi Kuat Arus Listrik	V. Variasi arus 135A mendapatkan hasil rata – rata dari tiap spesimen yaitu $\sigma$ tarik 478,15 Mpa, $\epsilon$ (regangan) 0,18 %, E sebesar 200,84 Gpa. Sedangkan pada variasi arus pengelasan 165A mendapatkan hasil rata – rata yaitu $\sigma$ tarik 473,11 Mpa, $\epsilon$ 0,17%; E sebesar 202,17 Gpa. Dapat disimpulkan dari penelitian ini, variasi terbaik untuk pengelasan FCAW posisi 3G pada material baja ST 40 adalah 135 A. (Haq et al., 2019)
Yuniarto, 2019	Analisis Pengaruh Variasi Heat Input Pengelasan	Pada penelitian ini membahas pengaruh variasi <i>heat input</i> terhadap kekuatan tarik dan pengamatan struktur mikro baja BKI Grade A dengan metode pengelasan FCAW. Variasi <i>heat input</i> yang digunakan pada penelitian ini adalah 1,19 KJ/mm, 1,32 KJ/mm, dan 1,46 KJ/mm. Variasi <i>heat input</i> 1,46 KJ/mm memiliki nilai kekuatan tarik terbesar, <i>ultimate tensile strength</i> 453,85 MPa dan <i>yield strength</i> 349,76 MPa. Untuk pengamatan struktur mikro pada variasi <i>heat input</i> 1,46 KJ/mm di daerah <i>weld metal</i> memiliki persentase <i>ferrite</i> paling kecil yaitu 61,1%, kemudian <i>pearlite</i> 38,9%. Dari pengujian sifat mekanik secara keseluruhan, dapat diambil kesimpulan bahwa nilai kekuatan tarik, lebar daerah HAZ, dan struktur <i>ferrite pearlite</i> saling berhubungan. Dimana semakin lebar daerah HAZ yang terbentuk dan atau semakin banyak struktur <i>pearlite</i> yang terbentuk, maka nilai kekuatan tarik akan semakin besar. (Yuniarto et al., 2019)
Saputra Ismy, 2019	Analisa kekuatan sambungan material AISI 1050 dengan ASTM A36 dengan variasi arus pada proses pengelasan SMAW	Pada penelitian ini membahas pengaruh variasi arus pengelasan metode SMAW terhadap kekuatan sambungan baja AISI 1050. Pada penelitian ini, Data pengujian menunjukkan bahwa pada proses pengelasan menggunakan arus 120A nilai kekuatan tarik adalah sebesar 51,27 kgf/mm <sup>2</sup> , diikuti oleh pengelasan menggunakan arus 140A dengan 49,31 kgf/mm <sup>2</sup> , dan pengelasan menggunakan arus 160A 48,25 kgf/mm <sup>2</sup> . Dalam pengujian tarik variasi arus pengelasan dengan arus 120A, 140A, dan 160A, semua patahmendekati sambungan las. Dari data uji tersebut dapat disimpulkan bahwa arus berpengaruh terhadap kekuatan tarik material yang proses tersebut dipengaruhi oleh tegangan busur, besar arus,

---

kecepatan pengelasan, besarnya penembusan dan polaritas listrik. Penentuan besarnya arus dalam penyambungan logam menggunakan las busur mempengaruhi efisiensi dari hasil pengelasan

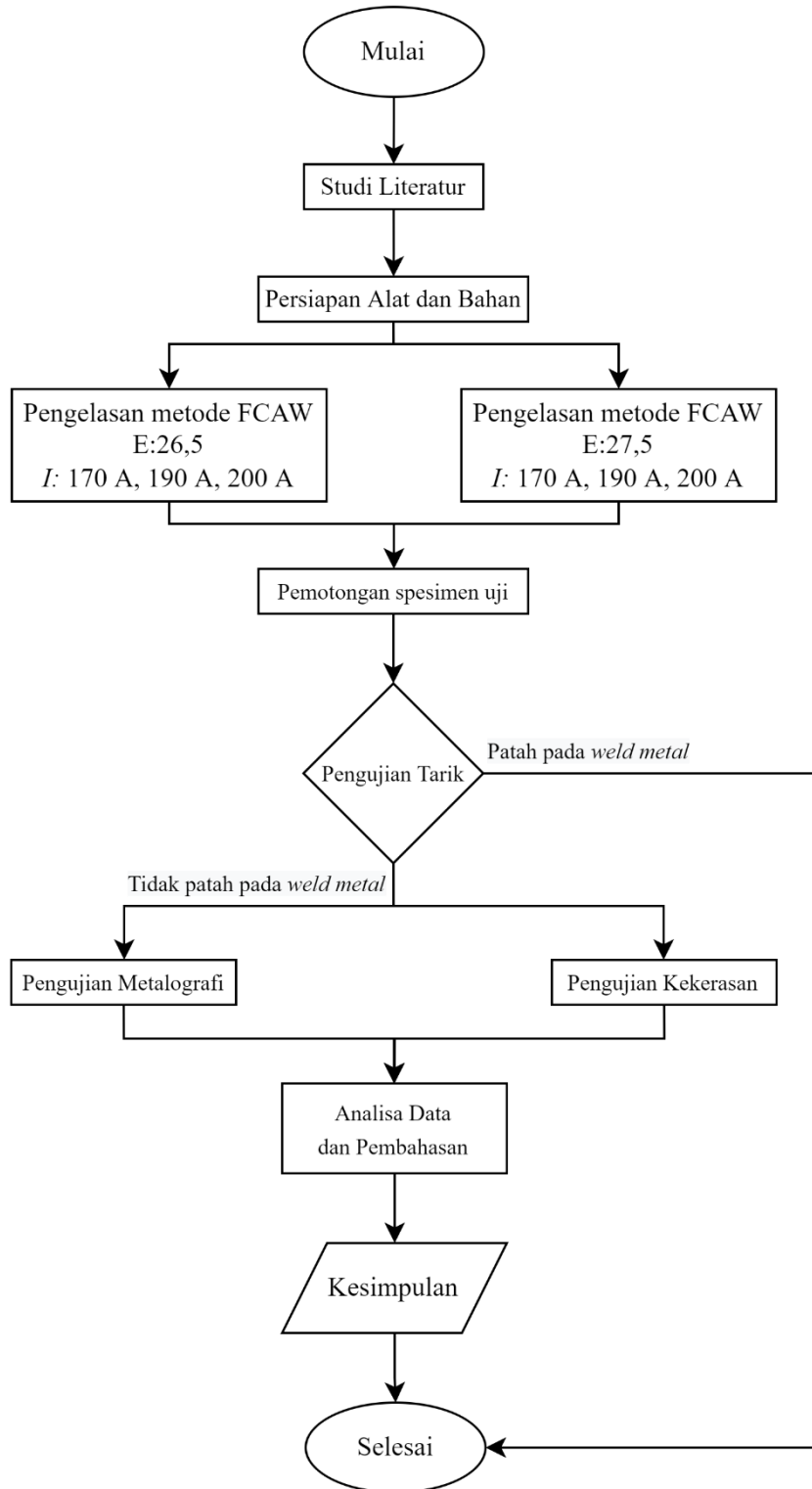
---



### BAB III METODOLOGI PENELITIAN

#### 3.1 Diagram Alir

Diagram alir yang digunakan pada penelitian ini secara umum ditunjukkan pada Gambar 3.1.



Gambar 3.1 Diagram Alir

### 3.2 Metode Penelitian

Metode yang dilakukan untuk penelitian ini adalah:

1. Studi Lapangan

Tahap studi lapangan dilakukan untuk mencari permasalahan apa yang sering terjadi langsung di PT.INKA (PERSERO). Dengan didampingi Welding Engineer sebagai pembimbing lapangan terdapat sebuah masalah yang dijadikan sebagai latar belakang penelitian ini.

2. Studi Literatur

Tahap studi literatur dilakukan untuk mencari tinjauan dari latar belakang permasalahan metode ini melalui buku, jurnal, dan penelitian serupa. Aspek yang ditinjau mengenai pengelasan metode FCAW, parameter pengelasan serta kemungkinan cacat pengelasan yang terjadi pada baja S355JR.

3. Diskusi

Tahap diskusi dilakukan untuk memperdalam wawasan mengenai permasalahan dan solusi pada penelitian yang dirancang. Diskusi ini berlangsung bersama dosen pembimbing dan *welding engineer* sebagai pihak yang bersinggungan dengan penelitian ini.

4. Eksperimental

Tahap Eksperimental dilakukan dengan beberapa standar yang menjadi acuan PT.INKA (PERSERO). Proses pengelasan sesuai dengan aplikasi pada bagian produk gerbong kereta. Sedangkan proses pengujian sesuai dengan standar yang umum digunakan seperti ISO dan ASTM.

### 3.3 Alat Penelitian

Adapun alat yang dipersiapkan dalam penelitian ini adalah:

1. Mesin *Flux Cored Arc Welding* (FCAW)

Alat ini digunakan pada proses pengelasan spesimen uji. Mesin las OTC Daihen XD500 yang digunakan pada penelitian ini dapat dilihat pada Gambar 3.2.



**Gambar 3.2** Mesin las *Flux-Cored Arc Welding*(Dokumentasi Pribadi, 2022)

2. Gerinda tangan
3. Gergaji Besi
4. Sikat baja
5. Kikir
6. Mesin *polishing*
7. Mesin *scrub/milling*
8. *Universal Testing Machine*
9. *Optical Microscope*
10. Mesin uji kekerasan *Vickers*

### 3.4 Bahan Penelitian

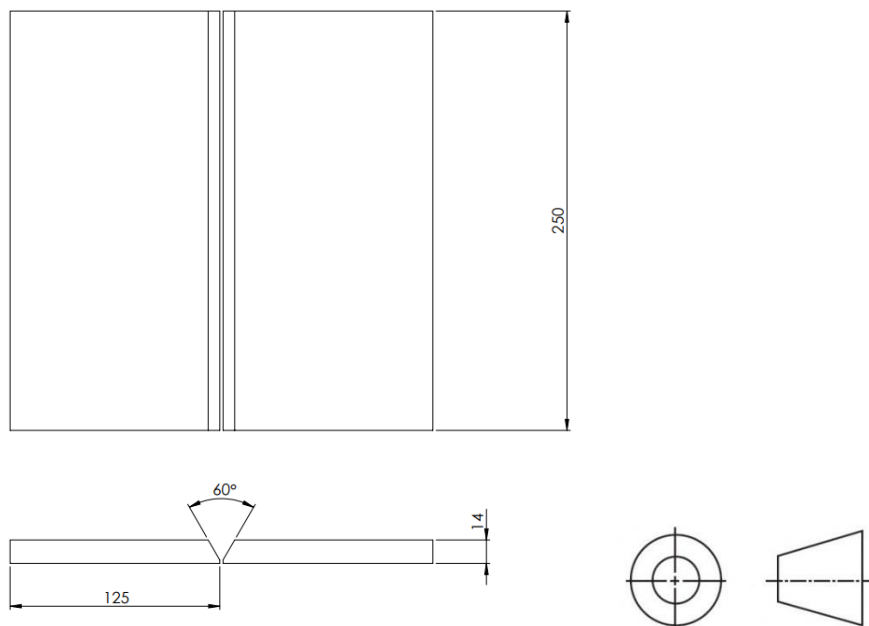
Adapun bahan yang dipersiapkan dalam penelitian ini adalah:

1. Baja S355JR

Pelat Baja S355JR yang digunakan pada penelitian ini dapat dilihat pada Gambar 3.3. Baja S355JR yang dilas memiliki dimensi 250 mm x 125 mm x 14 mm sesuai dengan standar ISO 15614-1 dan dapat dilihat pada Gambar 3.4.



**Gambar 3.3** Pelat baja S355JR sebelum preparasi(Dokumentasi Pribadi, 2022)



**Gambar 3.4** Test piece pengelasan baja S355JR

2. Kawat elektoda E71T-1C

Kawat elektroda E71T-1C yang digunakan pada penelitian ini adalah kawat elektroda dengan nama dagang SC-71 LH. Kawat elektroda SC-71 LH dapat dilihat pada Gambar 3.5.



**Gambar 3.5** Kawat elektroda SC-71LH(Dokumentasi Pribadi, 2022)

3. Sand Paper
4. Larutan etsa nital

### 3.5 Prosedur Penelitian

Prosedur penelitian dilakukan untuk mendapatkan spesimen uji material sesuai dengan parameter pengelasan yang telah ditentukan pada Tabel 3.1. Pada variasi parameter pengelasan terdapat perhitungan *heat input* pada masing-masing spesimen yang dapat dilihat pada Tabel 3.2. Adapun prosedur penelitian yang dilakukan adalah sebagai berikut.

**Tabel 3.1** Parameter Pengelasan

Parameter Pengelasan	
Jenis Pengelasan	FCAW
Mesin Las	OTC Daihen XD500
Jenis Elektroda	SC71-LH (1,2 mm)
Logam Induk	S355JR (12 mm)
Shielded Gas	CO <sub>2</sub>
Posisi pengelasan	1G
Sudut kampuh	Single V 60° Butt Joint
Travel Speed	20 cm/min

**Tabel 3.2** Perhitungan *Heat Input*

Tegangan (V)	Arus (A)	Heat Input (KJ/mm)
26,5	170	1,35
26,5	190	1,51
26,5	200	1,59
27,5	170	1,40
27,5	190	1,56
27,5	200	1,65

#### 3.5.1 Prosedur Pengelasan

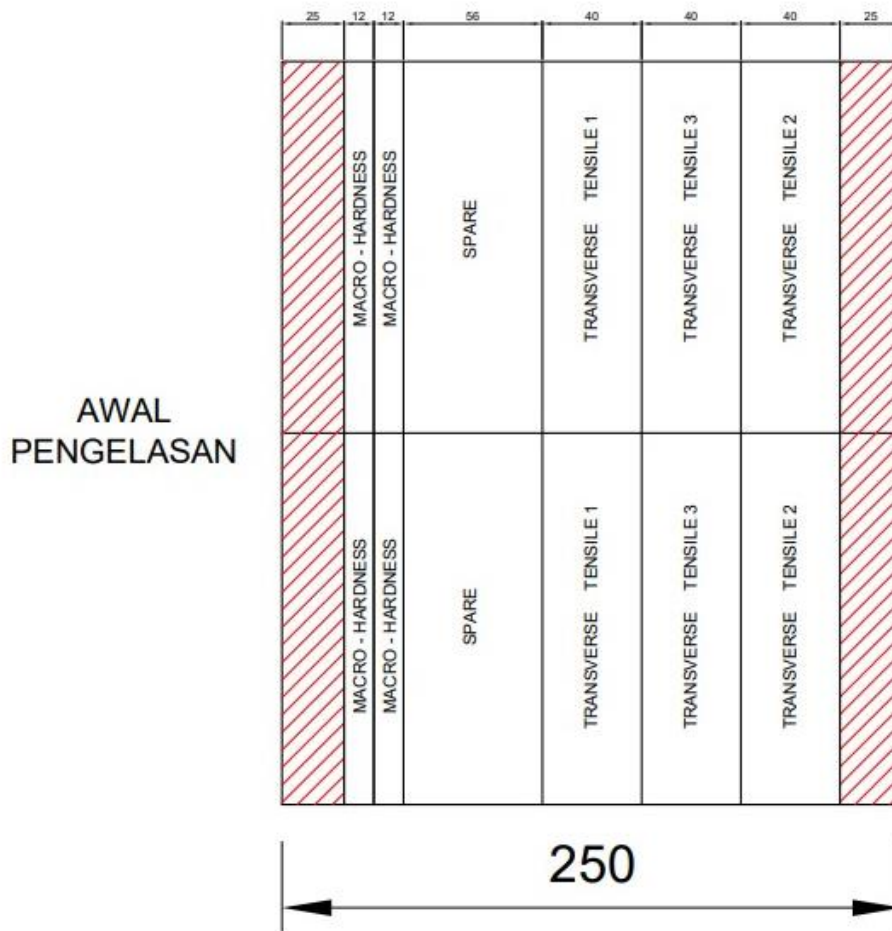
Adapun proses pengelasan yang dilakukan adalah sebagai berikut:

1. Material dipersiapkan sesuai dengan dimensi yang telah ditentukan.
2. Posisi pengelasan material diatur sesuai dengan WPS yang telah ditentukan.
3. Mesin las dan elektroda dipersiapkan.
4. Parameter pada mesin las diatur sesuai dengan variasi yang telah ditentukan.
5. Proses pengelasan dilakukan oleh operator bersertifikat.
6. Hasil pengelasan diperiksa secara visual dan uji NDT sesuai dengan standar.

### 3.5.2 Prosedur Pemotongan

Proses pemotongan dilakukan untuk mendapatkan spesimen yang sesuai dengan pengujian yang dibutuhkan. Penentuan lokasi pemotongan spesimen uji sesuai dengan standar ISO 15614-1 yang dapat dilihat pada Gambar 3.6. Adapun proses pemotongan yang dilakukan adalah sebagai berikut:

1. Pengukuran dimensi spesimen menggunakan penggaris pada material hasil pengelasan yang disesuaikan dengan jenis dan jumlah pengujian yang dilakukan.
2. Pemeriksaan posisi material yang dilakukan pemotongan agar hasil potongan sesuai.
3. Proses pemotongan dilakukan berdasarkan dimensi dan lokasi pada masing-masing spesimen uji.
4. Pengukuran kembali hasil potongan sesuai dengan dimensi yang telah ditentukan.
5. Jika terdapat kelebihan dimensi pada spesimen uji maka dilakukan proses *machining*.



**Gambar 3.6** Lokasi spesimen uji untuk *butt joint* pada pelat

### 3.6 Proses Pengujian

Proses pengujian dilakukan untuk mendapatkan data struktur mikro dan sifat mekanik setelah proses pengelasan. Adapun beberapa proses pengujian yang dilakukan adalah sebagai berikut.

### 3.6.1 Pengujian Metalografi

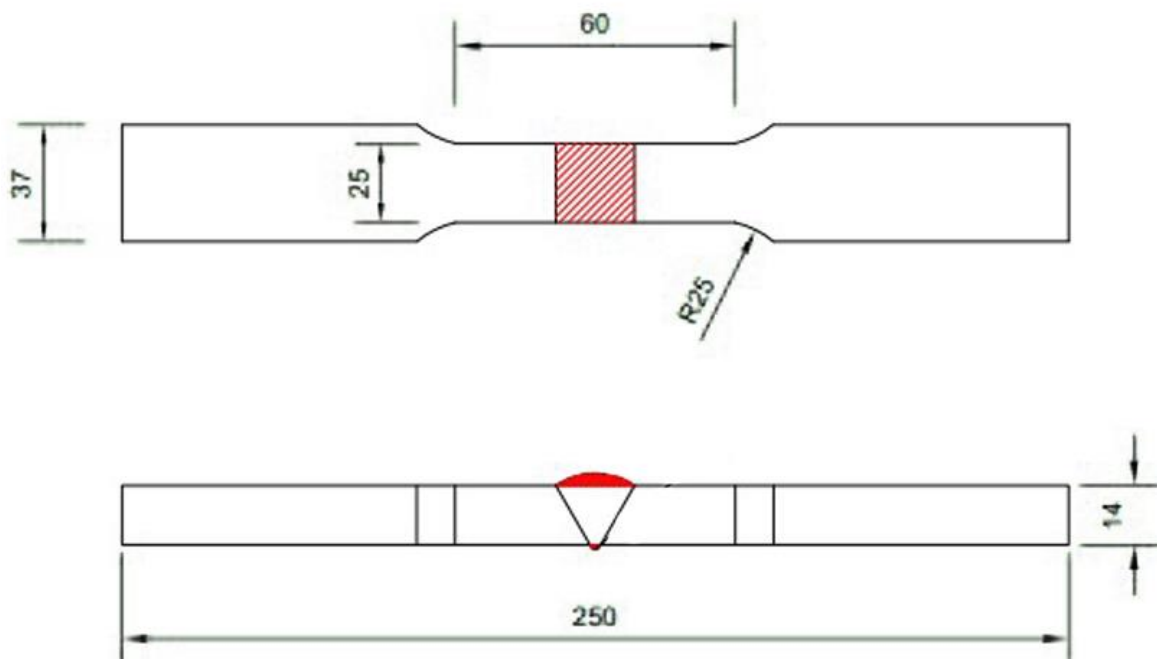
Pengujian metalografi dilakukan untuk mendapatkan data ukuran butir dan distribusi fasa pada struktur logam. Daerah yang diamati mencakup *base metal*, *weld metal* dan HAZ. Tahap yang dilakukan pada pengujian metalografi adalah *mounting*, *grinding*, *polishing* dan *etching*. Spesimen uji metalografi menggunakan standar ASTM E3 dan larutan etsa menggunakan standar ASTM E 407-07.

### 3.6.2 Pengujian Kekerasan

Pengujian kekerasan dilakukan untuk mendapatkan data ketahanan material dalam menerima beban indentasi. Pengujian dilakukan pada 3 daerah pengelasan, yaitu *base metal*, *weld metal* dan HAZ. Data yang didapat pada *base metal* dan *weld metal* merupakan rata-rata kekerasan dari 3 titik pengujian. Sedangkan data yang didapat pada HAZ merupakan distribusi kekerasan daerah pengelasan tersebut. Pengujian kekerasan ini menggunakan metode *Vickers* sesuai standar ASTM E92-17 dan indenter yang digunakan adalah piramida diamond dengan sudut  $136^\circ$ .

### 3.6.3 Pengujian Tarik

Pengujian tarik dilakukan untuk mendapatkan data kekuatan tarik dan lokasi patah sambungan yang dilas. Dimensi spesimen uji dan prosedur untuk melakukan uji tarik melintang yang dilakukan sesuai dengan standar ISO 4136. Spesimen uji tarik ini dapat dilihat pada Gambar 3.7.



**Gambar 3.7** Spesimen uji tarik standar ISO 4136

### 3.7 Rancangan Penelitian

Adapun rancangan penelitian ini dapat dilihat pada Tabel 3.3.

**Tabel 3.3** Rancangan penelitian

Kode Spesimen	Variasi		Pengujian		
	Arus	Tegangan	Metalografi	Hardness	Tarik
Baja S355JR	-	-	✓	✓	✓
170A	170		✓	✓	✓
190A	190	26,5	✓	✓	✓
200A	200		✓	✓	✓
170B	170		✓	✓	✓
190B	190	27,5	✓	✓	✓
200B	200		✓	✓	✓

*(Halaman ini sengaja dikosongkan)*



**BAB IV**  
**ANALISIS DATA DAN PEMBAHASAN**

**4.1 Hasil Pengujian Tarik**

Pengujian tarik dilakukan pada 6 variasi arus dan tegangan pengelasan yang telah ditentukan. Dari 6 variasi tersebut masing-masing terdapat 3 spesimen uji. Hasil pengujian keseluruhan spesimen dapat dilihat pada Tabel 4.1 berikut.

**Tabel 4.1** Hasil Pengujian Tarik

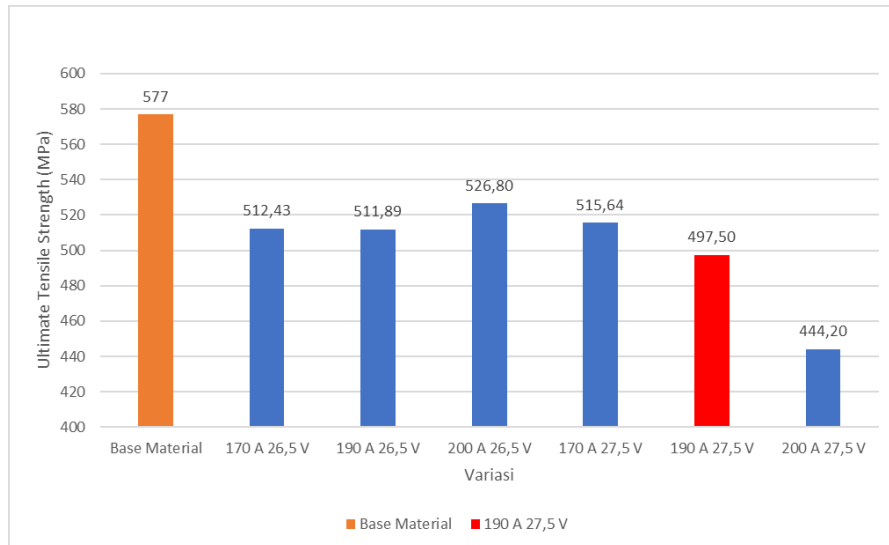
Variasi	Kode	Ultimate Tensile Strength (MPa)	Avg. Ultimate Tensile Strength (MPa)	Elongation (%)	Avg. Elongation (%)	Yield Strength (MPa)	Avg. Yield Strength (MPa)
170 A 26,5 V	170A1	518,04	512,43	34,94	30,56	390,04	383,62
	170A2	484,23		26,19		362,58	
	170A3	535,02		30,56		398,24	
190 A 26,5 V	190A1	493,86	511,89	29,52	31,39	381,02	375,34
	190A2	529,68		33,92		369,87	
	190A3	512,14		30,74		375,12	
200 A 26,5 V	200A1	527,61	526,80	28,56	28,70	392,34	382,85
	200A2	531,77		30,04		377,08	
	200A3	521,01		27,49		379,13	
170 A 27,5 V	170B1	513,43	515,64	33,72	34,99	370,71	372,36
	170B2	514,8		38,32		384,44	
	170B3	518,68		32,94		361,94	
190 A 27,5 V	190B1*	522,41	497,50	19,84	18,68	372,24	372,27
	190B2*	502,94		18,06		379,54	
	190B3*	467,16		18,13		365,04	
200 A 27,5 V	200B1	441,11	444,20	32,20	32,61	327,22	324,62
	200B2	446,30		34,95		331,68	
	200B3	445,19		30,68		314,95	

\*Patah pada *weld metal*

Pada Tabel 4.1 terdapat data nilai *ultimate tensile strength*, *yield strength*, dan *elongation* dari spesimen uji tiap variasi. Kemudian dihitung rata-rata nilai tersebut dari 3 spesimen uji tiap variasi. Pada Tabel 4.2 terdapat data pengujian tarik *base material* S355JR yang dibutuhkan untuk melihat perubahan nilai *ultimate tensile strength*, *yield strength*, dan *elongation* setelah dilakukan pengelasan. Data pengujian tarik *base material* dan hasil pengelasan dibandingkan masing-masing nilai *ultimate tensile strength*, *yield strength*, dan *elongation* pada grafik yang dapat dilihat pada Gambar 4.1, Gambar 4.2 dan Gambar 4.3. Dari 3 grafik tersebut didapatkan tren perubahan nilai hasil uji tarik baja S355JR sebelum dan setelah dilakukan pengelasan.

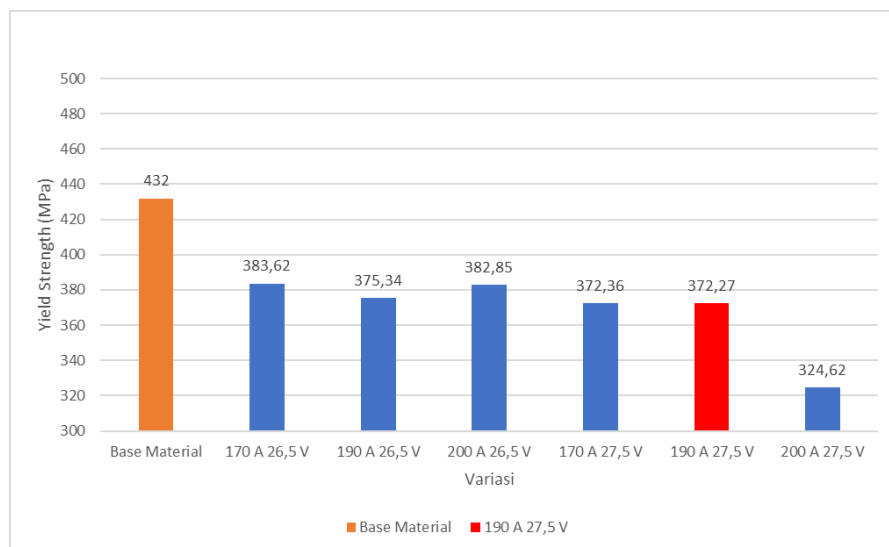
**Tabel 4.2** Data pengujian tarik *base material* S355JR

Ultimate Tensile Strength (MPa)	Yield Strength (MPa)	Elongation (%)
577	432	25



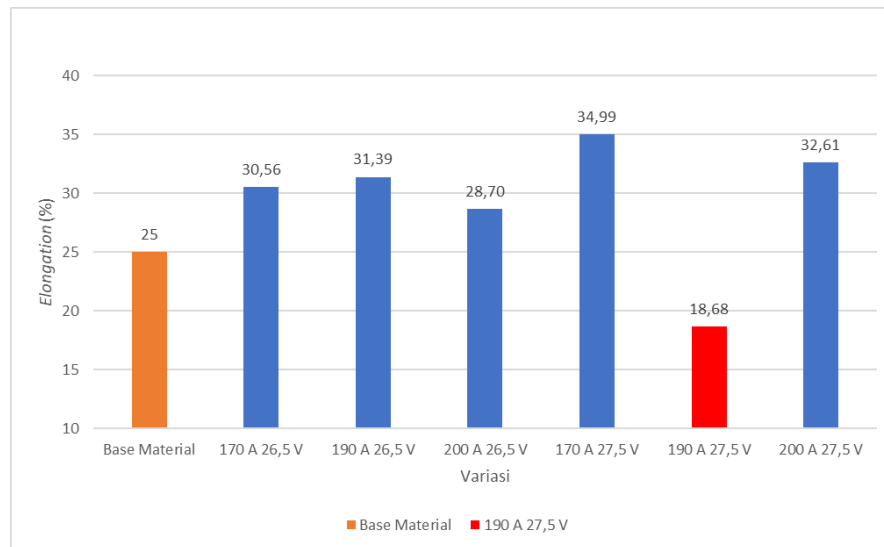
**Gambar 4.1** Grafik nilai rata-rata *ultimate tensile strength*

Dari grafik rata-rata *ultimate tensile strength* pada Gambar 4.1, *Base Material* baja S355JR memiliki nilai 577 MPa. Nilai tersebut dijadikan pembandingan dari nilai *ultimate tensile strength* 6 variasi dan dilihat persentase nilai tren yang didapat. Spesimen 170A memiliki nilai 512,43 MPa dan turun 11,19%. Spesimen 190A memiliki nilai 511,89 MPa dan turun 11,28%. Spesimen 200 A memiliki nilai 526,80 MPa dan turun 8,7%. Spesimen 170B memiliki nilai 515,64 MPa dan turun 10,63%. Spesimen 190B memiliki nilai 497,50 MPa dan turun 13,77%. Dan spesimen 200B memiliki nilai 444,20 MPa dan turun 23,01%.



**Gambar 4.2** Grafik nilai rata-rata *yield strength*

Pada Gambar 4.2 terdapat grafik rata-rata nilai *yield strength* 6 variasi arus dan tegangan pengelasan dan *base metal* baja S355JR. *Base Material* baja S355JR memiliki nilai 432 MPa. Nilai tersebut dijadikan pembandingan dari nilai *yield strength* 6 variasi dan dilihat persentase nilai tren yang didapat. Spesimen 170A memiliki nilai 382,62 MPa dan turun 11,19%. Spesimen 190A memiliki nilai 375,34 MPa dan turun 13,11%. Spesimen 200A memiliki nilai 382,85 MPa dan turun 11,37%. Spesimen 170B memiliki nilai 372,36 MPa dan turun 13,80%. Spesimen 190B memiliki nilai 372,27 MPa dan turun 13,82%. Dan Spesimen 200B memiliki nilai 324,62 MPa dan turun 24,85%.



**Gambar 4.3** Grafik nilai rata-rata *elongation*

Rata-rata nilai *elongation* yang ditunjukkan grafik pada Gambar 4.3, Base Material baja S355JR memiliki nilai *elongation* 25%. Nilai tersebut dijadikan pembandingan dari nilai *elongation* 6 variasi dan dilihat persentase nilai tren yang didapat. Spesimen 170A memiliki nilai 30,56% dan naik 22,25%. Spesimen 190A memiliki nilai 31,39% dan naik 25,57%. Spesimen 200A memiliki nilai 28,70% dan naik 14,78%. Spesimen 170B memiliki nilai 34,99% dan naik 39,97%. Spesimen 190B memiliki nilai 18,68% dan turun 25,29%. Dan Spesimen 200B memiliki nilai 32,61% dan naik 30,44%.

Dari keenam variasi pengelasan dapat dilihat terjadi penurunan nilai *ultimate tensile strength* (UTS) dan *yield strength* (YS) dibandingkan dengan *base material* baja S355JR. Jika dilihat dari variasi tegangan 26,5 V terjadi peningkatan nilai UTS dan YS seiring peningkatan besar arus. Sedangkan pada variasi tegangan 27,5 V terjadi penurunan nilai UTS dan YS seiring peningkatan besar arus. Hal tersebut terjadi karena adanya perbedaan besaran masukan panas yang diterima oleh baja saat pengelasan. Pada tegangan 26,5 V peningkatan arus memberikan masukan panas yang dapat meningkatkan nilai UTS dan YS. Sedangkan tegangan 27,5 V peningkatan arus memberikan masukan panas yang besar dan hal tersebut berpengaruh terhadap penurunan nilai UTS dan YS variasi tegangan 27,5 V. Hal ini sejalan dengan penelitian yang dilakukan (Bang et al., 2008), tegangan konstan yang diatur dan diikuti dengan peningkatan arus meningkatkan nilai UTS dan YS. Pada saat tegangan ditingkatkan nilai UTS dan YS menurun. Dari segi pengelasan, penurunan nilai UTS diakibatkan penggunaan arus yang terlalu tinggi dan dapat terjadi pencairan elektroda yang lebih cepat. Sehingga permukaan las lebih lebar dan terjadi penetrasi yang lebih dalam. Dari hal tersebut nilai UTS dan kerapuhan pada hasil pengelasan dapat terjadi (Saputra Ismy, 2019).

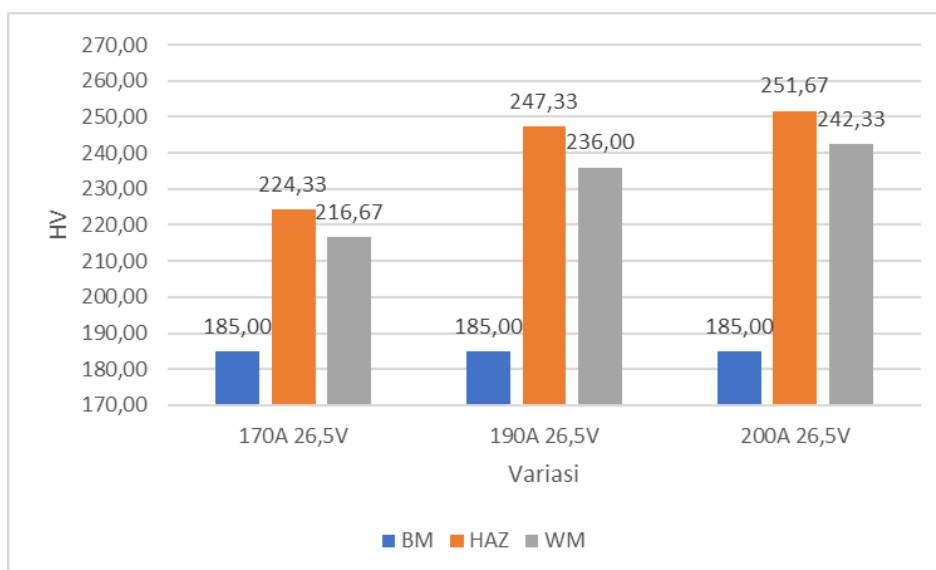
#### 4.2 Hasil Pengujian Kekerasan

Hasil pengujian kekerasan yang dilakukan pada 6 variasi arus dan tegangan yang telah dilakukan dapat dilihat pada Tabel 4.3 berikut.

**Tabel 4.3** Hasil pengujian kekerasan

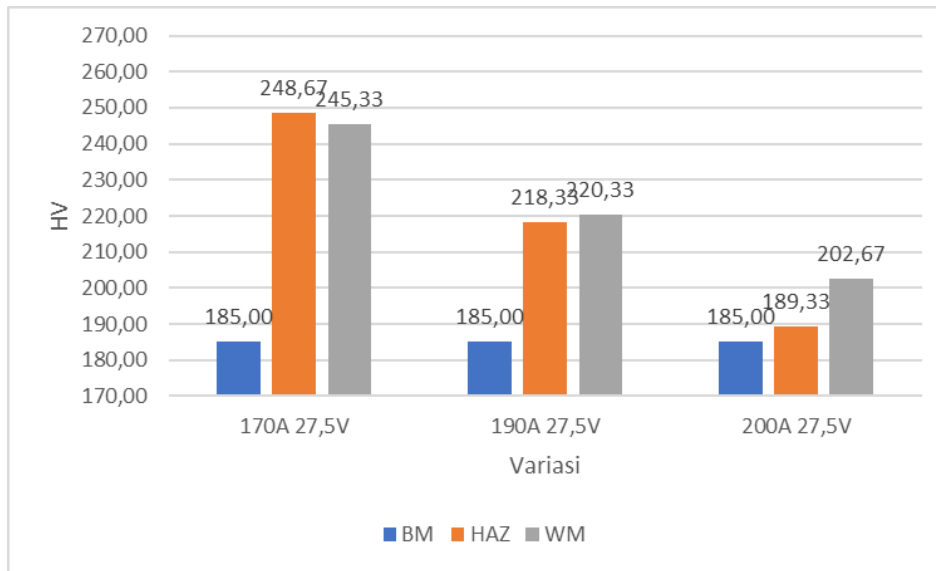
Variasi	Daerah	Nilai Kekerasan (HV)			
		Atas	Tengah	Bawah	Rata-Rata
170A 26,5V(170A)	BM		185		185,00
	HAZ	223	233	217	224,33
	WM	230	215	205	216,67
190A 26,5V(190A)	BM		185		185,00
	HAZ	262	249	231	247,33
	WM	256	224	228	236,00
200A 26,5V(200A)	BM		185		185,00
	HAZ	273	242	240	251,67
	WM	253	249	225	242,33
170A 27,5V(170B)	BM		185		185,00
	HAZ	240	264	242	248,67
	WM	227	291	218	245,33
190A 27,5V(190B)	BM		185		185,00
	HAZ	220	213	222	218,33
	WM	219	223	219	220,33
200A 27,5V(200B)	BM		185		185,00
	HAZ	190	190	188	189,33
	WM	200	205	203	202,67

Pada Tabel 4.3 nilai kekerasan *base metal* diambil dari salah satu dari 6 spesimen uji yang kemudian dijadikan nilai kekerasan *base metal* seluruh spesimen uji hardness. Untuk nilai kekerasan HAZ dan *weld metal* diambil dari 3 titik indentasi berbeda yaitu bagian atas, tengah dan bawah spesimen uji. Dari nilai 3 titik indentasi kemudian dirata-rata dan didapatkan nilai kekerasan daerah tersebut. Nilai kekerasan pada setiap daerah 6 variasi arus dan tegangan dibandingkan dengan grafik yang dapat dilihat pada Gambar 4.4 dan Gambar 4.5.



**Gambar 4.4** Grafik perbandingan kekerasan variasi 26,5 V

Dari grafik perbandingan kekerasan spesimen uji variasi 26,5 V pada Gambar 4.4, *base metal* memiliki nilai kekerasan 185 HV. Nilai tersebut dijadikan pembanding dari nilai kekerasan pada HAZ dan *weld metal* setiap variasi 26,5 V, kemudian dilihat persentase nilai tren yang didapat. Pada spesimen 170A HAZ memiliki nilai 224,33 HV dan naik 21,26%, kemudian *weld metal* memiliki nilai 216,67 HV dan naik 17,12%. Pada spesimen 190A HAZ memiliki nilai 247,33 HV dan naik 33,69%, kemudian *weld metal* memiliki nilai 236,00 HV dan naik 27,57%. Pada spesimen 200A HAZ memiliki nilai 251,67 dan naik 36,04%, kemudian *weld metal* memiliki nilai 242,33 HV dan naik 30,99%.



**Gambar 4.5** Grafik perbandingan kekerasan variasi 27,5 V

Dari grafik perbandingan kekerasan spesimen uji variasi 27,5 V pada Gambar 4.5, *base metal* memiliki nilai kekerasan 185 HV. Nilai tersebut dijadikan pembanding dari nilai kekerasan pada HAZ dan *weld metal* setiap variasi 27,5 V, kemudian dilihat persentase nilai tren yang didapat. Pada spesimen 170B HAZ memiliki nilai 248,67 HV dan naik 34,41%, kemudian *weld metal* memiliki nilai 245,33 HV dan naik 32,61%. Pada spesimen 190B V HAZ memiliki nilai 218,33 HV dan naik 18,02%, kemudian *weld metal* memiliki nilai 220,33 HV dan naik 19,10%. Pada spesimen 200B HAZ memiliki nilai 189,33 dan naik 2,34%, kemudian *weld metal* memiliki nilai 202,67 HV dan naik 9,55%.

Dari kedua grafik rata-rata nilai kekerasan dapatkan tren dari 6 variasi arus dan tegangan untuk nilai nilai kekerasan pada HAZ dan *weld metal*. Tren dapat dilihat pada Tabel 4.4.

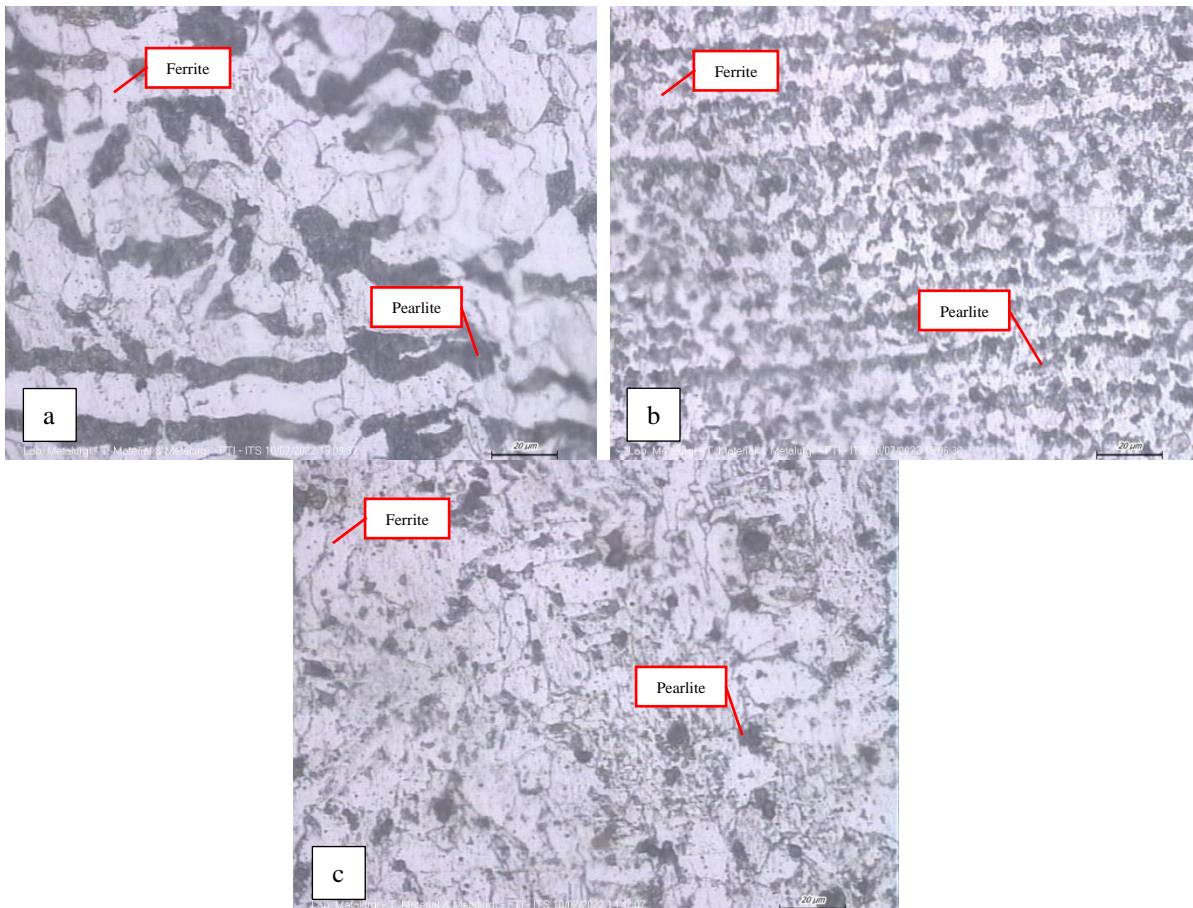
**Tabel 4.4** Tren hasil pengujian kekerasan

Variasi	Tren Nilai Rata-Rata Kekerasan (%)	
	HAZ	Weld Metal
170 A 26,5 V (170A)	Naik 21,26	Naik 17,12
190 A 26,5 V (190A)	Naik 33,69	Naik 27,57
200 A 26,5 V (200A)	Naik 36,04	Naik 30,99
170 A 27,5 V (170B)	Naik 34,41	Naik 32,61
190 A 27,5 V (190B)	Naik 18,02	Naik 19,20
200 A 27,5 V (200B)	Naik 2,34	Naik 9,55

Dari keenam variasi pengelasan dapat dilihat peningkatan kekerasan daerah *weld metal* secara keseluruhan. Peningkatan ini disebabkan oleh adanya pendinginan cepat dari *weld metal*. Pendinginan cepat disebabkan dari masukan panas yang diterima *weld metal* langsung diserap oleh daerah HAZ. Sehingga kekerasan pada *weld metal* meningkat. Dari segi pengelasan peningkatan kekerasan *weld metal* disebabkan oleh kandungan paduan pada kawat elektroda. Hal tersebut karena adanya penambahan kandungan Mn dan Si yang sifatnya meningkatkan kekerasan pada logam (Awali et al., 2021).

#### 4.3 Hasil Pengujian Metalografi

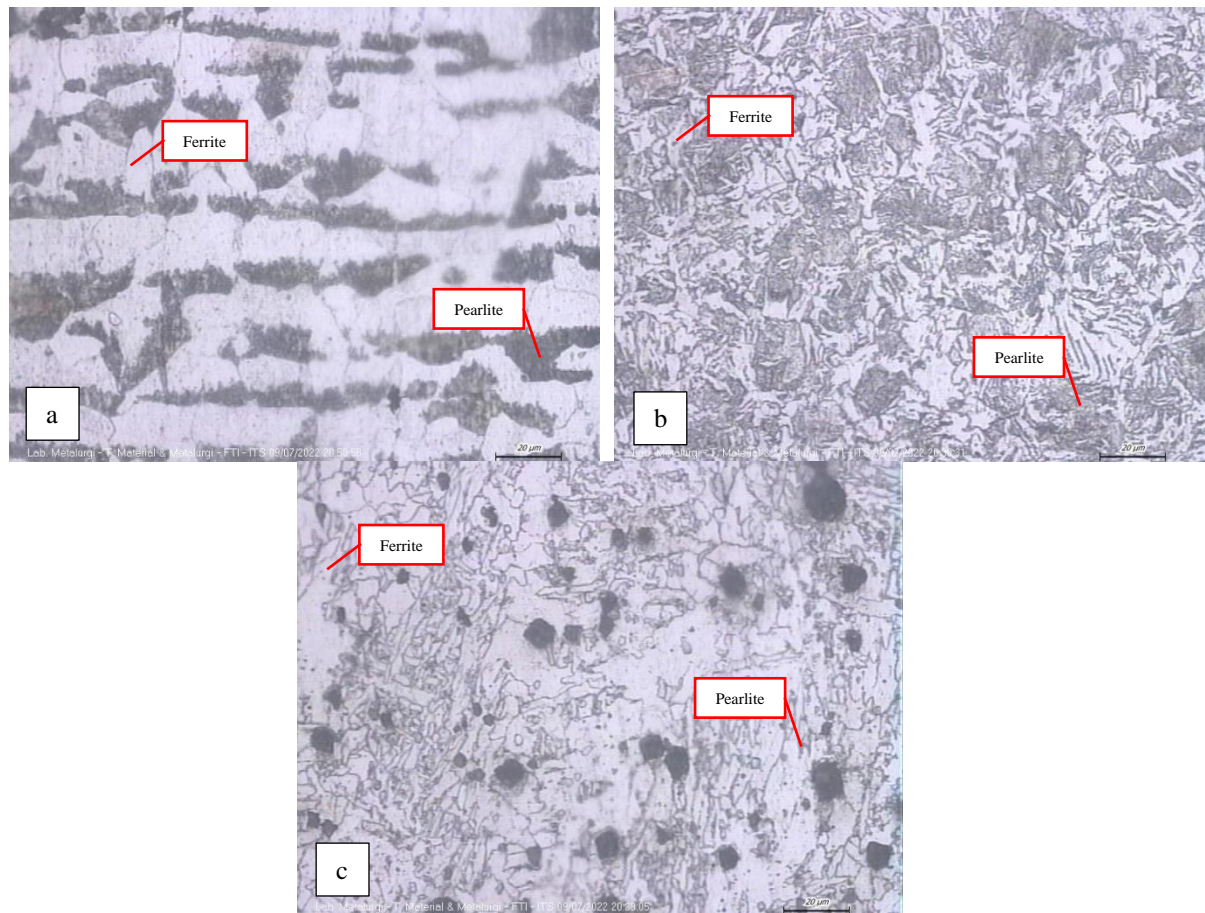
Hasil gambar perbesaran 500× dari pengujian metalografi 6 spesimen uji variasi arus dan tegangan dapat dilihat pada Gambar 4.6, Gambar 4.7, Gambar 4.8, Gambar 4.9, Gambar 4.10, dan Gambar 4.11. Pada gambar struktur mikro terdapat zona terang berupa fasa *ferrite* dan zona gelap berupa fasa *pearlite* beserta batas butir *pearlite*. Kemudian dilakukan perhitungan persentase zona terang dan zona gelap masing-masing daerah struktur mikro.



**Gambar 4.6** Struktur mikro spesimen 170 A 26,5 V perbesaran 500× (a) *base metal*, (b) HAZ, dan (c) *weld metal*

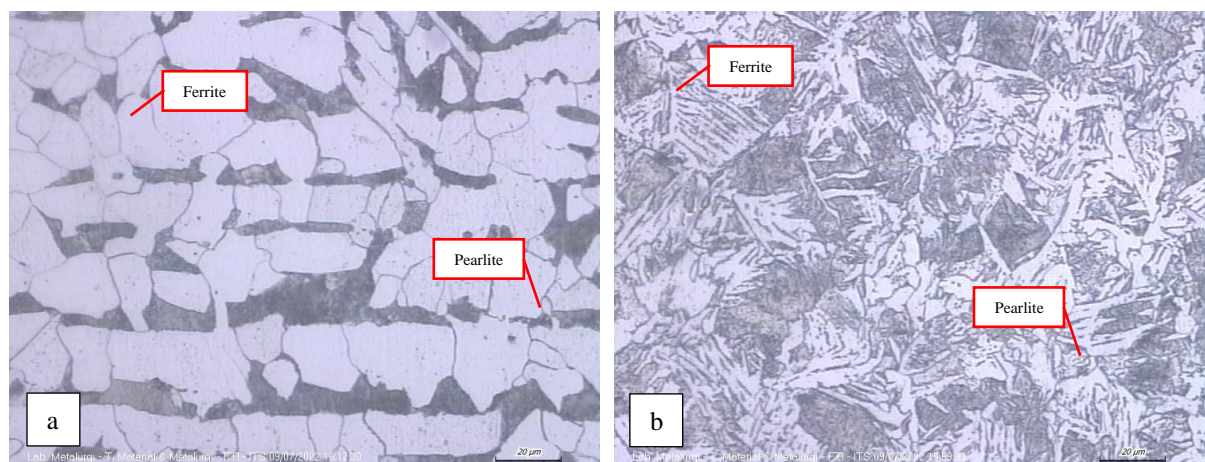
Dari Gambar 4.6 terdapat perbedaan bentuk fasa, persentase zona terang dan zona gelap untuk spesimen variasi 170 A 26,5 V pada 3 daerah pengamatan yang berbeda. *Base metal* pada Gambar 4.6(a) tersusun dari 63,73% zona terang dan 36,27% zona gelap. Kemudian HAZ pada Gambar 4.6(b) tersusun dari 59,17% zona terang dan 40,83% zona gelap. Sedangkan *weld metal* pada Gambar 4.6(c) tersusun dari 72,43% zona terang dan 27,57% zona gelap.

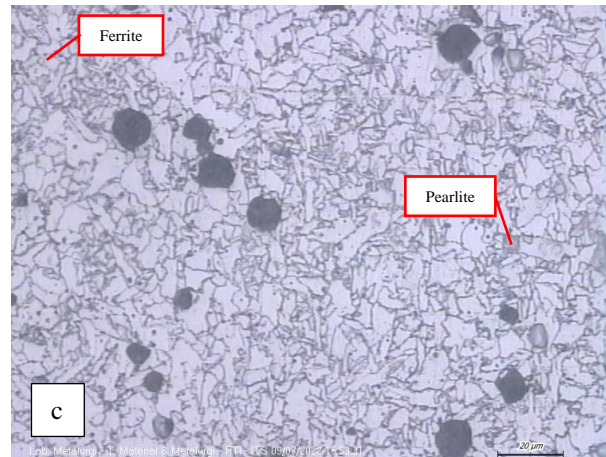




**Gambar 4.7** Struktur mikro spesimen 190 A 26,5 V perbesaran 500× (a) *base metal*, (b) *HAZ*, dan (c) *weld metal*

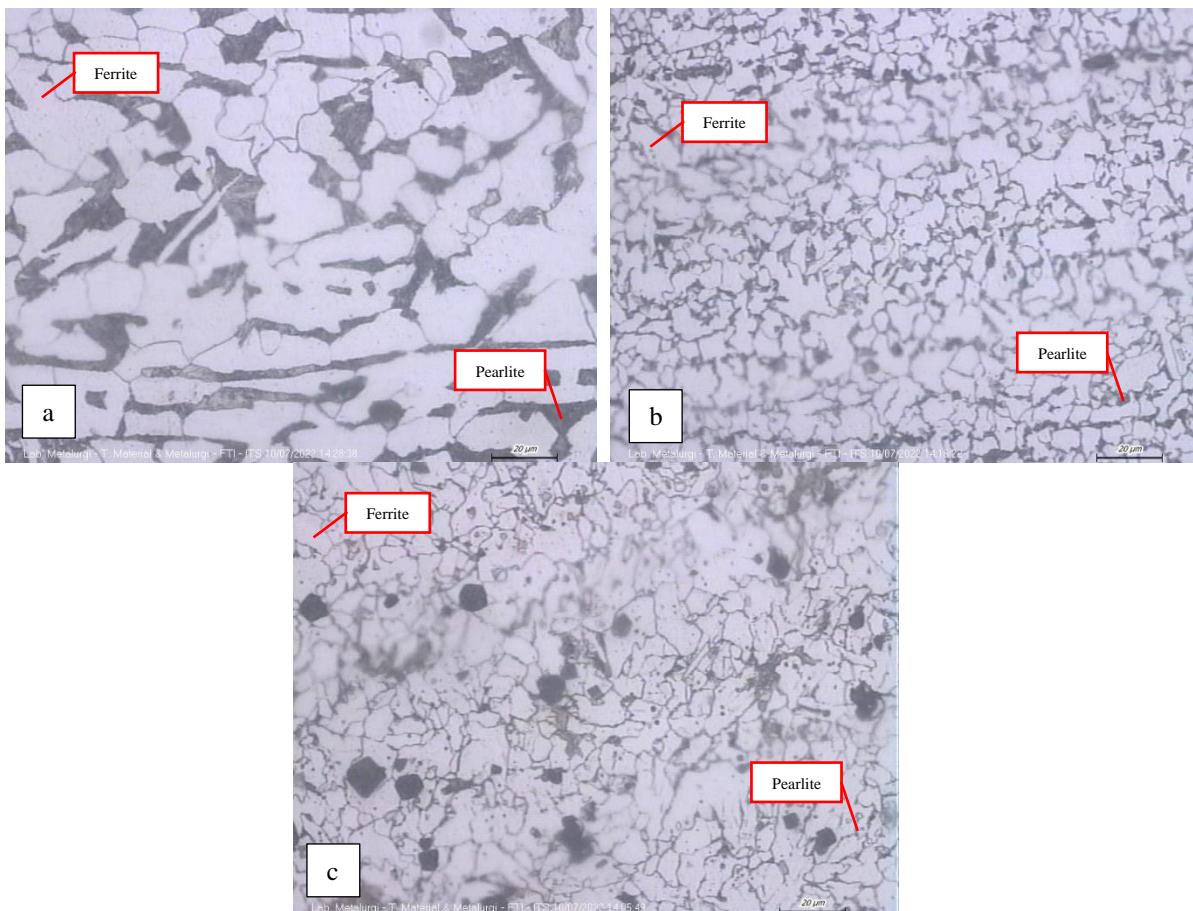
Dari Gambar 4.7 terdapat perbedaan bentuk fasa, persentase zona terang dan zona gelap untuk spesimen variasi 190 A 26,5 V pada 3 daerah pengamatan yang berbeda. *Base metal* pada Gambar 4.7(a) tersusun dari 64,94% zona terang dan 35,06% zona gelap. Kemudian *HAZ* pada Gambar 4.7(b) tersusun dari 49,62% zona terang dan 50,38% zona gelap. Sedangkan *weld metal* pada Gambar 4.7(c) tersusun dari 64,66% zona terang dan 35,34% zona gelap.





**Gambar 4.8** Struktur mikro spesimen 200 A 26,5 V perbesaran 500× (a)base metal, (b)HAZ, dan (c)weld metal

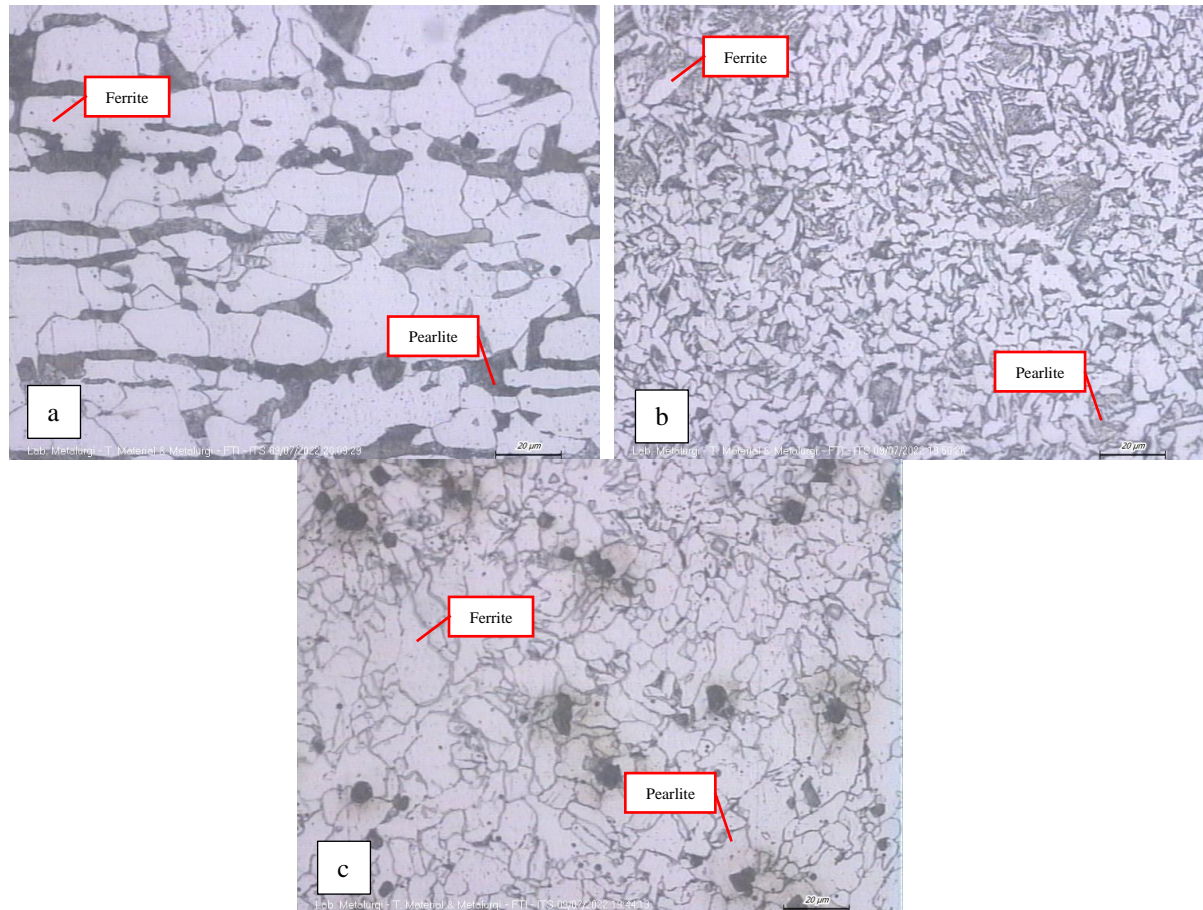
Dari Gambar 4.8 terdapat perbedaan bentuk fasa, persentase zona terang dan zona gelap untuk spesimen variasi 200 A 26,5 V pada 3 daerah pengamatan yang berbeda. *Base metal* pada Gambar 4.8(a) tersusun dari 69,90% zona terang dan 30,10% zona gelap. Kemudian HAZ pada Gambar 4.8(b) tersusun dari 42,46% zona terang dan 57,54% zona gelap. Sedangkan *weld metal* pada Gambar 4.8(c) tersusun dari 59,35% zona terang dan 40,65% zona gelap.



**Gambar 4.9** Struktur mikro spesimen 170 A 27,5 V perbesaran 500× (a)base metal, (b)HAZ, dan (c)weld metal

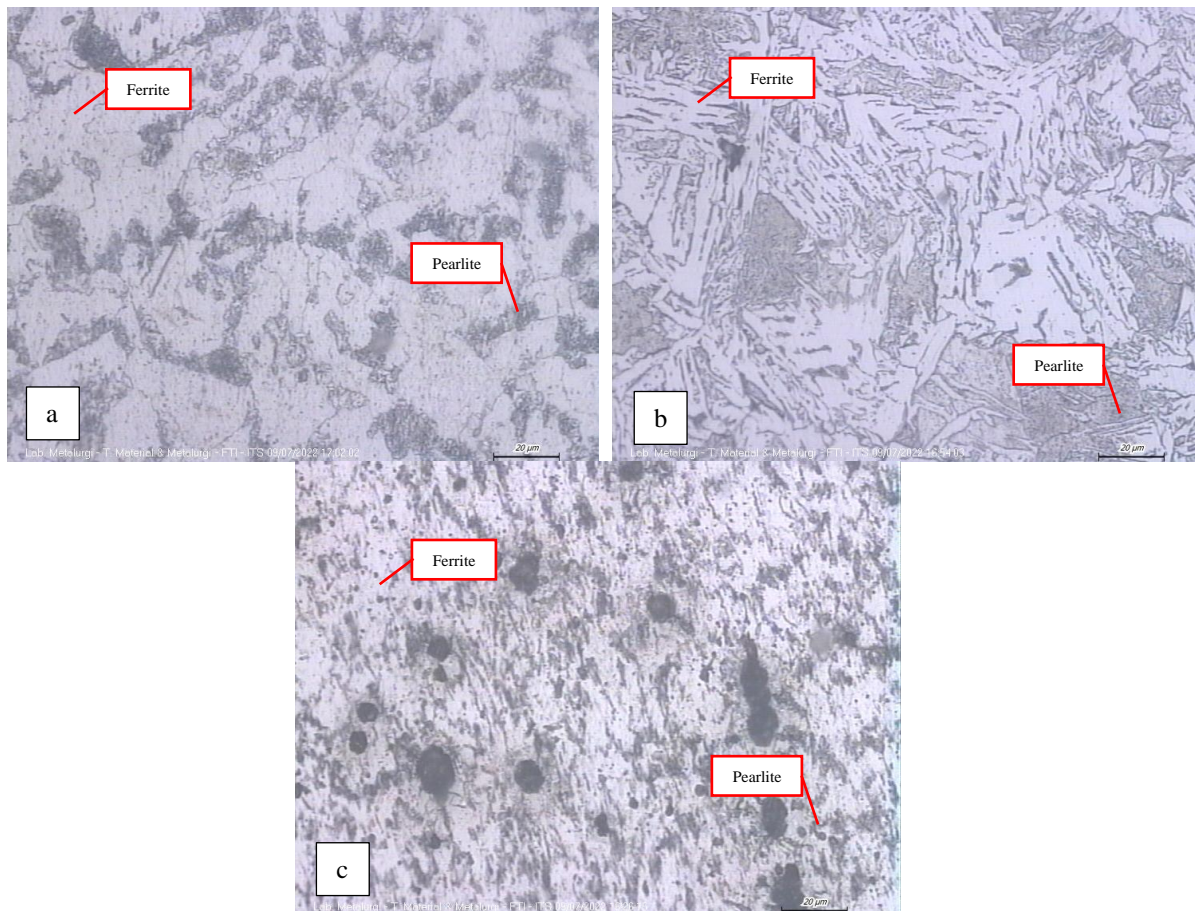


Dari Gambar 4.9 terdapat perbedaan bentuk fasa, persentase zona terang dan zona gelap untuk spesimen variasi 170 A 27,5 V pada 3 daerah pengamatan yang berbeda. *Base metal* pada Gambar 4.9(a) tersusun dari 69,89% zona terang dan 30,11% zona gelap. Kemudian HAZ pada Gambar 4.9(b) tersusun dari 59,81% zona terang dan 40,19% zona gelap. Sedangkan *weld metal* pada Gambar 4.9(c) tersusun dari 64,58% zona terang dan 35,43% zona gelap.



**Gambar 4.10** Struktur mikro spesimen 190 A 27,5 V perbesaran 500× (a)*base metal*, (b)HAZ, dan (c)*weld metal*

Dari Gambar 4.10 terdapat perbedaan bentuk fasa, persentase zona terang dan zona gelap untuk spesimen variasi 190 A 27,5 V pada 3 daerah pengamatan yang berbeda. *Base metal* pada Gambar 4.10(a) tersusun dari 69,02% zona terang dan 30,98% zona gelap. Kemudian HAZ pada Gambar 4.10(b) tersusun dari 65,00% zona terang dan 35,00% zona gelap. Sedangkan *weld metal* pada Gambar 4.10(c) tersusun dari 69,20% zona terang dan 30,80% zona gelap.



**Gambar 4.11** Struktur mikro spesimen 200 A 27,5 V perbesaran 500× (a) *base metal*, (b) *HAZ*, dan (c) *weld metal*

Dari Gambar 4.11 terdapat perbedaan bentuk fasa, persentase *ferrite* dan *pearlite* untuk spesimen variasi 200 A 27,5 V pada 3 daerah pengamatan yang berbeda. *Base metal* pada Gambar 4.11(a) tersusun dari 67,57% *ferrite* dan 32,23% *pearlite*. Kemudian *HAZ* pada Gambar 4.11(b) tersusun dari 64,59% *ferrite* dan 35,41% *pearlite*. Sedangkan *weld metal* pada Gambar 4.11(c) tersusun dari 69,40% *ferrite* dan 30,40% *pearlite*.

Kemudian hasil perhitungan dari persentase fasa dibandingkan dan dilihat perubahan nilai persentase tersebut. Adapun persentase *ferrite* dan *pearlite* untuk *base metal*, *HAZ*, dan *weld metal* secara keseluruhan dapat dilihat pada Tabel 4.5

**Tabel 4.5** Persentase zona spesimen uji metalografi

Variasi	Persentase Zona (%)					
	<i>Base Metal</i>		<i>HAZ</i>		<i>Weld Metal</i>	
	<i>Ferrite</i>	<i>Pearlite</i>	<i>Ferrite</i>	<i>Pearlite</i>	<i>Ferrite</i>	<i>Pearlite</i>
170 A 26,5 V (170A)	63,73	36,27	59,17	40,83	72,43	27,57
190 A 26,5 V (190A)	64,94	35,06	49,62	50,38	64,66	35,34
200 A 26,5 V (200A)	69,90	30,10	42,46	57,54	59,35	40,65
170 A 27,5 V (170B)	69,89	30,11	59,81	40,19	64,58	35,43
190 A 27,5 V (190B)	69,02	30,98	65,00	35,01	69,20	30,81
200 A 27,5 V (200B)	67,57	32,43	64,59	35,41	69,40	30,60

Dari gambar struktur mikro pada *weld metal* terlihat dominasi fasa *ferrite*. Hal tersebut berdasarkan pada Tabel 4.5, persentase zona terang lebih besar dari zona gelap pada seluruh *weld metal* variasi arus dan tegangan. Pada *weld metal* terjadi proses pembekuan dan terbentuk struktur mikro kasar. Semakin tinggi masukan panas pengelasan semakin kasar dan besar ukuran butir struktur mikro pada *weld metal* (Sulardjaka et al., 2018). Pada daerah *weld metal* terjadi pendinginan cepat karena panas yang diterima langsung diserap oleh HAZ. Pada saat *weld metal* mencair pada temperatur tinggi terbentuk fase austenit. Fase ini terjadi perubahan menjadi *ferrite* dan *pearlite*. Pada waktu pendinginan yang semakin singkat, maka material mengalami reaksi eutektoid dimana austenit tidak ada yang bertransformasi allotropik menjadi *ferrite* terlebih dahulu tetapi langsung bertransformasi menjadi *pearlite* (Embury, 2012). Terdapat beberapa fasa pada struktur mikro yang diperoleh pada *weld metal* dan dapat dibedakan dalam hal morfologi fasa. Fasa *ferrite* yang dapat diidentifikasi pada gambar metalografi adalah *acicular ferrite*. Fasa tersebut terbentuk pada suhu yang lebih rendah dan karena karakteristik strukturalnya (ukuran butir kecil dan sudut ikatan butir tinggi). Kemudian terdapat struktur *dendritic delta ferrite* dan titik-titik hitam yang tidak sejajar dengan struktur *columnar ferritic* tetapi pada sudut butir. Hal ini terjadi karena adanya pergeseran struktur ketika austenit terbentuk dengan *delta ferrite* (Chaveriat et al., 1987).

Dari gambar struktur mikro yang didapatkan pada daerah HAZ terlihat susunan *ferrite* dan *pearlite* berbeda dari *base metal*. HAZ memiliki struktur mikro yang lebih kasar dari *base metal*. Hal tersebut disebabkan oleh siklus panas saat pengelasan pada daerah HAZ. Peningkatan luasan area HAZ merubah struktur mikro pada material semakin kasar yang disebabkan oleh semakin besarnya masukan panas yang diterima dan terdistribusi terhadap material (Wibowo et al., 2016). Berdasarkan data persentase zona yang terdapat pada Tabel 4.5, spesimen 170A, 190A, dan 200A terjadi peningkatan persentase zona gelap pada *weld metal* dan HAZ. Peningkatan persentase zona terang disebabkan oleh peningkatan masukan panas seiring dengan peningkatan arus pengelasan. Hal ini sejalan dengan penelitian yang dilakukan oleh (Yuniarto et al., 2019) dengan peningkatan masukan panas pembentukan batas butir struktur *pearlite* juga semakin meningkat.

#### **4.4 Analisis Pengaruh Arus dan Tegangan Terhadap Pengujian Metalografi, Pengujian Kekerasan, dan Pengujian Tarik**

Pada pengelasan baja S355JR terdapat pengaruh pada variasi arus dan tegangan terhadap besar masukan panas pada pengelasan. Penggunaan *travel speed* sebesar 20 cm/min juga berpengaruh pada masukan panas pengelasan. Besar masukan panas ini berpengaruh pada struktur mikro pada *weld metal* dan HAZ. Semakin tinggi masukan panas pengelasan semakin kasar pula struktur mikro pada *weld metal*, sebaliknya jika masukan panas lebih rendah struktur mikro lebih halus. Hal tersebut dapat dilihat pada masing-masing gambar hasil pengujian metalografi struktur mikro *weld metal*. Untuk daerah HAZ, ukuran butir dipengaruhi oleh masukan panas. Peningkatan ukuran butir pada HAZ terjadi seiring dengan peningkatan masukan panas pengelasan. Pada HAZ dengan masukan panas rendah terbentuk struktur mikro butiran halus, sebaliknya masukan panas tinggi terbentuk butiran struktur mikro kasar. Hal tersebut dipengaruhi oleh pendinginan dan transformasi fasa *austenite*. Pendinginan cepat terjadi karena masukan panas rendah, sehingga *austenite* bertransformasi menjadi *ferrite* dan *pearlite* butiran halus pada HAZ (Khairul Azhar Abdul Razab et al., 2017). Terdapat pengaruh penggunaan elektroda E71T-1C yang mengandung mangan sebesar 1,2% pada hasil pengelasan. Paduan unsur mangan berpengaruh pada struktur mikro *weld metal*. Hal tersebut karena adanya peningkatan proporsi *acicular ferrite* dengan mengorbankan batas butir *ferrite* dan juga penyempurnaan ukuran butir dari struktur mikro. Terbentuknya *acicular ferrite* dapat meningkatkan kekuatan material karena sudut antar butirnya besar (Chaveriat et al., 1987).



Struktur mikro yang diamati tersusun dari persentase *ferrite* dan *pearlite*. Pada masukan panas tinggi, persentase zona gelap turun. Hal tersebut dapat berpengaruh pada nilai kekerasan pada hasil pengelasan. Nilai kekerasan dipengaruhi oleh *pearlite* yang mengandung *ferrite* dan *cementite* serta ukuran butir yang terbentuk. Variasi arus pengelasan adalah faktor yang mempengaruhi nilai kekerasan. Nilai kekerasan menurun dengan meningkatnya arus pengelasan serta masukan panas yang meningkatkan lebar *weld metal* dan HAZ. Fenomena penurunan kekerasan pada variasi tegangan 27,5 V dengan peningkatan variasi arus tersebut dapat dilihat pada Gambar 4.5. Hal ini disebabkan penurunan laju pendinginan saat peningkatan arus pengelasan. Penurunan kekerasan pada *weld metal* diakibatkan dari peningkatan ukuran butir butir yang lebih kasar (Alwan et al., 2018). Pada spesimen 170B, 190B dan 200B terjadi penurunan tren nilai kekerasan. Hal tersebut disebabkan oleh transformasi batas butir *pearlite* yang terbentuk pada *weld metal*, namun berupa *pearlite* kasar. *Pearlite* kasar terbentuk karena lamanya pendinginan yang disebabkan besar masukan panas seiring peningkatan arus pengelasan (Asibeluo IS & Emifoniye E, 2015).

*Tensile strength* juga dipengaruhi oleh struktur mikro baja pada hasil pengelasan. Struktur mikro dipengaruhi oleh laju pendinginan. Ukuran butir kecil disebabkan pendinginan cepat dengan masukan panas yang lebih tinggi. Sehingga waktu yang dibutuhkan untuk solidifikasi berkurang dan terbentuk butiran kasar. Butiran kasar dalam struktur mikro menunjukkan kekerasan yang lebih rendah dan kekuatan yang rendah (Asibeluo IS & Emifoniye E, 2015). Pada tegangan 27,5 V peningkatan arus memberikan masukan panas yang besar dan mempengaruhi struktur mikro baja pengelasan. Hal tersebut berpengaruh terhadap penurunan nilai *tensile strength* variasi tegangan 27,5 V. Ketika arus pengelasan meningkat, pemulihan karbon meningkat sementara pemulihan mangan sedikit berubah. Namun, ketika tegangan meningkat, pemulihan kedua elemen menurun. Arus yang lebih tinggi memberikan pelepasan tetapan yang lebih cepat di ujung kawat karena laju leleh yang lebih tinggi dan ini memberikan waktu reaksi yang lebih singkat dengan oksigen, memberikan pemulihan elemen deoksidasi yang lebih tinggi. (Bang et al., 2008).

## BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

### 5.1 Kesimpulan

Pada hasil analisis dan pembahasan pengaruh variasi arus dan tegangan pengelasan metode FCAW terhadap sifat mekanik dan struktur mikro pada sambungan baja S355JR dapat disimpulkan yaitu :

1. Pengaruh variasi arus dan tegangan berpengaruh pada masukan panas yang diterima baja pengelasan. Hal tersebut berpengaruh pada besaran butir pada masing-masing daerah pengelasan. Dan untuk persentase persentase *pearlite* juga dipengaruhi oleh meningkatnya masukan panas pengelasan. Dari keenam variasi arus dan tegangan pada penelitian ini persentase *pearlite* terbesar ada pada 200 A 26,5 V. Pada variasi 200 A 26,5 V *weld metal* dan HAZ memiliki persentase *pearlite* 40,65% dan 57,54%
2. Penentuan arus dan tegangan pada pengelasan yang dilakukan menentukan kualitas sifat mekanik material. Peningkatan arus diikuti dengan tegangan yang tepat dapat meningkatkan *tensile strength*, *yield strength* dan *elongation*. Dari 6 variasi arus dan tegangan pengelasan yang dilakukan, variasi 200 A 26,5 V memiliki nilai *tensile strength*, *yield strength* dan *elongation* tertinggi. Variasi tersebut memiliki nilai *tensile strength* 526,80 MPa, *yield strength* 382,25 MPa, dan *elongation* 28,70%. Kemudian untuk kekerasan material dipengaruhi oleh masukan panas dari variasi arus dan tegangan yang dilakukan. Variasi 200 A 26,5 V memiliki nilai kekerasan tertinggi pada HAZ dan *weld metal*. Nilai kekerasan HAZ dan *weld metal* pada variasi tersebut secara berturut-turut sebesar 251,67 HV dan 242,33 HV.

### 5.2 Saran

Adapun saran yang dapat diberikan terkait Tugas Akhir ini adalah :

1. Kecepatan pengelasan dapat dijadikan salah satu variabel penelitian karena berpengaruh terhadap masukan panas pada saat proses pengelasan
2. Dibutuhkan WPS pada saat menentukan variasi parameter pengelasan sebagai tinjauan prosedur pengelasan.

*(Halaman ini sengaja dikosongkan)*

## DAFTAR PUSTAKA

- Akca, E., & Trgo, E. (2015). Metallographic Procedures and Analysis – A review. *Periodicals of Engineering and Natural Sciences (PEN)*, 3(2). <https://doi.org/10.21533/pen.v3i2.51>
- Alwan, A. S., Engineering Journal Al, A.-K., Kh Hamd, E., Sh Alwan, A., & Khalaf Irthiea, I. (2018). Study the Effect of Welding Heat Input on the Microstructure, Hardness, and Impact Toughness of AISI 1015 Steel. *Khwarizmi Engineering Journal*, 14(1). <https://doi.org/10.22153/kej.2018.08.005>
- American Welding Society. Structural Welding Committee, American Welding Society. Technical Activities Committee., & American National Standards Institute. (n.d.). *Structural welding code--steel*.
- Asibeluo IS, & Emifoniye E. (2015). Effect of Arc Welding Current on the Mechanical Properties of A36 Carbon Steel Weld Joints. In *SSRG International Journal of Mechanical Engineering* (Vol. 2, Issue 9). [www.internationaljournalsrg.org](http://www.internationaljournalsrg.org)
- Awali, J., Rudyanto, F., Thesalonicha, S., Lubis, M. P. D., Tanjung, R. A., & Triana, Y. (2021). Analisis Variasi Arus Pengelasan Kombinasi SMAW-FCAW dengan Kampuh Double V-Groove terhadap Kekerasan dan Struktur Mikro Dissimilar Material JIS G3101-SS400 dan ASTM A36. *Jurnal Rekayasa Mesin*, 12(2), 421–432. <https://doi.org/10.21776/ub.jrm.2021.012.02.19>
- Bang, K. S., Jung, D. H., Park, C., & Chang, W. S. (2008). Effects of welding parameters on tensile strength of weld metal in flux cored arc welding. *Science and Technology of Welding and Joining*, 13(6), 509–514. <https://doi.org/10.1179/174329307X249397>
- Čekys, K., & Jankauskienė, D. (2020). Steel Welding Application, Advantages and Disadvantages Using Flux Core and Gas Metal Fillings. *15th International Scientific Conference STUDENTS ON THEIR WAY TO SCIENCE*, 77.
- Embury, D. (2012). The formation of pearlite in steels. In *Phase Transformations in Steels* (Vol. 1, pp. 276–310). Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1533/9780857096104.2.276>
- Hallai, C. (Carlos), & Kulcsar, P. (Pablo). (1992). *Non-destructive testing 92 : proceedings of the 13th World Conference on Non-Destructive Testing, Sao Paulo, Brazil, 18-23 October 1992*. Elsevier.
- Haq, R., Budiarto, U., & Mulyatno, P. (2019). Analisa Kekuatan Tarik, Tekuk, dan Impak Pengelasan Flux Cored Arc Welding Material Baja St 40 Posisi 3G dengan Variasi Kuat Arus Listrik. *Jurnal Teknik Perkapalan*, 7(4), 184. <https://ejournal3.undip.ac.id/index.php/naval>
- Huang, B. S., Yang, J., Lu, D. H., & Bin, W. J. (2016). Study on the microstructure, mechanical properties and corrosion behaviour of S355JR/316L dissimilar welded joint prepared by gas tungsten arc welding multi-pass welding process. *Science and Technology of Welding and Joining*, 21(5), 381–388. <https://doi.org/10.1080/13621718.2015.1122152>
- Kalpakjian, S., & Schmid, S. R. (2010). *Manufacturing Engineering and Technology* (6th ed.). Pearson.
- Khairul Azhar Abdul Razab, M., Ahmad, I., Mamat, S., Syahida Mohd Nasir, N., Iqbal Ahmad, M., & Kelantan, M. (2017). Influence of Heat Input on Carbon Steel Microstructure. *ARPJN Journal of Engineering and Applied Sciences*, 12(8). [www.arpnjournals.com](http://www.arpnjournals.com)
- Khan, I. (2007). *Welding Science and Technology*. New Age International Publishers.
- Major, M., Nawrot, J., & Major, I. (2019). Structural S235 and S355 Steels - Numerical Analysis of Selected Rods Connection. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 585(1). <https://doi.org/10.1088/1757-899X/585/1/012007>
- Makalesi, A., & Kurtulmuş, M. (2018). Effects of Primary Welding Parameters on FCAW Steel Weld Form. In *European Journal of Science and Technology* (Issue 12). [www.ejosat.com](http://www.ejosat.com)

- Mikell P. Groover. (2012). *Fundamentals of Modern Manufacturing: Materials, Processes, and Systems*. Wiley & Sons.
- Mohamat, S. A., Ibrahim, I. A., Amir, A., & Ghalib, A. (2012). The effect of Flux Core Arc Welding (FCAW) processes on different parameters. *Procedia Engineering*, 41, 1497–1501. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2012.07.341>
- O'Brien, Annette. (2004). *Welding Handbook, Volume 2 - Welding Processes, Part 1* (9th ed.). American Welding Society.
- O'Brien, Annette., & Jenney, C. L. (2001). *Welding Handbook, Volume 1 - Welding Science and Technology* (9th ed.). American Welding Society.
- Olabi, A. G., Lostado, R., & Benyounis, K. Y. (2014). Review of Microstructures, Mechanical Properties, and Residual Stresses of Ferritic and Martensitic Stainless-Steel Welded Joints. In *Comprehensive Materials Processing* (Vol. 6, pp. 181–192). Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-096532-1.00617-8>
- Parmar, R. S. (1997). *Welding Engineering and Technology* (1st ed.). Khanna Publishers.
- Saputra Ismy, A. (2019). Analisa kekuatan sambungan material AISI 1050 dengan ASTM A36 dengan variasi arus pada proses pengelasan SMAW (Analysis of the strength of the material joint of AISI 1050 and ASTM A36 with welding current variations in the SMAW process). In *Journal of Welding Technology* (Vol. 1, Issue 1).
- Sasmito, A., Irawadi, Y., & Soebagyo, H. (2019). Analisis of Welding Crack on The Under Frame of Wagon for Cement Bags Transportation Using Euro Code, Measurement and Finite Element. *MATEC Web of Conferences*, 269, 03003. <https://doi.org/10.1051/mateconf/201926903003>
- Soeiro Junior, J. C., da Luz, M. A., & Brandi, S. D. (2017). Comparison of Deposition Rate and Deposition Efficiency Between ER70S-6 and E71T-1C Consumables. *Welding International*, 31(2), 79–89. <https://doi.org/10.1080/09507116.2016.1218602>
- Wibowo, H., Noer Ilman, M., & Iswanto, P. (2016). Analisa Heat Input Pengelasan terhadap Distorsi, Struktur Mikro dan Kekuatan Mekanis Baja A36. *Jurnal Rekayasa Mesin*, 7(1), 5–12.
- Wiryosumarto, H., & Okumura, T. (1996). *Teknologi Pengelasan Logam* (8th ed.). Pradnya Paramita.
- Yuniarto, M. I. R., Pratikno, H., & Charmelia, D. M. (2019). Analisis Pengaruh Variasi Heat Input Pengelasan FCAW pada Sambungan Baja BKI Grade A Terhadap Sifat Mekanik. *Jurnal Teknik ITS*, 8(2).



# LAMPIRAN

## A. Dokumen Hasil Pengujian Tarik

### A1. Hasil Pengujian Tarik Spesimen 170A1

#### LAPORAN UJI LABORATORIUM TENSILE

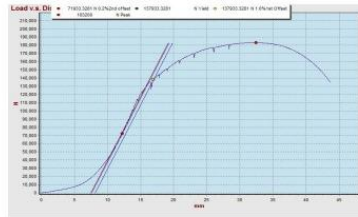
Jenis Pengujian	Uji Tarik
Type of test	
Peralatan	Mesin Uji Universal " Hung Ta " Kapasitas 1000 kN
Equipment	

#### HASIL PENGUJIAN RESULT

Sample JR 170 / 26.5

03/07/2022

No.	Area	Yield Load	Peak Load	Yield Strength	Tensile Strength	Elongation
Spec	mm <sup>2</sup>	(N)	(N)	(N/mm <sup>2</sup> )	(N/mm <sup>2</sup> )	%
1	353,64	137933,33	183200,00	390,04	518,04	34,98



### A2. Hasil Pengujian Tarik Spesimen 170A2

#### LAPORAN UJI LABORATORIUM TENSILE

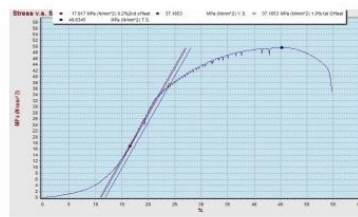
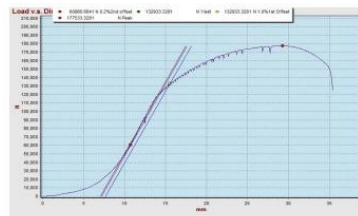
Jenis Pengujian	Uji Tarik
Type of test	
Peralatan	Mesin Uji Universal " Hung Ta " Kapasitas 1000 kN
Equipment	

#### HASIL PENGUJIAN RESULT

Sample JR 170 / 26.5

03/07/2022

No.	Area	Yield Load	Peak Load	Yield Strength	Tensile Strength	Elongation
Spec	mm <sup>2</sup>	(N)	(N)	(N/mm <sup>2</sup> )	(N/mm <sup>2</sup> )	%
2	366,63	132933,33	177533,33	362,58	484,23	26,19



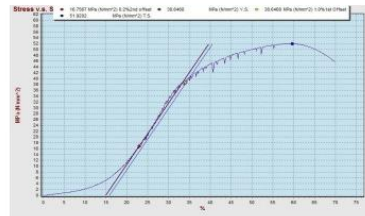
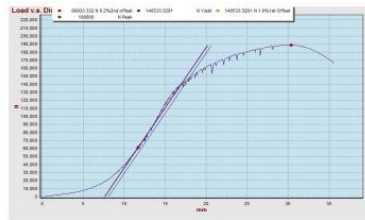
## A3. Hasil Pengujian Tarik Spesimen 170A3

### LAPORAN UJI LABORATORIUM TENSILE

Jenis Pengujian	Uji Tarik
Type of test	Uji Tarik
Peralatan	Mesin Uji Universal " Hung Ta " Kapasitas 1000 kN
Equipment	Mesin Uji Universal " Hung Ta " Kapasitas 1000 kN

#### HASIL PENGUJIAN RESULT

Sample JR 170 / 26.5					03/07/2022	
No.	Area	Yield Load	Peak Load	Yield Strength	Tensile Strength	Elongation
Spec	mm <sup>2</sup>	(N)	(N)	(N/mm <sup>2</sup> )	(N/mm <sup>2</sup> )	%
3	352,8822	140533,33	188800,00	398,24	535,02	30,56



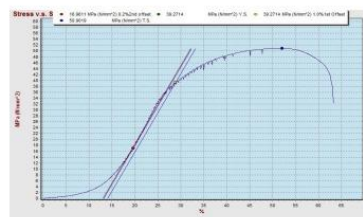
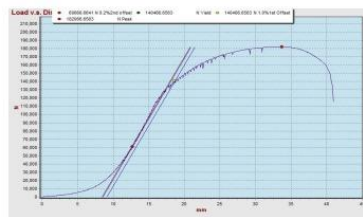
## A4. Hasil Pengujian Tarik Spesimen 190A1

### LAPORAN UJI LABORATORIUM TENSILE

Jenis Pengujian	Uji Tarik
Type of test	Uji Tarik
Peralatan	Mesin Uji Universal " Hung Ta " Kapasitas 1000 kN
Equipment	Mesin Uji Universal " Hung Ta " Kapasitas 1000 kN

#### HASIL PENGUJIAN RESULT

Sample JR 190 / 26.5					03/07/2022	
No.	Area	Yield Load	Peak Load	Yield Strength	Tensile Strength	Elongation
Spec	mm <sup>2</sup>	(N)	(N)	(N/mm <sup>2</sup> )	(N/mm <sup>2</sup> )	%
1	368,6592	140466,66	182066,66	381,02	493,86	29,52



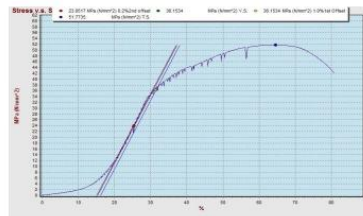
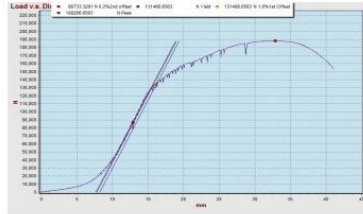
**A5. Hasil Pengujian Tarik Spesimen 190A2**

**LAPORAN UJI LABORATORIUM TENSILE**

<b>Jenis Pengujian</b>	Uji Tarik
<b>Type of test</b>	
<b>Peralatan</b>	Mesin Uji Universal " Hung Ta " Kapasitas 1000 kN
<b>Equipment</b>	

**HASIL PENGUJIAN**  
**RESULT**

<b>Sample JR 190 / 26.5</b>						03/07/2022
No.	Area	Yield Load	Peak Load	Yield Strength	Tensile Strength	Elongation
	mm <sup>2</sup>	(N)	(N)	(N/mm <sup>2</sup> )	(N/mm <sup>2</sup> )	%
2	355,4368	131466,66	188266,66	369,87	529,68	33,92



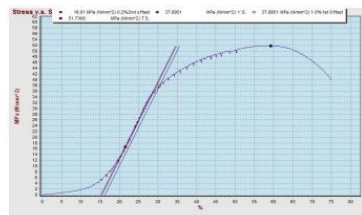
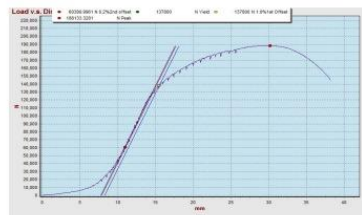
**A6. Hasil Pengujian Tarik Spesimen 190A3**

**LAPORAN UJI LABORATORIUM TENSILE**

<b>Jenis Pengujian</b>	Uji Tarik
<b>Type of test</b>	
<b>Peralatan</b>	Mesin Uji Universal " Hung Ta " Kapasitas 1000 kN
<b>Equipment</b>	

**HASIL PENGUJIAN**  
**RESULT**

<b>Sample JR 190 / 26.5</b>						03/07/2022
No.	Area	Yield Load	Peak Load	Yield Strength	Tensile Strength	Elongation
	mm <sup>2</sup>	(N)	(N)	(N/mm <sup>2</sup> )	(N/mm <sup>2</sup> )	%
3	367,3488	137800,00	188133,33	375,12	512,14	30,74



### A7. Hasil Pengujian Tarik Spesimen 200A1

#### LAPORAN UJI LABORATORIUM TENSILE

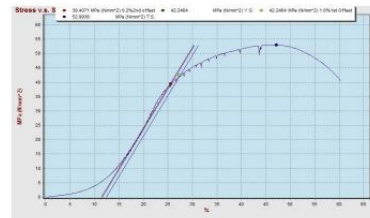
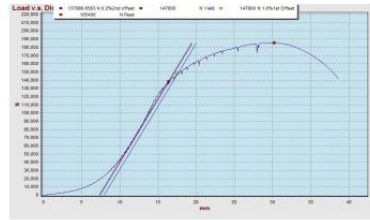
<u>Jenis Pengujian</u>	Uji Tarik
<u>Type of test</u>	
<u>Peralatan</u>	Mesin Uji Universal " Hung Ta " Kapasitas 1000 kN
<u>Equipment</u>	

#### HASIL PENGUJIAN RESULT

Sample JR 200 / 26.5

03/07/2022

No.	Area	Yield Load	Peak Load	Yield Strength	Tensile Strength	Elongation
Spec	mm <sup>2</sup>	(N)	(N)	(N/mm <sup>2</sup> )	(N/mm <sup>2</sup> )	%
1	351,3976	137866,66	185400,00	392,34	527,61	28,56



### A8. Hasil Pengujian Tarik Spesimen 200A2

#### LAPORAN UJI LABORATORIUM TENSILE

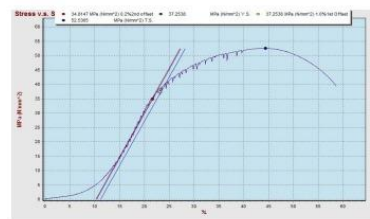
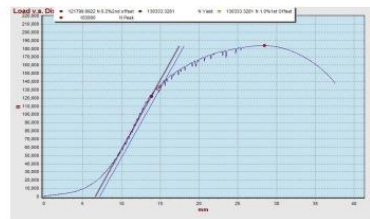
<u>Jenis Pengujian</u>	Uji Tarik
<u>Type of test</u>	
<u>Peralatan</u>	Mesin Uji Universal " Hung Ta " Kapasitas 1000 kN
<u>Equipment</u>	

#### HASIL PENGUJIAN RESULT

Sample JR 200 / 26.5

03/07/2022

No.	Area	Yield Load	Peak Load	Yield Strength	Tensile Strength	Elongation
Spec	mm <sup>2</sup>	(N)	(N)	(N/mm <sup>2</sup> )	(N/mm <sup>2</sup> )	%
2	345,6376	130333,33	183800,00	377,08	531,77	30,04



A9. Hasil Pengujian Tarik Spesimen 200A3

LAPORAN UJI LABORATORIUM TENSILE

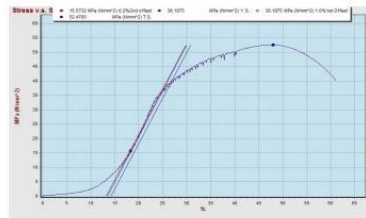
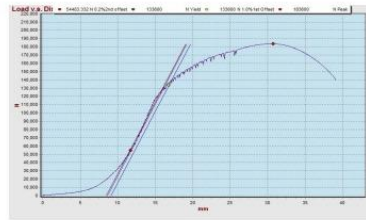
Jenis Pengujian	Uji Tarik
Type of test	
Peralatan	Mesin Uji Universal " Hung Ta " Kapasitas 1000 kN
Equipment	

HASIL PENGUJIAN  
RESULT

Sample JR 200 / 26.5

03/07/2022

No.	Area	Yield Load	Peak Load	Yield Strength	Tensile Strength	Elongation
Spec	mm <sup>2</sup>	(N)	(N)	(N/mm <sup>2</sup> )	(N/mm <sup>2</sup> )	%
3	352,3893	133600,00	183600,00	379,13	521,01	27,49



A10. Hasil Pengujian Tarik Spesimen 170B1

LAPORAN UJI LABORATORIUM TENSILE

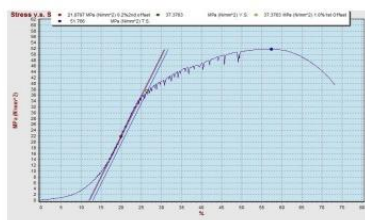
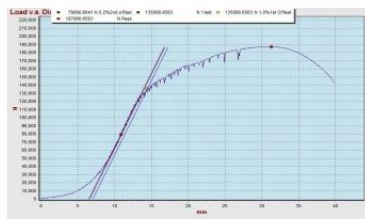
Jenis Pengujian	Uji Tarik
Type of test	
Peralatan	Mesin Uji Universal " Hung Ta " Kapasitas 1000 kN
Equipment	

HASIL PENGUJIAN  
RESULT

Sample JR 170 / 27.5

03/07/2022

No.	Area	Yield Load	Peak Load	Yield Strength	Tensile Strength	Elongation
Spec	mm <sup>2</sup>	(N)	(N)	(N/mm <sup>2</sup> )	(N/mm <sup>2</sup> )	%
1	364,3461	135066,66	187066,66	370,71	513,43	33,72



### A11. Hasil Pengujian Tarik Spesimen 170B2

#### LAPORAN UJI LABORATORIUM TENSILE

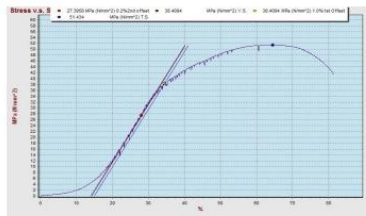
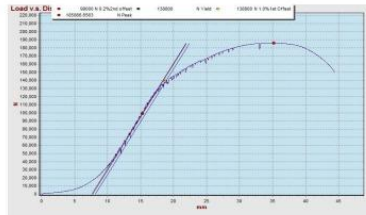
<u>Jenis Pengujian</u>	Uji Tarik
<u>Type of test</u>	
<u>Peralatan</u>	Mesin Uji Universal " Hung Ta " Kapasitas 1000 kN
<u>Equipment</u>	

#### HASIL PENGUJIAN RESULT

Sample JR 170 / 27.5

03/07/2022

No.	Area	Yield Load	Peak Load	Yield Strength	Tensile Strength	Elongation
Spec	mm <sup>2</sup>	(N)	(N)	(N/mm <sup>2</sup> )	(N/mm <sup>2</sup> )	%
2	361,0451	138800,00	185866,66	384,44	514,80	38,32



### A12. Hasil Pengujian Tarik Spesimen 170B3

#### LAPORAN UJI LABORATORIUM TENSILE

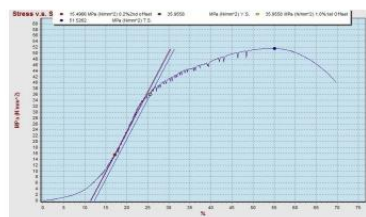
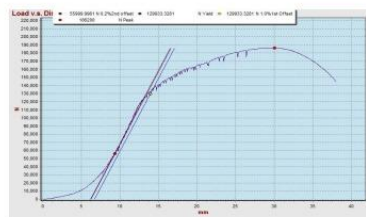
<u>Jenis Pengujian</u>	Uji Tarik
<u>Type of test</u>	
<u>Peralatan</u>	Mesin Uji Universal " Hung Ta " Kapasitas 1000 kN
<u>Equipment</u>	

#### HASIL PENGUJIAN RESULT

Sample JR 170 / 27.5

03/07/2022

No.	Area	Yield Load	Peak Load	Yield Strength	Tensile Strength	Elongation
Spec	mm <sup>2</sup>	(N)	(N)	(N/mm <sup>2</sup> )	(N/mm <sup>2</sup> )	%
3	358,9904	129933,33	186200,00	361,94	518,68	32,94





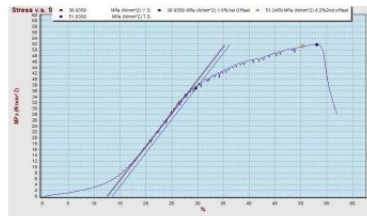
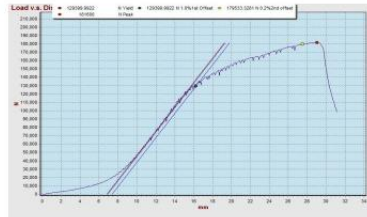
### A13. Hasil Pengujian Tarik Spesimen 190B1

LAPORAN UJI LABORATORIUM TENSILE

<i>Jenis Pengujian</i>	Uji Tarik
<i>Type of test</i>	
<i>Peralatan</i>	Mesin Uji Universal " Hung Ta " Kapasitas 1000 kN
<i>Equipment</i>	

**HASIL PENGUJIAN**  
**RESULT**

Sample 190 / 27.5						03/07/2022
No.	Area	Yield Load	Peak Load	Yield Strength	Tensile Strength	Elongation
Spec	mm <sup>2</sup>	(N)	(N)	(N/mm <sup>2</sup> )	(N/mm <sup>2</sup> )	%
1	347,622	129399,99	181600,00	372,24	522,41	19,84



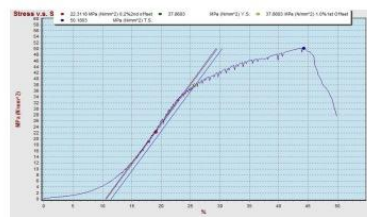
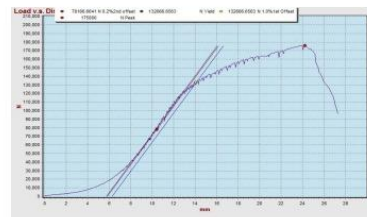
### A14. Hasil Pengujian Tarik Spesimen 190B2

LAPORAN UJI LABORATORIUM TENSILE

<i>Jenis Pengujian</i>	Uji Tarik
<i>Type of test</i>	
<i>Peralatan</i>	Mesin Uji Universal " Hung Ta " Kapasitas 1000 kN
<i>Equipment</i>	

**HASIL PENGUJIAN**  
**RESULT**

Sample 190 / 27.5						03/07/2022
No.	Area	Yield Load	Peak Load	Yield Strength	Tensile Strength	Elongation
Spec	mm <sup>2</sup>	(N)	(N)	(N/mm <sup>2</sup> )	(N/mm <sup>2</sup> )	%
2	349,5456	132666,66	175800,00	379,54	502,94	18,06



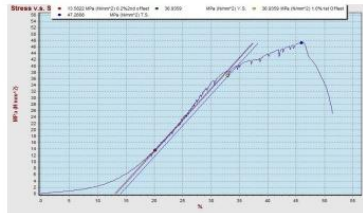
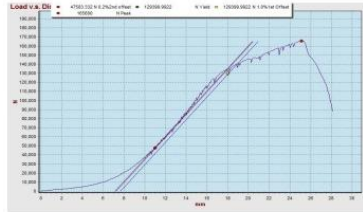
### A15. Hasil Pengujian Tarik Spesimen 190B3

#### LAPORAN UJI LABORATORIUM TENSILE

<u>Jenis Pengujian</u>	Uji Tarik
<u>Type of test</u>	
<u>Peralatan</u>	Mesin Uji Universal " Hung Ta " Kapasitas 1000 kN
<u>Equipment</u>	

#### HASIL PENGUJIAN RESULT

<b>Sample 190 / 27.5</b>					03/07/2022	
No.	Area	Yield Load	Peak Load	Yield Strength	Tensile Strength	Elongation
Spec	mm <sup>2</sup>	(N)	(N)	(N/mm <sup>2</sup> )	(N/mm <sup>2</sup> )	%
3	354,48	129399,99	165600,00	365,04	467,16	18,13



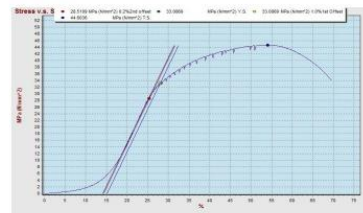
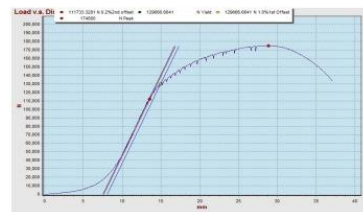
### A16. Hasil Pengujian Tarik Spesimen 200B1

#### LAPORAN UJI LABORATORIUM TENSILE

<u>Jenis Pengujian</u>	Uji Tarik
<u>Type of test</u>	
<u>Peralatan</u>	Mesin Uji Universal " Hung Ta " Kapasitas 1000 kN
<u>Equipment</u>	

#### HASIL PENGUJIAN RESULT

<b>Sample 200 / 27.5</b>					03/07/2022	
No.	Area	Yield Load	Peak Load	Yield Strength	Tensile Strength	Elongation
Spec	mm <sup>2</sup>	(N)	(N)	(N/mm <sup>2</sup> )	(N/mm <sup>2</sup> )	%
1	396,27	129666,66	174800,00	327,22	441,11	32,30





A17. Hasil Pengujian Tarik Spesimen 200B2

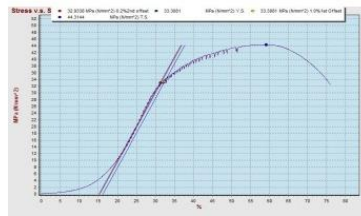
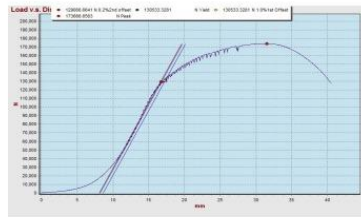
**LAPORAN UJI LABORATORIUM TENSILE**

Jenis Pengujian	Uji Tarik
Type of test	
Peralatan	Mesin Uji Universal " Hung Ta " Kapasitas 1000 kN
Equipment	

**HASIL PENGUJIAN  
RESULT**

Sample 200 / 27.5 03/07/2022

No.	Area	Yield Load	Peak Load	Yield Strength	Tensile Strength	Elongation
Spec	mm <sup>2</sup>	(N)	(N)	(N/mm <sup>2</sup> )	(N/mm <sup>2</sup> )	%
2	389,1282	129066,66	173666,66	331,68	446,30	34,95



A18. Hasil Pengujian Tarik Spesimen 200B3

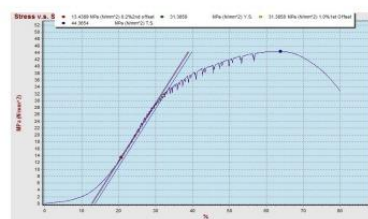
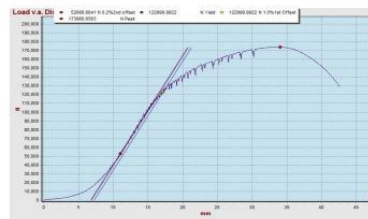
**LAPORAN UJI LABORATORIUM TENSILE**

Jenis Pengujian	Uji Tarik
Type of test	
Peralatan	Mesin Uji Universal " Hung Ta " Kapasitas 1000 kN
Equipment	

**HASIL PENGUJIAN  
RESULT**

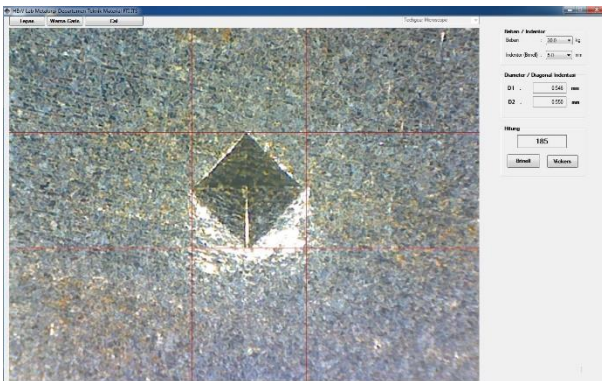
Sample 200 / 27.5 03/07/2022

No.	Area	Yield Load	Peak Load	Yield Strength	Tensile Strength	Elongation
Spec	mm <sup>2</sup>	(N)	(N)	(N/mm <sup>2</sup> )	(N/mm <sup>2</sup> )	%
3	390,5418	122999,99	173866,66	314,95	445,19	30,68

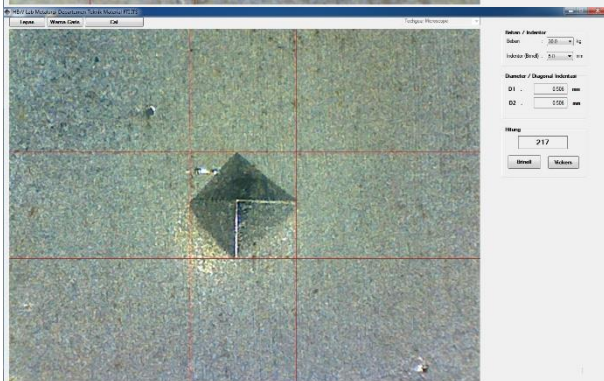
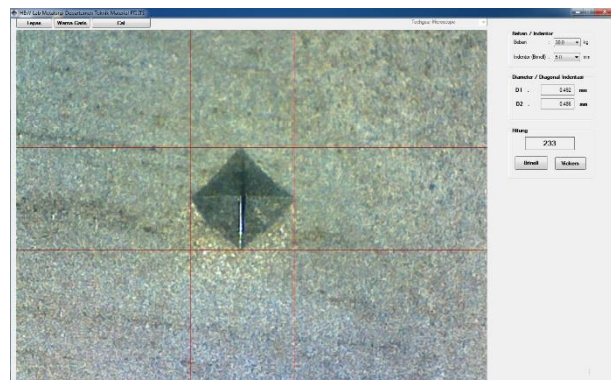
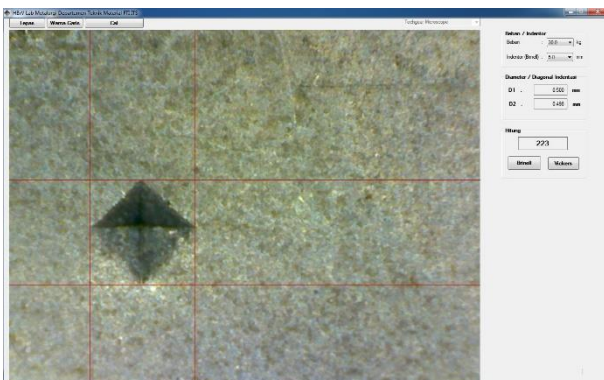


## B. Dokumen Hasil Pengujian Kekerasan

### B1. Hasil Pengujian Hardness Base Metal

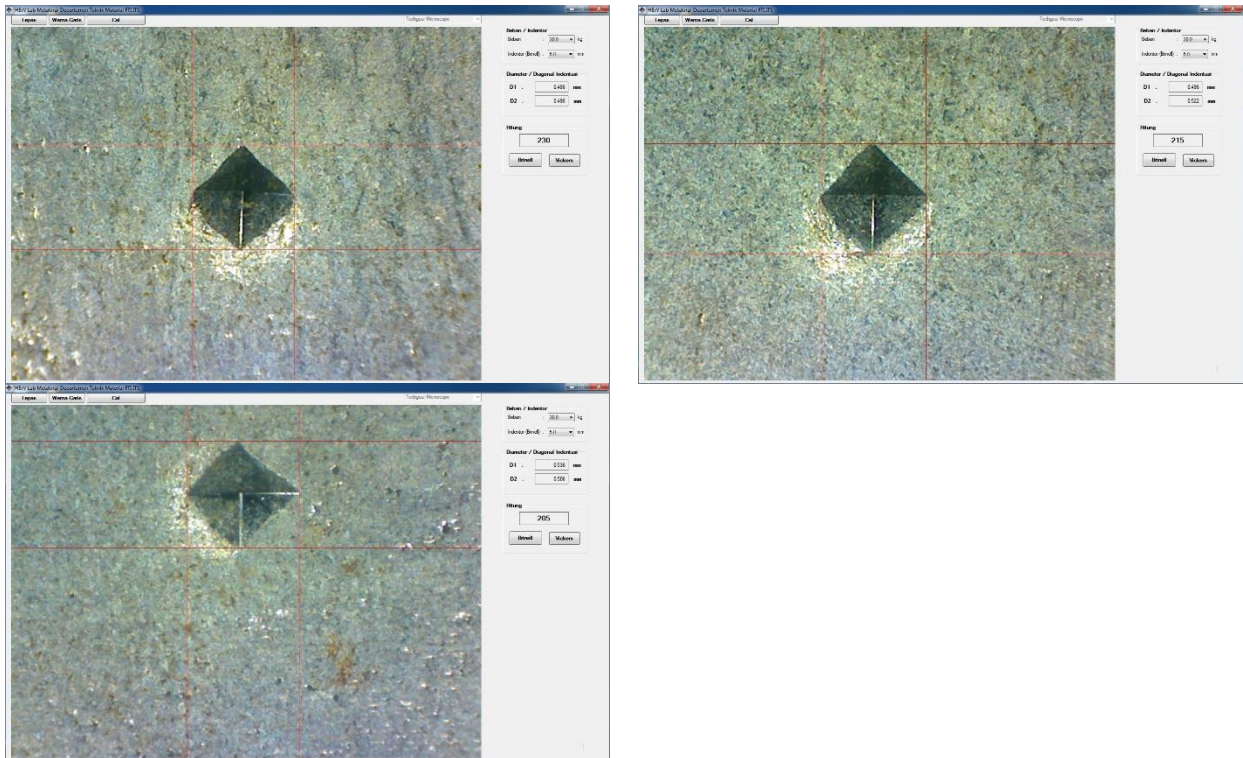


### B2. Hasil Pengujian Hardness HAZ Spesimen 170A

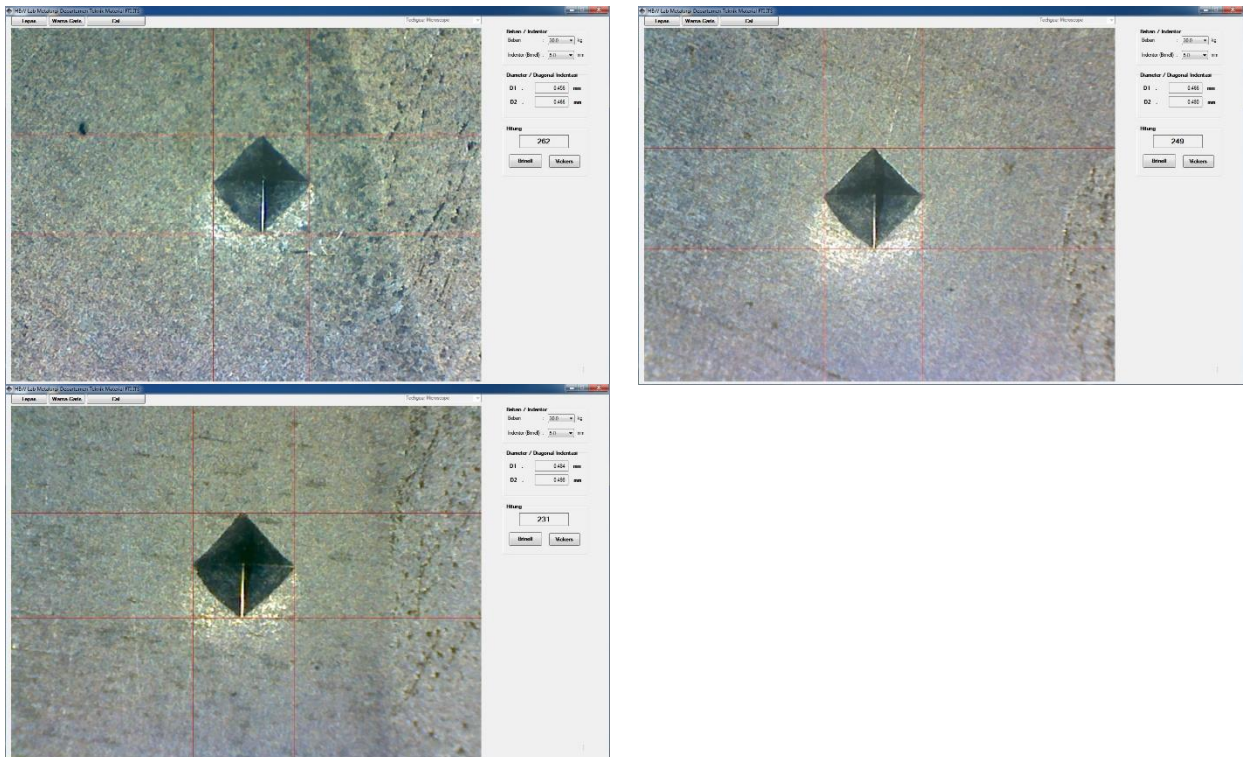




### B3. Hasil Pengujian Hardness WM Spesimen 170A

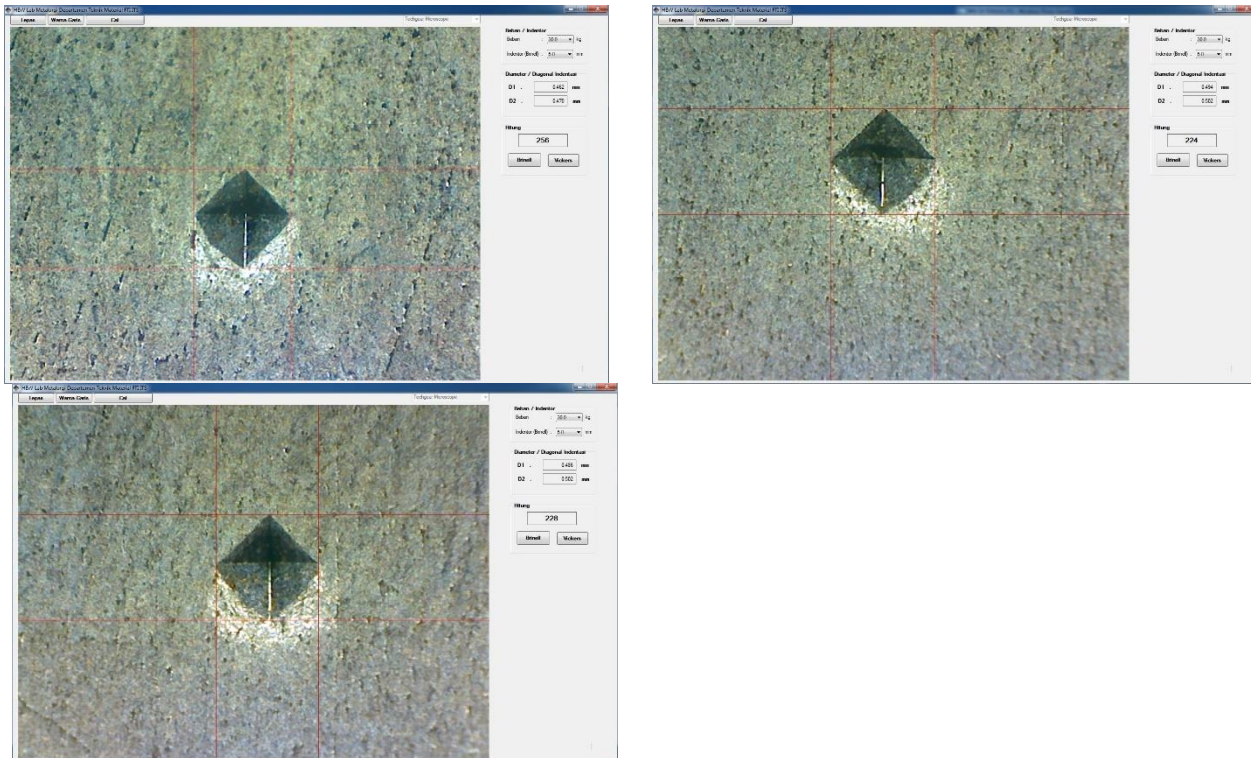


### B4. Hasil Pengujian Hardness HAZ Spesimen 190A

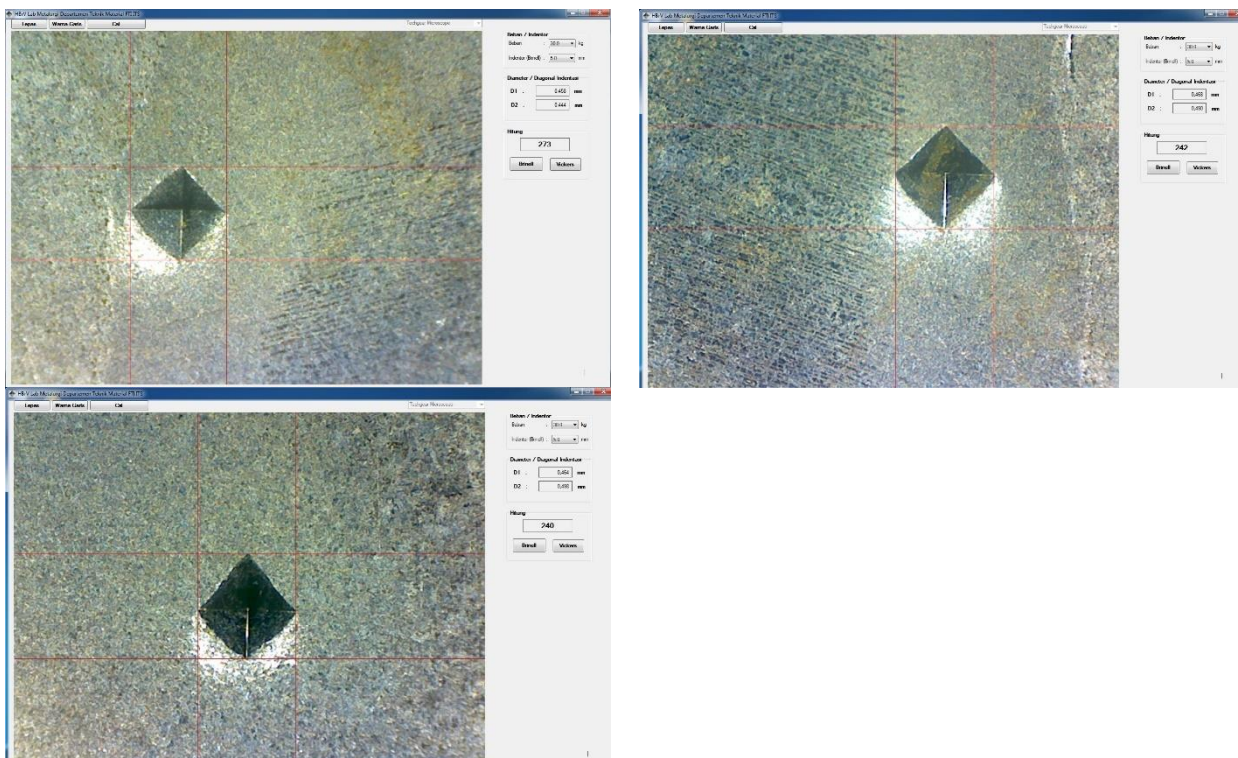




B5. Hasil Pengujian Hardness WM Spesimen 190A

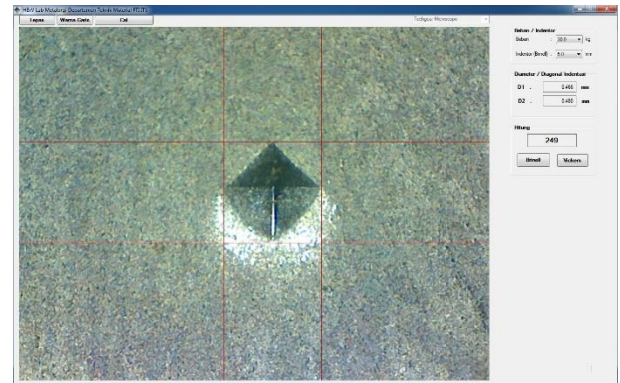
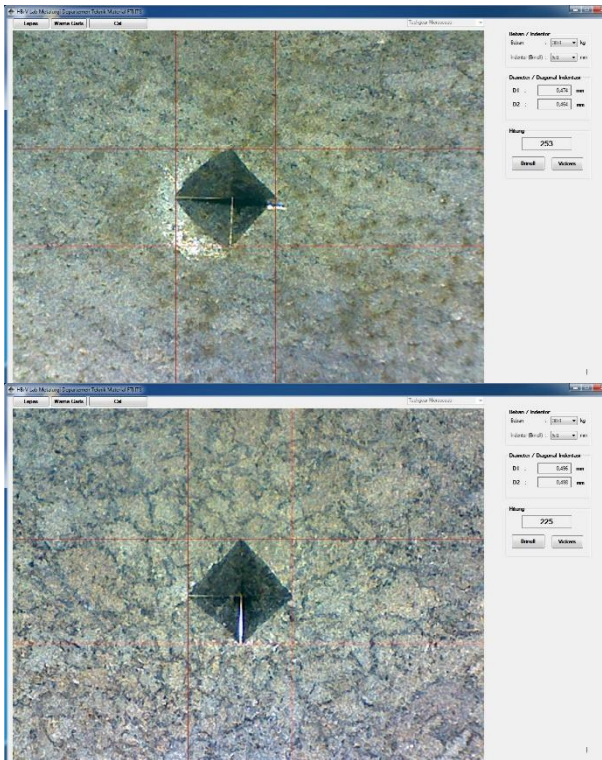


B6. Hasil Pengujian Hardness HAZ Spesimen 200A

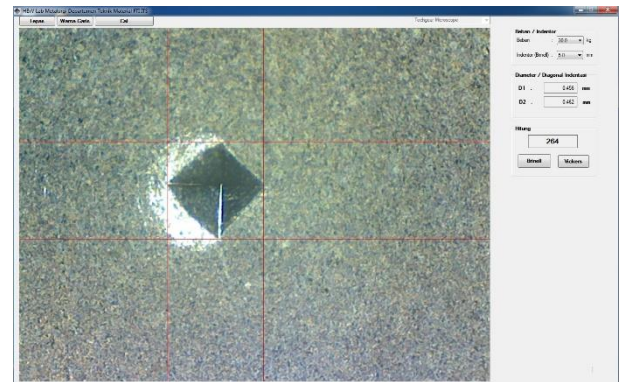
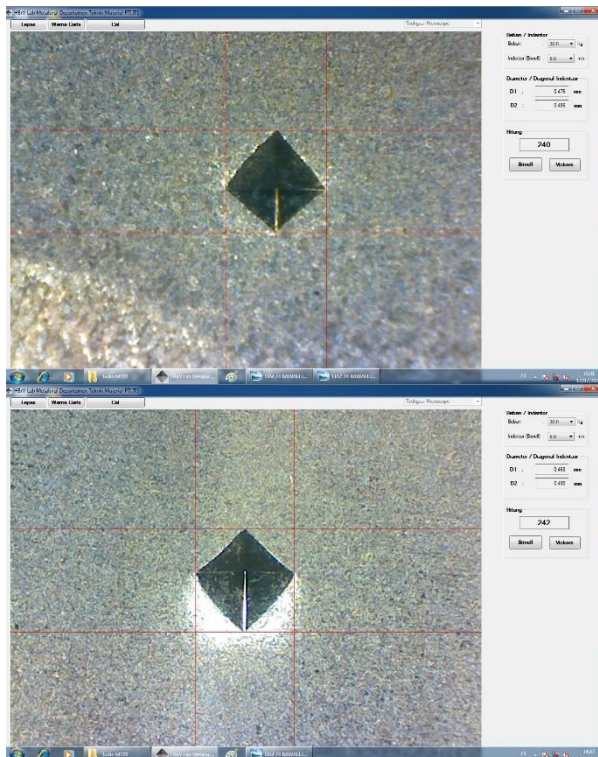




B7. Hasil Pengujian Hardness WM Spesimen 200A

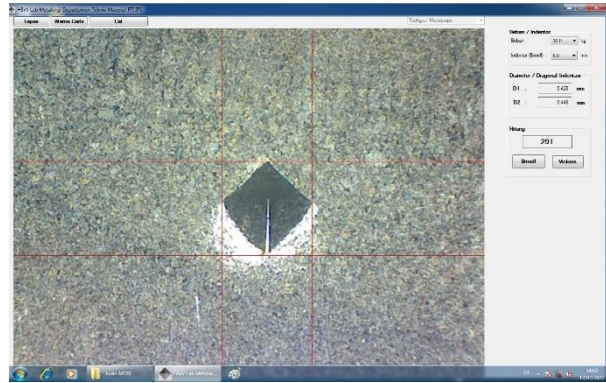
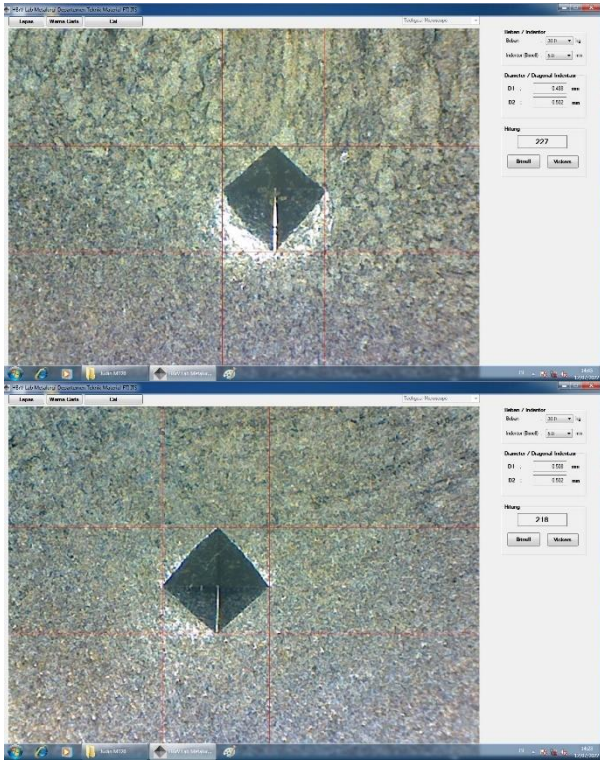


B8. Hasil Pengujian Hardness HAZ Spesimen 170B

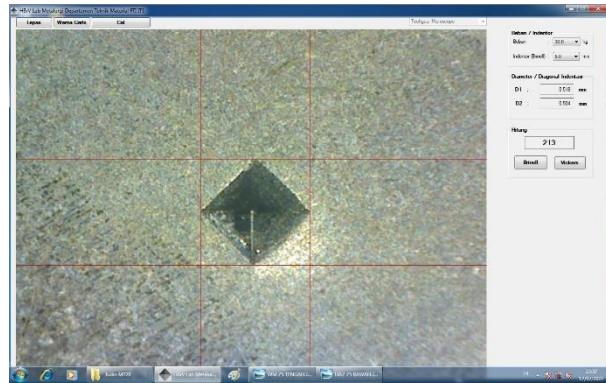
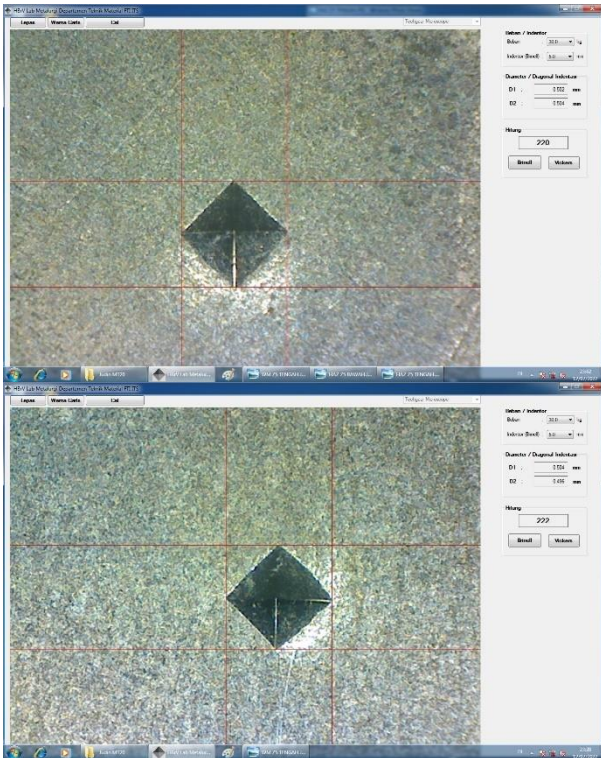




B9. Hasil Pengujian Hardness WM Spesimen 170B

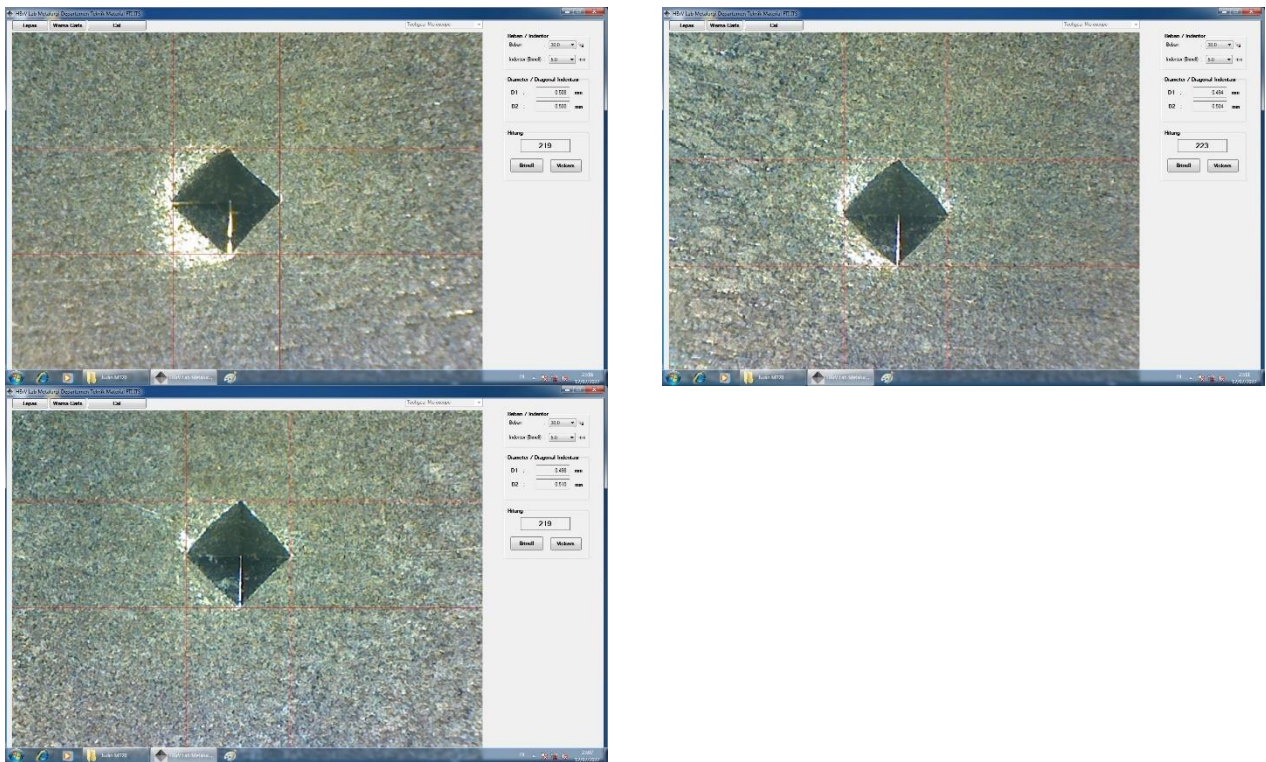


B10. Hasil Pengujian Hardness HAZ Spesimen 190B

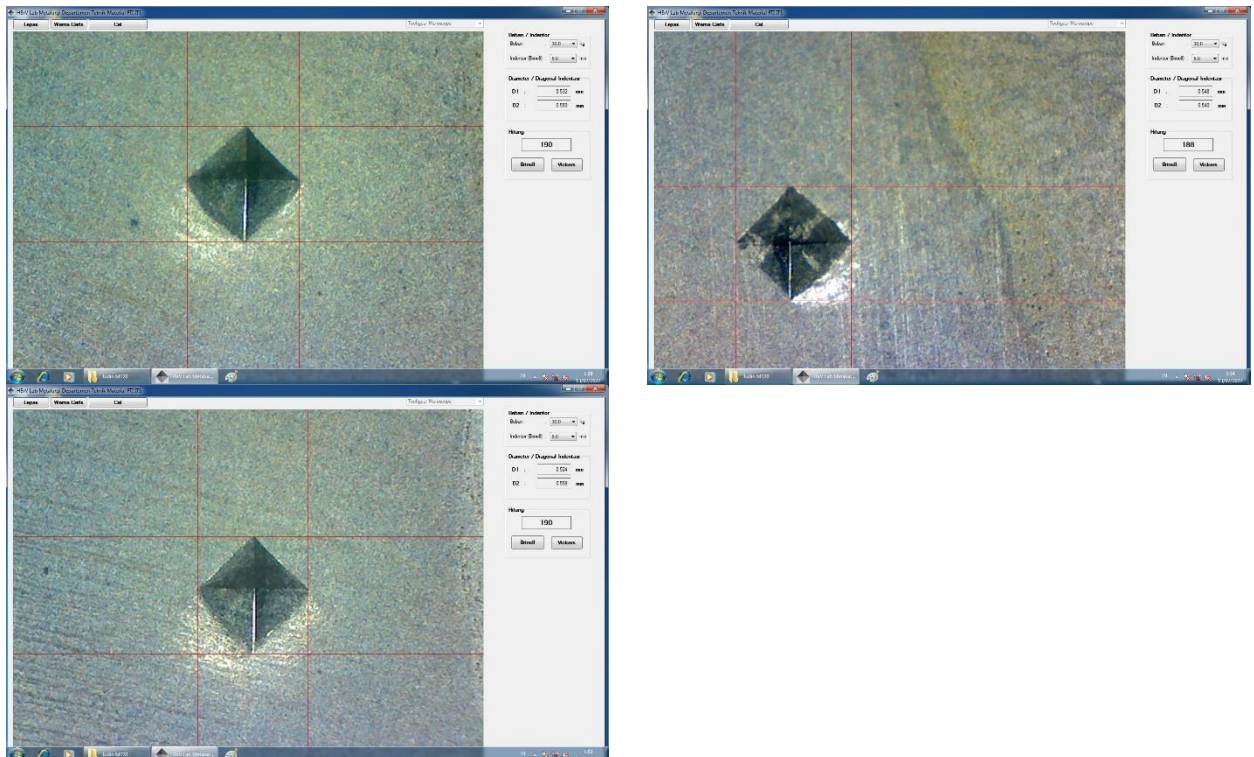




B11. Hasil Pengujian Hardness WM Spesimen 190B

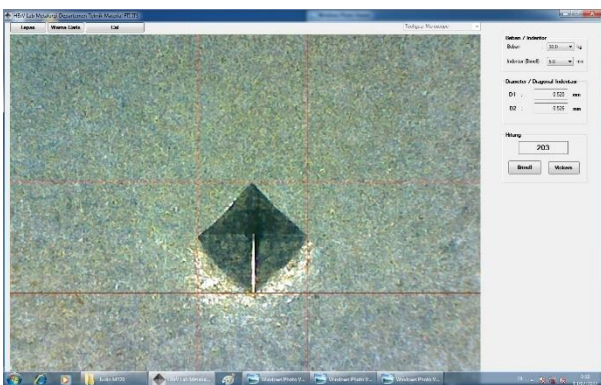
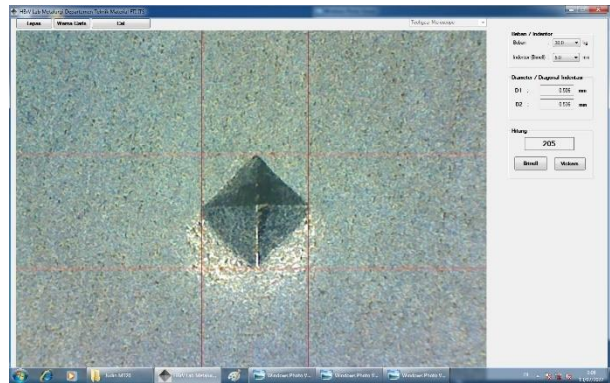
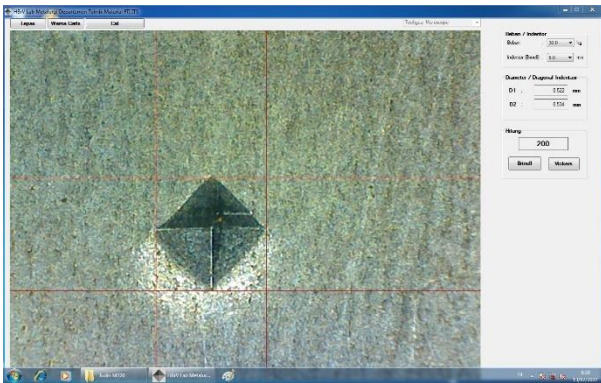


B12. Hasil Pengujian Hardness HAZ Spesimen 200A



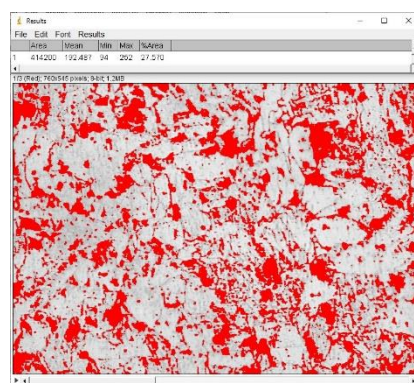
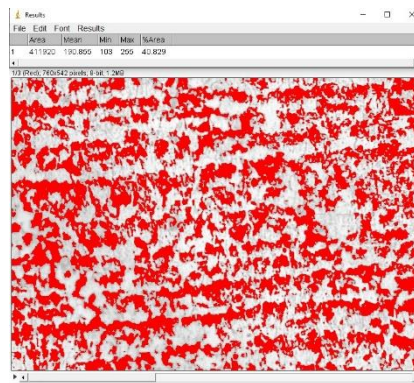
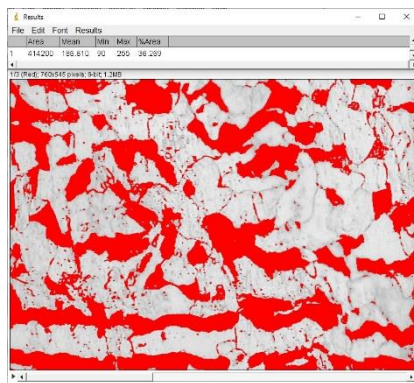


B13. Hasil Pengujian Hardness WM Spesimen 200A



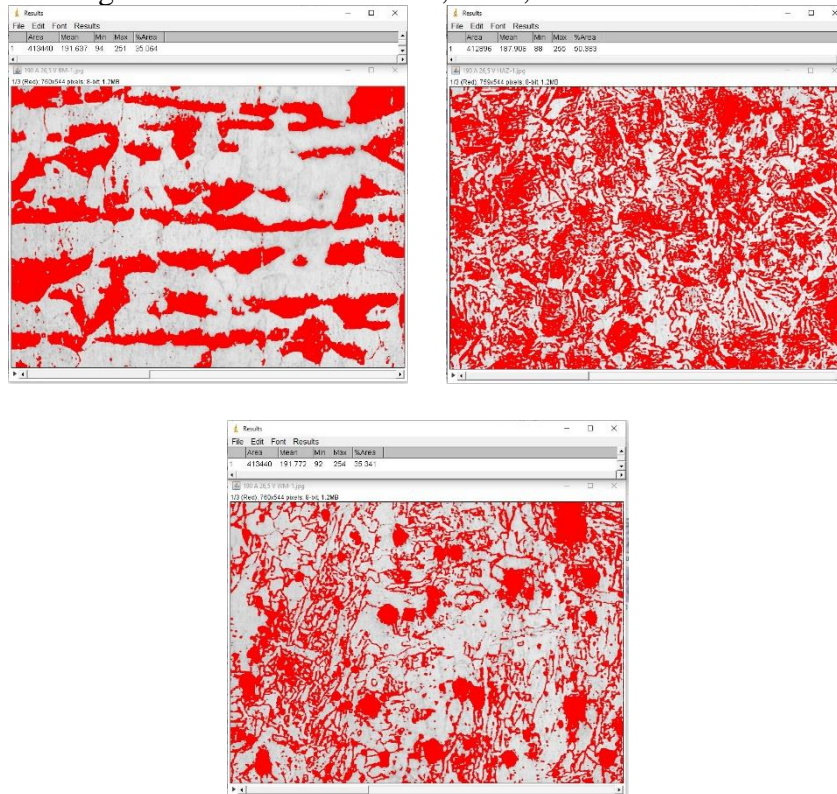
**C. Dokumen Hasil Perhitungan Persentase Software ImageJ**

C1. Hasil Perhitungan Persentase *Base Metal*, *HAZ*, dan *Weld Metal* variasi 170 A 26,5 V

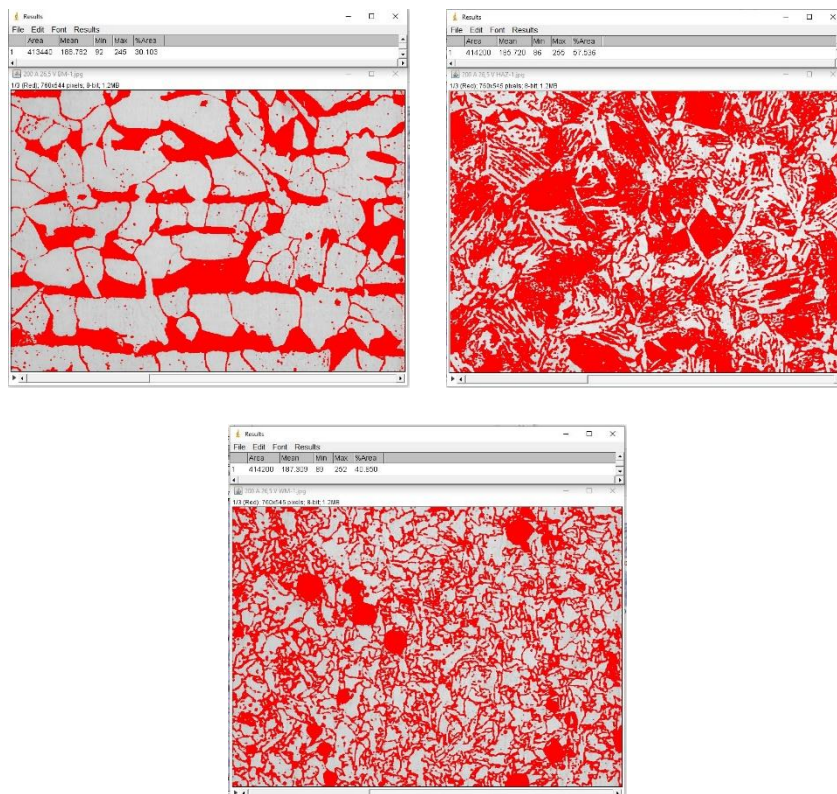




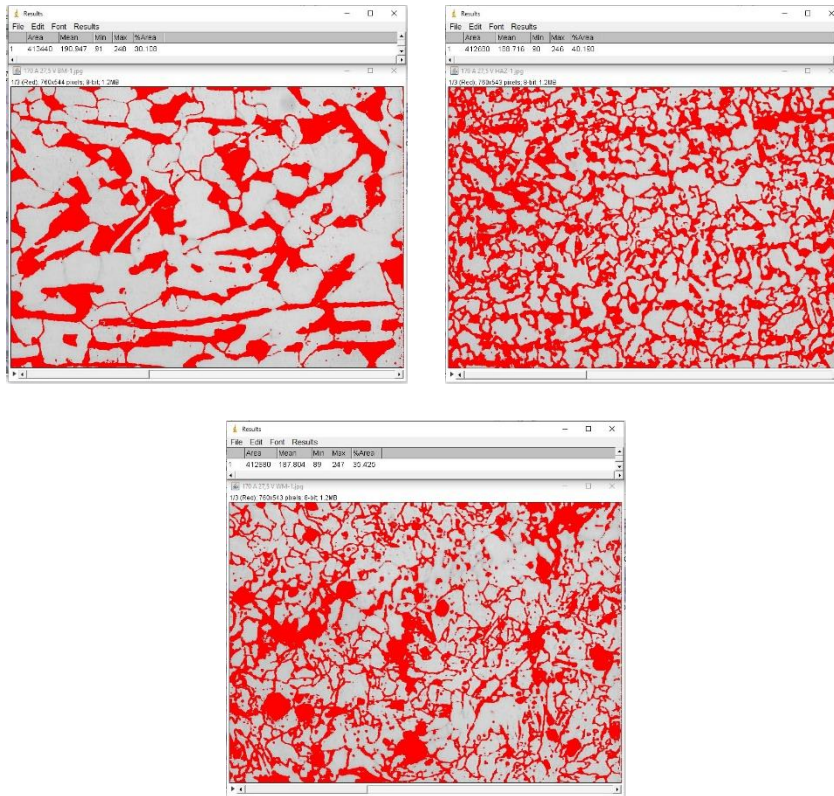
C2. Hasil Perhitungan Persentase *Base Metal*, HAZ, dan *Weld Metal* variasi 190 A 26,5 V



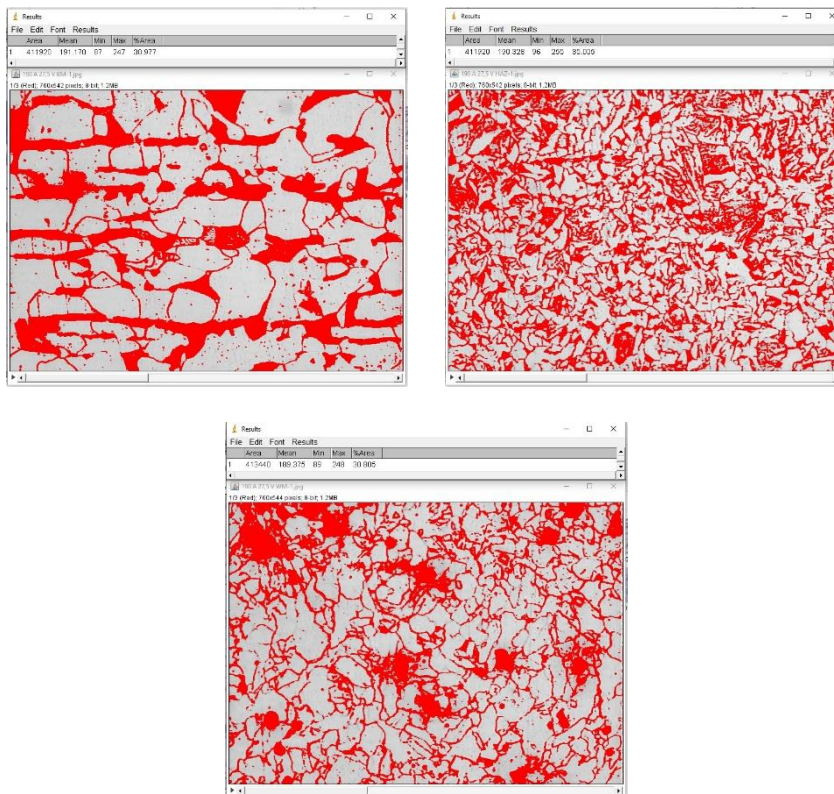
C3. Hasil Perhitungan Persentase *Base Metal*, HAZ, dan *Weld Metal* variasi 200 A 26,5 V



C4. Hasil Perhitungan Persentase *Base Metal*, HAZ, dan *Weld Metal* variasi 170 A 27,5 V

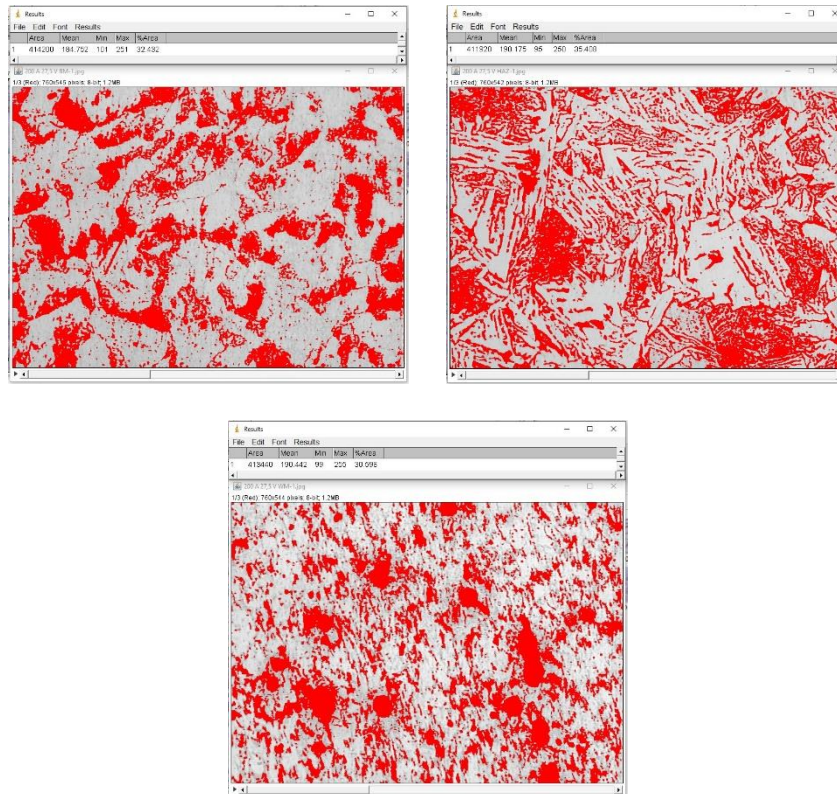


C5. Hasil Perhitungan Persentase *Base Metal*, HAZ, dan *Weld Metal* variasi 190 A 27,5 V





C6. Hasil Perhitungan Persentase *Base Metal*, *HAZ*, dan *Weld Metal* variasi 200 A 27,5 V



*(Halaman ini sengaja dikosongkan)*

## UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis menyadari tanpa adanya bantuan dan dukungan dari berbagai pihak, laporan Tugas Akhir ini tidak akan terselesaikan dengan baik. Oleh karena itu, penulis ingin mengucapkan terima kasih kepada pihak yang telah memberikan dukungan, bimbingan, dan kesempatan kepada penulis, di antaranya :

1. Abi, Umi, Adik-adik serta keluarga besar yang selalu memberi dukungan, doa, dan motivasi.
2. Bapak Ir. Rochman Rochiem, M.Sc. dan Bapak Budi Agung Kurniawan, ST., M.Sc selaku dosen pembimbing Tugas Akhir penulis yang selalu memberikan bimbingan selama masa pengerjaan Tugas Akhir hingga selesai.
3. Bapak Sigit Sugiarto dan Bapak Suparman dan seluruh pegawai PT. INKA (Persero).
4. Mas Diki Hadi, Mas Mahendra Wisnu, Mas Denies, Mas Pungky, dan seluruh pegawai PT. INKA Multi Solusi.
5. Bapak Sigit Tri Wicaksono, S.Si, M.Si, Ph.D, selaku Kepala Departemen Teknik Material dan Metalurgi FTIRS - ITS.
6. Ibu Dian Mughni Fellicia, S.T., M.Sc. selaku dosen wali penulis yang membimbing selama masa perkuliahan.
7. Bapak Sutarsis, S.T, M.Sc., selaku Kepala Laboratorium Metalurgi, tempat penulis melakukan pengerjaan Tugas Akhir.
8. Seluruh dosen, tenaga pendidik, dan karyawan Departemen Teknik Material dan Metalurgi FTIRS - ITS yang telah memberikan bantuan dan bimbingan kepada penulis.
9. Hanif Shabri Baktidillah, selaku *partner* yang membantu dan mendukung penulis selama mengerjakan Tugas Akhir di PT.INKA serta suka maupun duka masa perkuliahan.
10. Teman-teman Tekloss seperjuangan, Jeremy Oslan, Toga Jason, Rifki Arga, Fahrizal Fathi, Ario Bhismo, dan Sulthan Naufal A yang mengerjakan tugas akhir pengelasan.
11. Teman-teman MPC12, Alghi, Aziz, Bhismo, Christop, Didik, Gading, Karim, Naufal Akbar, Rachmat, Shafa dan Sulthan yang telah memberi warna masa perkuliahan.
12. Raihan, Dindra dan Intan yang menjadi teman bercerita sejak awal perkuliahan.
13. Classi Permata yang selalu perhatian, memberikan semangat, dan mendengarkan keluh kesah untuk sekarang dan kedepannya.
14. Rekan – rekan mahasiswa *Material Society* (MATRICE) Generasi 20 atau Angkatan 2018 yang menemani penulis selama masa kuliah.
15. Anggota Himpunan HMMT yang menjadi wadah adaptasi dan pengembangan.

*(Halaman ini sengaja dikosongkan)*

## BIODATA PENULIS



Penulis bernama Izzuddin Habiburrahman lahir di Purwakarta pada 20 Februari 2000. Anak pertama dari enam bersaudara. Pendidikan formal yang telah ditempuh SDIT Cordova (2006-2012), SMPIT Darul Qur'an (2012-2015), dan MAN 19 Jakarta. Dan sekarang tengah menyelesaikan studi sarjana di Departemen Teknik Material dan Metalurgi FT-IRS Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya. Selama kuliah penulis aktif berkegiatan dilingkup departemen maupun institut. Pada lingkup jurusan penulis menjadi bagian pengurus Himpunan Mahasiswa Teknik Material dan Metalurgi (HMMT) di Departemen Media dan Informasi. Dan juga menjadi penanggung jawab komisi aspirasi Senat Mahasiswa Teknik Material dan Metalurgi. Pada lingkup institut dua kali berkesempatan menjadi bagian dari panitia GERIGI ITS. Penulis melaksanakan Kerja Praktik di PT.PINDAD (Persero) pada Divisi Infrastruktur Pembangunan. Dan penulis melaksanakan Tugas Akhir di PT.INKA (Persero) pada Divisi Welding Preparation dan Inspection. Penulis dapat dikontak melalui email: [izzuddin.habiburrahman20@gmail.com](mailto:izzuddin.habiburrahman20@gmail.com) atau nomor telepon di +6281296511330

*(Halaman ini sengaja dikosongkan)*