

**TUGAS AKHIR – TL184834**

**ANALISIS PENGARUH VARIASI ARUS TERHADAP STRUKTUR MIKRO DAN SIFAT MEKANIK HASIL PENGELASAN *BUTT JOINT* PADA BAJA S355JR DAN S355J2 MENGGUNAKAN METODE GMAW**

**JEREMY OSLAND MARGANDA SINAGA**  
NRP. 0251184000021

Dosen Pembimbing  
**Ir. Rochman Rochiem, M.Sc.**  
NIP. 195809101986031002  
**Budi Agung Kurniawan, S.T., 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 TERHADAP STRUKTUR MIKRO DAN SIFAT MEKANIK HASIL PENGELASAN *BUTT JOINT* PADA BAJA S355JR DAN S355J2 MENGGUNAKAN METODE GMAW**

**JEREMY OSLAND MARGANDA SINAGA**  
**NRP. 0251184000021**

Dosen Pembimbing  
**Ir. Rochman Rochiem, M.Sc.**  
NIP. 195809101986031002  
**Budi Agung Kurniawan, S.T., 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 OF THE EFFECT OF CURRENT VARIATION ON  
THE MICROSTRUCTURE AND MECHANICAL PROPERTIES  
OF BUTT JOINT WELDING ON S355JR AND S355J2  
STEEL USING GMAW METHOD**

**JEREMY OSLAND MARGANDA SINAGA**  
NRP. 0251184000021

Advisor

**Ir. Rochman Rochiem, M.Sc.**

NIP. 195809101986031002

**Budi Agung Kurniawan, S.T., 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 TERHADAP STRUKTUR MIKRO DAN SIFAT MEKANIK HASIL PENGELOMAN BUTT JOINT PADA BAJA S355JR DAN S355J2 MENGGUNAKAN METODE GMAW

#### 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 : **JEREMY OSLAND MARGANDA SINAGA**  
NRP. 0251184000021


Disetujui oleh Tim Penguji Tugas Akhir :

1. Ir. Rochman Rochiem, M.Sc.
2. Budi Agung Kurniawan, S.T., M.Sc.
3. Ir. Moh Farid, DEA.
4. Mavindra Ramadhani, S.T., M.T.



  
Pembimbing

  
Ko-Pembimbing

  
Penguji

  
Penguji

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

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

## APPROVAL SHEET

### ANALYSIS OF THE EFFECT OF CURRENT VARIATION ON THE MICROSTRUCTURE AND MECHANICAL PROPERTIES OF BUTT JOINT WELDING ON S355JR AND S355J2 STEEL USING GMAW METHOD

#### FINAL PROJECT

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

By : **JEREMY OSLAND MARGANDA SINAGA**  
NRP. 0251184000021

Approved by Final Project Examiner Team :

1. Ir. Rochman Rochiem, M.Sc.
2. Budi Agung Kurniawan, S.T., M.Sc.
3. Ir. Moh Farid, DEA.
4. Mavindra Ramadhani, S.T., M.T.



*[Signature]*  
Advisor

*[Signature]*  
Co-Advisor

*[Signature]*  
Examiner

*[Signature]*  
Examiner

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

*(This page is intentionally blank)*

## PERNYATAAN ORISINALITAS

Yang bertanda tangan di bawah ini:

Name of student/NRP : Jeremy Osland Marganda Sinaga/0251184000021  
Departemen : Teknik Material and Metalurgi FTIRS  
Dosen Pembimbing/NIP : Ir.Rochman Rochiem, M.Sc./195809101986031002

Dengan ini menyatakan bahwa Tugas Akhir dengan judul "ANALISIS PENGARUH VARIASI ARUS TERHADAP STRUKTUR MIKRO DAN SIFAT MEKANIK HASIL PENGELASAN *BUTT JOINT* PADA BAJA S355JR DAN S355J2 MENGGUNAKAN METODE GMAW" 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.

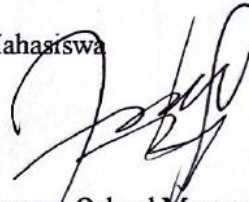
Surabaya, 22 Juli 2022

Mengetahui  
Dosen Pembimbing

Mahasiswa



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



(Jeremy Osland Marganda Sinaga)  
NRP. 0251184000021

*(Halaman ini sengaja dikosongkan)*



## STATEMENT OF ORIGINALITY

The undersigned below:

Name of student/NRP : Jeremy Osland Marganda Sinaga/0251184000021  
Departement : Materials and Metallurgical Engineering FTIRS  
Advisor/NIP : Ir.Rochman Rochiem, M.Sc./195809101986031002

Hereby declare that the Final Project with the title of "ANALYSIS OF THE EFFECT OF CURRENT VARIATION ON THE MICROSTRUCTURE AND MECHANICAL PROPERTIES OF BUTT JOINT WELDING ON S355JR AND S355J2 STEEL USING GMAW METHOD" 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.

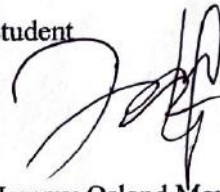
Surabaya, 22 July 2022

Acknowledged  
Advisor



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

Student



(Jeremy Osland Marganda Sinaga)  
NRP. 0251184000021

*(This page is intentionally blank)*

# ANALISIS PENGARUH VARIASI ARUS TERHADAP STRUKTUR MIKRO DAN SIFAT MEKANIK HASIL PENGELOASAN BUTT JOINT PADA BAJA S355JR DAN S355J2 MENGGUNAKAN METODE GMAW

Nama Mahasiswa / NRP : Jeremy Osland Marganda Sinaga / 0251184000021  
Departemen : Teknik Material dan Metalurgi FTIRS-ITS  
Dosen Pembimbing : Ir. Rochman Rochiem, M.Sc

## Abstrak

Transportasi merupakan salah satu unsur vital dalam kehidupan bangsa. Berkembangnya transportasi dapat memudahkan perpindahan barang maupun orang. Salah satu alat transportasi yang dapat memindahkan barang dalam skala besar adalah kereta api. Pengiriman melalui kereta api jauh lebih efisien karena keamanan terjaga, ketepatan waktu yang tinggi dan ramah lingkungan. Sebelum dapat digunakan kereta api harus melalui proses produksi terlebih dahulu. Salah satu proses penting dalam memproduksi kereta api adalah proses pengelasan. Metode pengelasan GMAW sering digunakan dalam memproduksi bagian kereta api dengan menggunakan baja karbon rendah. Penggunaan baja karbon rendah biasanya karena memiliki sifat *weldability* dan *machinability* yang baik. Baja S355JR dan S355J2 dapat digolongkan ke baja karbon rendah. Namun dalam pengerjaannya di lapangan masih perlu dilakukan suatu penelitian untuk dapat memperoleh parameter yang optimal saat pengelasan. Penelitian ini dilakukan dengan tujuan untuk mengetahui bagaimana pengaruh variasi arus terhadap struktur mikro dan sifat mekanik hasil pengelasan *butt joint* pada baja tersebut. Maka dari itu penelitian ini menggunakan variasi arus 200A, 220A, dan 240A dengan tegangan 28V dan kecepatan pengelasan 27-32 cm/minute dengan menggunakan metode GMAW. Hasil dari pengujian metalografi pada baja S355JR dan S355J2 menunjukkan fasa yang dominan menyusun daerah pengelasan adalah fasa *ferrite* dan *pearlite*. Fase *ferrite* cukup dominan untuk menyusun daerah *weld metal* dan *base metal* dari baja tersebut. Sedangkan pada daerah HAZ fasa *pearlite* yang terdeteksi mengalami peningkatan dibanding dengan *base metal*. Selanjutnya pada hasil pengujian kekerasan diperoleh nilai kekerasan vickers yang lebih tinggi pada daerah HAZ dan *weld metal* dibanding dengan *base metal* kedua baja tersebut. Nilai kekerasan pada kedua daerah tersebut mengalami peningkatan dari arus 200 A ke 220 A, tetapi mengalami penurunan pada arus 240 A. Nilai kekerasan tertinggi HAZ dan *weld metal* diperoleh dengan menggunakan variasi 220 A pada baja S355J2 sebesar 233,67 VHN dan 221,33 VHN. Kemudian dari hasil pengujian tarik menunjukan bahwa variasi arus akan meningkatkan nilai *Ultimate Tensile Strength* (UTS), *Yield Strength* (YS), dan *elongation* pada arus 220 A. Lalu, pada arus 240 A ketiga nilai tadi akan mengalami penurunan. Nilai UTS, YS, dan *elongation* terbesar yang diperoleh menggunakan variasi arus 220 A pada baja S355JR sebesar 528,64 MPa, 392,40 MPa, dan 37,14%. , maka dari itu penggunaan variasi arus 220 A dengan material S355JR dapat direkomendasikan untuk penggunaan kedepannya.

**Kata Kunci:** GMAW, S355JR, S355J2, Arus

*(Halaman ini sengaja dikosongkan)*

# **ANALYSIS OF THE EFFECT OF TEMPERATURE ON CHROMIUM CONTENT DISTRIBUTION AND CHROMIUM CARBIDE PRECIPITATION ON 316 STAINLESS STEEL WITH CONSTANT HEATING DURATION**

**Student Name / NRP : Jeremy Osland Marganda Sinaga**  
**Departement : Materials and Metallurgical Engineering**  
**Advisor : Ir. Rochman Rochiem, M.Sc**

## **Abstract**

Transportation is one of the vital elements in the life of the nation. The development of transportation can facilitate the movement of goods and people. One of the means of transportation that can move goods on a large scale is the railway. Delivery by train is much more efficient due to maintained safety, high punctuality and environmental friendliness. Before it can be used, the railway must first go through the production process. One of the important processes in producing railways is the welding process. The GMAW welding method is often used in producing railway parts using low carbon steel. The use of low carbon steel is usually because it has good weldability and machinability properties. S355JR and S355J2 steels can be classified into low carbon steels. However, in working on it in the field, it is still necessary to conduct a study to be able to obtain optimal parameters when welding. This study was conducted with the aim of determining how the influence of current variations on the microstructure and mechanical properties of butt joint welding results on the steel. Therefore, this study used current variations of 200A, 220A, and 240A with a voltage of 28V and a welding speed of 27-32 cm/minute using the GMAW method. The results of metallographic testing on S355JR and S355J2 steels showed that the dominant phases composing the welding area were ferrite and pearlite phases. The ferrite phase is dominant enough to compose the weld metal region and base metal of the steel. Meanwhile, in the HAZ area, the pearlite phase detected has increased compared to the base metal. Furthermore, in the hardness test results, a higher vickers hardness value was obtained in the HAZ and weld metal areas compared to the base metal of the two steels. The hardness values in both regions increased from a current of 200 A to 220 A, but decreased at a current of 240 A. Highest hardness values of HAZ and weld metal were obtained using a variation of 220 A in S355J2 steel of 233.67 VHN and 221.33 VHN. Then from the results of the tensile test, it shows that the variation in current will increase the value of Ultimate Tensile Strength (UTS), Yield Strength (YS), and elongation at current 220 A. Then, at current 240 A, these three values will decrease. The largest UTS, YS, and elongation values obtained using a current variation of 220 A in S355JR steel were 528.64 MPa, 392.40 MPa, and 37.14%, therefore, the use of a current variation of 220 A with S355JR material can be recommended for future use.

**Keywords:** *GMAW, S355JR Steel, S355J2 Steel, Current*

*(This page is intentionally blank)*

## KATA PENGANTAR

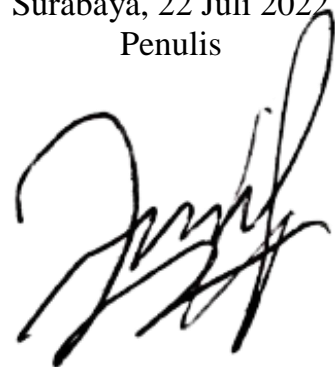
Puji syukur kehadirat Allah SWT, berkat rahmat dan karunia-Nya penulis dapat menyelesaikan tugas akhir dengan judul “**Analisis Pengaruh Variasi Arus Terhadap Struktur Mikro dan Sifat Mekanik Hasil Pengelasan *Butt Joint* pada Baja S355JR dan S355J2 menggunakan Metode GMAW**”. Penyusunan tugas akhir ini bertujuan untuk memenuhikata kuliah tugas akhir Departemen Teknik Material dan Metalurgi, FTIRS-ITS.

Tanpa bantuan serta dukungan dari berbagai pihak, penulis menyadari bahwa tugas akhir ini tidak dapat terselesaikan dengan baik. Oleh sebab itu, penulis mengucapkan terima kasih kepada berbagai pihak yang telah memberikan dukungan dalam penyusunan tugas akhir ini, diantaranya:

1. Bapak Ir. Rochman Rochiem, M.Sc. dan Budi Agung Kurniawan, S.T., M.Sc., selaku dosen pembimbing tugas akhir, yang telah membimbing dan memberikan banyak ilmu kepada penulis selama proses pengerjaan laporan tugas akhir serta selama proses penelitian berlangsung.
2. Bapak Sigit Tri Wicaksono, S.Si., M.Si., P.hD., selaku Kepala Departemen Teknik Material dan Metalurgi, FTIRS-ITS.
3. Bapak Lukman Noerochiem, S.T., M.Sc., Eng.PhD, selaku dosen wali penulis selama menempuh perkuliahan di Departemen Teknik Material dan Metalurgi FTIRS-ITS Surabaya
4. Bapak dan Ibu dosen Departemen Teknik Material dan Metalurgi, FTIRS-ITS yang telah memberikan ilmu selama masa perkuliahan di Departemen Teknik Material dan Metalurgi, FTIRS-ITS.

Penulis berharap penelitian tugas akhir ini dapat bermanfaat bagi seluruh pihak. Penulis juga menyadari masih banyak kekurangan dalam penulisan ini. Untuk itu, kritik dan saran yang membangun dari berbagai pihak sangat diharapkan.

Surabaya, 22 Juli 2022  
Penulis



Jeremy Osland Marganda Sinaga

*(This page is intentionally blank)*



## DAFTAR ISI

<b>HALAMAN JUDUL</b> .....	<b>i</b>
<b>TITLE PAGE</b> .....	<b>iii</b>
<b>LEMBAR PENGESAHAN</b> .....	<b>v</b>
<b>PERNYATAAN ORISINALITAS</b> .....	<b>ix</b>
<b>STATEMENT OF ORIGINALITY</b> .....	<b>xi</b>
<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.....	2
1.3 Batasan Masalah.....	2
1.4 Tujuan Penelitian.....	2
1.5 Manfaat Penelitian.....	2
<b>2 BAB II TINJAUAN PUSTAKA</b> .....	<b>3</b>
2.1 Pengelasan.....	3
2.1.1 Jenis Jenis Pengelasan.....	3
2.2 Pengelasan Baja Karbon Rendah.....	3
2.2.1 Baja S355JR.....	4
2.2.2 Baja S355J2.....	5
2.2.3 Pengaruh Unsur Paduan Terhadap Sifat Baja.....	6
2.3 <i>Gas Metal Arc Welding</i> .....	6
2.3.1 Parameter Pengelasan.....	7
2.4 Kawat Elektroda ER 70S-6.....	8
2.5 Siklus Termal.....	9
2.6 Diagram Fasa Fe-Fe <sub>3</sub> C.....	10
2.7 Cacat.....	11
2.7.1 Porositas.....	11
2.7.2 Pengujian Metalografi.....	12
2.7.3 <i>Incomplete Fusion</i> .....	12
2.7.4 <i>Cold Cracking</i> .....	12
2.7.5 <i>Hot Cracking</i> .....	12
2.8 Sifat Mekanik.....	13
2.9 Pengujian.....	13
2.9.1 <i>Ultrasonic Testing</i> .....	13
2.9.2 Pengujian Metalografi.....	14
2.9.3 Pengujian Tarik.....	14
2.9.4 Pengujian Kekerasan.....	15
2.10 Penelitian Terdahulu.....	16
<b>3 BAB III METODOLOGI PENELITIAN</b> .....	<b>21</b>
3.1 Diagram Alir.....	21
3.2 Metode Penelitian.....	22
3.3 Alat Penelitian.....	22
3.4 Bahan Penelitian.....	24

3.5	Parameter Pengelasan .....	25
3.6	Metode Penelitian .....	25
3.6.1	Prosedur Pengelasan .....	25
3.6.2	Proses Pemotongan Spesimen Uji.....	26
3.7	Pengujian.....	26
3.7.1	Pengujian Ultrasonik.....	26
3.7.2	Pengujian Tarik.....	27
3.7.3	Pengujian Kekerasan.....	28
3.7.4	Pengujian Metalografi.....	28
3.8	Rancangan Penelitian.....	28
3.9	Jadwal Penelitian.....	29
<b>4</b>	<b>BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN .....</b>	<b>31</b>
4.1	Hasil Pengujian Metalografi .....	31
4.1.1	Spesimen pengelasan baja S355JR dengan variasi arus 200 A .....	31
4.1.2	Spesimen pengelasan baja S355JR dengan variasi arus 220 A .....	32
4.1.3	Spesimen pengelasan baja S355JR dengan variasi arus 240 A .....	34
4.1.4	Spesimen pengelasan baja S355J2 dengan variasi arus 200 A .....	35
4.1.5	Spesimen pengelasan baja S355J2 dengan variasi arus 220 A .....	37
4.1.6	Spesimen pengelasan baja S355J2 dengan variasi arus 240 A .....	38
4.1.7	Perbandingan Presentase Fasa .....	40
4.1.8	Analisis Hasil Pengujian Metalografi .....	40
4.2	Hasil Pengujian Kekerasan .....	41
4.2.1	Analisis Hasil Pengujian Kekerasan .....	43
4.3	Hasil Pengujian Tarik.....	44
4.3.1	Hasil Pengujian Tarik Baja S355JR.....	45
4.3.2	Hasil Pengujian Tarik Baja S355J2 .....	48
4.3.3	Analisis Pengaruh Arus Terhadap Hasil Pengujian Tarik .....	52
4.4	Analisis Hubungan Pengaruh Variasi Arus Terhadap Hasil Pengujian Metalografi, Pengujian Kekerasan dan Pengujian Tarik .....	52
<b>5</b>	<b>BAB V KESIMPULAN DAN SARAN .....</b>	<b>55</b>
5.1	Kesimpulan .....	55
5.2	Saran.....	55
	<b>DAFTAR PUSTAKA.....</b>	<b>57</b>
	<b>LAMPIRAN.....</b>	<b>61</b>
	<b>BIODATA PENULIS.....</b>	<b>105</b>

## DAFTAR GAMBAR

<b>Gambar 2. 1</b> Sturuktur mikro baja S355JR.....	4
<b>Gambar 2. 2</b> Struktur mikro baja S355J2.....	5
<b>Gambar 2.3</b> Skema GMAW.....	6
<b>Gambar 2.4</b> Cacat porositas dalam X-Ray.....	11
<b>Gambar 2.5</b> Cacat <i>slag inclusion</i> .....	12
<b>Gambar 2.6</b> Cacat incomplete fusion.....	12
<b>Gambar 2.7</b> <i>Hot crack</i> dalam sambungan yang sempit dan dalam.....	12
<b>Gambar 2.8</b> Kurva tegangan regangan.....	15
<b>Gambar 2.9</b> Indentor pada pengujian Vickers.....	15
<b>Gambar 3.1</b> Diagram alir penelitian.....	21
<b>Gambar 3.2</b> Mesin GMAW (dokumentasi pribadi, 2022).....	22
<b>Gambar 3.3</b> Alat uji tarik (dokumentasi pribadi, 2022).....	22
<b>Gambar 3.4</b> Alat uji kekerasan (dokumentasi pribadi, 2022).....	23
<b>Gambar 3.5</b> Alat uji ultrasonik.....	23
<b>Gambar 3.6</b> Mikroskop optik.....	23
<b>Gambar 3.7</b> Gergaji besi.....	23
<b>Gambar 3.8</b> <i>Test piece</i> pengelasan baja S355JR dan S355J2 (mm).....	24
<b>Gambar 3.9</b> Plat baja S355JR dan S355J2.....	24
<b>Gambar 3.10</b> Elektroda ER 70S-6.....	25
<b>Gambar 3.11</b> Rancangan pemotongan spesimen uji.....	26
<b>Gambar 3.12</b> Skema uji ultrasonik.....	27
<b>Gambar 3.13</b> Spesimen uji tarik.....	27
<b>Gambar 3.14</b> Titik indentasi pengujian vickers.....	28
<b>Gambar 4.1</b> Metalografi <i>base metal</i> spesimen JR 200 dengan perbesaran 500x.....	31
<b>Gambar 4.2</b> Metalografi <i>heat affected zone</i> spesimen JR 200 dengan perbesaran 500x.....	31
<b>Gambar 4.3</b> Metalografi <i>weld metal</i> spesimen JR 200 dengan perbesaran 500x.....	32
<b>Gambar 4.4</b> Metalografi <i>base metal</i> spesimen JR 220 dengan perbesaran 500x.....	32
<b>Gambar 4.5</b> Metalografi <i>heat affected zone</i> spesimen JR 220 dengan perbesaran 500x.....	33
<b>Gambar 4.6</b> Metalografi <i>weld metal</i> spesimen JR 220 dengan perbesaran 500x.....	33
<b>Gambar 4.7</b> Metalografi <i>base metal</i> spesimen JR 240 dengan perbesaran 500x.....	34
<b>Gambar 4.8</b> Metalografi <i>heat affected zone</i> spesimen JR 240 dengan perbesaran 500x.....	34
<b>Gambar 4.9</b> Metalografi <i>weld metal</i> spesimen JR 240 dengan perbesaran 500x.....	35
<b>Gambar 4.10</b> Metalografi <i>base metal</i> spesimen J2 200 dengan perbesaran 500x.....	35
<b>Gambar 4.11</b> Metalografi <i>heat affected zone</i> spesimen J2 200 dengan perbesaran 500x.....	36
<b>Gambar 4.12</b> Metalografi <i>weld metal</i> spesimen J2 200 dengan perbesaran 500x.....	36
<b>Gambar 4.13</b> Metalografi <i>base metal</i> spesimen J2 220 dengan perbesaran 500x.....	37
<b>Gambar 4.14</b> Metalografi <i>heat affected zone</i> spesimen J2 220 dengan perbesaran 500x.....	37
<b>Gambar 4.15</b> Metalografi <i>weld metal</i> spesimen J2 220 dengan perbesaran 500x.....	38
<b>Gambar 4.16</b> Metalografi <i>base metal</i> spesimen J2 240 dengan perbesaran 500x.....	38
<b>Gambar 4.17</b> Metalografi <i>heat affected zone</i> spesimen J2 240 dengan perbesaran 500x.....	39
<b>Gambar 4.18</b> Metalografi <i>weld metal</i> spesimen J2 240 dengan perbesaran 500x.....	39
<b>Gambar 4.19</b> Grafik perbandingan rata-rata hasil pengujian kekerasan baja S355JR.....	42
<b>Gambar 4.20</b> Grafik perbandingan rata-rata hasil pengujian kekerasan baja S355J2.....	43
<b>Gambar 4.21</b> Grafik perbandingan rata-rata <i>Ultimate Tensile Strength</i> spesimen pengelasan baja S355JR.....	46
<b>Gambar 4.22</b> Grafik perbandingan rata-rata <i>yield strength</i> spesimen pengelasan baja S355JR.....	47

<b>Gambar 4.23</b>	Grafik perbandingan rata-rata <i>elongation</i> spesimen pengelasan baja S355JR .....	48
<b>Gambar 4.24</b>	Grafik perbandingan rata-rata <i>Ultimate Tensile Strength</i> spesimen pengelasan baja S355J2 .....	49
<b>Gambar 4.25</b>	Grafik perbandingan rata-rata <i>yield strength</i> spesimen pengelasan baja S355J2.....	50
<b>Gambar 4.26</b>	Grafik perbandingan rata-rata <i>elongation</i> spesimen pengelasan baja S355J2.....	51

## DAFTAR TABEL

<b>Tabel 2.1</b> Komposisi kimia baja S355JR (Major et al., 2019).....	4
<b>Tabel 2.2</b> Sifat mekanik baja S355JR (Major et al., 2019).....	5
<b>Tabel 2.3</b> Komposisi kimia baja S355J2(Major et al., 2019) .....	5
<b>Tabel 2.4</b> Sifat mekanik baja S355J2(Major et al., 2019) .....	5
<b>Tabel 2.5</b> Komposisi kimia kawat elektroda ER 70S-6(Society, 2005) .....	9
<b>Tabel 2.6</b> Sifat mekanik kawat elektroda ER 70S-6(Society, 2005) .....	9
<b>Tabel 2.7</b> Rangkuman Penelitian Terdahulu.....	16
<b>Tabel 3.1</b> Parameter Pengelasan .....	25
<b>Tabel 3.2</b> Rancangan Penelitian.....	28
<b>Tabel 3.3</b> Rancangan Lokasi Pengujian.....	28
<b>Tabel 3.4</b> Rancangan Kode Spesimen .....	29
<b>Tabel 3.5</b> Jadwal Penelitian .....	29
<b>Tabel 4.1</b> Perbandingan Persentase Fasa Pada Spesimen Pengelasan Baja S355JR .....	40
<b>Tabel 4.2</b> Perbandingan Persentase Fasa Pada Spesimen Pengelasan Baja S355J2.....	40
<b>Tabel 4.3</b> Rata-Rata Hasil Pengujian Kekerasan (VHN).....	41
<b>Tabel 4.4</b> Perbandingan Rata-Rata Hasil Pengujian Kekerasan Material S355JR .....	42
<b>Tabel 4.5</b> Perbandingan Rata-Rata Hasil Pengujian Kekerasan Material S355J2.....	42
<b>Tabel 4.6</b> Hasil Pengujian Tarik Pada Spesimen Pengelasan Baja S355JR .....	45
<b>Tabel 4.7</b> Perbandingan Rata-Rata UTS Pada Spesimen Pengelasan Baja S355JR.....	45
<b>Tabel 4.8</b> Perbandingan Rata-Rata <i>Yield Strength</i> Pada Spesimen Pengelasan Baja S355JR.....	46
<b>Tabel 4.9</b> Perbandingan Rata-Rata <i>Elongation</i> Pada Spesimen Pengelasan Baja S355JR.....	47
<b>Tabel 4.10</b> Hasil Pengujian Tarik Pada Spesimen Pengelasan Baja S355J2.....	48
<b>Tabel 4.11</b> Perbandingan Rata-Rata UTS Pada Spesimen Pengelasan Baja S355J2 .....	49
<b>Tabel 4.12</b> Perbandingan Rata-Rata <i>Yield Strength</i> Pada Spesimen Pengelasan Baja S355J2 .....	50
<b>Tabel 4.13</b> Perbandingan Rata-Rata <i>Elongation</i> Pada Spesimen Pengelasan Baja S355J2 .....	51

*(Halaman ini sengaja dikosongkan)*

## BAB I PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Melalui siaran pers pada Raker DPR tanggal 17 Februari 2022, ditetapkan rencana *domestic market obligation* komoditi batubara sebesar 166 juta ton pada tahun 2022 oleh Kementerian ESDM. Selanjutnya Menteri ESDM, Arifin Tasrif, memproyeksikan kebutuhan batubara domestik akan terus meningkat dalam kurun waktu 5 tahun mendatang. Untuk mendukung peningkatan kebutuhan komoditi batu bara tersebut, dibutuhkan suatu mode transportasi yang dapat memudahkan distribusi batubara dari produsen ke konsumen. Kereta api adalah salah satu mode transportasi vital yang digunakan di Indonesia, baik untuk memindahkan orang maupun material. Salah satu material yang biasa diangkut menggunakan kereta api adalah batubara. Dari segi waktu, pengangkutan batubara dengan kereta api jauh lebih pasti dalam ketepatan waktu, cepat sampai tujuan, bebas macet, aman dan efisien dalam biaya serta merupakan transportasi massal yang ramah lingkungan.

Sebelum digunakan perlu dilakukan proses pembuatan kereta api agar kereta yang digunakan dapat berfungsi sesuai kebutuhan. Pengelasan memiliki peran yang penting dalam menghasilkan rangkaian kereta yang berkualitas, sesuai kompetensi, dan layak digunakan. Menurut DIN, las adalah ikatan metalurgi pada sambungan logam paduan yang dilakukan dalam keadaan lumer atau cair, dapat juga diartikan sebagai satu cara untuk menyambung dua atau lebih bagian logam secara permanen dengan menggunakan tenaga panas. Metode ini biasanya dipengaruhi oleh jenis material, dimensi material yang akan dilas, dan hasil akhir yang diinginkan, salah satunya adalah metode *Gas Metal Arc Welding* (GMAW). GMAW adalah proses pengelasan dimana panas yang dihasilkan oleh busur listrik yang menggabungkan elektroda konsumsi terus menerus yang dilindungi oleh gas pelindung yang dipasok secara eksternal. GMAW merupakan satu-satunya proses pengelasan elektroda habis pakai yang dapat digunakan untuk mengelas semua logam dan paduan komersial.

Baja karbon rendah adalah baja karbon yang mengandung sekitar kurang dari 0,25 wt% C didalamnya. Baja ini relatif lunak dan lemah tetapi memiliki keuletan dan ketangguhan yang luar biasa; selain itu, mereka memiliki *machinability*, *weldability*, dan dari semua baja, adalah yang paling murah untuk diproduksi (Callister & Rethwisch, 2014). Salah satu baja komersial yang tergolong dalam baja karbon rendah adalah baja S355JR dan S355J2. Baja ini memiliki kandungan karbon kurang dari 0.25 wt%. Baja karbon rendah digunakan dalam pembuatan kereta api karena memiliki sifat mampu las yang baik dan relatif mudah pembentukannya, terutama untuk membuat komponen gerbong kereta (Tohari & Yunus, 2021).

Dalam produksi kereta ini masih ditemukan kegagalan dalam menghasilkan suatu produk. Kegagalan yang biasa terjadi berhubungan dengan cacat pada pengelasan. Cacat ini umumnya bisa diakibatkan oleh kesalahan perancangan yang mencakup pemilihan material dan penentuan desain dan kesalahan pada proses produksi yang bisa diakibatkan oleh tidak optimalnya penggunaan prosedur yang ada. Kegagalan yang biasa terjadi pada pengelasan adalah porositas, *crack*, dan lain lain. Pada proses pengelasan perlu adanya prosedur pelaksanaan dan pemilihan parameter pengelasan yang baik, hal tersebut sangat berpengaruh terhadap kualitas hasil pengelasan (Ridwan et al., 2021). Salah satu parameter yang berpengaruh terhadap kualitas hasil lasan adalah kuat arus yang digunakan. Ketika kuat arus yang digunakan terlalu kecil, busur jadi tidak stabil, efek panas tidak cukup untuk melelehkan elektroda dan logam dasar sehingga terdapat sambungan yang lemah, tidak rata, dan penetrasi yang buruk (Irzal et al., 2018). Jika arus yang digunakan terlalu tinggi, maka elektroda meleleh dengan cepat dan hasil permukaan las yang lebar dan penetrasi yang dalam, hal ini dapat

---

meningkatkan kerapuhan material dan menghasilkan kekuatan tarik yang rendah (Hanafi et al., 2021).

Pengoptimalan parameter pengelasan yang menghasilkan sifat mekanik dan struktur mikro yang paling optimal dan yang tidak menghasilkan cacat sangat dibutuhkan untuk menghasilkan hasil lasan yang baik. Maka dari itu dibutuhkan analisis lebih lanjut mengenai pengaruh variasi arus terhadap struktur mikro dan sifat mekanik hasil pengelasan dengan proses GMAW pada material S355JR dan S355J2 agar dapat mengetahui arus yang paling optimal saat proses produksi bagian kereta.

## 1.2 Perumusan Masalah

Perumusan masalah dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Bagaimana pengaruh variasi arus pengelasan *Butt Joint* terhadap struktur mikro pada pengelasan baja S355JR dan S355J2 menggunakan metode GMAW?
2. Bagaimana pengaruh variasi arus pengelasan *Butt Joint* terhadap sifat mekanik pada pengelasan baja S355JR dan S355J2 menggunakan metode GMAW?

## 1.3 Batasan Masalah

Batasan Masalah dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Material yang digunakan adalah Baja S355JR dan S355J2 yang homogen dan bebas cacat.
2. Pengelasan dilakukan pada baja yang berjenis sama (*similar welding*).
3. Pengaruh lingkungan pada proses pengelasan diabaikan.
4. Alat pembuatan dan pengujian spesimen diasumsikan telah terkalibrasi.
5. Juru las telah tersertifikasi keahliannya sesuai standar yang berlaku.

## 1.4 Tujuan Penelitian

Tujuan dilakukan penelitian ini adalah :

1. Menganalisis pengaruh variasi arus pengelasan *Butt Joint* terhadap struktur mikro pada Baja S355 JR dan S355J2 dengan menggunakan metode GMAW.
2. Menganalisis pengaruh variasi arus pengelasan *Butt Joint* terhadap sifat mekanik pada Baja S355 JR dan S355J2 dengan menggunakan metode GMAW.

## 1.5 Manfaat Penelitian

Manfaat yang bisa diperoleh dari penelitian ini adalah dapat menjadi sarana pembelajaran dan pengembangan ilmu pengetahuan mengenai teknologi pengelasan terutama mengenai pengaruh yang ditimbulkan akibat pengelasan GMAW bagi mahasiswa Teknik Material dan Metalurgi ITS. Harapannya hasil penelitian ini dapat menjadi data tambahan untuk mengembangkan produksi yang menggunakan metode pengelasan GMAW terhadap baja S355JR dan S355J2 terutama dari sisi sifat mekanik dan struktur mikro hasil lasan.



## BAB II TINJAUAN PUSTAKA

### 2.1 Pengelasan

Menurut Messler, pengelasan adalah proses dimana material dari jenis atau kelas dasar yang sama disatukan dan bergabung melalui pembentukan ikatan kimia primer atau sekunder dengan kombinasi gabungan panas dan tekanan (Messler, 2004). Proses penyambungan yang menghasilkan penggabungan material dengan memanaskannya sampai suhu pengelasan, dengan atau tanpa penerapan tekanan dan dengan atau tanpa penggunaan logam pengisi disebut juga pengelasan (American Welding Society, 2020). Jadi, pengelasan adalah penyambungan setempat dari material dengan jenis atau kelas dasar yang sama dengan menggunakan energi panas, dengan atau tanpa tekanan dan dengan atau tanpa menggunakan kawat las melalui pembentukan ikatan kimia primer atau sekunder.

Lasan dapat diproduksi dalam berbagai spektrum kombinasi panas dan tekanan: dari dasarnya tidak ada tekanan ketika panas cukup untuk menyebabkan pelelehan, ke tempat-tempat di mana tekanan cukup besar untuk menyebabkan deformasi plastik kotor ketika tidak ada panas yang ditambahkan dan lasan dibuat dingin. Pengelasan adalah proses penyambungan yang sangat serbaguna dan fleksibel, banyak bahan berbeda yang dapat digabungkan ke dalam banyak struktur berbeda untuk mendapatkan banyak sifat berbeda untuk berbagai tujuan. (Messler, 2004)

#### 2.1.1 Jenis Jenis Pengelasan

Pengelasan dapat dibagi menjadi beberapa jenis. Pembagian ini bisa digolongkan dari variasi atau kombinasi energi untuk menyediakan kebutuhan energi atau daya. Berdasarkan hal tersebut pengelasan dapat dibagi menjadi 2, yaitu *solid-state welding* dan *fusion welding*.

*Solid-state welding* dapat dicapai dengan menggabungkan atom dari material melalui deformasi plastis karena pemberian tekanan pada temperatur di bawah titik leleh dari material induk dan tanpa penambahan *filler metal* apapun yang meleleh. (Messler et al., n.d.)

Dalam *Fusion welding* bagian yang akan dilas akan dipanaskan sampai diatas titik leleh untuk bahan murni atau di atas likuidus untuk paduan. Terkadang, *filler metal* harus juga dilelehkan dan ditambahkan untuk dapat mengisi celah yang akan dilas. *Fusion welding* mencakup semua proses-proses di mana peleburan atau penggabungan bagian-bagian substrat, dengan atau tanpa *filler*, memainkan peran utama dalam pembentukan ikatan untuk menghasilkan las. (Messler et al., n.d.)

### 2.2 Pengelasan Baja Karbon Rendah

Salah satu baja yang diproduksi dalam jumlah terbesar adalah klasifikasi baja karbon rendah. Umumnya komposisi karbon yang ada kurang dari sekitar 0,25 wt% C. Struktur mikro pada baja ini terdiri dari konstituen ferit dan perlit. Akibatnya, paduan ini relatif lunak dan lemah tetapi memiliki keuletan dan ketangguhan yang luar biasa; selain itu, mereka memiliki *machinability*, *weldability*, dan dari semua baja, adalah yang paling murah untuk diproduksi. Baja karbon rendah biasanya digunakan untuk komponen bodi mobil, bentuk struktural dan lembaran yang digunakan dalam pipa, bangunan, jembatan, dan kaleng (Callister & Rethwisch, 2014).

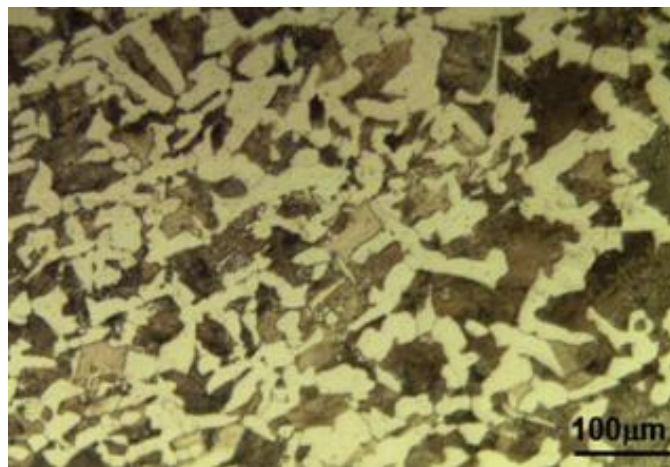
Salah satu contoh dari baja karbon rendah adalah baja S355JR dan S355J2. Baja S355JR dan S355J2 tergolong pada standar EN 10025. Simbol "S" dari baja berarti bahwa baja ini adalah baja struktural (Major et al., 2019). Sedangkan untuk 355 berarti menandakan nilai *yield strength* minimum adalah 355 MPa. Lalu untuk JR dan J2 menandakan kondisi pengujian kekuatan impak, dimana J2 berarti pengujian impak akan dilakukan pada

temperatur  $-20^{\circ}\text{C}$  dan JR berarti pengujian impak dilakukan pada temperatur ruangan. (British standard Institution, 2019)

Berikut akan dijelaskan lebih lanjut mengenai baja S355JR dan S355J2 yang akan digunakan dalam penelitian ini.

### 2.2.1 Baja S355JR

Baja karbon rendah seperti baja S355JR biasanya digunakan untuk melakukan berbagai jenis konstruksi dan elemen teknik lainnya (Dzioba et al., 2018). Baja S355JR ini banyak digunakan di struktur pengelasan dan *heat sealed structure* seperti tank, pipa bertekanan dan komponen struktural umumnya. (Dzioba & Lipiec, 2016) Struktur mikro baja ini terdiri dari ferit dan perlit yang dapat dilihat pada Gambar 2.1 (Chen et al., 2019). Komposisi kimia baja dan sifat mekanik S355J2 dapat dilihat pada Tabel 2.1 dan Tabel 2.2.



**Gambar 2.1** Struktur mikro baja S355JR (Dzioba & Lipiec, 2016)

**Tabel 2.1** Komposisi kimia baja S355JR (Major et al., 2019)

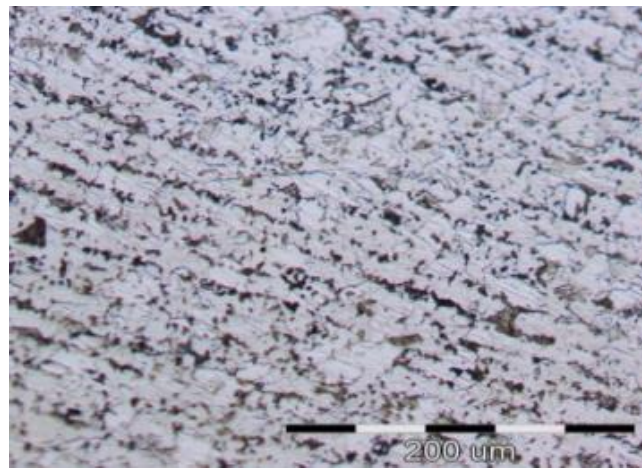
Element	Komposisi (%)
Karbon (C)	0.24
Silikon (Si)	0.55
Mangan (Mn)	1.6
Fosforus (P)	0.035
Belerang (S)	0.035
Nitrogen (N)	0.012
Tembaga (Cu)	0.55
Besi (Fe)	96.978

**Tabel 2.2** Sifat mekanik baja S355JR (Major et al., 2019)

<i>Ultimate Tensile Strength</i>	<i>Yield Strength</i>	<i>Elongation</i>
470 – 630 MPa	355 MPa	20%

### 2.2.2 Baja S355J2

Baja S355J2 dikategorikan sebagai baja karbon rendah terutama Baja Paduan Rendah Kekuatan Tinggi. Baja ini terutama digunakan untuk menghasilkan elemen las tujuan umum. Bahan ini digunakan untuk bagian dari: mesin di industri bangunan, komponen konstruksi, gerbong, pipa berdiameter besar, struktural, dll. Baja S355J2 memiliki sifat pengelasan yang baik, yang berkontribusi pada berbagai kegunaan teknisnya (Aguilar-Vega, 2013). Struktur mikro baja ini terdiri dari daerah terang yaitu ferit dan daerah yang gelap yaitu perlit seperti yang dapat dilihat pada Gambar 2.2 (Gigović-gekić et al., 2016). Komposisi kimia baja S355J2 dapat dilihat pada Tabel 2.3 dan Tabel 2.4.



**Gambar 2.2** Struktur mikro baja S355J2 (Gigović-gekić et al., 2016)

**Tabel 2.3** Komposisi kimia baja S355J2 (Major et al., 2019)

<b>Element</b>	<b>Komposisi (%)</b>
<b>Karbon (C)</b>	<b>0.2</b>
<b>Silikon (Si)</b>	<b>0.55</b>
<b>Mangan (Mn)</b>	<b>1.6</b>
<b>Fosforus (P)</b>	<b>0.025</b>
<b>Belerang (S)</b>	<b>0.025</b>
<b>Tembaga (Cu)</b>	<b>0.55</b>
<b>Besi (Fe)</b>	<b>Balance</b>

**Tabel 2.4** Sifat mekanik baja S355J2 (Major et al., 2019)

<i>Ultimate Tensile Strength</i>	<i>Yield Strength</i>	<i>Elongation</i>
470 – 630 MPa	355 MPa	20%

### 2.2.3 Pengaruh Unsur Paduan Terhadap Sifat Baja

#### 1. Mangan (Mn)

Mangan berkontribusi nyata terhadap kekuatan dan kekerasan tetapi pada tingkat yang lebih rendah dari karbon dan paling efektif dalam baja karbon tinggi. Elemen ini adalah bekas karbida yang lemah dan memiliki efek sedang pada pengerasan (Avner, 1973). Baja karbon dapat mengandung unsur Mn sampai dengan 0,8%, yang sengaja ditambahkan ke dalam cairan untuk tujuan deoksidasi dan khususnya sebagai pengikat unsur belerang (S). Pada temperatur kamar, besi  $\alpha$  mampu melarutkan unsur Mn sampai dengan 10%, dengan demikian kandungan Mn yang kecil tidak akan memunculkan fasa-fasa yang khusus pada struktur mikro baja karbon, kecuali mangan sulfida (MnS). Baja dengan kandungan Mn lebih tinggi akan sangat sensitif terhadap perlakuan pemanasan serta cenderung memiliki butiran-butiran yang kasar. (Binudi & Adjiantoro, 2018)

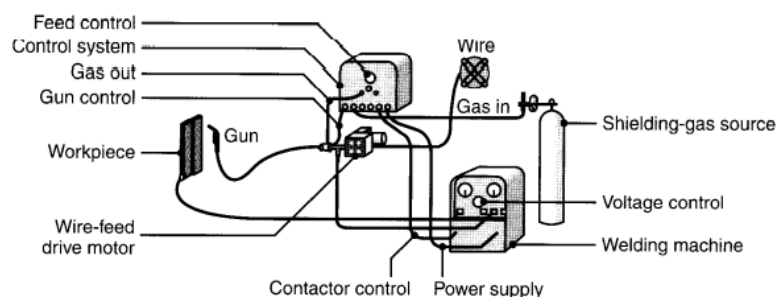
#### 2. Silikon (Si)

Silikon (Si), berfungsi sebagai deoksidator yang ditambahkan selama pembuatan baja untuk menaikkan ketangguhan dan kekerasannya, akan tetapi pengaruhnya tidak besar. Jika kandungan karbon agak tinggi maka silikon akan mempermudah kecenderungan untuk retak. Agar didapat hasil penyelesaian yang baik, kandungan silikon jangan melebihi 0,1% meskipun sampai sejumlah 0,3% tidak berakibat serius seperti pada fosfor dan sulfur (Widodo, 2009). Kombinasi mangan dan silikon yang seimbang menghasilkan baja dengan kekuatan luar biasa tinggi dan dengan keuletan dan ketangguhan yang baik. (Avner, 1973)

### 2.3 Gas Metal Arc Welding

*Gas Metal Arc Welding* (GMAW) adalah proses las busur di mana elektroda adalah kawat logam kosong yang dapat dikonsumsi, dan pelindungnya dilakukan dengan mengaliri busur dengan gas. Elektroda tersebut diumpankan terus menerus dan otomatis dari *spool* melalui pistol las. Ukuran elektroda yang digunakan bergantung pada ketebalan dari bagian bagian yang akan digabungkan dan laju pengendapan yang diinginkan (Groover, 2010). Metode ini dikembangkan pada sekitar tahun 1950 dan sebelumnya disebut pengelasan *Metal Inert Gas* (MIG), area lasan terlindung oleh atmosfer inert yang efektif dari argon, helium, karbon dioksida, atau berbagai campuran gas lainnya (Kalpakjian & Schmid, 2009).

Elektroda habis pakai diumpankan secara otomatis melalui *nozzle* ke busur Las oleh motor penggerak umpan kawat seperti yang dijelaskan oleh Gambar 2.3. Selain menggunakan gas pelindung inert, *deoxidizers* biasanya hadir dalam logam elektroda itu sendiri untuk mencegah oksidasi genangan las-leburan (Kalpakjian & Schmid, 2009).



**Gambar 2.3** Skema GMAW (Kalpakjian & Schmid, 2009)

Gas inert yang umumnya gas berbasis argon (pengelasan MIG) sedangkan gas aktif yang umumnya gas berbasis  $\text{CO}_2$  (pengelasan MAG) digunakan sebagai plasma untuk pencetus busur listrik dan sebagai gas pelindung untuk logam pada temperatur tinggi untuk

menghindari kontaminasi dengan oksigen dan nitrogen. Generator pengelasan mensuplai energi listrik yang dibutuhkan untuk mencairkan logam dan pencetus busur dan menjaga kesinambungan aliran kawat dan benda kerja yang dilas. (Azwinur et al., 2020)

Metode ini cukup serba guna, cepat, ekonomis, dan memiliki produktivitas pengelasan dua kali lebih baik dari proses SMAW (Kalpakjian & Schmid, 2009). Metode ini menggunakan kawat las kontinu daripada tongkat las, hal ini menimbulkan keunggulan yang signifikan dibanding proses SMAW. Stub elektroda yang tersisa setelah pengelasan tongkat juga membuang logam pengisi, sehingga pemanfaatan bahan elektroda lebih tinggi dengan metode ini (Groover, 2010). Proses GMAW dapat diotomatisasi dengan mudah dan cocok untuk robotika dan sistem manufaktur yang fleksibel. Sedangkan untuk kekurangan dari metode ini adalah biaya perawatan yang lebih mahal, kemungkinan terjadinya cacat porositas, kemungkinan busur yang tidak stabil akibat penggunaan kurang maksimal, dan *set-up* awal yang cukup sulit. (Ausaid, 2001)

### 2.3.1 Parameter Pengelasan

Dalam *arc welding*, biasanya terdapat masukan energi untuk mengatur besaran busur. Masukan energi busur ( $H$ ) atau biasanya disebut *heat input* adalah jumlah energi yang ditransfer per unit panjang lasan dari sumber panas berjalan. Dengan demikian heat input dapat dihitung menggunakan persamaan (2.1):

$$H = \frac{\eta \cdot E \cdot I}{v} \quad (2.1)$$

Keterangan:

$H$  = Heat input

$E$  = Tegangan (volt)

$I$  = Arus (ampere)

$v$  = Kecepatan pengelasan (mm/s)

$\eta$  = Efisiensi pengelasan

#### 1. Arus

Arus diatur secara tidak langsung oleh kecepatan dan diameter elektroda terumpan. Arus merupakan parameter utama untuk pengelasan dan harus dipilih dalam hubungan dengan ketebalan pelat dan kecepatan pengelasan yang nantinya akan berhubungan dengan kualitas lasnya (Weman, 2012). Karena kecepatan umpan elektroda bervariasi, arus pengelasan bervariasi dengan cara yang sama ketika sumber daya tegangan konstan digunakan. Hal ini terjadi karena keluaran arus dari sumber daya bervariasi dengan sedikit perubahan pada tegangan busur (panjang busur) yang dihasilkan ketika perubahan dilakukan pada kecepatan umpan elektroda. Ketika semua variabel lain dipertahankan konstan, peningkatan arus pengelasan menghasilkan peningkatan kedalaman dan lebar penetrasi, laju deposisi, dan ukuran manik las (ASM, 1993).

#### 2. Tegangan

Tegangan merupakan cara untuk perkiraan untuk menyatakan panjang busur fisik dalam istilah listrik. Panjang busur fisik yang sama, bagaimanapun, dapat menghasilkan pembacaan tegangan busur yang berbeda, tergantung pada faktor-faktor seperti gas pelindung, arus, dan ekstensi elektroda. Ketika semua variabel dipertahankan konstan, hubungan yang andal ada antara keduanya: peningkatan pengaturan tegangan akan menghasilkan panjang busur yang lebih panjang. Meskipun panjang busur adalah variabel yang menarik dan yang harus dikontrol, tegangan busur lebih mudah dipantau. Karena fakta ini, dan karena tegangan busur



---

biasanya diperlukan untuk ditentukan dalam prosedur pengelasan, istilah ini lebih umum digunakan. Dari nilai tegangan busur tertentu, peningkatan cenderung meratakan manik las dan meningkatkan lebar zona fusi. Tegangan yang terlalu tinggi dapat menyebabkan porositas, percikan, dan *undercut*. Pengurangan tegangan menghasilkan manik las yang lebih sempit dengan mahkota yang lebih tinggi(ASM, 1993).

### 3. Kecepatan Pengelasan

Kecepatan pengelasan adalah ukuran dimana alat las dipindahkan sepanjang sambungan las. Dengan kecepatan pengelasan yang rendah, deposisi pengisi logam tinggi dan pada kecepatan sangat rendah busur las menimpa kolam cair daripada benda kerja. Dengan peningkatan kecepatan, energi panas per satuan panjang las yang ditransmisikan pertama kali meningkat dan kemudian menurun. Pada kecepatan yang sangat tinggi, deposisi logam pengisi tidak mencukupi. Oleh karena itu, mengasumsikan semua parameter lain sama, penetrasi las maksimum pada kecepatan sedang dari obor las(Desineni et al., 2003)

### 4. *Shielding Gas*

*Shielding Gas* digunakan dalam proses pengelasan dan memiliki pengaruh yang signifikan terhadap kinerja keseluruhan sistem pengelasan. Fungsi utamanya adalah untuk melindungi logam cair dari nitrogen dan oksigen atmosfer saat kolam las sedang terbentuk(ASM, 1993). Gas yang digunakan untuk melindungi termasuk gas inert seperti argon dan helium, dan gas aktif seperti karbon dioksida. Pemilihan gas (dan campuran gas) tergantung pada logam yang dilas, serta faktor lainnya. Gas inert digunakan untuk pengelasan paduan aluminium dan baja tahan karat, sedangkan CO<sub>2</sub> umumnya digunakan untuk pengelasan baja karbon rendah dan menengah(Groover, 2010). Pada *Gas Metal Arc Welding* (GMAW) dan *Flux Cored Arc Welding* (FCAW), gas yang digunakan memiliki pengaruh besar pada bentuk transfer logam selama pengelasan. Ini, pada gilirannya, mempengaruhi efisiensi, kualitas, dan penerimaan operator secara keseluruhan dari operasi pengelasan(ASM, 1993).

#### 2.4 Kawat Elektroda ER 70S-6

Elektroda dan batang dari klasifikasi ER 70S-6 ditujukan untuk pengelasan *single* dan *multiple pass*. Mereka sangat cocok untuk aplikasi lembaran logam, di mana manik-manik las halus diinginkan, dan baja struktural dan pelat yang memiliki jumlah karat atau skala pabrik yang moderat. Elektroda ini memungkinkan penggunaan rentang arus yang lebih tinggi baik dengan gas pelindung CO<sub>2</sub> atau dengan campuran argon dan oksigen atau argon dan karbon dioksida(Society, 2005). Komposisi kimia dan sifat mekanik dari kawat Las ER 70S-6 dapat dilihat pada Tabel 2.5 dan Tabel 2.6.

**Tabel 2.5** Komposisi kimia kawat elektroda ER 70S-6(Society, 2005)

Element	Komposisi (%)
Karbon (C)	0.06-0.15
Mangan (Mn)	1.40-1.85
Silikon (Si)	0.80-1.15
Fosforus (P)	0.025
Belerang (S)	0.035
Nikel (Ni)	0.15
Kromium (Cr)	0.15
Molibdenum (Mo)	0.15
Vanadium (V)	0.03
Tembaga (Cu)	0.50

**Tabel 2.6** Sifat mekanik kawat elektroda ER 70S-6(Society, 2005)

<i>Ultimate Tensile Strength</i>	<i>Yield Strength</i>	<i>Elongation</i>
480 MPa	400 MPa	22%

## 2.5 Siklus Termal

Daerah lasan terdiri dari 3 bagian yaitu logam lasan, daerah pengaruh panas atau *Heat Affected Zone* (HAZ) dan logam induk yang tak terpengaruhi. Logam las adalah bagian dari logam yang pada waktu pengelasan mencair dan kemudian membeku. Daerah pengaruh panas atau daerah HAZ adalah logam dasar yang bersebelahan dengan logam las yang selama proses pengelasan mengalami siklus termal pemanasan dan pendinginan cepat. Logam induk tak terpengaruhi adalah bagian logam dasar di mana panas dan suhu pengelasan tidak menyebabkan terjadinya perubahan-perubahan struktur dan sifat(Wiryosumarto & Okumura, 2000).

Sebagian besar proses pengelasan menyebabkan material dalam benda kerja mengalami siklus termal. Untuk proses *fusion welding*, siklus tersebut berkisar dari temperatur lingkungan kerja hingga di atas temperatur liquidus. Dalam aspek temperatur yang dicapai dan waktu yang dibutuhkan untuk mencapai dan tetap pada temperatur tersebut sepenuhnya menentukan efek dari struktur (baik mikrostruktur untuk perubahan material dan makrostruktur untuk distorsi). Siklus termal pengelasan harus diketahui, karena riwayat termal memengaruhi bubungan struktur-properti(Messler, 2004).

Siklus termal adalah proses pemanasan dari pendinginan pada daerah lasan. Pada siklus termal las, pendinginan makin lambat kecepatan pendinginan lasnya makin kecil. Pada temperatur tertentu logam tersebut mengalami transformasi, baik sebagian atau seluruhnya, tergantung kecepatan pemanasannya (*heating rate*). Sedangkan kecepatan pemanasan tergantung dari jenis proses, tinggi rendahnya temperatur puncak berakibat penahanan logam

pada struktur austenit sehingga mengurangi kesempatan bertransformasi, lebih tinggi temperatur puncak lebih sempurna transformasinya.

Untuk pemanasan yang lambat menyebabkan perambatan panas ke segala arah, sehingga menambah jumlah pemanasan yang diperlukan berarti memperlambat pencairan sedang penyusutan logam bertambah. Pada pengelasan baja dengan input panas kecil transformasi dari *ferrite* menjadi *austenite* tetapi dengan masukkan panas rendah HAZ-nya lebih besar, karena banyak panas yang menyebar ke bagian logam, sehingga banyak daerah yang berubah strukturnya, dengan masukkan panas tinggi baja mencair dengan cepat, sehingga kecepatan pengelasan lebih besar, berarti lebih sedikit daerah yang terpengaruh panas (Waluyo, 2010).

## 2.6 Diagram Fasa Fe-Fe<sub>3</sub>C

Ada beberapa hal yang perlu diperhatikan didalam diagram Fe-Fe<sub>3</sub>C yaitu, perubahan fasa *ferrite* atau besi alpha ( $\alpha$ ), *austenite* atau besi gamma ( $\gamma$ ), *cementite* atau karbida besi, *pearlite* dan *cementite* akan diuraikan sebagai berikut :

### 1. *Ferrite* ( $\alpha$ )

*Ferrite* merupakan suatu larutan padat karbon dalam struktur besi murni yang memiliki struktur *Body Centered Cubic* (BCC) dengan sifat lunak dan ulet. Karena *ferrite* memiliki struktur BCC, larutan padat karbon dan unsur paduan lainnya pada besi kubus pusat badan (Fe  $\alpha$ ) disebut *ferrite*. *Ferrite* terbentuk pada proses pendinginan yang lambat dari *austenite* baja hipoeutektoid pada saat mencapai A<sub>3</sub>. *Ferrite* bersifat sangat lunak, ulet dan memiliki kekerasan sekitar 70-100 BHN dan memiliki konduktivitas yang tinggi. Jika *austenite* didinginkan di bawah A<sub>3</sub>, *austenite* yang memiliki kandungan C yang sangat rendah akan bertransformasi ke *ferrite* (yang memiliki kelarutan C maksimum sekitar 0,025% pada temperatur 723°C).

### 2. *Austenite* ( $\gamma$ )

*Austenite* merupakan modifikasi dari besi murni dengan struktur *Face Centered Cubic* (FCC) yang memiliki jarak atom lebih besar dibandingkan dengan *ferrite*. Meski demikian rongga-rongga pada struktur FCC hampir tidak dapat menampung atom karbon dan penyisipan atom karbon akan mengakibatkan tegangan dalam struktur sehingga tidak semua rongga dapat terisi, dengan kata lain daya larutnya jadi terbatas. Umumnya fasa austenit bersifat stabil, ulet, mudah dibentuk, tidak bersifat feromagnetis.

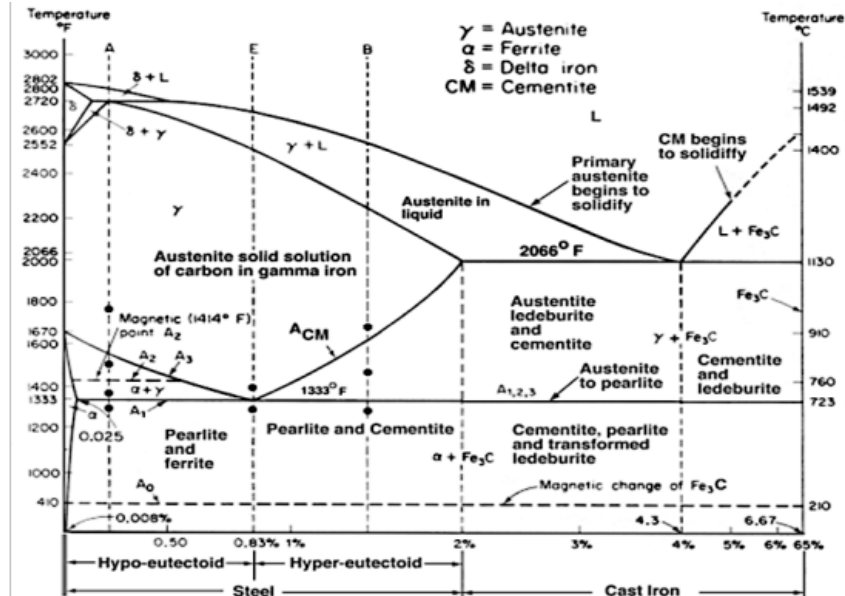
### 3. *Cementite* (Karbida Besi)

*Cementite* adalah paduan Besi karbon, dimana pada kondisi ini karbon melebihi batas larutan sehingga membentuk fasa kedua atau karbida besi yang memiliki komposisi Fe<sub>3</sub>C. Hal ini tidak berarti bila karbida besi membentuk molekul Fe<sub>3</sub>C, akan tetapi kisi kristal yang membentuk atom besi dan karbon mempunyai perbandingan 3:1. Karbida pada ferit akan meningkatkan kekerasan pada baja sifat dasar sementit adalah sangat keras.

### 4. *Pearlite*

*Pearlite* merupakan campuran khusus yang terjadi atas dua fasa yang terbentuk austenisasi dengan komposisi eutektoid bertransformasi menjadi *ferrite* dan karbida. Ini dikarenakan *ferrite* dan karbida terbentuk secara bersamaan dan keduanya saling bercampur. Apabila laju pendinginan dilakukan secara perlahan-lahan maka atom karbon dapat berdifusi lebih lama dan dapat menempuh jarak lebih jauh sehingga di peroleh bentuk *pearlite* besar. Dan apabila laju pendingin lebih dipercepat lagi maka difusi akan terbatas pada jarak yang dekat sehingga menghasilkan lapisan tipis lebih banyak. (Saputra & Tyastomo, 2016)





Gambar 2.4 Diagram Fe-Fe<sub>3</sub>C (Saputra & Tyastomo, 2016)

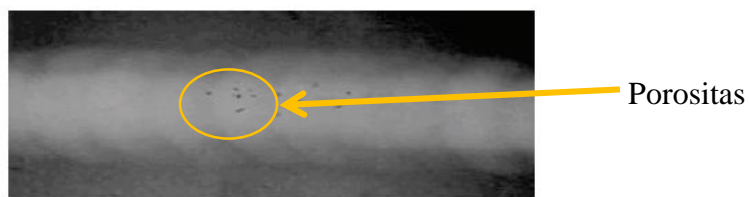
Sesuai dengan Gambar 2.4, selama pendinginan dari logam cair sampai menuju suhu kamar, logam las mengalami serangkaian perubahan fasa. Baja karbon rendah akan mengalami perubahan-perubahan fasa cair menjadi *ferrite* ( $\delta$ ) ketika pembekuan berlangsung kemudian berubah menjadi *austenite* ( $\gamma$ ) dan akhirnya menjadi *ferrite* ( $\alpha$ ) dan *pearlite*. Struktur mikro yang akan terbentuk ditentukan pada saat pendinginan. Ada beberapa faktor yang mempengaruhi struktur mikro, seperti komposisi akhir logam las, *filler* serta kondisi udara sekitar pengelasan. Proses pendinginan pada las berlangsung secara kontinu, yaitu proses penurunan suhu berlangsung tanpa adanya penurunan suhu secara mendadak. (Setiawan & Yuli, 2006)

## 2.7 Cacat

Pada proses pengelasan dapat timbul beberapa cacat yang disebabkan oleh banyak alasan. Penting untuk mengetahui cacat umum pada pengelasan GMAW, terutama jika parameter yang benar tidak dipertahankan. Berikut merupakan beberapa contoh dari cacat yang dapat terjadi pada pengelasan GMAW, yaitu:

### 2.7.1 Porositas

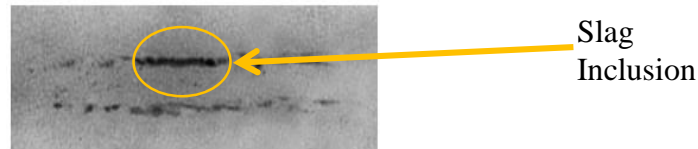
Porositas merupakan salah satu cacat yang berpengaruh pada gas yang digunakan pada pengelasan. Cacat ini bisa disebabkan oleh gas yang dikeluarkan pada saat pelelehan pada area lasan, tapi terjebak pada saat proses pemadatan. Distribusi porositas di zona las mungkin acak, atau mungkin terkonsentrasi di wilayah tertentu di zona tersebut. Sebagian besar sambungan las mengandung beberapa porositas, yang umumnya berbentuk bola atau kantong memanjang (Kalpakjian & Schmid, 2009), seperti yang dapat terlihat pada Gambar 2.5.



Gambar 2.5 Cacat porositas dalam X-Ray (Weman, 2012)

### 2.7.2 Pengujian Metalografi

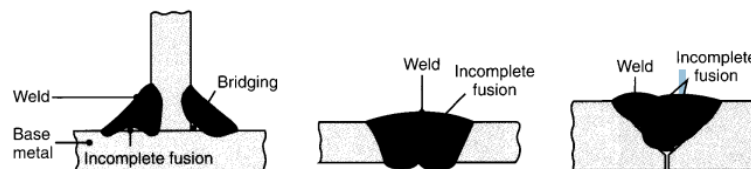
*Slag Inclusion* adalah cacat las yang disebabkan oleh terperangkapnya senyawa seperti oksida, fluks, dan bahan pelapis elektroda di zona las. Jika gas pelindung tidak efektif selama pengelasan, kontaminasi dari lingkungan juga dapat berkontribusi pada inklusi tersebut (Kalpakjian & Schmid, 2009). Pada Gambar 2.6, dapat dilihat ilustrasi *slag inclusion* yang terjadi pada lasan.



Gambar 2.6 Cacat *slag inclusion* (Weman, 2012)

### 2.7.3 Incomplete Fusion

*Incomplete Fusion* menghasilkan *weld beads* yang buruk, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.7. *Incomplete Fusion* adalah cacat yang berasal dari hasil lasan yang tidak tersambung dengan sempurna. Cacat ini dapat disebabkan oleh pengaturan parameter pengelasan yang kurang tepat, sudut sambungan yang terlalu sempit, kesalahan dalam pengelasan dan alasan lainnya (Weman, 2012).



Gambar 2.7 Cacat *incomplete fusion* (Kalpakjian & Schmid, 2009)

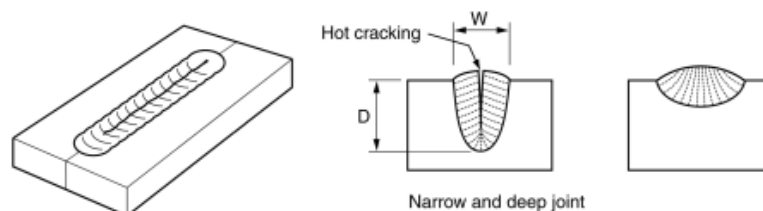
### 2.7.4 Cold Cracking

*Cold cracking* biasanya bisa disebut dengan *hydrogen cracking* atau *hydrogen embrittlement*. Retakan terjadi di HAZ, dekat dengan batas leleh saat material mendingin, terkadang beberapa jam setelah pengelasan. Efek tersebut disebabkan oleh kombinasi *shrinkage stress* dan hidrogen yang berdifusi dari logam las dan pembentukan struktur fasa martensit yang keras. (Weman, 2012)

### 2.7.5 Hot Cracking

*Hot cracking*, atau bisa disebut *solidification cracking* dapat kita lihat pada Gambar 2.8. Cacat ini muncul saat material mendingin, jika kombinasi tertentu dari kondisi yang tidak menguntungkan terjadi seperti:

- Rasio lebar/kedalaman penetrasi las yang rendah
- Kandungan karbon dan belerang yang tinggi dalam logam
- Tegangan susut yang terjadi saat material mendingin (Weman, 2012).



Gambar 2.8 *Hot crack* dalam sambungan yang sempit dan dalam

## 2.8 Sifat Mekanik

Sifat mekanik suatu material mencerminkan respons atau deformasinya sehubungan dengan beban atau gaya yang diterapkan (Callister & Rethwisch, 2014). Sifat-sifat tersebut antara lain ketangguhan, keuletan, kekerasan, kekuatan, dan masih banyak lagi (Groover, 2010). Sifat Mekanik yang diteliti pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

### 1. Kekuatan

Kekuatan menyatakan kemampuan bahan untuk menerima tegangan tanpa patah. Ada banyak jenis kekuatan, masing-masing tergantung pada bagaimana beban diterapkan pada material seperti kekuatan tarik, kekuatan geser, kekuatan dampak dan kekuatan fatigue. (American Welding Society, 2020)

### 2. Keuletan

Jumlah regangan yang dapat ditanggung material sebelum kegagalan juga merupakan sifat mekanik yang menarik dalam banyak proses manufaktur. Ukuran umum dari sifat ini adalah keuletan, yaitu kemampuan suatu material untuk meregang secara plastis tanpa patah (Groover, 2010).

### 3. Ketangguhan

Ketangguhan adalah kapasitas suatu bahan untuk menyerap energi tanpa gagal. Biasanya dicirikan oleh kombinasi kekuatan dan keuletan dalam material (Groover, 2010).

### 4. Kekerasan

Kekerasan adalah properti yang umum digunakan; memberikan indikasi umum tentang kekuatan bahan dan ketahanannya terhadap goresan dan keausan. Kekerasan biasanya didefinisikan sebagai ketahanan terhadap lekukan permanen (Kalpakjian & Schmid, 2009).

## 2.9 Pengujian

Penelitian kali ini akan menggunakan pengujian ultrasonik, pengujian metalografi, pengujian tarik dan pengujian kekerasan.

### 2.9.1 Ultrasonic Testing

*Ultrasonic Testing* adalah metode tak merusak dimana gelombang suara frekuensi tinggi dimasukkan ke dalam material untuk mendeteksi cacat pada permukaan dan dalam material. Gelombang suara berjalan melalui material dengan kehilangan beberapa energi (atenuasi) dan dipantulkan pada antarmuka. Sinar yang dipantulkan ditampilkan dan kemudian dianalisis untuk menentukan keberadaan dan lokasi cacat atau diskontinuitas.

*Ultrasonic Testing* merupakan metode inspeksi tak merusak yang paling banyak digunakan. Aplikasi utamanya dalam pemeriksaan logam adalah deteksi dan karakterisasi cacat internal; itu juga digunakan untuk mendeteksi cacat permukaan, untuk menentukan karakteristik ikatan, untuk mengukur ketebalan dan tingkat korosi, dan (lebih jarang) untuk menentukan sifat fisik, struktur, ukuran butir, dan konstanta elastis. Kebanyakan *ultrasonic testing* dilakukan pada frekuensi antara 0.1 dan 25 MHz—jauh di atas jangkauan pendengaran manusia, sekitar 20 Hz sampai 20 kHz.

Retak, laminasi, rongga susut, semburan, serpihan, pori-pori, pelepasan, dan diskontinuitas lainnya yang menghasilkan antarmuka reflektif dapat dengan mudah dideteksi. Inklusi dan ketidakhomogenan lainnya juga dapat dideteksi dengan menyebabkan refleksi parsial atau hamburan gelombang ultrasonik atau dengan menghasilkan beberapa efek terdeteksi lainnya pada gelombang ultrasonik (ASM, 1997).

---

### 2.9.2 Pengujian Metalografi

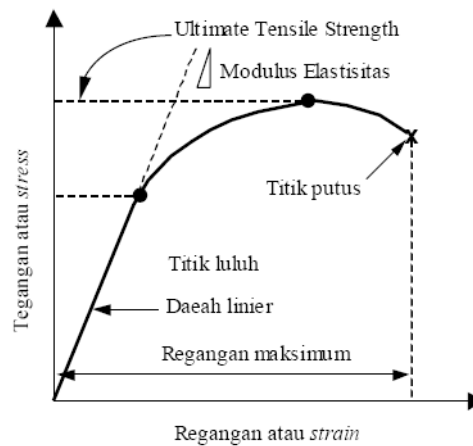
Metalografi merupakan sebuah ilmu yang terdiri dari studi mikroskopis dari karakteristik struktural logam atau paduan. Pada pengujian metalografi, mikroskop menjadi perangkat yang sangat penting untuk menentukan ukuran butir maupun ukuran, bentuk, dan distribusi berbagai fase dan inklusi yang memiliki pengaruh terhadap sifat mekanik logam atau paduan. Perlakuan mekanik dan termal pada logam dapat diprediksi dengan analisis dari struktur mikro logam tersebut. Pengalaman telah menunjukkan bahwa keberhasilan dalam studi mikroskopis sangat tergantung pada kehati-hatian dalam preparasi spesimen. Prosedur preparasi harus diikuti agar dihasilkan permukaan yang datar, bebas goresan, seperti cermin(Avner, 1973).

Pengujian metalografi dapat dilakukan dengan tahapan sebagai berikut:

1. *Sectioning*, yaitu pemotongan spesimen representatif berukuran lebih kecil dari sampel yang lebih besar. Teknik pemotongan spesimen yang tidak tepat dapat mengubah struktur mikro logam yang sebenarnya dan menyebabkan kesimpulan analisis yang salah. Karena struktur mikro tidak boleh berubah selama proses metalografi, kondisi yang dapat menyebabkan perubahan struktur mikro idealnya harus dihindari.
2. *Mounting*, yaitu proses lanjutan dalam penyesuaian bentuk spesimen. Tepi dan sudut yang tajam dihilangkan, meningkatkan keamanan bagi penguji dan juga menghindari kerusakan pada kertas dan kain yang digunakan pada proses preparasi. Dudukan standar biasanya berdiameter 25 mm (1 inci), 32 mm (1,25 inci), atau 38 mm (1,5 inci); ketebalan *mount* umumnya berkisar setengah dari diameter *mount*. *Mount* yang tipis sulit untuk ditangani, sedangkan *mount* yang sangat tebal sulit untuk dipegang secara rata selama pengamplasan dan pemolesan.
3. *Surface preparation* meliputi 3 tahapan, yaitu *machining*, *abrasion* dan *polishing*. Proses *polishing* tidak terlalu diperhatikan dalam tahap ini, namun *abrasion* dan *polishing* perlu dilakukan secara tepat. Proses *abrasion* dilakukan menggunakan kertas amplas, atau bahan abrasif yang diletakkan pada bidang datar. *Surface speed* pada proses ini dijaga dalam kecepatan rendah dengan pemberian cairan *coolant* untuk mencegah pemanasan pada spesimen. Selanjutnya dilakukan *polishing* pada permukaan spesimen dengan menggunakan cairan yang mengandung partikel abrasif yang diusapkan menggunakan kain atau serat. Hasil yang tepat adalah saat spesimen memiliki permukaan mengkilap seperti cermin.
4. *Etching*, yaitu pemberian cairan etsa pada permukaan spesimen untuk menimbulkan kontras pada struktur mikro permukaan spesimen saat dilihat menggunakan mikroskop.
5. *Examination*, di mana permukaan yang sudah dipoles dieksaminasi menggunakan mikroskop optik(Nunes, 1992).

### 2.9.3 Pengujian Tarik

Pengujian tarik biasanya juga disebut *tensile test*, dimana pengujian ini bersifat merusak spesimen uji yang digunakan. Pengujian ini memiliki tujuan untuk mengetahui kekuatan tarik yang dimiliki sebuah material. Material tersebut dideformasi, biasanya hingga patah, dengan beban tarik yang meningkat secara bertahap yang diterapkan secara uniaksial sepanjang sumbu specimen(Callister & Rethwisch, 2014). Adapun deformasi yang dialami material dapat ditinjau dari kurva tegangan – regangan, seperti pada Gambar 2.9. Pada kurva tersebut juga dapat ditinjau *Ultimate Tensile Strength* (UTS) yang berarti kemampuan maksimal material menerima pembebanan tarik sebelum patah.

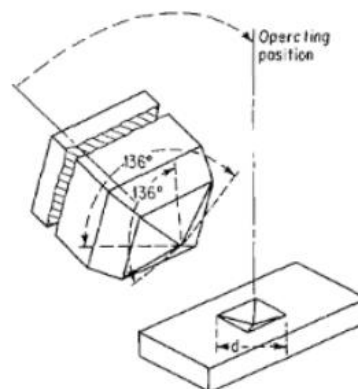


**Gambar 2.9** Kurva tegangan regangan(Pratama, 2017)

### 2.9.4 Pengujian Kekerasan

Pengujian kekerasan dilakukan untuk menganalisis ketahanan material terhadap deformasi lokal (seperti goresan atau indentasi). Spesimen diberi beban menggunakan indenter tertentu sesuai pengujian yang digunakan. Indentasi yang dihasilkan kemudian diukur dengan perhitungan tertentu sehingga menghasilkan angka kekerasan tertentu. Semakin dalam indentasi berarti material semakin lunak dan nilai kekerasan semakin kecil(Callister & Rethwisch, 2014).

Penelitian ini menggunakan pengujian Vickers dalam mengidentifikasi kekerasan spesimen. Pengujian Vickers dipilih karena memiliki akurasi yang lebih baik dari pengujian Brinell dan Rockwell, dapat digunakan untuk spesimen paling lunak hingga paling keras, serta memiliki indenter dengan diagonal segiempat yang lebih akurat dibandingkan dengan indenter berbentuk bola(Widyastuti et al., 2019). Pengujian Vickers dilakukan berdasarkan standar ASTM E92-24. Pengujian Vickers menggunakan indenter *diamond-pyramid* dengan sudut  $136^\circ$  terhadap sisi indenter yang berlawanan seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.10.



**Gambar 2.10** Indenter pada pengujian Vickers (Avner, 1973)

Beban yang diberikan bervariasi antara 1 hingga 120 kg sesuai jenis material dari spesimen yang digunakan. Hasil indentasi akan diukur untuk menentukan nilai kekerasan dari spesimen menggunakan rumus (2.2) berikut (Avner, 1973) :

$$HV = \frac{1,854 L}{d^2} \quad (2.2)$$

Di mana:

L : Beban yang diaplikasikan, dalam kg

d : Diagonal indentasi yang dihasilkan, dalam mm

## 2.10 Penelitian Terdahulu

Riset mengenai proses difusi karbida kromium pada material austenitic stainless steel pernah dilakukan oleh beberapa orang dengan rincian ditunjukkan pada Tabel 2.7 di bawah.

**Tabel 2.7** Rangkuman Penelitian Terdahulu

Penulis	Judul	Variasi Arus	Hasil
Hanafi, Febri; Nurdin, Hendri; Syahril; Purwantono (2021)	Pengaruh Kuat Arus Pengelasan pada Baja Karbon Rendah terhadap Kekuatan Tarik Sambungan menggunakan Las MIG	1. 100 A 2. 110 A 3. 120 A	Hasil lasan MIG dengan perbedaan variasi arus kuat memiliki pengaruh terhadap kekuatan tarik pada baja karbon rendah jenis ST 37. Dimana nilai kekuatan tarik rata-rata tertinggi diperoleh saat menggunakan arus 120 A yaitu sebesar 283,56 N/mm <sup>2</sup> . Selanjutnya kekuatan tarik menurun diikuti dengan menurunnya kekuatan arus yang digunakan, dengan nilai kekuatan tarik pada arus 110 A dan 100 A berturut turut adalah 281,78N/mm <sup>2</sup> dan 221,85 N/mm <sup>2</sup> .
Juwanda, Saifuddin, Marzuki (2021)	Analisa Pengaruh Kuat Arus Hasil Pengelasan GMAW terhadap Kekerasan Material ASTM A 36	1. 80 A 2. 100 A 3. 120 A	Pengujian Rockwell pada spesimen baja karbon rendah Baja ASTM A36 Pengelasan GMAW 1G Arus 80 A sebesar 65.60 HRC, pada pengujian Rockwell pada spesimen baja karbon rendah Baja ASTM A36 Pengelasan GMAW 1G Arus 100 A sebesar 80.40HRC, dan pada pengujian Rockwell pada specimen baja karbon



rendah Baja ASTM A36 Pengelasan GMAW 1G Arus 120 A sebesar 68.40HRC. Berdasarkan hasil penelitian pengujian Rockwell pengelasan GMAW posisi 1G variasi arus 80, 100, dan 120 A, diatas maka disimpulkan bahwasanya variasi arus 100 A merupakan arus yang terbaik karena memiliki nilai kekerasan yang paling tinggi.

Puncoro,  
Aladin  
(2019)

E.

Analisis Pengaruh Variasi Arus Listrik 90A,100A,130 A terhadap Sifat Mekanis dan Struktur Mikro hasil Pengelasan Gas Metal Arc Welding (GMAW) pada Baja Karbon JIS S50C

1. 90 A  
2. 100 A  
3. 130 A

1. Kekerasan Tertinggi terdapat pada arus 130 A, daerah las dengan nilai 127,13 HV sedangkan pada daerah HAZ dengan nilai 114,8 HV. Nilai kekerasan tertinggi kedua setelah arus 130 A adalah arus 110 A dengan nilai didaerah las 70,33 HV sedangkan diderah HAZ nilai kekerasannya 135,1 HV. Nilai kekerasan yang terendah adalah arus 90 A yaitu dengan nilai pada daerah las 84,35 HV, sedangkan kekerasan didaerah HAZ yaitu 81,99 HV.

2. Pada hasil pengujian tarik, kekuatan rata – rata *max force* tertinggi terdapat pada spesimen variasi arus 130 A pengelasan GMAW yaitu sebesar 18263 Newton, untuk kekuatan tarik atau *tensile strength* nilai tertinggi juga terdapat pada arus 130 A dengan nilai 146,74 Kgf/mm<sup>2</sup> . Pada *yield strength* nilai tertinggi adalah arus 130 A yaitu 46,26 Mpa, dan untuk nilai *elongation* nilai tertinggi juga pada arus

		<p>130 A yaitu dengan nilai 7,7 %.</p> <p>3. Pada pengamatan struktur mikro variasi arus 130 A memiliki kekerasan yang lebih tinggi, karena terlihat memiliki struktur perlit yg lebih banyak dari pada variasi arus 110 A dan 90 A, sedangkan kekerasan yg paling rendah terjadi pada daerah las dan HAZ variasi arus 90 A. Dapat di simpulkan bahwa semakin besar arus pengelasan yang digunakan maka kekerasan yang di dapat pada daerah las dan HAZ juga semakin tinggi.</p>
<p>Faizal, M; Salam, Ali R (2018)</p>	<p>PENGARUH ARUS PENGELASAN N PADA BAJA ASTM SA 516 Gr70 TERHADAP 1. 110 A KEKUATAN 2. 130 A TARIK DAN 3. 150 A KETANGGUHAN LAS SMAW DENGAN ELEKTRODA E7018</p>	<p>1. Nilai hasil uji tarik didapatkan, bahwa pengelasan dengan variasi arus 130 A memiliki nilai uji tarik paling tinggi dibanding variasi arus 110 A dan 150 A yang berarti bahwa pengaruh arus sangatlah tinggi untuk mendapatkan kualitas lasan yang bagus.</p> <p>2. Nilai hasil uji ketangguhan atau impak didapatkan, bahwa pengelasan dengan variasi arus 110 A memiliki nilai uji ketangguhan atau impak paling tinggi dibanding variasi arus 130 A dan 150 A yang berarti semakin tinggi variasi arus mengakibatkan ketangguhan pada material ini semakin menurun.</p> <p>3. Nilai hasil uji kekerasan didapatkan, bahwa pengelasan dengan variasi arus 150 A memiliki rata - rata kekerasan yang paling</p>



			tinggi diantara variasi arus 110 A dan 130 A.
			4. Hasil uji struktur mikro didapatkan, bahwa pengaruh heat input dengan variasi arus 150 A cenderung meningkatkan struktur martensit pada variasi tersebut namun mengurangi struktur <i>Acicular Ferrite</i> (AF) dibanding variasi arus lainnya.
			1. Pada pengelasan <i>Flux Core Arc Welding</i> (FCAW) terjadi peningkatan kekerasan pada daerah deposit las akibat meningkatnya arus pengelasan yang menyebabkan terjadinya perbedaan kekerasan, dan Nilai kekerasan tertinggi adalah 158.54 kg/mm <sup>2</sup> pada arus 170 A, sedangkan nilai kekerasan terendah adalah 154.247 kg/mm <sup>2</sup> pada arus 125 A.
			2. Pada daerah Deposit Las dan daerah <i>Heat Affected Zone</i> (HAZ) adalah bagian logam induk yang berdekatan dengan batas las juga mengalami peningkatan kekerasan yang berbeda.
			3. Arus pengelasan yang meningkat akan meningkatkan ukuran butir sehingga menurunkan ketangguhan logam terhadap perpatahan, semakin halus butir yang terbentuk semakin ulet logam lasan atau sebaliknya semakin kasar butir yang terbentuk maka semakin getas logam lasan.
Priadi, Selvinus, (2007)	D: M	STUDI PENGARUH BESARNYA ARUS LISTRIK TERHADAP DISTRIBUSI KEKERASAN , STRUKTUR MIKRO, DAN KEKUATAN IMPAK PADA BAJA KARBON RENDAH JENIS SB 46	1.125 A 2.150 A 3.170 A

---

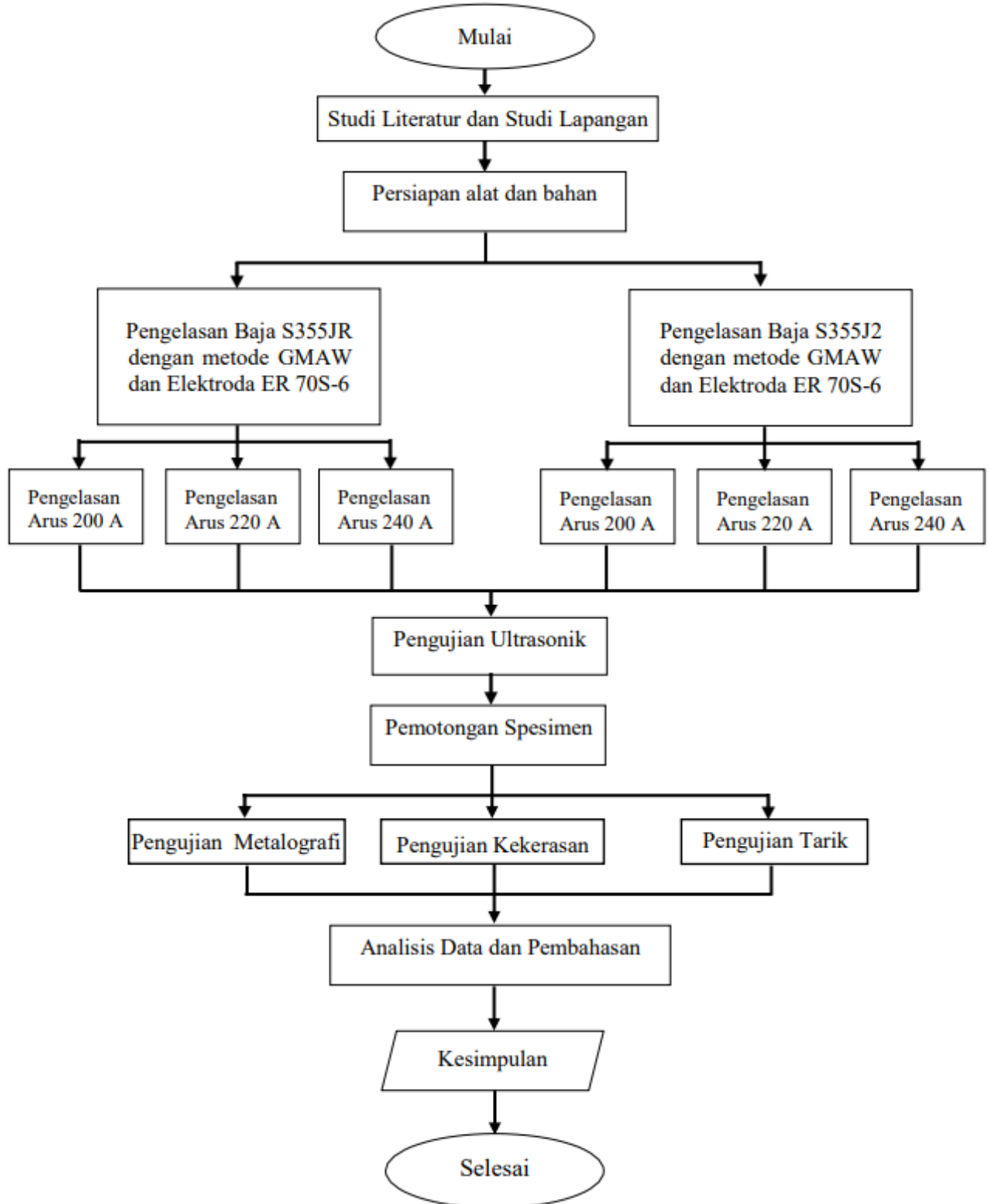
		<p>4. Harga Impak tertinggi adalah 0.306 joule/mm<sup>2</sup> pada arus 125 A dan Harga Impak terendah adalah 0.283 joule/mm<sup>2</sup> pada arus 170 A.</p> <p>5. Dengan meningkatnya arus pengelasan akan memperbesar pertumbuhan butir ferit-perlit dari baja karbon rendah.</p>
<p>Aditia; Nurdin; Ismy, A S (2019)</p>	<p>Analisa kekuatan sambungan material AISI 1050 dengan 1.120 A ASTM A36 2.140 A dengan variasi 3.160 A arus pada proses pengelasan SMAW</p>	<p>1. Data pengujian tarik menunjukkan bahwa tegangan tarik maksimum Sebesar 51,27 kgf/mm<sup>2</sup> yang terdapat pada pecimen dengan arus 120 A. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa pengelasan SMAW dengan menggunakan arus 120 A memiliki kekuatan tarik yang lebih tinggi.</p> <p>2. Data pengujian tarik menunjukkan bahwa tegangan tarik maksimum Sebesar 51,27 kgf/mm<sup>2</sup> yang terdapat pada pecimen dengan arus 120A. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa pengelasan SMAW dengan menggunakan arus 120 A memiliki kekuatan tarik yang lebih tinggi</p>

---

**BAB III**  
**METODOLOGI PENELITIAN**

**3.1 Diagram Alir**

Diagram alir proses penelitian ditunjukkan pada Gambar 3.1 di bawah.



**Gambar 3.1** Diagram alir penelitian

### 3.2 Metode Penelitian

Adapun metode yang digunakan pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

#### 1. Studi Lapangan

Studi Lapangan merupakan penelitian yang dilakukan dengan cara melakukan pengamatan langsung pada objek yang diteliti untuk memperoleh data primer. Pada penelitian ini studi lapangan dibimbing oleh seorang *welding engineer* yang berperan sebagai pembimbing lapangan kami.

#### 2. Studi Literatur

Metode studi literatur adalah serangkaian kegiatan yang berkenaan dengan pengumpulan data pustaka, membaca dan mencatat, serta mengelolah bahan penelitian. Aspek yang ditinjau mengenai pengelasan metode GMAW, parameter pengelasan serta kemungkinan cacat pengelasan yang terjadi pada baja S355J2 dan S355JR.

#### 3. Diskusi

Diskusi dilakukan guna mendapat ilmu dan wawasan lebih terhadap penelitian terkait serta membantu untuk melakukan *brainstorming* agar membantu menjadi lebih kritis.

#### 4. Eksperimental

Tahap eksperimental dilakukan beberapa standar pengelasan yang menjadi acuan industri seperti AWS dan ISO. Sedangkan standar pada pengujian yang menjadi acuan ASTM dan ASME.

### 3.3 Alat Penelitian

Bahan yang digunakan pada penelitian ini adalah sebagai berikut.

#### 1. Mesin GMAW OTC Daihen

Alat ini digunakan untuk melakukan proses pengelasan pada test piece. Alat yang digunakan untuk penelitian ini dapat dilihat pada Gambar 3.2.



Gambar 3.2 Mesin GMAW (Dokumentasi Pribadi, 2022)

#### 2. Alat Uji Tarik

Alat ini digunakan untuk mengetahui kekuatan *tensile* dari hasil pengelasan. Alat yang digunakan pada penelitian ini dapat dilihat pada Gambar 3.3.



Gambar 3.3 Alat uji tarik (Dokumentasi Pribadi, 2022)

3. Alat Uji Kekerasan

Alat ini digunakan untuk mengidentifikasi nilai kekerasan dari test piece yang telah dilakukan proses pengelasan. Alat yang digunakan pada penelitian ini dapat dilihat pada Gambar 3.4.



**Gambar 3.4** Alat uji kekerasan (Dokumentasi Pribadi, 2022)

4. Alat Uji Ultrasonik

Alat ini digunakan untuk memeriksa cacat pada *test piece* hasil pengelasan. Tipe alat yang digunakan adalah SIUI Samartor. Alat yang digunakan pada penelitian ini dapat dilihat pada Gambar 3.5.



**Gambar 3.5** Alat uji ultrasonik

5. Mikroskop Optik

Alat ini digunakan untuk mengidentifikasi struktur mikro dari hasil proses pengelasan pada penelitian ini. Mikroskop optik yang digunakan adalah merk Olympus BX-51M. Alat yang digunakan pada penelitian ini dapat dilihat pada Gambar 3.6.



**Gambar 3.6** Mikroskop optic (Dokumentasi Pribadi, 2022)

6. Gerinda Tangan

Alat ini digunakan untuk preparasi spesimen uji kekerasan dan metalografi

7. Gergaji Besi

Alat ini digunakan untuk memotong baja yang digunakan sebagai *test piece*. Alat yang digunakan pada penelitian ini dapat dilihat pada Gambar 3.7.



**Gambar 3.7** Gergaji besi

8. Mesin Milling

Alat ini digunakan untuk membentuk baja sesuai bentuk yang diinginkan. Alat ini biasanya digunakan untuk membentuk spesimen uji tarik.

9. Mesin Polishing

Alat ini digunakan untuk meratakan permukaan baja secara otomatis.

10. Gelas Ukur

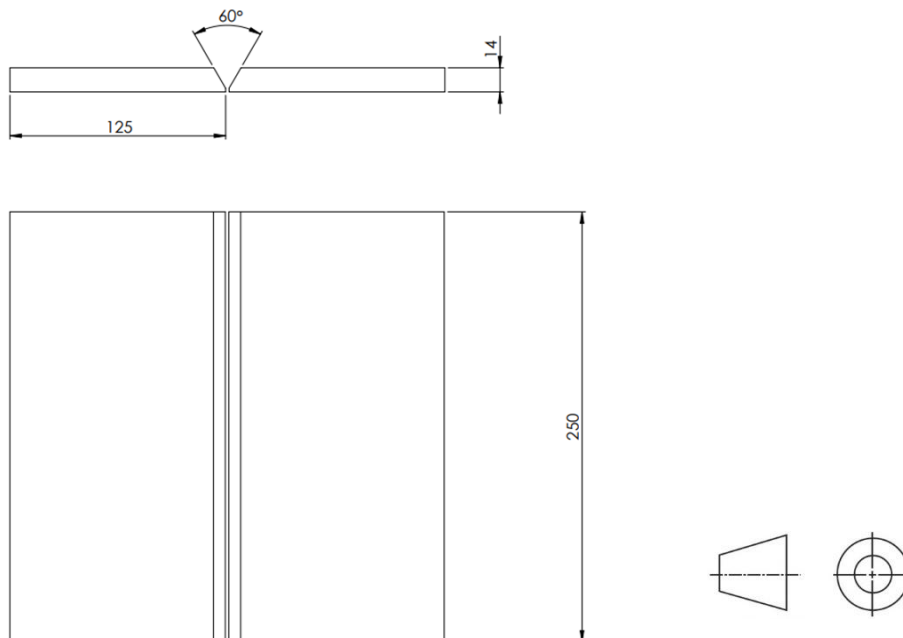
Alat ini digunakan untuk melarutkan larutan nital yang digunakan sebagai etsa.

**3.4 Bahan Penelitian**

Alat yang diperlukan untuk melakukan penelitian adalah sebagai berikut.

1. Baja S355JR

Baja S355JR yang dilas memiliki ukuran 250 mm x 125 mm x 14 mm sebanyak 6 potong sesuai pada Gambar 3.8. dan salah satu contoh plat tersebut dapat dilihat pada Gambar 3.9. Komposisi kimia dan sifat mekanik baja S355JR dapat dilihat pada Tabel 2.1 dan Tabel 2.2.



**Gambar 3.8** Test piece pengelasan baja S355JR dan S355J2 (mm)



**Gambar 3.9** Plat baja S355JR dan S355J2

## 2. Baja S355J2

Baja S355J2 yang dilakukan proses pengelasan memiliki ukuran 250 mm x 125 mm x 14 mm sebanyak 6 potong sesuai pada Gambar 3.8 dan salah satu contoh plat tersebut dapat dilihat pada Gambar 3.9. Komposisi kimia dan sifat mekanik baja S355JR dapat dilihat pada Tabel 2.3 dan Tabel 2.4.

## 3. Kawat Elektroda ER 70S-6

Kawat elektroda ER 70S-6 yang digunakan pada penelitian kali ini merupakan elektroda ER 70S-6 Huatong HTW-50 yang dapat dilihat pada Gambar 3.10. Komposisi kimia dan sifat mekanik kawat elektroda ER 70S-6 dapat dilihat pada Tabel 2.5 dan Tabel 2.6.



**Gambar 3.10** Elektroda ER 70S-6

## 4. Larutan Etsa Nital

Larutan etsa yang digunakan merupakan larutan etsa nital yang terdiri campuran larutan  $\text{HNO}_3$  sebanyak 2.5 ml dan etanol sebanyak 47.5 ml.

## 5. Kertas Amplas

Adapun kertas amplas yang digunakan merupakan kertas amplas dengan *grade* 80, 100, 240, 400, 600, 800, 1000, 1200, 1500, dan 2000.

### 3.5 Parameter Pengelasan

Adapun parameter pengelasan yang dilakukan pada penelitian ini dapat dilihat pada Tabel 3.1.

**Tabel 3.1** Parameter Pengelasan

Metode	Posisi	Tipe Sambungan	Polarias	Arus (A)	Tegangan (V)	Travel Speed (kJ/mm)
GMAW	1G	Butt Joint	DCEP	200, 220, dan 240	28	27 ~ 32

### 3.6 Metode Penelitian

Metode/langkah-langkah penelitian yang dilakukan untuk penelitian adalah sebagai berikut.

#### 3.6.1 Prosedur Pengelasan

Prosedur yang digunakan pada proses pengelasan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. *Test piece* dipersiapkan sesuai ukuran dan bevel yang telah ditentukan.
2. Kelurusan material, *root gap*, *root face dimension* dari *test piece* diperiksa sesuai dengan parameter yang telah ditentukan.
3. Mesin las dan elektroda dipersiapkan.
4. Parameter pada mesin las diatur sesuai kebutuhan.
5. Proses pengelasan dilakukan.

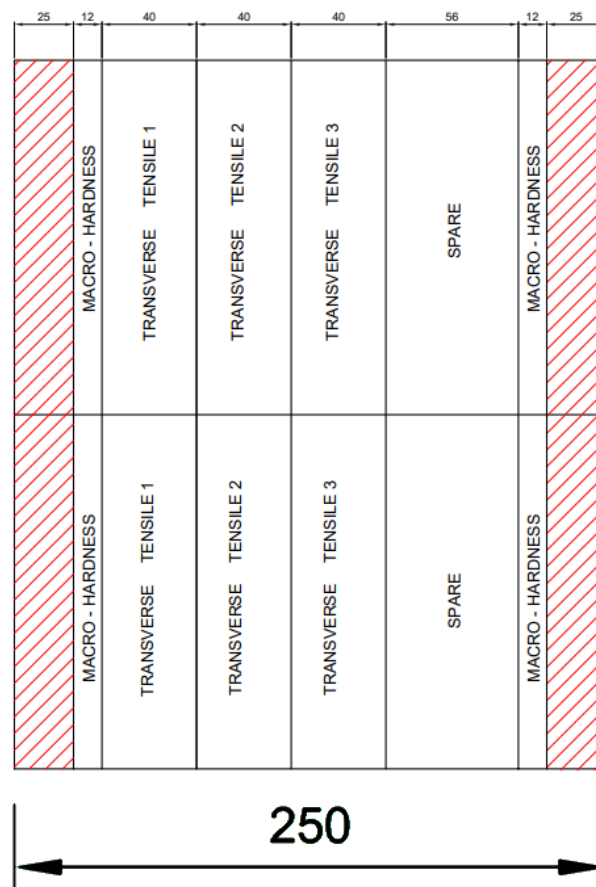


6. Hasil pengelasan diperiksa secara visual dan uji ultrasonik.
7. Jika hasil pengelasan tidak memenuhi standar, maka langkah 1-6 diulangi lagi. Jika hasil pengelasan memenuhi standar, maka langkah 1-7 diulangi dengan variasi arus yang berbeda.

### 3.6.2 Proses Pemotongan Spesimen Uji

Prosedur pembuatan spesimen uji adalah sebagai berikut:

1. Material yang dipotong diukur dimensinya menggunakan penggaris dan ditandai menyesuaikan dengan jenis dan jumlah pengujian sesuai dengan Gambar 3.11.
2. Material dijepit pada mesin pemotong dan dipastikan tepat sesuai dengan ukuran sebelum dilakukan proses pemotongan.
3. Proses pemotongan berdasarkan dimensi spesimen dilakukan.
4. Material yang telah dipotong diukur kembali dimensinya. Apabila terdapat kelebihan dimensi maka dapat dilakukan proses *machining* agar sesuai dengan dimensi yang telah ditentukan.



**Gambar 3.11** Rancangan pemotongan spesimen uji (mm)

## 3.7 Pengujian

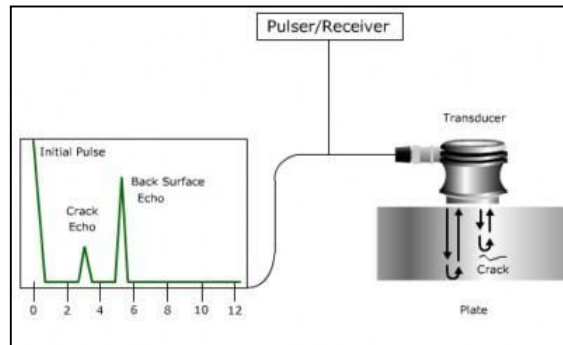
Adapun pada penelitian ini, terdapat 4 pengujian yang dilakukan, diantaranya adalah sebagai berikut:

### 3.7.1 Pengujian Ultrasonik

Peralatan pengujian dengan teknologi pengujian ultrasonik NDT portabel adalah pengujian yang tidak merusak material, disebut juga sebagai uji non-destruktif, dan bekerja dengan mengirimkan gelombang frekuensi tinggi ke dalam material hasil pengelasan untuk mengukur sifat geometris dan fisik. Umumnya frekuensi yang digunakan berada pada rentang



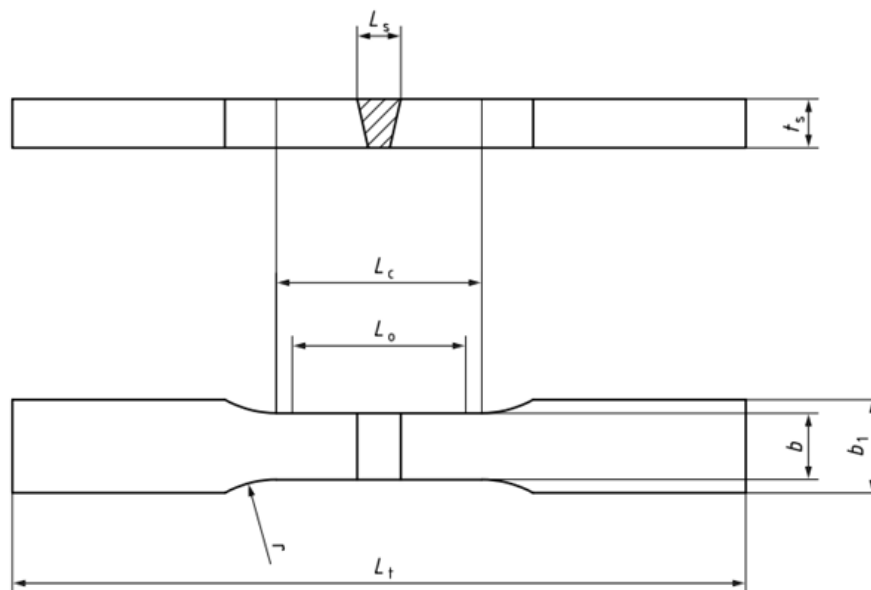
1 MHz hingga 10 MHz. Standar yang digunakan pada pengujian ini adalah AWS D1.1. Adapun alat yang digunakan dapat dilihat pada Gambar 3.12.



Gambar 3.12 Skema uji ultrasonik

### 3.7.2 Pengujian Tarik

Pengujian tarik merupakan pengujian yang merusak spesimen uji yang dilakukan untuk mengetahui kekuatan material dalam menerima pembebanan statis hingga patah. Pengujian ini juga digunakan untuk mengetahui sejauh mana material itu bertambah panjang. Hasil dari pengujian ini berupa kurva tegangan regangan serta mendapatkan informasi mengenai *tensile strength*, *elongation* dan *yield strength spesimen uji*. Pengujian ini dilakukan dengan menggunakan standar ISO 4136. Spesimen uji tarik ini dapat dilihat pada Gambar 3.13 di bawah.. Adapun alat yang digunakan dapat dilihat pada Gambar 3.3.



Denomination	Symbol	Dimensions
Total length of the test specimen	$L_t$	to suit particular testing machine
Width of shoulder	$b_1$	$b + 12$
Width of the parallel length	plates	$b$ 12 for $t_s \leq 2$ 25 for $t_s > 2$
	pipes	$b$ 6 for $D \leq 50$ 12 for $50 < D \leq 168,3$ 25 for $D > 168,3$
Parallel length <sup>a b</sup>	$L_c$	$\geq L_s + 60$
Radius at shoulder	$r$	$\geq 25$

<sup>a</sup> For pressure welding and beam welding (process groups 2, 4, and 5 in accordance with ISO 4063:2009),  $L_s = 0$ .

<sup>b</sup> For some other metallic materials (e.g. aluminium, copper and their alloys)  $L_c \geq L_s + 100$  may be necessary.

Gambar 3.13 Spesimen uji tarik

### 3.7.3 Pengujian Kekerasan

Pengujian kekerasan merupakan pengujian yang merusak spesimen uji yang dilakukan untuk mengetahui ketahanan material dalam menerima beban indentasi. Pada penelitian ini, spesimen uji yang telah dipotong diuji kekerasannya, Uji kekerasan dilakukan pada 3 bagian, yaitu *weld metal*, *Heat Affected Zone (HAZ)*, dan *base metal* dengan pengulangan sebanyak tiga kali sesuai dengan Gambar 3.14. Pengujian ini menggunakan metode *Vickers* sesuai standar ASTM E92-17 dan indentor yang digunakan adalah piramida diamond dengan sudut 136°. Adapun alat yang digunakan dapat dilihat pada Gambar 3.14.



**Gambar 3.14** Titik indentasi pengujian vickers

### 3.7.4 Pengujian Metalografi

Pengujian metalografi bertujuan untuk menganalisis struktur mikro dari spesimen hasil pengelasan. Dalam melakukan pengujian metalografi, spesimen hasil pengelasan harus melalui beberapa prosedur yaitu, *sectioning*, *mounting*, *surface preparation*, *etching*, dan *examination*. Pengujian ini menggunakan standar ASTM E3 untuk spesimen uji metalografi dan ASTM E407-07 untuk larutan etsa yang digunakan. Adapun alat yang digunakan dapat dilihat pada Gambar 3.6.

### 3.8 Rancangan Penelitian

Adapun rancangan penelitian ini dapat disajikan pada Tabel 3.2, untuk rancangan lokasi pengujian disajikan pada Tabel 3.3, sedangkan untuk rancangan kode pengujian disajikan pada Tabel 3.4 berikut.

**Tabel 3.2** Rancangan Penelitian

Material	Arus	Ultrasonik	Hardness	Tarik	Metalografi
Baja S355JR	<i>Base Metal</i>	✓	✓	✓	✓
	200 A	✓	✓	✓	✓
	220 A	✓	✓	✓	✓
	<i>Base Metal</i>	✓	✓	✓	✓
Baja S355J2	240 A	✓	✓	✓	✓
	200 A	✓	✓	✓	✓
	220 A	✓	✓	✓	✓
	240 A	✓	✓	✓	✓

**Tabel 3.3** Rancangan Lokasi Pengujian

No.	Pengujian	Lokasi
1	Ultrasonik	Divisi <i>Welding Preparation and Inspection</i> , PT. INKA, Madiun
2	Tarik	Laboratorium Tensile, PT. Hanil Jaya Steel
3	Kekerasan	Laboratorium Metalurgi, Departemen Teknik Material & Metalurgi FTI-RS, ITS, Surabaya
4	Metalografi	Laboratorium Metalurgi, Departemen Teknik Material & Metalurgi FTI-RS, ITS, Surabaya

**Tabel 3.4** Rancangan Kode Spesimen

Kode	Keterangan	Material
JR 240	Pengelasan <i>butt joint</i> dengan arus 200 A	S355JR
JR 220	Pengelasan <i>butt joint</i> dengan arus 220 A	S355JR
JR 200	Pengelasan <i>butt joint</i> dengan arus 240 A	S355JR
J2 240	Pengelasan <i>butt joint</i> dengan arus 200 A	S355J2
J2 220	Pengelasan <i>butt joint</i> dengan arus 220 A	S355J2
J2 200	Pengelasan <i>butt joint</i> dengan arus 240 A	S355J2

### 3.9 Jadwal Penelitian

Adapun penelitian ini dijadwalkan sesuai Tabel 3.5 berikut.

**Tabel 3.5** Jadwal Penelitian

Kegiatan	Bulan																
	Maret				April				Mei				Juni				
	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	
Studi Literatur	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	
Bimbingan	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	
Preparasi Alat dan Bahan	■	■															
Proses Pengelasan		■	■														
Pengujian Ultrasonik				■	■												
Pengujian Metalografi					■	■	■	■	■	■	■	■					
Pengujian Tarik					■	■	■	■	■	■	■	■					
Pengujian Kekerasan									■	■	■	■	■	■	■	■	
Penyusunan Laporan									■	■	■	■	■	■	■	■	

*(Halaman ini sengaja dikosongkan)*

## BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

### 4.1 Hasil Pengujian Metalografi

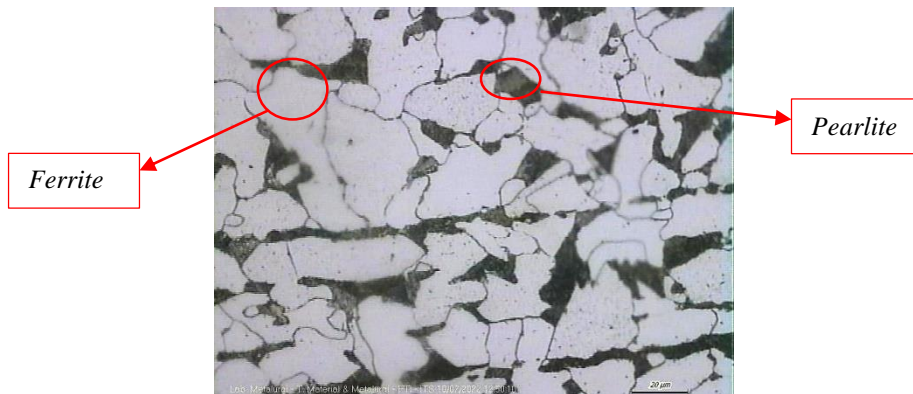
Sebelum dilakukan pengambilan gambar, spesimen diberikan larutan etsa dilanjutkan dengan perhitungan persentase fasa setelah mendapatkan gambar dari mikroskop. Perhitungan persentase fasa diambil menggunakan aplikasi *ImageJ*. Dari pengujian dan perhitungan tersebut didapatkan hasil sebagai berikut:

#### 4.1.1 Spesimen pengelasan baja S355JR dengan variasi arus 200 A

Perbandingan hasil metalografi dengan perbesaran mikroskop 500x pada tiga daerah pengelasan baja S355JR dengan variasi arus 200 A dapat dilihat di bawah ini.

##### 1. Daerah *Base Metal*

Gambar 4.1 di bawah tersajikan hasil metalografi bagian *base metal* baja S355JR.

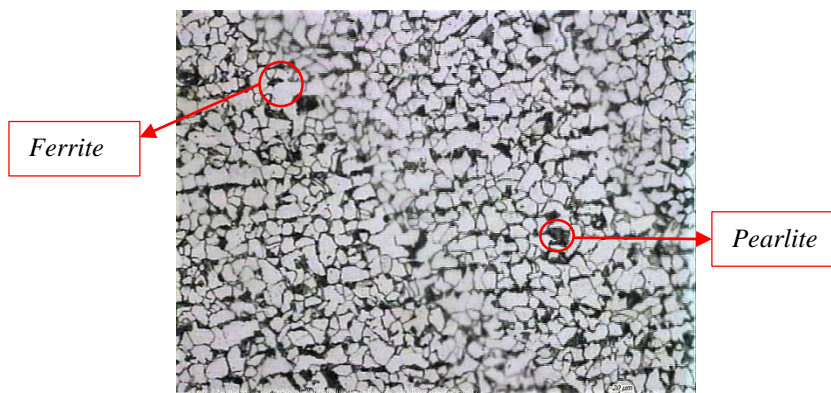


**Gambar 4.1** Metalografi *base metal* spesimen JR 200 dengan perbesaran 500x

Pada Gambar 4.1, terlihat bahwa ada dua fasa yang menyusun yaitu *ferrite* yang berwarna putih dan *pearlite* yang berwarna hitam. Masing-masing fasa *ferrite* dan *pearlite* setelah dihitung melalui aplikasi *ImageJ* didapatkan persentase sebesar 75,05% dan 24,95%.

##### 2. Daerah HAZ

Dari Gambar 4.2, dapat dilihat hasil metalografi daerah *heat affected zone* baja S355JR dengan variasi arus 200 A.

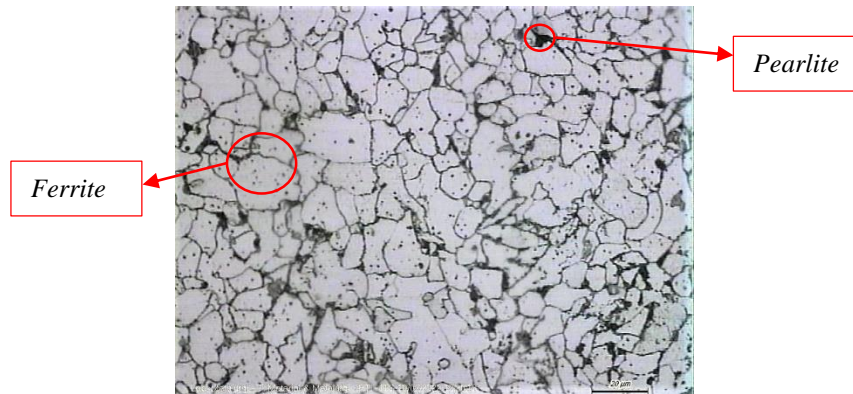


**Gambar 4.2** Metalografi *heat affected zone* spesimen JR 200 dengan perbesaran 500x

Dari Gambar 4.2 yang tersaji dapat dilihat ada dua fasa yang menyusun daerah HAZ yaitu *ferrite* (berwarna putih) dan *pearlite* (berwarna hitam). Masing-masing fasa *ferrite* dan *pearlite* tersebut memiliki persentase sebesar 52.16% dan 47.84%.

### 3. Daerah *Weld Metal*

Pada Gambar 4.3 yang disajikan hasil metalografi bagian *weld metal* baja S355JR dengan variasi arus 200 A.



**Gambar 4.3** Metalografi *weld metal* spesimen JR 200 dengan perbesaran 500x  
WM JR 200

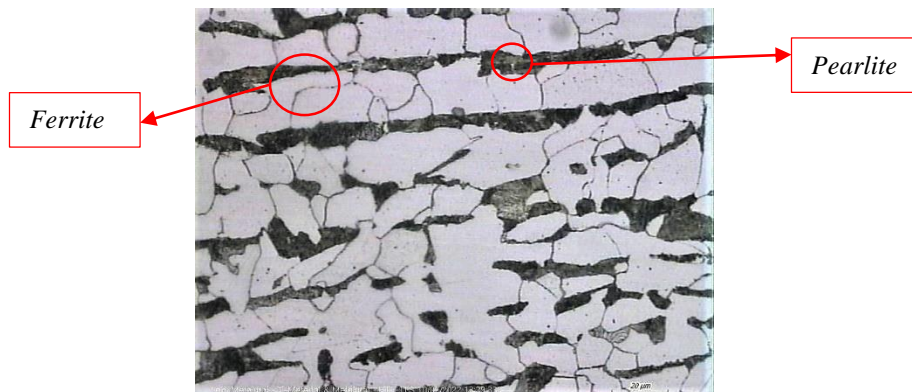
Ditinjau dari Gambar 4.3 bahwa terlihat ada dua fasa yaitu *ferrite* (berwarna putih) dan *pearlite* (berwarna hitam) dengan persentase masing masing fasa yaitu 75,67% dan 24,33%.

#### 4.1.2 Spesimen pengelasan baja S355JR dengan variasi arus 220 A

Perbandingan hasil metalografi dengan perbesaran mikroskop 500x pada tiga daerah pengelasan baja S355JR dengan variasi arus 220 A dapat dilihat di bawah ini.

### 1. Daerah *Base Metal*

Pada Gambar 4.4 yang disajikan hasil metalografi bagian *base metal* baja S355JR.



**Gambar 4.4** Metalografi *base metal* spesimen JR 220 dengan perbesaran 500x

Dari Gambar 4.4 yang tersaji dapat dilihat ada dua fasa yang menyusun daerah *base metal* yaitu *ferrite* (berwarna putih) dan *pearlite* (berwarna hitam). Selanjutnya dari pemrosesan menggunakan aplikasi *ImageJ* didapatkan persentase *ferrite* dan *pearlite* masing-masing yaitu 74,31% dan 25,69%.



## 2. Daerah HAZ

Dari Gambar 4.5 di bawah ini, dapat dilihat hasil metalografi daerah *heat affected zone* baja S355JR dengan variasi arus 220 A.



**Gambar 4.5** Metalografi *heat affected zone* spesimen JR 220 dengan perbesaran 500x

Dari Gambar 4.5 yang tersaji dapat dilihat ada dua fasa yang menyusun daerah HAZ yaitu *ferrite* (berwarna putih) dan *pearlite* (berwarna hitam). Selanjutnya dari pemrosesan menggunakan aplikasi *ImageJ* didapatkan persentase *ferrite* dan *pearlite* masing-masing yaitu 47,76% dan 52,24%.

## 3. Daerah Weld Metal

Dari Gambar 4.6, dapat dilihat hasil metalografi daerah *weld metal* baja S355JR dengan variasi arus 220 A.



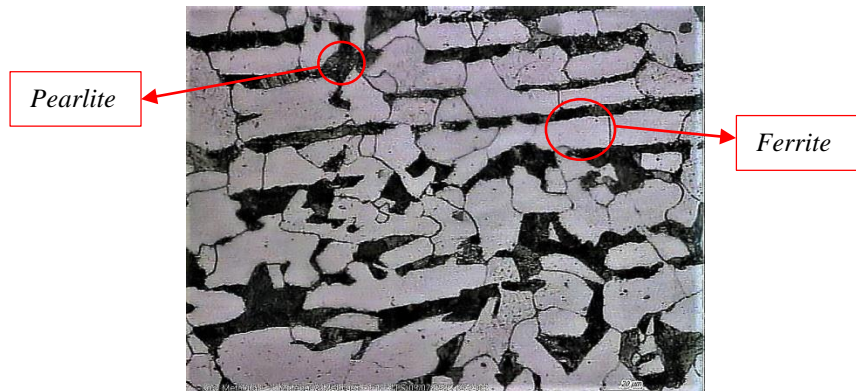
**Gambar 4.6** Metalografi *weld metal* spesimen JR 220 dengan perbesaran 500x

Ditinjau dari Gambar 4.6 bahwa terlihat ada dua fasa yaitu *ferrite* (berwarna putih) dan *pearlite* (berwarna hitam) dengan persentase masing masing fasa yaitu 73,6% dan 26,4%.

#### 4.1.3 Spesimen pengelasan baja S355JR dengan variasi arus 240 A

##### 1. Daerah *Base Metal*

Pada Gambar 4.7 yang disajikan hasil metalografi bagian *base metal* baja S355JR.

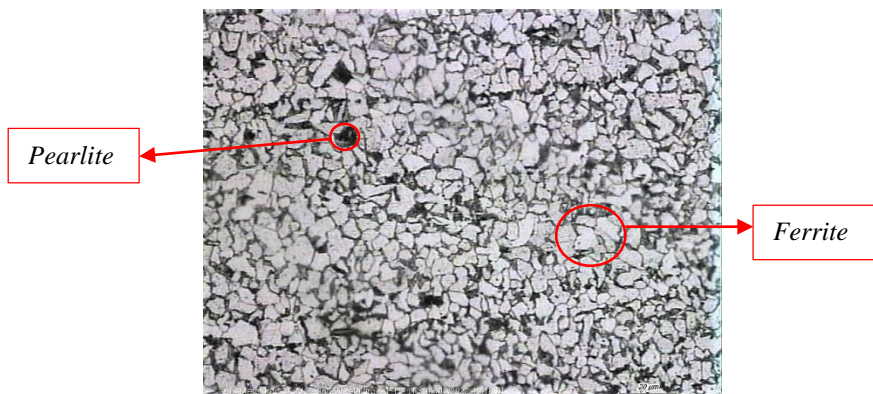


**Gambar 4.7** Metalografi *base metal* spesimen JR 240 dengan perbesaran 500x

Ditinjau dari Gambar 4.6 bahwa terlihat ada dua fasa yaitu *ferrite* (berwarna putih) dan *pearlite* (berwarna hitam) dengan persentase masing masing fasa yaitu 67,63% dan 32,37%.

##### 2. Daerah HAZ

Dari Gambar 4.8, dapat dilihat hasil metalografi daerah *heat affected zone* baja S355JR dengan variasi arus 240 A.



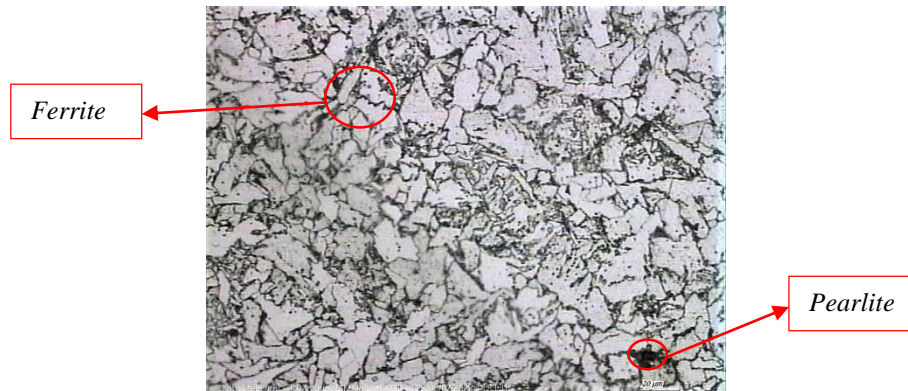
**Gambar 4.8** Metalografi *heat affected zone* spesimen JR 240 dengan perbesaran 500x

Ditinjau dari Gambar 4.8 bahwa terlihat ada dua fasa yaitu *ferrite* (berwarna putih) dan *pearlite* (berwarna hitam) dengan persentase masing masing fasa yaitu 65,58% dan 34,42%.



3. Daerah *Weld Metal*

Dari Gambar 4.9 di bawah ini, dapat dilihat hasil metalografi daerah *weld metal* baja S355JR dengan variasi arus 240 A.



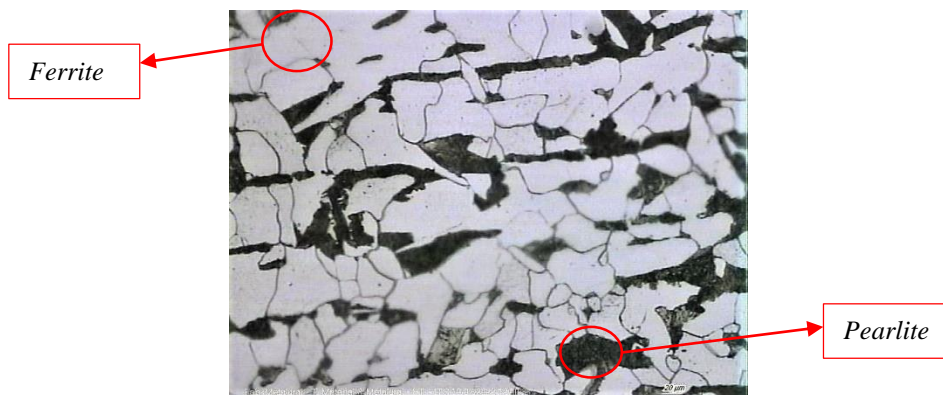
**Gambar 4.9** Metalografi *weld metal* spesimen JR 240 dengan perbesaran 500x

Ditinjau dari Gambar 4.9 bahwa terlihat ada dua fasa yaitu *ferrite* (berwarna putih) dan *pearlite* (berwarna hitam) dengan persentase masing masing fasa yaitu 77,13% dan 22,87%.

4.1.4 Spesimen pengelasan baja S355J2 dengan variasi arus 200 A

1. Daerah *Base Metal*

Dari Gambar 4.10 di bawah ini, dapat dilihat hasil metalografi daerah *base metal* baja S355J2.



**Gambar 4.10** Metalografi *base metal* spesimen J2 200 dengan perbesaran 500x

Pada Gambar 4.10, terlihat bahwa ada dua fasa yang menyusun *base metal* yaitu *ferrite* yang berwarna putih dan *pearlite* yang berwarna hitam. Masing-masing fasa *ferrite* dan *pearlite* setelah dihitung melalui aplikasi *ImageJ* didapatkan persentase sebesar 75,05% dan 24,95%.

2. Daerah HAZ

Dari Gambar 4.11 di bawah ini, dapat dilihat hasil metalografi daerah *heat affected zone* baja S355J2 dengan variasi arus 200 A.

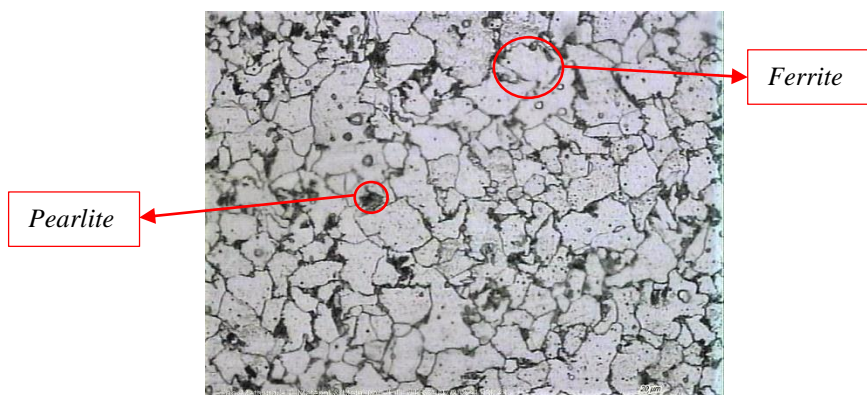


**Gambar 4.11** Metalografi *heat affected zone* spesimen J2 200 dengan perbesaran 500x

Pada Gambar 4.11, terlihat bahwa ada dua fasa yang menyusun *heat affected zone* yaitu *ferrite* yang berwarna putih dan *pearlite* yang berwarna hitam. Masing-masing fasa *ferrite* dan *pearlite* setelah dihitung melalui aplikasi *ImageJ* didapatkan persentase sebesar 52,16% dan 47,84%.

3. Daerah *Weld Metal*

Dari Gambar 4.12 di bawah ini, dapat dilihat hasil metalografi daerah *weld metal* baja S355J2 dengan variasi arus 200 A.



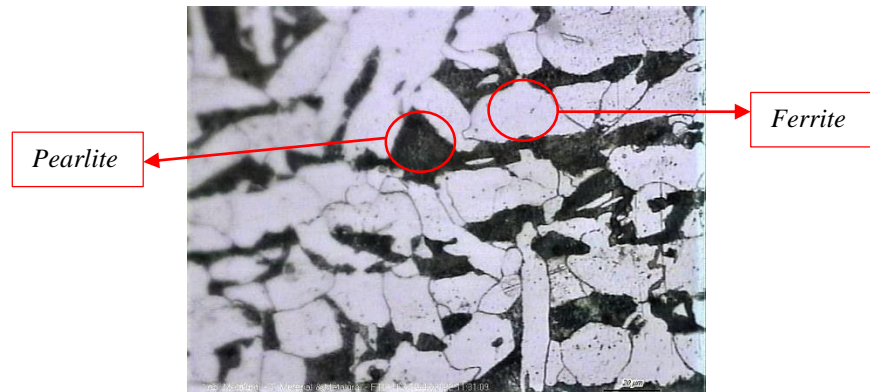
**Gambar 4.12** Metalografi *weld metal* spesimen J2 200 dengan perbesaran 500x

Pada Gambar 4.12, terlihat bahwa ada dua fasa yang menyusun *weld metal* yaitu *ferrite* yang berwarna putih dan *pearlite* yang berwarna hitam. Masing-masing fasa *ferrite* dan *pearlite* setelah dihitung melalui aplikasi *ImageJ* didapatkan persentase sebesar 75,67% dan 24,33%.

#### 4.1.5 Spesimen pengelasan baja S355J2 dengan variasi arus 220 A

##### 1. Daerah *Base Metal*

Dari Gambar 4.13 di bawah ini, dapat dilihat hasil metalografi daerah *base metal* baja S355J2.

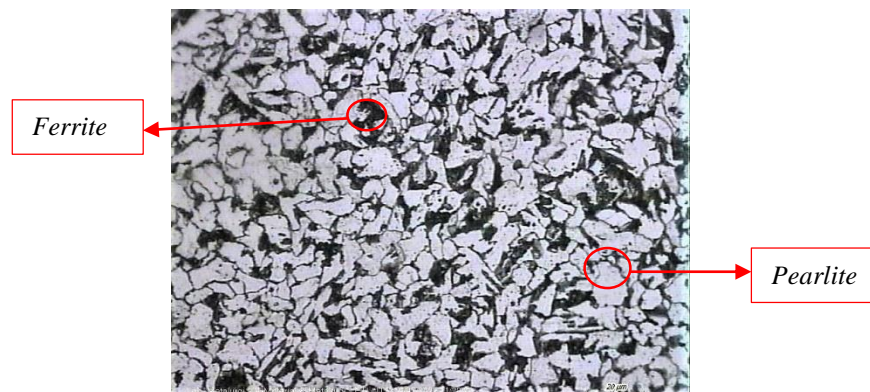


**Gambar 4.13** Metalografi *base metal* spesimen J2 220 dengan perbesaran 500x

Pada Gambar 4.13, terlihat bahwa ada dua fasa yang menyusun *base metal* yaitu *ferrite* yang berwarna putih dan *pearlite* yang berwarna hitam. Masing-masing fasa *ferrite* dan *pearlite* setelah dihitung melalui aplikasi *ImageJ* didapatkan persentase sebesar 69,75% dan 30,25%.

##### 2. Daerah HAZ

Dari Gambar 4.14 di bawah ini, dapat dilihat hasil metalografi daerah *heat affected zone* baja S355J2 dengan variasi arus 220 A.



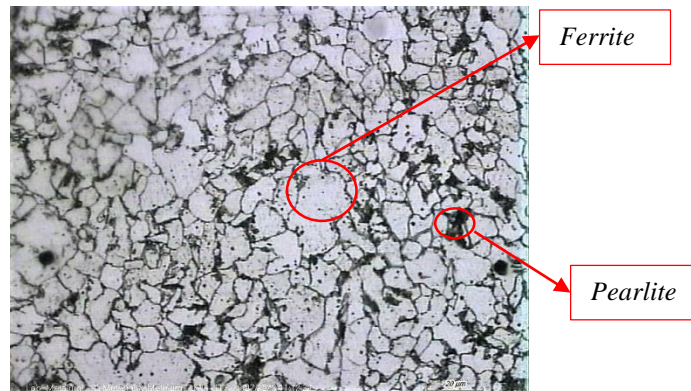
**Gambar 4.14** Metalografi *heat affected zone* spesimen J2 220 dengan perbesaran 500x

Pada Gambar 4.14, terlihat bahwa ada dua fasa yang menyusun *heat affected zone* yaitu *ferrite* yang berwarna putih dan *pearlite* yang berwarna hitam. Masing-masing fasa *ferrite* dan *pearlite* setelah dihitung melalui aplikasi *ImageJ* didapatkan persentase sebesar 46,76% dan 52,24%.



3. Daerah *Weld Metal*

Dari Gambar 4.15 di bawah ini, dapat dilihat hasil metalografi daerah *weld metal* baja S355J2 dengan variasi arus 220 A.



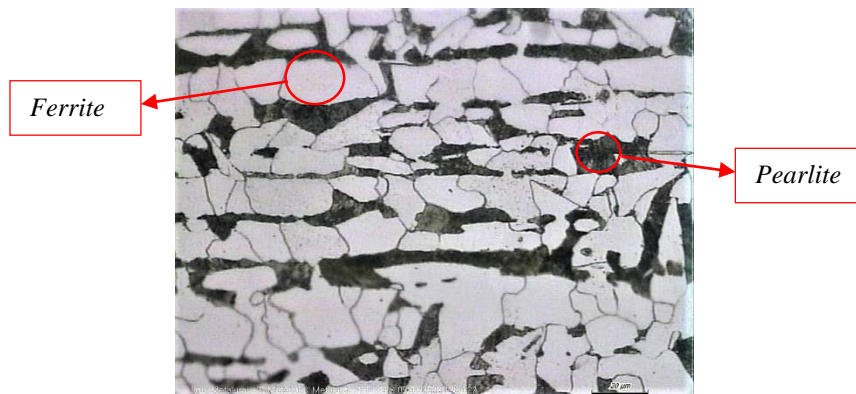
**Gambar 4.15** Metalografi *weld metal* spesimen J2 220 dengan perbesaran 500x

Pada Gambar 4.15, terlihat bahwa ada dua fasa yang menyusun *weld metal* yaitu *ferrite* yang berwarna putih dan *pearlite* yang berwarna hitam. Masing-masing fasa *ferrite* dan *pearlite* setelah dihitung melalui aplikasi *ImageJ* didapatkan persentase sebesar 71,23% dan 28,77%.

**4.1.6 Spesimen pengelasan baja S355J2 dengan variasi arus 240 A**

1. Daerah *Base Metal*

Dari Gambar 4.16 di bawah ini, dapat dilihat hasil metalografi daerah *base metal* baja S355J2.



**Gambar 4.16** Metalografi *base metal* spesimen J2 240 dengan perbesaran 500x

Pada Gambar 4.16, terlihat bahwa ada dua fasa yang menyusun *base metal* yaitu *ferrite* yang berwarna putih dan *pearlite* yang berwarna hitam. Masing-masing fasa *ferrite* dan *pearlite* setelah dihitung melalui aplikasi *ImageJ* didapatkan persentase sebesar 72,39% dan 27,61%.

## 2. Daerah HAZ

Dari Gambar 4.17 di bawah ini, dapat dilihat hasil metalografi daerah *heat affected zone* baja S355J2 dengan variasi arus 240 A.

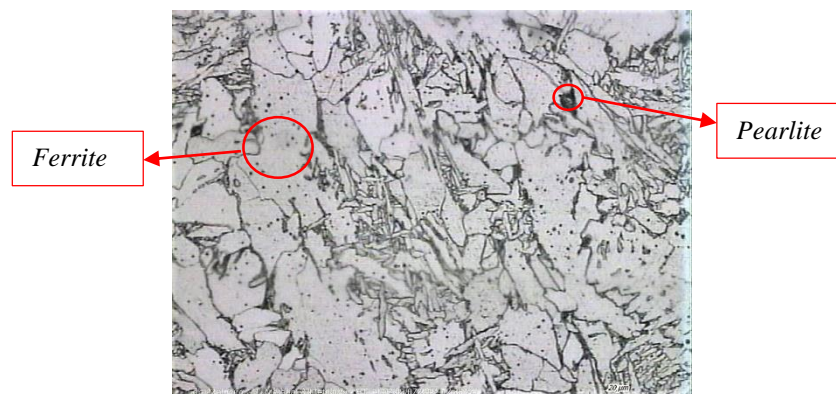


**Gambar 4.17** Metalografi *heat affected zone* spesimen J2 240 dengan perbesaran 500x

Pada Gambar 4.17, terlihat bahwa ada dua fasa yang menyusun *heat affected zone* yaitu *ferrite* yang berwarna putih dan *pearlite* yang berwarna hitam. Masing-masing fasa *ferrite* dan *pearlite* setelah dihitung melalui aplikasi *ImageJ* didapatkan persentase sebesar 58,73% dan 41,27%.

## 3. Daerah Weld Metal

Dari Gambar 4.18 di bawah ini, dapat dilihat hasil metalografi daerah *weld metal* baja S355J2 dengan variasi arus 240 A.



**Gambar 4.18** Metalografi *weld metal* spesimen J2 240 dengan perbesaran 500x

Pada Gambar 4.18, terlihat bahwa ada dua fasa yang menyusun *weld metal* yaitu *ferrite* yang berwarna putih dan *pearlite* yang berwarna hitam. Masing-masing fasa *ferrite* dan *pearlite* setelah dihitung melalui aplikasi *ImageJ* didapatkan persentase sebesar 76,26% dan 23,74%.

#### 4.1.7 Perbandingan Presentase Fasa

Dari hasil pengujian metalografi, data yang didapatkan berupa gambar struktur mikro yang kemudian dilakukan perhitungan persentase fasa yang terdapat pada tiap daerah pengelasan menggunakan aplikasi *ImageJ* yang hasilnya ditunjukkan pada Tabel 4.1 untuk baja S355JR dan Tabel 4.2 untuk baja S355J2.

**Tabel 4.1** Perbandingan Persentase Fasa Pada Spesimen Pengelasan Baja S355JR

Kode	Persentase Fasa (%)							
	<i>Weld</i>		HAZ		<i>Base</i>		<i>Average</i>	
	Terang	Gelap	Terang	Gelap	Terang	Gelap	Terang	Gelap
JR-240	77,13	22,87	65,58	34,42	67,63	32,37	70,11	29,89
JR-220	73,6	26,4	60,29	39,71	74,31	25,69	69,40	30,60
JR-200	78,52	21,48	68,85	31,15	77,04	22,96	74,80	25,20

**Tabel 4.2** Perbandingan Persentase Fasa Pada Spesimen Pengelasan Baja S355J2

Kode	Persentase Fasa (%)							
	<i>Weld</i>		HAZ		<i>Base</i>		<i>Average</i>	
	Terang	Gelap	Terang	Gelap	Terang	Gelap	Terang	Gelap
J2-240	76,26	23,74	58,73	41,27	72,39	27,61	69,13	30,87
J2-220	71,23	28,77	47,76	52,24	69,75	30,25	62,91	37,09
J2-200	75,67	24,33	52,16	47,84	75,05	24,95	67,63	32,37

#### 4.1.8 Analisis Hasil Pengujian Metalografi

Ditinjau dari Tabel 4.1 dan Tabel 4.2, pada daerah *weld metal*, HAZ dan *base metal* fasa yang dominan menyusun daerah tersebut adalah fasa *ferrite* (ditandai dengan daerah terang) dan *pearlite* (ditandai dengan daerah gelap). Persentase *ferrite* yang tertinggi diperoleh pada daerah *weld metal* dibanding HAZ dan *base metal*. Fenomena peningkatan persentase zona terang ini dengan penelitian Awali, dimana penggunaan arus pengelasan yang tinggi dapat menyebabkan masukan panas yang terjadi semakin tinggi sehingga memperlama pendinginan dan memberi waktu batas butir untuk dapat bertumbuh (Awali et al., 2021). Namun pada daerah *weld metal*, terdapat kecenderungan yang berbeda dari daerah HAZ dimana fasa yang mendapat pertambahan waktu untuk bertumbuh adalah zona gelap. Sedangkan pada daerah *weld metal*, fasa yang cenderung bertumbuh dan bertambah adalah zona terang. Hal ini disebabkan oleh komposisi paduan yang dimiliki oleh elektroda ER 70S-6, dimana pada elektroda ini terlihat bahwa kandungan silikon yang dimiliki lebih banyak daripada *base metal*. Banyaknya kandungan silikon ini dapat menyebabkan terbentuknya lebih banyak fasa *ferrite*, sebagaimana sifat dari silikon ini sendiri adalah sebagai salah satu elemen yang dapat membentuk dan menstabilkan *ferrite* pada baja (Higgins, 1999). Dimana fenomena ini dapat membentuk lebih banyak zona terang pada struktur mikro. Kondisi tersebut dapat memengaruhi nilai kekerasan dan kekuatan dari daerah *weld metal*, dimana semakin banyak *ferrite* yang dimiliki dapat berpengaruh terhadap pengurangan kekuatan dan kekerasan dari daerah *weld metal*.

Dari Tabel 4.1 dan Tabel 4.2 juga terlihat bahwa pada *weld metal* semakin tinggi arus yang digunakan maka zona terang yang dihasilkan terlihat lebih banyak. Hal ini disebabkan karena pada saat pembekuan logam las dimulai pada daerah yang bersentuhan dengan logam induk, yaitu ketika panas dari logam cair yang bersentuhan dengan logam induk mendingin

terlebih dahulu sampai titik beku, dimana kemudian inti-inti kristal tumbuh. Bagian tengah dari logam las membeku lebih lambat dari pada bagian luar (bagian yang bersentuhan dengan logam induk), sehingga kristal-kristal *ferrite* tumbuh memanjang seperti kolom dan memiliki ukuran yang lebih kasar (Habibi et al., 2015). Hal ini juga didukung dengan penelitian dari Awali, bahwa semakin besar arus yang digunakan menyebabkan tingginya masukan panas yang dihasilkan oleh pengelasan berakibat pada terjadinya lama pendinginan dan memberi batas butir waktu untuk dapat bertumbuh. Maka dari itu ukuran butir *ferrite* (zona terang) lebih kasar dan semakin banyak seiring dengan penambahan arus.

Pada daerah HAZ terlihat peningkatan persentase zona gelap dibandingkan dengan persentase zona gelap yang ada pada daerah *base metal*. Fenomena peningkatan zona gelap pada HAZ ini disebabkan oleh penggunaan variasi arus pengelasan. Semakin besar arus yang digunakan menyebabkan tingginya masukan panas yang dihasilkan oleh pengelasan berakibat pada terjadinya lama pendinginan dan memberi batas butir waktu untuk dapat bertumbuh (Awali et al., 2021). Semakin tinggi masukan panas yang diberikan pada proses pengelasan mengakibatkan penurunan persentase zona terang (*ferrite*) dan peningkatan persentase zona gelap (*pearlite*) (Tarmizi et al., 2021). Peningkatan persentase zona gelap ini dapat berpengaruh pada sifat kekerasan dan kekuatan yang dimiliki oleh daerah HAZ dibandingkan dengan daerah *base metal*. Dimana semakin tinggi arus yang digunakan dapat mengakibatkan struktur mikro zona gelap yang lebih halus. Tetapi arus yang terlalu tinggi dapat menyebabkan struktur mikro zona gelap yang lebih kasar. Fenomena tadi dapat memengaruhi penurunan kekerasan dan kekuatan zona HAZ.

Peningkatan persentase zona gelap ini selain disebabkan oleh pengaruh variasi arus, juga dapat disebabkan oleh pengaruh kandungan yang terdapat dalam *base metal*. Salah satu kandungan paduan yang terdapat dalam baja S355JR dan S355J2 adalah mangan. Mangan memiliki sifat sebagai penstabil dan pembentuk *austenite* yang kuat. Hal ini dapat menyebabkan seiring pertambahannya arus maka memungkinkan semakin stabilnya fasa *pearlite* yang dimiliki oleh HAZ. Hal ini dapat dibuktikan dari Tabel 4.1 dan Tabel 4.2 dimana terlihat bahwa daerah zona gelap yang dimiliki oleh daerah HAZ lebih banyak dibandingkan yang dimiliki daerah *weld metal*. Perbedaan ini terjadi karena pengaruh kandungan paduan yang dimiliki oleh *base metal* dibandingkan dengan elektroda. Pada *base metal* paduan yang dapat menyebabkan lebih banyak zona gelap adalah mangan sebagai paduan yang memiliki sifat pembentuk dan penstabil *austenite* yang baik, sedangkan pada *weld metal* paduan yang dapat menyebabkan lebih banyak zona terang adalah silikon yang memiliki sifat pembentuk dan penstabil *ferrite* yang baik (Higgins, 1999).

#### 4.2 Hasil Pengujian Kekerasan

Pengujian kekerasan dilakukan menggunakan metode Vickers dengan standar ASTM E92-17. Pengujian dilakukan pada tiap daerah pengelasan yaitu *weld metal*, *Heat Affected Zone* (HAZ) dan *base metal* masing masing dengan tiga titik. Dari pengujian kekerasan, didapatkan nilai kekerasan Vickers dari masing masing daerah yang dapat dilihat pada Tabel 4.3.

**Tabel 4.3** Rata-Rata Hasil Pengujian Kekerasan (VHN)

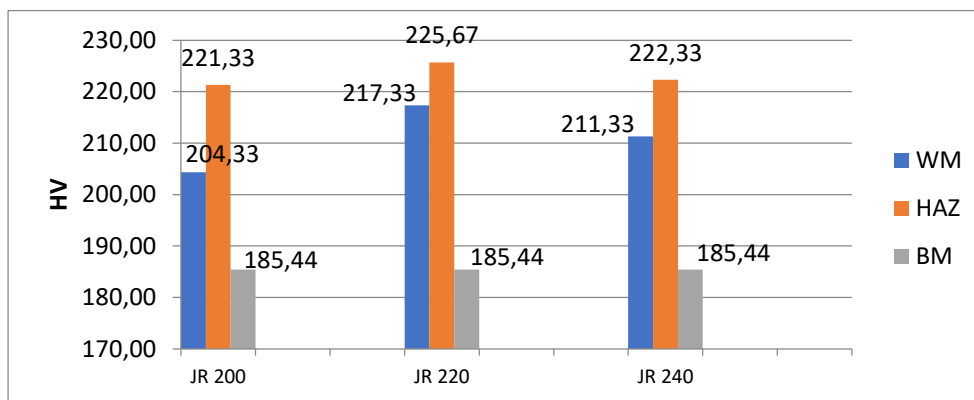
Variasi	Kode	<i>Weld Metal</i>	HAZ	<i>Base Metal</i>
240 A	JR 240	211,33	222,33	
220 A	JR 220	217,33	225,67	185,44
200 A	JR 200	204,33	221,33	
240 A	J2 240	213,67	225,67	
220 A	J2 220	221,33	233,67	197
200 A	J2 200	215,33	229	



Dari data Tabel 4.3 yang disajikan, dapat dilihat bahwa spesimen yang memiliki nilai kekerasan tertinggi di daerah *weld metal* dan HAZ diperoleh pada spesimen J2 220 dengan masing-masing besaran nilai kekerasannya yaitu 221,33 VHN dan 233,67 VHN. Sedangkan nilai kekerasan terendah di daerah *weld metal* dan HAZ diperoleh pada spesimen JR 200 dengan masing-masing besaran nilai kekerasannya yaitu 204,33 VHN dan 221,33 VHN.

**Tabel 4.4** Perbandingan Rata-Rata Hasil Pengujian Kekerasan Material S355JR

Kode	Base Metal (VHN)	Weld Metal (VHN)	Tren	HAZ (VHN)	Tren
JR 240		211,33	Naik 13,96%	222,33	Naik 19,89%
JR 220	185,44	217,33	Naik 17,19%	225,67	Naik 21,69%
JR 200		204,33	Naik 10,18%	221,33	Naik 19,35%



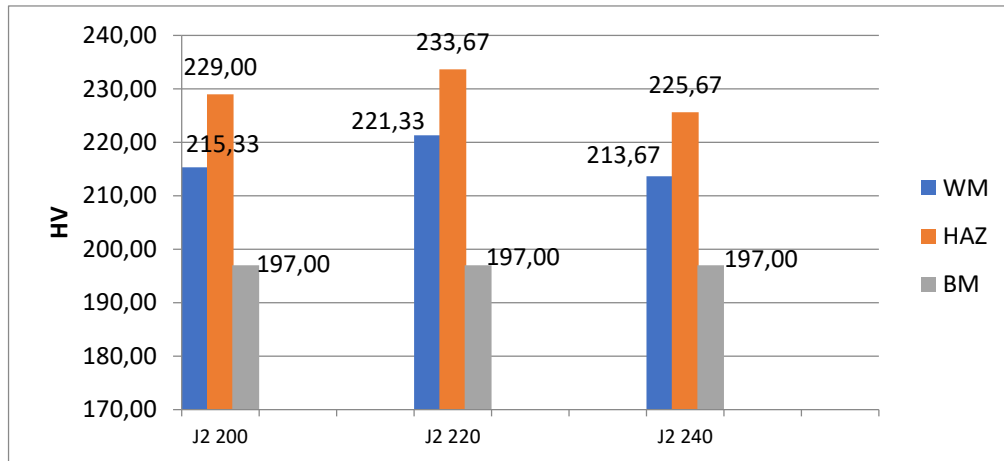
**Gambar 4.19** Grafik perbandingan rata-rata hasil pengujian kekerasan baja S355JR

Selanjutnya pada Tabel 4.4 dan Gambar 4.19 yang didapatkan, dapat dilihat bahwa seluruh nilai kekerasan *weld metal* dan HAZ terdapat peningkatan nilai kekerasan dari *base metal* yang awalnya sebesar 185,44 VHN. Peningkatan kekerasan pada spesimen JR 200 terjadi sebesar 10,18% dan 19,35% masing masing di daerah *weld metal* dan HAZ. Peningkatan kekerasan terbesar diperoleh pada spesimen JR 220 dengan masing-masing peningkatan kekerasan di daerah *weld metal* dan HAZ sebesar 17,19% dan 21,69%. Pada Gambar 4.19 , dapat dilihat bahwa peningkatan kekerasan spesimen JR 240 mengalami penurunan dibanding spesimen JR 220. Adapun persentase peningkatan kekerasan pada spesimen JR 240 sebesar 13,96% dan 19,89% masing masing pada daerah *weld metal* dan HAZ.

**Tabel 4.5** Perbandingan Rata-Rata Hasil Pengujian Kekerasan Material S355J2

Kode	Base Metal (VHN)	Weld Metal (VHN)	Tren	HAZ (VHN)	Tren
J2 240		213,67	Naik 8,46%	225,67	Naik 14,55%
J2 220	197	221,33	Naik 12,35%	233,67	Naik 18,61%
J2 200		215,33	Naik 9,13%	229	Naik 16,24%





**Gambar 4.20** Grafik perbandingan rata-rata hasil pengujian kekerasan baja S355J2

Pada Tabel 4.5 dan Gambar 4.20 yang disajikan, dapat dilihat bahwa seluruh nilai kekerasan *weld metal* dan HAZ baja S355J2 terdapat peningkatan nilai kekerasan dari *base metal* yang awalnya sebesar 197 VHN. Persentase peningkatan kekerasan pada spesimen J2 200 terjadi sebesar 9,13% dan 18,61% masing masing di daerah *weld metal* dan HAZ. Peningkatan kekerasan terbesar diperoleh pada spesimen J2 220 dengan masing-masing peningkatan kekerasan di daerah *weld metal* dan HAZ sebesar 12,35% dan 18,61%. Pada Gambar 4.20 , dapat dilihat bahwa peningkatan kekerasan spesimen J2 240 mengalami penurunan dibanding spesimen J2 220. Adapun persentase peningkatan kekerasan pada spesimen J2 240 sebesar 8,46% dan 14,55% masing masing pada daerah *weld metal* dan HAZ.

#### 4.2.1 Analisis Hasil Pengujian Kekerasan

Dari data yang disajikan pada gambar dan tabel diatas dapat dilihat bahwa penggunaan arus pengelasan dapat memengaruhi hasil kekerasan pada daerah HAZ dan *weld metal*. Pada kedua material S355JR dan S355J2 terlihat peningkatan nilai kekerasan dengan menggunakan arus 220 A dibandingkan dengan arus 200 A. Semakin tinggi arus atau masukan panas yang diberikan sehingga bahan atau logam tersebut semakin keras, hal ini disebabkan karena terbentuknya mangan karbida (MnC) yang sifatnya memberikan kekerasan pada logam tersebut.(Priadi, 2007)

Sebaliknya dengan meningkatnya arus dari 220 A ke 240 A terjadi penurunan nilai kekerasan. Hal ini diakibatkan karena fasa yang terbentuk berupa perlit kasar. Semakin besar arus yang digunakan menyebabkan tingginya masukan panas yang didapatkan, menyebabkan terjadi lamanya pendinginan yang berdampak pada bentuk fasa yang dihasilkan. Bentuk butir fasa yang terbentuk pada daerah *Heat Affected Zone* (HAZ) dan logam las mengalami pengasaran dikarenakan pengaruh distribusi panas yang berlangsung ketika dilakukan proses pengelasan(Awali et al., 2021)

Dari data yang disajikan pada Tabel 4.5 dan Tabel 4.6, terlihat bahwa nilai kekerasan HAZ dan *weld metal* itu lebih besar dari *base metal*. Tapi untuk nilai kekerasan *weld metal* tetap lebih kecil daripada nilai kekerasan HAZ. Hal ini disebabkan oleh kandungan karbon yang lebih rendah yang dimiliki oleh elektroda ER70S-6 dibanding *base metal*. Menurut Rudra, kekerasan dari baja paduan bergantung oleh persentase kandungan karbon yang terdapat pada paduan itu dibanding kandungan lainnya(Singh & Kumar, 2019).Jadi apabila kandungan karbon elektroda lebih rendah dari baja S355JR dan S355J2 dapat mengakibatkan kekerasan pada *weld metal* yang lebih rendah dari HAZ, dimana peningkatan nilai kekerasan HAZ yang terjadi diakibatkan oleh semakin tinggi arus atau masukan panas yang diberikan

---

maka bahan semakin keras, hal ini disebabkan terbentuknya mangan karbida (MnC) yang meningkatkan sifat kekerasan (Priadi, 2007) hal ini didukung dengan kandungan mangan yang dimiliki baja S355JR dan S355J2 yang cukup banyak sehingga baja ini dapat disebut baja mangan dan memiliki kekerasan yang lebih tinggi dibandingkan daerah *weld metal*.

Selain disebabkan oleh masukan panas yang tinggi yang dapat menambah lama pendinginan yang menyebabkan ukuran butir lebih kasar, penyebab lain dari nilai kekerasan *weld metal* yang lebih rendah dari daerah HAZ adalah nilai kandungan silikon yang terdapat pada elektroda ER 70S-6 dimana kandungan yang dimiliki elektroda ini lebih tinggi dibandingkan kandungan yang dimiliki *base metal*. Kandungan silikon yang lebih banyak pada elektroda ini dapat menyebabkan pembentukan dan penstabilan *ferrite* yang lebih tinggi dari daerah HAZ, dimana silikon memiliki sifat pembentuk dan penstabil *ferrite* yang baik. *Ferrite* yang lebih banyak pada *weld metal* ini dapat menyebabkan penurunan nilai kekerasan, dimana kekerasan *ferrite* lebih rendah dibanding kekerasan *pearlite*.

Selanjutnya dari Tabel 4.3 ditunjukkan bahwa nilai kekerasan HAZ lebih tinggi daripada *weld metal*. Penyebab nilai kekerasan HAZ yang lebih tinggi adalah waktu pendinginan, dimana pada daerah HAZ memiliki waktu pendinginan yang terjadi semakin singkat. Semakin jauh jarak HAZ dari *weld metal* maka semakin cepat pendinginan yang dialami oleh daerah tersebut. Karena pada saat pendinginan *weld metal* dimulai pada daerah terluar yang bersentuhan dengan logam induk. Ketika panas dari logam cair yang bersentuhan dengan logam induk mendingin terlebih dahulu. Maka bagian *weld metal* memiliki waktu pendinginan lebih lambat dari bagian luar, dalam hal ini adalah daerah HAZ (Habibi et al., 2015). Maka dari itu daerah HAZ mengalami pendinginan yang lebih singkat. Pendinginan yang lebih singkat ini dapat menyebabkan pertumbuhan batas butir yang terbatas ataupun lebih sedikit dibandingkan pada daerah *weld metal* yang menyebabkan batas butir yang lebih halus dan hal ini dapat menyebabkan peningkatan kekerasan (Singh & Kumar, 2019)

### 4.3 Hasil Pengujian Tarik

Dari pengujian tarik didapatkan nilai UTS, *yield Strength* dan *elongation* dari masing-masing material menggunakan variasi yang sudah ditentukan. Hasil pengujian tarik dapat dilihat sesuai penggunaan baja saat pengelasan sebagai berikut.

#### 4.3.1 Hasil Pengujian Tarik Baja S355JR

Pengujian tarik pada penelitian ini dilakukan sesuai dengan variasi yang dibutuhkan. Pengujian tarik pada baja S355JR dilakukan menggunakan pengulangan sebanyak tiga kali pada setiap variasinya. Adapun nilai hasil pengujian tarik dapat dilihat pada Tabel 4.6.

**Tabel 4.6** Hasil Pengujian Tarik Pada Spesimen Pengelasan Baja S355JR

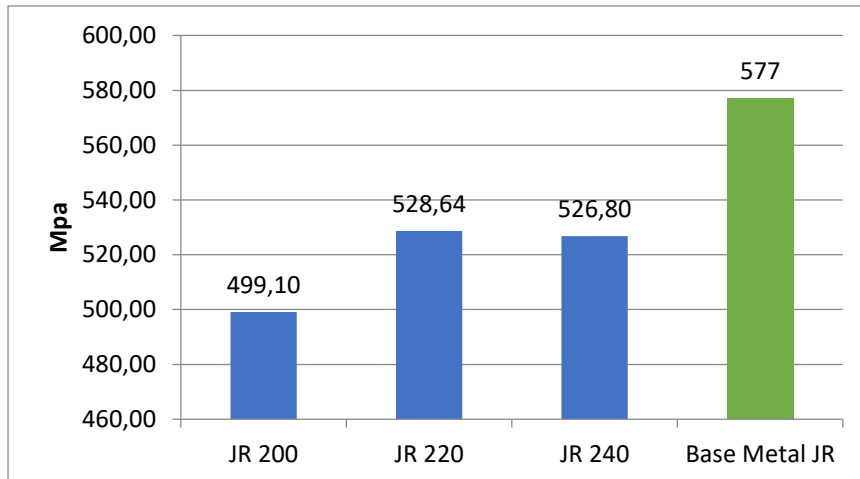
Kode	<i>Ultimate Tensile Strength</i> (MPa)	<i>Avg. Ultimate Tensile Strength</i> (MPa)	<i>Elongation</i> (%)	<i>Avg. Elongation</i> (%)	<i>Yield Strength</i> (MPa)	<i>Avg. Yield Strength</i> (MPa)
JR-240 a	523.07		33.83		377,03	
JR-240 b	523.88	526.80	29.53	30.6	372,56	374,64
JR-240 c	533.45		28.44		374,34	
JR-220 a	526.97		27.41		380,57	
JR-220 b	537.88	528,64	42.78	37.14	398,95	392,40
JR-220 c	521.07		41.23		397,69	
JR-200 a*	496.37		21.83		378,09	
JR-200 b*	488,75	499.10	16.51	19.65	388,30	386,54
JR-200 c*	512,18		20.59		393,23	

*Keterangan: \*Spesimen mengalami patah di daerah weld metal*

Dari tabel diatas, diperoleh nilai rata-rata dari masing-masing *Ultimate Tensile Strength* (UTS), *yield strength* dan *elongation*. Adapun nilai UTS, *yield strength* dan *elongation* tertinggi diperoleh pada spesimen JR 220 dengan masing-masing nilai sebesar 528,64 MPa, 392,40 MPa, dan 37,14%. Lalu diikuti oleh spesimen JR 240 dengan nilai UTS, *yield strength* dan *elongation* berturut-turut sebesar 526,8 MPa, 374,64 MPa, dan 30,6%. Spesimen JR 200 masing-masing memiliki nilai UTS, *yield strength* dan *elongation* terkecil sebesar 499,10 MPa, 386,54 MPa, dan 19,65%.

**Tabel 4.7** Perbandingan Rata-Rata UTS Pada Spesimen Pengelasan Baja S355JR

Kode	<i>Ultimate Tensile Strength</i> (MPa)	<i>Avg. Ultimate Tensile Strength</i> (MPa)	<i>Tren</i>
JR 240	523,07		
	523,88	526,80	Turun 8,70%
	533,45		
JR 220	526,97		
	537,88	528,64	Turun 8,38%
	521,07		
JR 200	496,37		
	488,75	499,10	Turun 13.5%
	512,18		
<i>Base Metal</i>		577	

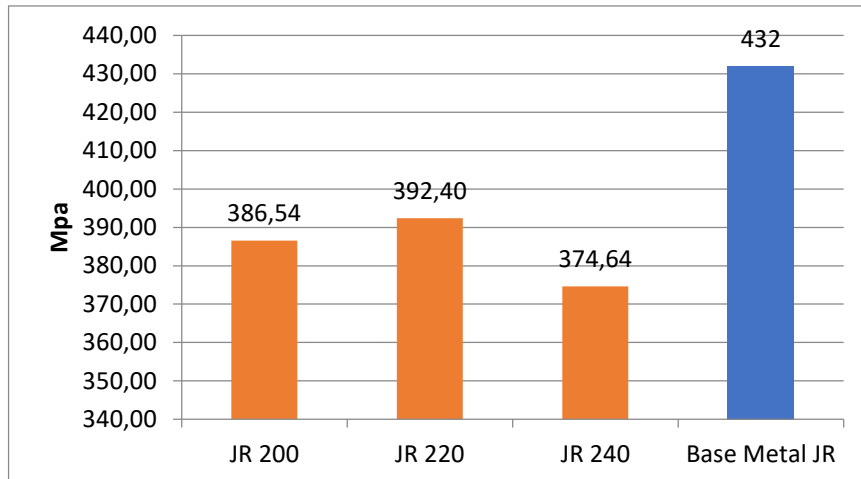


**Gambar 4.21** Grafik perbandingan rata-rata *Ultimate Tensile Strength* spesimen pengelasan baja S355JR

Dari Tabel 4.7 dan Gambar 4.21, terdapat nilai UTS *base metal* yang digunakan sebagai pembandingan dengan nilai UTS dari spesimen pada penelitian ini. Penggunaan nilai ini bertujuan untuk melihat apakah nilai UTS spesimen pengelasan mencapai *base metal* atau tidak. Adapun nilai nilai UTS *base metal* sebesar 550 MPa. Nilai UTS tertinggi diperoleh dari spesimen JR 220 dengan nilai 528,64 MPa dan mengalami penurunan dari *base metal* sekitar 8,34%. Kemudian diikuti oleh spesimen JR 240 dan JR 200 dengan nilai UTS sebesar 526,80 MPa dan 499,10 MPa dan memiliki penurunan masing-masing sebesar 8,70% dan 13,5%.

**Tabel 4.8** Perbandingan Rata-Rata *Yield Strength* Pada Spesimen Pengelasan Baja S355JR

Kode	<i>Yield Strength</i> (MPa)	<i>Avg. Yield Strength</i> (MPa)	<i>Tren</i>
JR 240	377,03	374,64	Turun 13,2%
	372,56		
	374,34		
JR 220	380,57	392,40	Turun 9,16%
	398,95		
	397,69		
JR 200	378,09	386,54	Turun 10,52%
	388,30		
	393,23		
<i>Base Metal</i>		432	

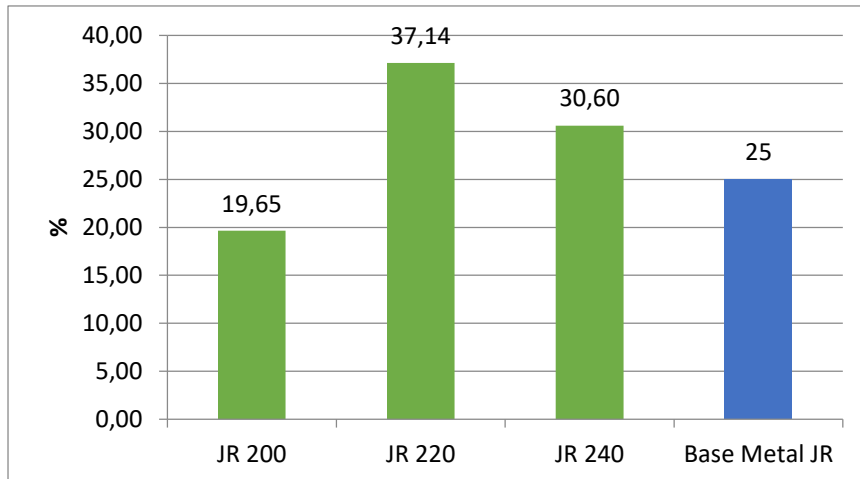


**Gambar 4.22** Grafik perbandingan rata-rata *yield strength* spesimen pengelasan baja S355JR

Dari Tabel 4.8 dan Gambar 4.22, terdapat nilai *yield strength base metal* yang digunakan sebagai pembandingan dengan nilai *yield strength* dari spesimen pada penelitian ini yang bertujuan untuk melihat apakah nilai *yield strength* spesimen pengelasan mencapai *base metal* atau tidak. Adapun nilai nilai *yield strength* sebesar 432 MPa. Nilai *yield strength* tertinggi diperoleh dari spesimen JR 220 dengan nilai 392,40 MPa dan mengalami penurunan dari *base metal* sekitar 9,16%. Kemudian diikuti oleh spesimen JR 200 dan JR 240 dengan nilai *yield strength* sebesar 386,54 MPa dan 374,64 MPa dan memiliki penurunan masing-masing sebesar Turun 10,52% dan 13,2%.

**Tabel 4.9** Perbandingan Rata-Rata *Elongation* Pada Spesimen Pengelasan Baja S355JR

Kode	<i>Elongation</i> (%)	Avg. <i>Elongation</i> (%)	<i>Tren</i>
JR 240	33,83	30,6	Naik 22,4%
	29,53		
	28,44		
JR 220	27,41	37,14	Naik 48,56%
	42,78		
	41,23		
JR 200	21,83	19,65	Turun 21,4%
	16,51		
	20,59		
<i>Base Metal</i>		25	



**Gambar 4.23** Grafik perbandingan rata-rata *elongation* spesimen pengelasan baja S355JR

Dari Tabel 4.9 dan Gambar 4.23, terdapat nilai *elongation base metal* S355JR yang digunakan sebagai pembandingan dengan nilai *elongation* dari spesimen pada penelitian ini yang bertujuan untuk melihat apakah nilai *elongation* spesimen pengelasan mencapai *base metal* atau tidak. Adapun nilai *elongation* tersebut sebesar 25%. Nilai *elongation* tertinggi diperoleh dari spesimen JR 220 dengan nilai 37,14% dan mengalami peningkatan dari *base metal* sekitar 48,56%. Kemudian diikuti oleh spesimen JR 240 dan JR 200 dengan nilai *elongation* sebesar 30,6% dan 19,65% dan memiliki penurunan masing-masing sebesar naik 22,4% sedangkan spesimen JR 200 turun sebesar 21,4%.

#### 4.3.2 Hasil Pengujian Tarik Baja S355J2

Pengujian tarik pada penelitian ini dilakukan sesuai dengan variasi yang dibutuhkan. Pengujian tarik pada baja S355J2 dilakukan menggunakan pengulangan sebanyak tiga kali pada setiap variasinya. Adapun nilai hasil pengujian tarik dapat dilihat pada Tabel 4.10.

**Tabel 4.10** Hasil Pengujian Tarik Pada Spesimen Pengelasan Baja S355J2

Kode	Ultimate Tensile Strength (MPa)	Avg. Ultimate Tensile Strength (MPa)	Elongation (%)	Avg. Elongation (%)	Yield Strength (MPa)	Avg. Yield Strength (MPa)
J2-240 a	495,72		14,74		396,76	
J2-240 b	484,24	496,27	16,23	18,22	382,28	386,79
J2-240 c	508,86		23,68		381,31	
J2-220 a	518,65		24,15		381,18	
J2-220 b	521,63	520,33	24,50	23,55	401,31	390,03
J2-220 c	520,73		22		387,58	
J2-200 a*	503,61		9,7		386,25	
J2-200 b*	519,73	503,53	14,92	12,94	385,18	385,90
J2-200 c*	487,25		14,20		386,26	

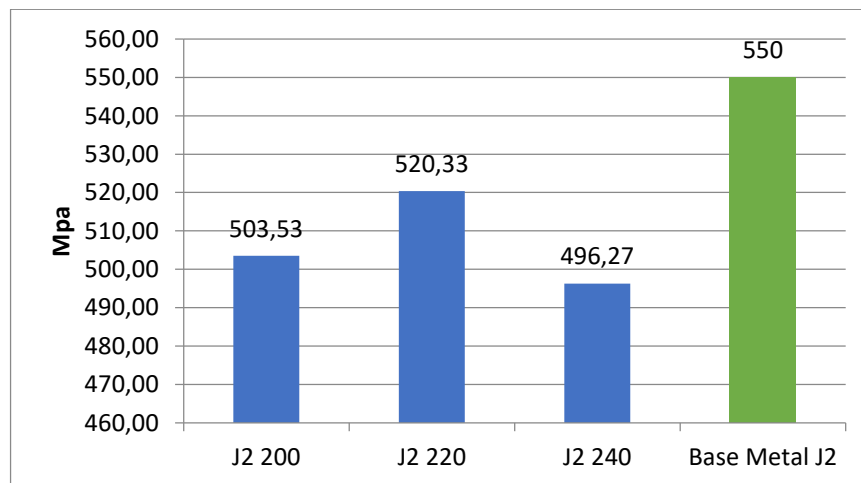
Keterangan: \*Spesimen mengalami patah di daerah weld metal

Dari tabel diatas, diperoleh nilai rata-rata dari masing-masing UTS, *yield strength* dan *elongation*. Adapun nilai UTS, *yield strength* dan *elongation* tertinggi diperoleh pada spesimen J2 220 dengan masing-masing nilai sebesar 520,33 MPa, 390,03 MPa, dan 23,55%.

Selanjutnya urutan nilai UTS diikuti oleh spesimen J2 200 dan J2 240 masing-masing sebesar 503,53 MPa dan 496,27 MPa. Sedangkan untuk nilai *yield strength* dan *elongation* tertinggi kedua diperoleh oleh spesimen J2 240 sebesar 386,79 MPa dan 18,22%. Kemudian diikuti oleh spesimen J2 200 masing-masing dengan nilai sebesar 385,90 MPa dan 12,94%.

**Tabel 4.11** Perbandingan Rata-Rata UTS Pada Spesimen Pengelasan Baja S355J2

Kode	<i>Ultimate Tensile Strength</i> (MPa)	<i>Avg. Ultimate Tensile Strength</i> (MPa)	<i>Tren</i>
J2 240	495,72 484,24 508,86	496,27	Turun 9,77%
J2 220	518,65 521,63 520,73	520,33	Turun 5,39%
J2 200	503,61 519,73 487,25	503,53	Turun 8,45%
<i>Base Metal</i>		550	

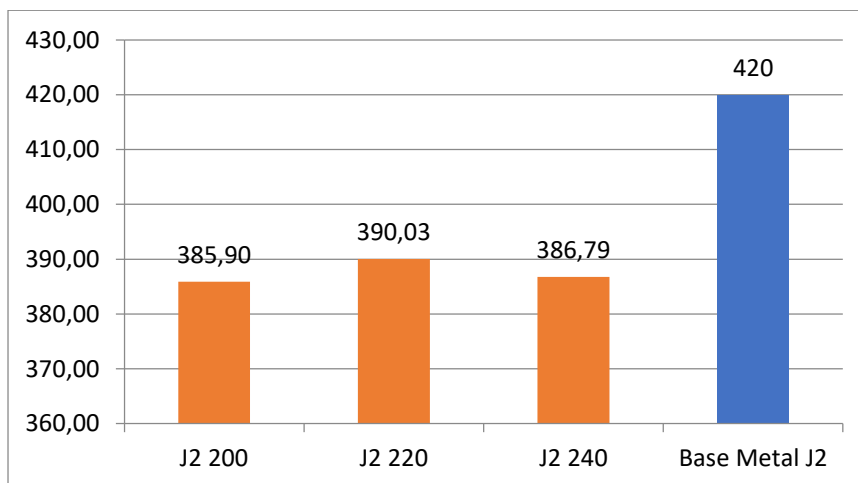


**Gambar 4.24** Grafik perbandingan rata-rata *Ultimate Tensile Strength* spesimen pengelasan baja S355J2

Dari Tabel 4.11 dan Gambar 4.24, terdapat nilai UTS *base metal* yang digunakan sebagai pembandingan dengan nilai UTS dari spesimen pada penelitian ini. Penggunaan nilai ini bertujuan untuk melihat apakah nilai UTS spesimen pengelasan mencapai *base metal* atau tidak. Adapun nilai nilai UTS *base metal* sebesar 550 MPa. Nilai UTS tertinggi diperoleh dari spesimen J2 220 dengan nilai 520,33 MPa dan mengalami penurunan dari *base metal* sekitar 5,39%. Kemudian diikuti oleh spesimen J2 200 dan J2 240 dengan nilai UTS sebesar 503,53 MPa dan 496,27 MPa dan memiliki penurunan masing-masing sebesar 8,45% dan 9,77%.

**Tabel 4.12** Perbandingan Rata-Rata *Yield Strength* Pada Spesimen Pengelasan Baja S355J2

Variasi	<i>Yield Strength</i> (MPa)	<i>Avg. Yield Strength</i> (MPa)	<i>Tren</i>
J2 240	396,76 382,28 381,31	386,79	Turun 7,91%
J2 220	381,18 401,31 387,58	390,03	Turun 7,14%
J2 200	386,25 385,18 386,26	385,90	Turun 8,12%
<i>Base Metal</i>		420	



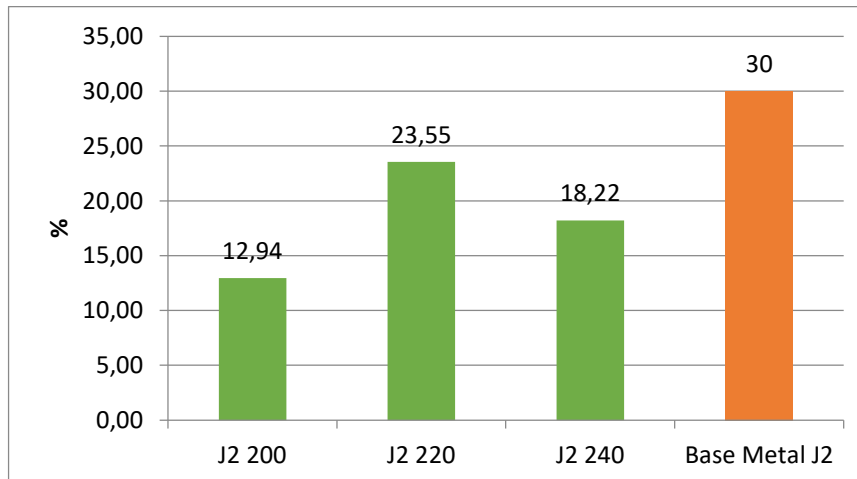
**Gambar 4.25** Grafik perbandingan rata-rata *yield strength* spesimen pengelasan baja S355J2

Dari Tabel 4.12 dan Gambar 4.25, terdapat nilai *yield strength base metal* yang digunakan sebagai pembandingan dengan nilai *yield strength* dari spesimen pada penelitian ini yang bertujuan untuk melihat apakah nilai *yield strength* spesimen pengelasan mencapai *base metal* atau tidak. Adapun nilai nilai *yield strength* sebesar 420 MPa. Nilai *yield strength* tertinggi diperoleh dari spesimen J2 220 dengan nilai 390,03 MPa dan mengalami penurunan dari *base metal* sekitar 7,14%. Kemudian diikuti oleh spesimen J2 240 dan J2 200 dengan nilai *yield strength* sebesar 386,79 MPa dan 385,90 MPa dan memiliki penurunan masing-masing sebesar Turun 7,91% dan 8,12%.



**Tabel 4.13** Perbandingan Rata-Rata *Elongation* Pada Spesimen Pengelasan Baja S355J2

Variasi	<i>Elongation</i> (%)	Avg. <i>Elongation</i> (%)	<i>Tren</i>
J2 240	14,74 16,23 23,68	18,22	Turun 39,27%
J2 220	24,15 24,50 22	23,55	Turun 21,51%
J2 200	9,7 14,92 14,20	12,94	Turun 56,87%
<i>Base Metal</i>		30	



**Gambar 4.26** Grafik perbandingan rata-rata *elongation* spesimen pengelasan baja S355J2

Dari Tabel 4.13 dan Gambar 4.26, terdapat nilai *elongation base metal* S355J2 yang digunakan sebagai pembandingan dengan nilai *elongation* dari spesimen pada penelitian ini yang bertujuan untuk melihat apakah nilai *elongation* spesimen pengelasan mencapai *base metal* atau tidak. Adapun nilai *elongation* tersebut sebesar 30%. Nilai *elongation* tertinggi diperoleh dari spesimen J2 220 dengan nilai 23,55% dan mengalami penurunan dari *base metal* sekitar 21,51%. Kemudian diikuti oleh spesimen J2 240 dan J2 200 dengan nilai *elongation* sebesar 18,22 % dan 12,94 % dan memiliki penurunan masing-masing sebesar Turun 39,27% dan 56,87%.

### 4.3.3 Analisis Pengaruh Arus Terhadap Hasil Pengujian Tarik

Dari analisis diatas, dapat dilihat bahwa nilai UTS, *yield strength* dan *elongation* mengalami peningkatan dari spesimen JR 200 ke spesimen JR 220. Tapi pada spesimen JR 240 mengalami penurunan nilai UTS, *yield strength* dan *elongation*. Fenomena yang sama juga terjadi pada spesimen S355J2. Hal ini disebabkan oleh peningkatan dari arus meningkatkan masukan panas ke dalam spesimen dan pendinginan di udara dapat menghasilkan baja yang lebih lunak melalui proses penghilangan dislokasi. Selanjutnya, proses rekristalisasi dapat terjadi dan menghasilkan batas butir yang bebas tegangan yang menggantikan batas butir yang terdeformasi dengan dislokasi. Penggunaan arus yang lebih tinggi seperti spesimen JR 240 dan J2 240 dapat menghasilkan proses pertumbuhan batas butir yang dapat membuat mikrostruktur baja menjadi lebih kasar, yang kemudian dapat menyebabkan kehilangan kekuatan jika baja tidak dilakukan proses pengerasan.(Al-Sarairoh, 2018)

Selain itu menurut Aditia, dengan meningkatnya arus pengelasan maka kekuatan juga menurun hal ini diakibatkan oleh arus yang digunakan terlalu tinggi maka elektroda mencair terlalu cepat dan menghasilkan permukaan las yang lebih lebar dan penembusan yang dalam sehingga menghasilkan kekuatan tarik yang rendah dan menambah kerapuhan dari hasil pengelasan(Aditia et al., 2019). Maka dari itu diperlukan penggunaan arus pengelasan yang tepat yang disesuaikan dengan jenis bahan dan diameter elektroda yang digunakan dalam pengelasan.

Dari Tabel 4.6 yang disajikan juga dapat dilihat bahwa spesimen JR 200 dan J2 200 saat pengujian tarik mengalami patah didaerah *weld metal* berarti kualitas sambungan las lebih rendah daripada logam induk(Iswanto et al., 2017). Maka dari itu pengelasan baja S355JR dan S355J2 dengan menggunakan variasi arus 200 A tidak direkomendasikan karena penembusan atau arus yang kecil menghasilkan panas yang rendah dan tidak cukup untuk melelehkan elektroda dan bahan logam, penembusan panas dan kecepatan pencairan logam berpengaruh pada kualitas hasil pengelasan(Almuzikri W A et al., 2021). Maka dari itu pengelasan baja S355JR dan S355J2 menggunakan arus ini, tidak direkomendasikan.

Selanjutnya dari Tabel 4.7 dan Gambar 4.21 dapat dilihat bahwa UTS spesimen hasil pengelasan S355JR dan S355J2 mengalami penurunan dari UTS *base metal* hal ini dapat diakibatkan oleh kandungan karbon yang dimiliki oleh elektroda ER70S-6 lebih sedikit dibandingkan dengan *base metal* yang mengakibatkan kekuatan UTS yang dimiliki hasil lasan tidak sekuat *base metal*. Sedangkan seharusnya sampai batas tertentu peningkatan kandungan karbon dapat meningkatkan kekuatan UTS dari baja karbon(Higgins, 1999). Dan juga dari sifat mekanik elektroda ER70S-6 dapat dilihat bahwa nilai kekuatan elektroda ini dibawah kekuatan *base metal* yang digunakan. Sedangkan baja S355JR dan S355J2 pada baja ini memiliki kandungan karbon yang lebih tinggi dari elektroda yang menyebabkan nilai kekuatan *base metal* lebih tinggi dari elektroda yang digunakan.

### 4.4 Analisis Hubungan Pengaruh Variasi Arus Terhadap Hasil Pengujian Metalografi, Pengujian Kekerasan dan Pengujian Tarik

Dari 3 subbab sebelumnya dapat ditinjau bahwa pengelasan baja karbon rendah menggunakan variasi arus memiliki pengaruh terhadap hasil struktur mikro dan sifat mekanik hasil pengelasan. Semakin tinggi arus yang digunakan berpengaruh terhadap masukan panas yang semakin besar. Masukan panas yang semakin besar ini dapat berpengaruh terhadap bertambahnya persentase *pearlite* dari daerah lasan, hal tersebut disebabkan karena semakin

tinggi masukan panas dapat memperpanjang lama pendinginan dan menyebabkan fasa *pearlite* semakin bertumbuh/mengembang pada daerah HAZ. Tetapi semakin tinggi arus yang digunakan menyebabkan pertumbuhan ukuran butir yang berlebihan sehingga memiliki ukuran yang lebih besar atau fasa yang kasar dan dapat menyebabkan penurunan sifat mekanik terutama kekerasan dan kekuatan. Namun harus diperhatikan juga bahwa jika arus yang digunakan terlalu rendah dapat menyebabkan cacat pengelasan *lack of fusion*. Maka dari itu pemilihan parameter pengelasan harus diperhatikan dan optimal, seperti pada Tabel 3.1. Pemilihan variasi arus (200 A, 220 A, dan 240 A), tegangan (28 V) dan travel speed (27-32 cm/min) pada penelitian ini disesuaikan dengan *Welding Procedure Specification* (WPS) sebagai landasan historis yang pernah digunakan dan disimpan pada *Procedure Qualification Record* (PQR).

Selain daripada pemilihan parameter yang digunakan komposisi kimia dan sifat mekanik dari baja yang dilas dan elektroda yang digunakan juga memiliki peran yang vital. Faktor ini berperan penting terhadap kualitas hasil lasan, karena pemilihan faktor ini dapat menimbulkan komparabilitas untuk mendapatkan kualitas hasil lasan yang paling optimal. Faktor pertama merupakan baja S355JR dan S355J2 yang digunakan. Baja ini tergolong ke dalam baja karbon rendah. Baja ini memiliki sifat yang relative lunak dan lemah tetapi memiliki keuletan dan ketangguhan yang luar biasa. Baja ini juga memiliki sifat *machinability* dan *weldability* yang cukup baik dan memiliki harga yang paling murah diproduksi (Callister & Rethwisch, 2014). Selanjutnya terhadap komposisi kimia dan sifat mekanik, baja S355JR dan S355J2 memiliki kandungan karbon, mangan dan silikon yang cukup tinggi. Kandungan paduan ini diharapkan dapat memberikan sifat kekerasan dan kekuatan yang lebih tinggi. Kandungan karbon material S355J2 dan S355JR adalah  $\pm 0,2\%$ . Selanjutnya pada bagian elektroda ER 70S-6 komposisi kimia yang karbon, mangan dan silikon juga berperan cukup tinggi untuk menghasilkan sifat mekanik dari elektroda ini. Kandungan karbon maksimum sebesar 0,15 %, silikon terbesar maksimum 1,15 % dan mangan maksimum sebesar 1,85 % sebagai elemen deoksidasi dan membantu meningkatkan kekerasan dan kekuatan. Kandungan-kandungan yang dimiliki oleh elektroda dan baja induk menunjukkan bahwa pengelasan dengan baja dan elektroda ini dapat dilakukan. Pemilihan elektroda ini dilakukan berdasarkan AWS A5.18. Pemilihan elektroda ini juga diikuti dengan pemilihan *shielding gas* menggunakan gas CO<sub>2</sub> sesuai dengan standar AWS A5.18. *Shielding gas* dapat membantu kualitas dari hasil pengelasan dan menghindarkan dari *lack of fusion* dan porositas.

Dari pembahasan pada subbab sebelumnya juga dapat diidentifikasi bahwa arus pengelasan memiliki pengaruh terhadap struktur mikro dan sifat mekanik. Adapun pengaruh tersebut adalah semakin tinggi arus semakin banyak *pearlite*. Semakin besar arus yang digunakan menyebabkan tingginya masukan panas yang dihasilkan oleh pengelasan menghasilkan temperatur puncak yang tinggi berakibat pada terjadinya lama pendinginan yang lebih panjang dan memberi batas butir waktu untuk dapat bertumbuh (Awali et al., 2021). Fasa *pearlite* yang bertambah banyak ini mengakibatkan peningkatan nilai kekerasan dan *Ultimate Tensile Strength* (UTS). Hal ini dapat dibuktikan dari Tabel 4.1 dan Tabel 4.2 yang menunjukkan peningkatan rata-rata persentase zona gelap yang dimiliki spesimen yang menggunakan arus 220 A dibandingkan dengan arus 200 A. Peningkatan persentase zona gelap juga berhubungan dengan kekerasan pada spesimen, dimana dapat dilihat pada Tabel 4.3 terjadi peningkatan nilai kekerasan pada daerah pengelasan dari spesimen yang menggunakan arus 200 A dibandingkan dengan arus 220 A. Hal yang sama juga terjadi pada nilai UTS dimana pada Tabel 4.6 dan Tabel 4.10 terjadi peningkatan nilai UTS seiring bertambahnya arus dari 200 A ke 220 A. Dimana menurut Prasetya (2017), semakin banyak kandungan zona gelap maka tingkat kekerasan dan kekuatan meningkat. Selain itu penambahan mangan melalui elektroda ER 70S-6 yang digunakan dapat menstabilkan fasa

---

*austenite* yang dapat memperlambat dekomposisi *austenite*. Penambahan mangan ini juga dapat menambah kekuatan dan peningkatan *hardenability*.

Peningkatan penggunaan arus dari 220 A ke 240 A menyebabkan semakin banyak *ferrite*. Hal ini diakibatkan oleh temperatur puncak yang lebih tinggi yang menyebabkan fenomena yang sama dengan sebelumnya tetapi dalam hal ini peningkatan yang terjadi dialami oleh zona terang. Peningkatan zona terang, ini diakibatkan oleh kandungan silikon yang lebih banyak pada elektroda ER 70S-6 dibandingkan dengan *base metal* menyebabkan *ferrite* lebih stabil pada daerah *weld metal*. Banyaknya kandungan silikon ini dapat menyebabkan terbentuknya lebih banyak zona terang, sebagaimana sifat dari silikon ini sendiri adalah sebagai salah satu elemen yang dapat membentuk dan menstabilkan *ferrite* pada baja (Higgins, 1999). Peningkatan dari arus meningkatkan masukan panas ke dalam spesimen dan pendinginan di udara dapat menghasilkan baja yang lebih lunak melalui proses penghilangan dislokasi. Selanjutnya, proses rekristalisasi dapat terjadi dan menghasilkan batas butir yang bebas tegangan yang menggantikan batas butir yang terdeformasi dengan dislokasi. Penggunaan arus yang lebih tinggi seperti spesimen JR 240 dan J2 240 dapat menghasilkan proses pertumbuhan batas butir yang dapat membuat mikrostruktur baja menjadi lebih kasar, yang kemudian dapat menyebabkan kehilangan kekuatan (Al-Sarairoh, 2018). Fenomena ini menyebabkan nilai kekerasan dan UTS yang dimiliki oleh spesimen yang menggunakan arus 240 A semakin berkurang seiring dengan bertambahnya arus pengelasan. Hal ini dapat dibuktikan dari Tabel 4.1 dan Tabel 4.2 dimana terlihat penurunan rata-rata persentase zona gelap yang dimiliki spesimen yang menggunakan arus 240 A dibanding 220 A. Dari penurunan tersebut maka berpengaruh kepada nilai kekerasan, dimana terlihat pada Tabel 4.3 terjadi penurunan nilai kekerasan yang dimiliki spesimen yang menggunakan arus 240 A dibanding 220 A. Hal yang sama juga terjadi pada nilai UTS dimana pada Tabel 4.6 dan Tabel 4.10 dapat terlihat terjadi penurunan nilai UTS seiring bertambahnya arus. Maka dari itu, penggunaan arus dalam pengelasan memiliki pengaruh terhadap peningkatan kekuatan dan kekerasan dari spesimen hasil pengelasan. Tetapi penggunaan arus yang terlalu tinggi berpengaruh terhadap penurunan kekuatan dan kekerasan dari spesimen hasil pengelasan

## BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

### 5.1 Kesimpulan

Dari hasil penelitian dan pembahasan yang telah dilakukan, dapat diambil kesimpulan sebagai berikut.

1. Pada pengelasan *butt joint* baja S355JR dan S355J2 didapatkan fasa yang dominan menyusun ketiga daerah pengelasan adalah *ferrite* (terang) dan *pearlite* (gelap). Semakin tinggi arus yang digunakan maka persentase *ferrite* berkurang disebabkan oleh tingginya masukan panas yang dihasilkan dari arus yang tinggi tersebut menyebabkan waktu pendinginan semakin lama dan yang dapat menyebabkan fasa *pearlite* dapat bertumbuh semakin banyak pada daerah HAZ ditandai dengan ukuran batas butir *ferrite* yang semakin halus. Tetapi dengan penambahan arus yang terlalu tinggi pada HAZ menyebabkan fasa *pearlite* semakin banyak dan menyebabkan ukuran batas butir *pearlite* semakin kasar. Sedangkan pada daerah *weld metal* fasa *ferrite* lebih banyak dibandingkan pada daerah *base metal*, hal ini juga disebabkan oleh arus yang tinggi yang berakibat sama dengan daerah HAZ yang mengakibatkan fasa *ferrite* dapat bertumbuh lebih banyak.
2. Semakin besar nilai arus pengelasan yang digunakan maka menyebabkan peningkatan nilai UTS dan kekerasan. Tetapi arus yang terlalu besar dapat menyebabkan penurunan nilai UTS dan kekerasan yang sebelumnya sudah meningkat disebabkan oleh batas butir memiliki waktu yang lama untuk bertumbuh yang dapat menghasilkan struktur mikro yang lebih kasar yang berakibat pada pengurangan kekuatan dan kekerasan. Maka dari itu, pada material S355JR dan S355J2 arus yang paling optimal digunakan adalah arus 220 A dimana nilai UTS, *yield strength*, dan *elongation* pada arus tersebut tidak terlalu jauh penurunannya dibanding nilai yang dimiliki *base metal* dan nilai kekerasan yang memadai. Nilai UTS, *yield strength* dan *elongation* yang paling optimal diperoleh menggunakan arus 220 A dengan baja S355JR.

### 5.2 Saran

Adapun saran yang dapat diberikan untuk proses penelitian selanjutnya adalah sebagai berikut :

1. Melakukan penelitian lebih lanjut mengenai penggunaan variasi kecepatan pengelasan untuk memberikan tinjauan lebih banyak terhadap pengaruh masukan panas terhadap dengan metode ini.
2. Melakukan penelitian lebih lanjut mengenai penggunaan DCEN sebagai polaritas dalam pengelasan karena polaritas dapat memengaruhi parameter pengelasan yang dapat menghasilkan hasil yang berbeda.
3. Melakukan penelitian lebih lanjut mengenai penggunaan proses pemanasan awal (*Preheat*) atau proses PWHT untuk dapat memperbaiki sifat kekuatan dan kekerasan hasil lasan.

*(Halaman ini sengaja dikosongkan)*

### DAFTAR PUSTAKA

- Aditia, Nurdin, & Adi, S. I. (2019). Analisa Kekuatan Sambungan Material AISI 1050 dengan ASTM A36 dengan Variasi Arus pada Proses Pengelasan SMAW. *Journal of Welding Technology*, 1(1), 1–4.
- Aguilar-Vega, M. (2013). Structure and Mechanical Properties of Polymers. *Handbook of Polymer Synthesis, Characterization, and Processing*, 2, 425–434. <https://doi.org/10.1002/9781118480793.ch21>
- Al-Saraireh, F. M. (2018). The effect of current and voltage on mechanical properties of low carbon steel products. *International Journal of Mechanical Engineering and Technology*, 9(3), 134–142.
- Almuzikri W A, Usman, & Bukhari. (2021). Analisis pengaruh variasi arus terhadap kekuatan tarik dan kekerasan pada pengelasan material SM 400 B. *Journal of Welding Technology*, 3(2), 40–46.
- American Welding Society. (2020). *Structural Welding Code-Steel (D1.1/D1.1M)*. [https://www.academia.edu/42330911/AWS\\_D1.1\\_Ed.2020](https://www.academia.edu/42330911/AWS_D1.1_Ed.2020)
- ASM, I. (1993). *Vol 6: Welding, Brazing, and Soldering*. ASM INTERNATIONAL.
- ASM, I. (1997). *Volume 17: Nondestructive Evaluation and Quality Control*. ASM INTERNATIONAL.
- Ausaid. (2001). *Dasar LAS Mig-Mag / GMAW (Basic Gas Metal Arc Welding)*. Batam Institutional Development Project Paket.
- Avner, S. H. (1973). *Introduction to Physical Metallurgy*. McGRAW-HILL BOOK Company.
- Awali, J., Rudiyanto, F., Somalinggi, T., 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. 12, 315–323.
- Azwinur, Jannifar, A., Yudi, M., & Zulkifli. (2020). Pengaruh media pendingin terhadap kekerasan dan ketangguhan hasil pengelasan material AISI 1050 pada proses las MAG. *Jurnal Polimesin*, 18(2), 124–130.
- Binudi, R., & Adjiantoro, B. (2018). PENGARUH UNSUR Ni, Cr DAN Mn TERHADAP SIFAT MEKANIK BAJA KEKUATAN TINGGI BERBASIS LATERIT. *Metalurgi*, 29(1), 33. <https://doi.org/10.14203/metalurgi.v29i1.269>
- British standard Institution. (2019). *EN 10025-4:2019 Standards Publication Hot rolled products of structural steels*. <https://pdfcoffee.com/bs-en-10025-4-2019-pdf-free.html>
- Callister, W. D., & Rethwisch, D. G. (2014). *Materials Science and Engineering An Introduction* (9E ed.). John Wiley & Sons, Inc.
- Chen, Q., Yang, J., Liu, X., Tang, J., & Huang, B. (2019). Effect of the groove type when considering a thermometallurgical-mechanical model of the welding residual stress and deformation in an S355JR-316L dissimilar welded joint. *Journal of Manufacturing Processes*, 45(December 2018), 290–303. <https://doi.org/10.1016/j.jmapro.2019.07.011>
- Desineni, S. N., Selahattin, O., & Kevin, L. M. (2003). *Modeling, Sensing and Control of Gas Metal Arc Welding*. Elsevier Ltd. <http://www.elsevier.com>
- Dzioba, I., Furmanczyk, P., & Lipiec, S. (2018). Determination of the fracture toughness characteristics of S355JR steel. *Archives of Metallurgy and Materials*, 63(1), 497–503. <https://doi.org/10.24425/118967>
- Dzioba, I., & Lipiec, S. (2016). Microstructure, strength properties and fracture toughness of
-



- S355JR steel. *AIP Conference Proceedings*, 1780. <https://doi.org/10.1063/1.4965948>
- Gigović-gekić, A., Bašić, A., & Avdušinović, H. (2016). *INFLUENCE OF AUSTENITIZATION TEMPERATURE ON MICROSTRUCTURE OF STEEL S355J2*. 89–92.
- Groover, M. P. (2010). *Fundamentals of Modern Manufacturing* (4th ed.). John Wiley & Sons, Inc.
- Habibi, F., Respati, S. M. B., & Syafa'at, I. (2015). Perlakuan Pemanasan Awal Elektroda Terhadap Sifat Mekanik Dan Fisik Pada Daerah HAZ Hasil Pengelasan Baja Karbon ST 41. *Prosiding SNST*, 6, 207–215.
- Hanafi, F., Nurdin, H., Syahril, & Purwantono. (2021). *PENGARUH KUAT ARUS PENGELASAN PADA BAJA KARBON RENDAH TERHADAP KEKUATAN TARIK SAMBUNGAN MENGGUNAKAN LAS MIG*. 4(2), 31–38.
- Higgins, R. A. (1999). *ENGINEERING METALLURGY* (Sixth Edit). J W Arrowsmith Ltd.
- Irzal, Hariyadi, Y., & Syahrul. (2018). *Analisis Variasi Arus Pada Hasil Pengelasan Baja Karbon Rendah Dengan Elektroda E 7018 Terhadap Kekuatan Tarik dan Kekerasan Jalur Las*. 43.
- Iswanto, P. T., Mudjijana, & Himarosa, R. A. (2017). Karakterisasi Sambungan SMAW Baja Karbon Rendah Menggunakan 3 Jenis Elektroda. *Material Dan Proses Manufaktur*, 1(2), 103–109.
- Kalpakjian, S., & Schmid, S. R. (2009). *Manufacturing Engineering and Technology* (6th ed.). Prentice Hall.
- 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>
- Messler, R. W. (2004). *Principles of Welding*. WILEY-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA.
- Messler, R. W., WILEY-VCH Verlag GmbH, W., & KGaA, C. (n.d.). *PRINCIPLES OF WELDING, Processes, Physics, Chemistry, and Metallurgy*.
- Nunes, R. (1992). *ASM Handbook: Metallography and Microstructure* (Vol. 9). ASM INTERNATIONAL.
- Pratama, A. (2017). *Analisis Kegagalan Water Injection pada Vertical Roller Mill di Finish Mill PT. Holcim Tuban Plant Indonesia*.
- Priadi, D. (2007). Studi Pengaruh Besarnya Arus Listrik Terhadap Distribusi Kekerasan, Struktur Mikro, Dan Kekuatan Impak Pada Baja Karbon Rendah Jenis Sb 46. *Jurnal Sains Dan Teknologi EMAS*, 17(3), 203–212.
- Ridwan, M., Marsono, & Edy, D. L. (2021). Pengaruh Variasi Aliran Gas Pelindung dan Kuat Arus Pengelasan GMAW pada Baja ASTM A36 terhadap Kekuatan Uji Tarik. *Jurnal Teknik Mesin Dan Pembelajaran*, 4, 41–52. <https://doi.org/10.32528/jp.v5i2.4129>
- Saputra, R., & Tyastomo, E. (2016). Perbandingan Kekerasan Dan Struktur Mikro Pegas Daun Yang Mengalami Proses Heat Treatment. *Bina Teknika*, 12(2), 185. <https://doi.org/10.54378/bt.v12i2.72>
- Setiawan, A., & Yuli, A. (2006). Analisa Ketangguhan dan Struktur Mikro pada Daerah Las dan HAZ Hasil Pengelasan Sumerged Arc Welding pada Baja SM 490. *Jurnal Teknik Mesin*, 8(2), 57–63.
- Singh, R. P., & Kumar, S. (2019). Effect of current and chemical composition on the hardness of weld in shielded metal arc welding. *Materials Today: Proceedings*, 26, 1888–1891. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2020.02.413>
- Society, A. W. (2005). *AWS A5.18: Specification for Carbon Steel Electrodes and Rods for Gas Shielded Arc Welding*. American Welding Society.
- Tarmizi, T., Nugraha, Y. B., & Irfan, I. (2021). Analysis of Current on Mechanical Properties



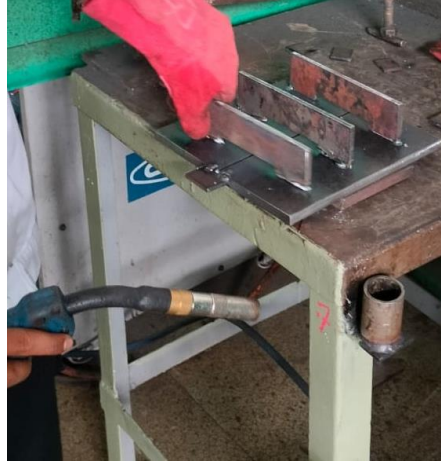
- and Microstructure of A53 Gr B Material with Gas Tungsten Arc Welding Process. *Teknik*, 42(1), 20–28. <https://doi.org/10.14710/teknik.v42i1.33209>
- Tohari, A. A., & Yunus. (2021). *Pengaruh Kecepatan Aliran Gas Pelindung Pada Proses LAS MIG Material Baja SS-540 Terhadap Kekuatan Tarik dan Struktur Mikro*. 09(01), 117–122.
- Waluyo, S. A. (2010). ANALISA PENGARUH VARIASI ARUS TERHADAP HASIL LAS GMAW. *Agritek*, 11, 53–60.
- Weman, K. (2012). *Welding Processes Handbook* (Second). Woodhead Publishing Limited.
- Widodo, B. (2009). ANALISIS PERLAKUAN PANAS NORMALISING PADA PENGELASAN ARGON TERHADAP SIFAT MEKANIK HASIL LASAN BAJA KARBON RENDAH. *Jurnal Teknologi Technoscientia*, 2(1), 255. ???
- Widyastuti, Ardhyanta, H., Purwaningsih, H., & Quluq, R. M. (2019). *Karakterisasi Material*. ITS PRESS.
- Wirjosumarto, H., & Okumura, T. (2000). *Teknologi Pengelasan Logam*. Pradnya Paramita.

*(Halaman ini sengaja dikosongkan)*

## LAMPIRAN

### a. Dokumentasi Proses Pengelasan

#### A1. Preparasi Spesimen Pengelasan



#### A2. Proses Pengelasan



#### A3. Proses Pembersihan Terak atau *Slag* antar *Pass* Pengelasan




## Hasil Pengujian Ultrasonik

### B1. Dokumentasi Pengujian Ultrasonik

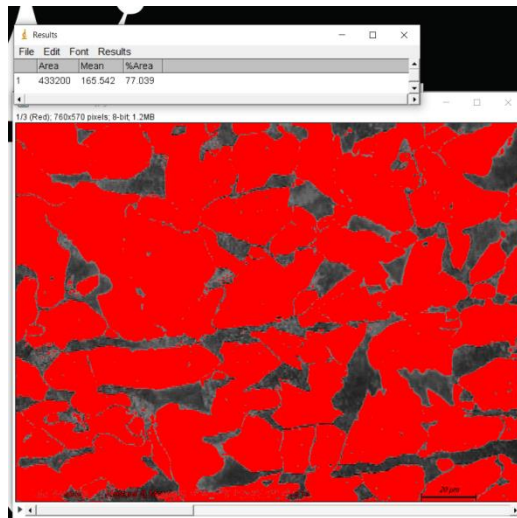


### B2. Hasil Pengujian Ultrasonik

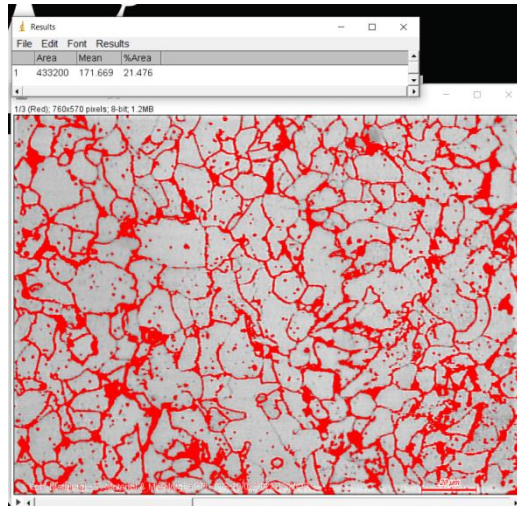
INKA Multi Solusi		ULTRASONIC TEST REPORT				Page 1 of 1		Report No.	: 001IMS-TAN/2022						
								Drawing No.	: N/A						
								Procedure No.	: 01GCPROMS2022						
								Rev.	: 00						
Project	: UT - Tugas Akhir - Jeremy				Product No.	: N/A									
Location	: Medan				Applicable Codes	: AWS D1.1									
Customer	: N/A				Acceptance Criteria	: Table 8.2									
Material	: S355J2 & S355JR				UT Equipment	: SUII									
Thickness	: 14 mm				Type	: Smarbor									
								Serial No.	: M06320220009R						
Joint Design		<input type="checkbox"/> Single Bevel		<input checked="" type="checkbox"/> Single V-Groove		<input type="checkbox"/> Other ( )									
		<input type="checkbox"/> Single Bevel With Permanent Backing		<input type="checkbox"/> Single V-Groove With Permanent Backing											
Surface Condition		<input checked="" type="checkbox"/> As-welded		<input type="checkbox"/> As-ground		<input type="checkbox"/> Other ( )									
Stage of Examination		<input checked="" type="checkbox"/> After Welding		<input type="checkbox"/> After Hydrostatic		<input type="checkbox"/> Other ( )									
Welding Process(es)		<input checked="" type="checkbox"/> GMAW		<input type="checkbox"/> GTAW		<input type="checkbox"/> Other ( )									
Scope of Examination		<input type="checkbox"/> Base Metal		<input checked="" type="checkbox"/> Weld Part		<input type="checkbox"/> Back Coupling									
		<input type="checkbox"/> Edge Preparation		<input type="checkbox"/> Repair Welding		<input type="checkbox"/> Other ( )									
Compliant		<input checked="" type="checkbox"/> CMC		<input type="checkbox"/> OI		<input type="checkbox"/> Other ( )									
Calibration Block		<input checked="" type="checkbox"/> IAW V1		<input type="checkbox"/> V2		<input type="checkbox"/> Other ( )									
Examination Face		<input checked="" type="checkbox"/> Face A		<input type="checkbox"/> Face B		<input type="checkbox"/> Face C									
Test Range		Straight : 50 mm		Angle : 100 mm		Scanning Technique : Contact Testing									
Search Unit		Angle (°)	Brand	SN	Frequency (MHz)	Size (mm)	Cable (Type and Length)								
		0	SUII	11905672R	2.5	ø 20	Lemo 00 & 2000mm								
		70	SUII	02196645R	2	20 x 22	Lemo 00 & 2000mm								
		-	-	-	-	-	-								
		-	-	-	-	-	-								
		-	-	-	-	-	-								
Joint No.	Probe angle (°)	Frequency (MHz)	Long	Decibels				Record of Discontinuity				Evaluation		Remarks	
				Indication Level (a)	Reference Level (b)	Attenuation Factor (c)	Indication Rating (d)	Class of Indication	Length (mm)	Angular Distance (mm)	Depth from Face A (mm)	Distance from Y (mm)	Discontinuity Type		Accepted
J-JR-200	0	2.5	-	21	-	-	-	-	-	-	-	-	Accepted	-	No Lamination was found
	70	2	-	46	-	-	-	-	-	-	-	-	Accepted	-	-
J-JR-220	0	2.5	-	21	-	-	-	-	-	-	-	-	Accepted	-	No Lamination was found
	70	2	2	50	46	2.4	+2	A	28	55	9	190	IF	Rejected	All indications shall be rejected
J-JR-240	0	2.5	-	21	-	-	-	-	-	-	-	-	Accepted	-	No Lamination was found
	70	2	-	46	-	-	-	-	-	-	-	-	Accepted	-	-
J-J2-200	0	2.5	-	21	-	-	-	-	-	-	-	-	Accepted	-	No Lamination was found
	70	2	-	46	-	-	-	-	-	-	-	-	Accepted	-	-
J-J2-220	0	2.5	-	21	-	-	-	-	-	-	-	-	Accepted	-	No Lamination was found
	70	2	-	46	-	-	-	-	-	-	-	-	Accepted	-	-
J-J2-240	0	2.5	-	21	-	-	-	-	-	-	-	-	Accepted	-	No Lamination was found
	70	2	2	43	46	1.8	-5	A	35	47	12	150	IF	Rejected	All indications shall be rejected
Discontinuity Type : CR: Crack IF: Incomplete Fusion IP: Incomplete Penetration EI: Elongated Indication															
Examined by				Witnessed/Reviewed by				Reviewed/Approved by							
															
Name : Pungky Dhiha S. NDT Level : II															

**b. Hasil Perbandingan Fasa dengan Software *ImageJ***

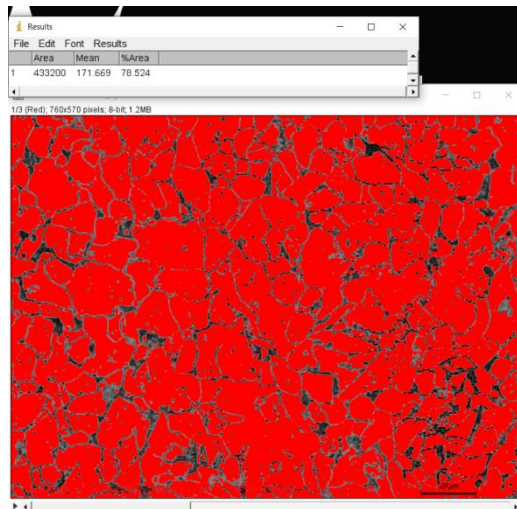
C1. Hasil Persentase Fasa *Ferrite* Pada *Base Metal* JR 200



C2. Hasil Persentase Fasa *Pearlite* Pada *Base Metal* JR 200

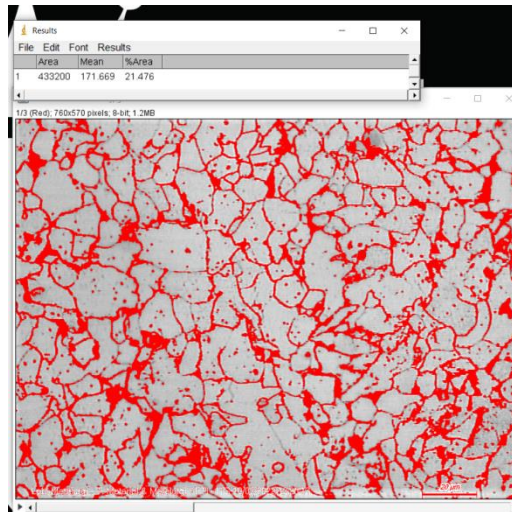


C3. Hasil Persentase Fasa *Ferrite* Pada *Weld Metal* JR 200

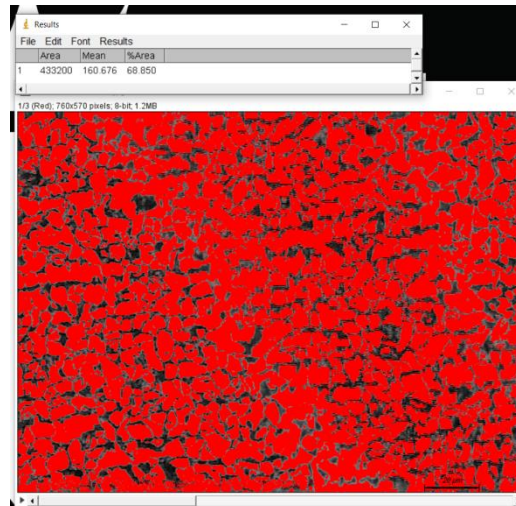




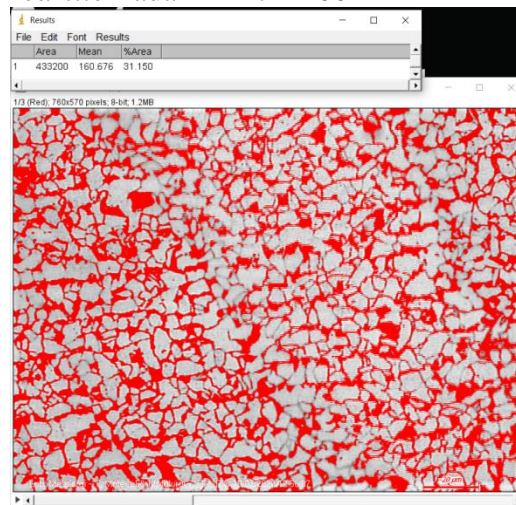
C4. Hasil Persentase Fasa *Pearlite* Pada *Weld Metal JR 200*



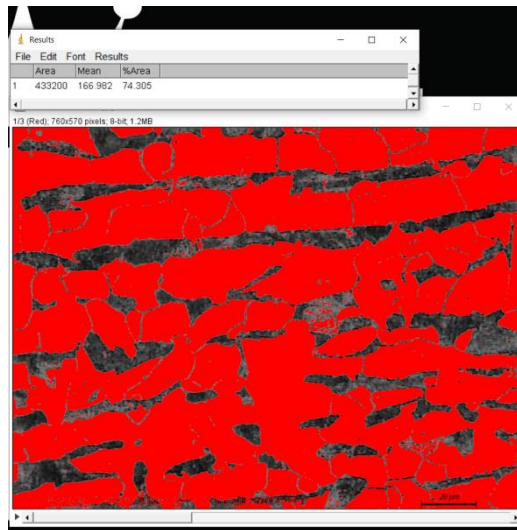
C5. Hasil Persentase Fasa *Ferrite* Pada HAZ JR 200



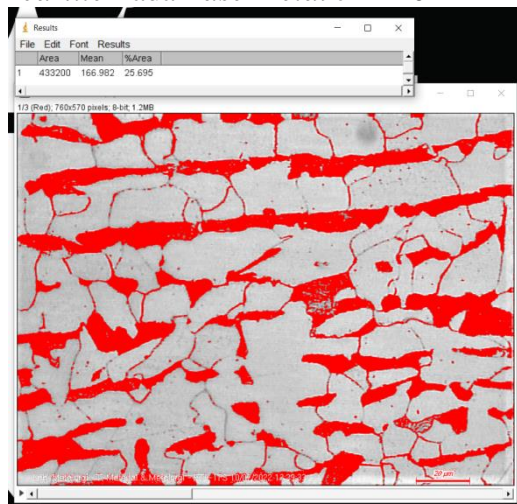
C6. Hasil Persentase Fasa *Pearlite* Pada HAZ JR 200



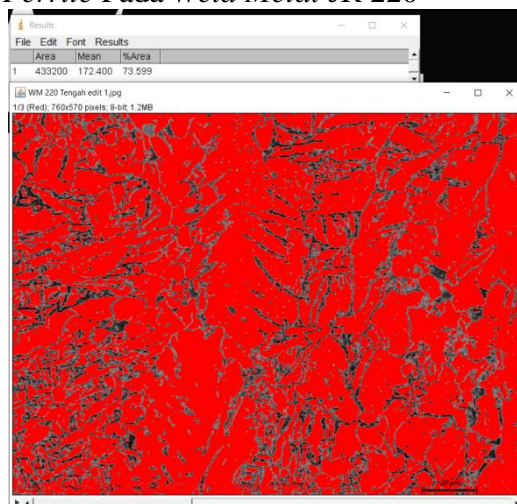
C7. Hasil Persentase Fasa *Ferrite* Pada *Base Metal JR 220*



C8. Hasil Persentase Fasa *Pearlite* Pada *Base Metal JR 220*

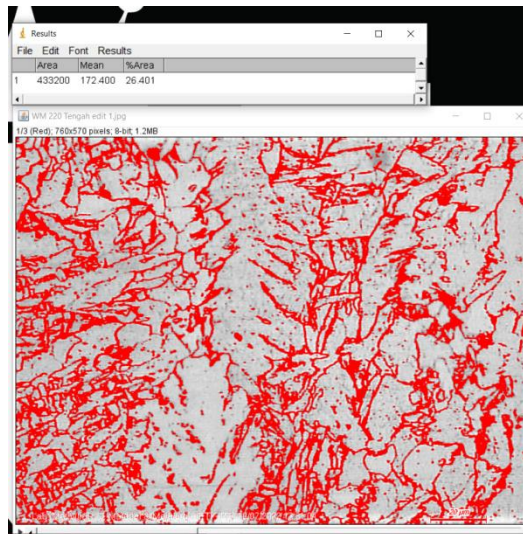


C9. Hasil Persentase Fasa *Ferrite* Pada *Weld Metal JR 220*

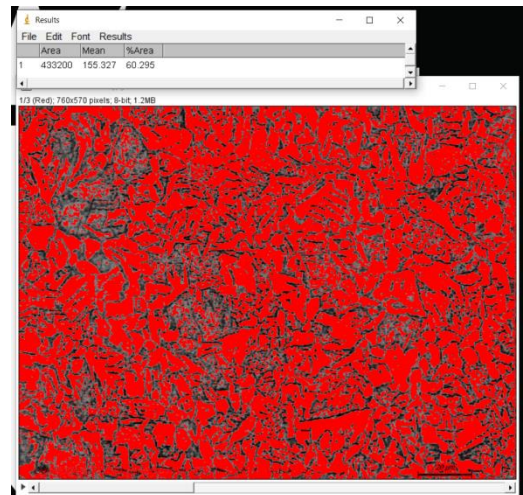




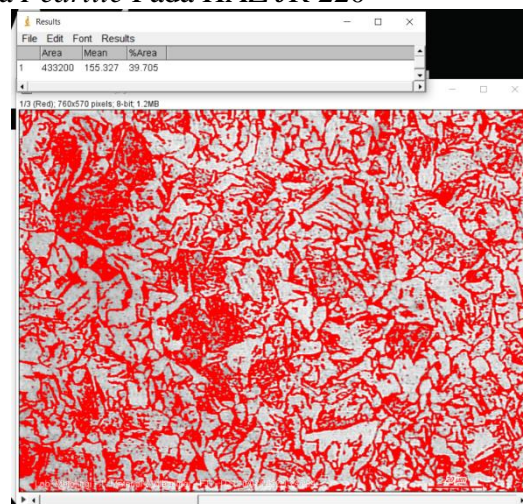
C10. Hasil Persentase Fasa *Pearlite* Pada *Weld Metal JR 220*



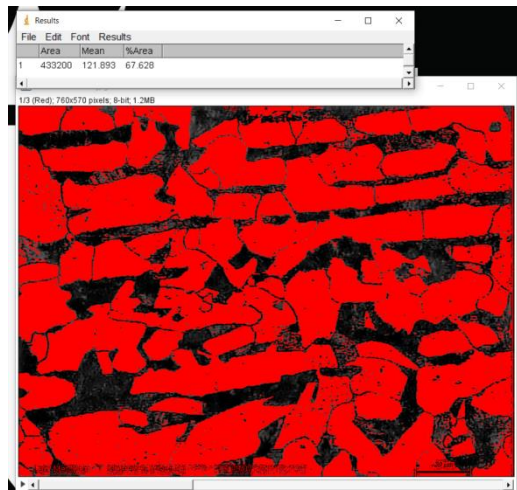
C11. Hasil Persentase Fasa *Ferrite* Pada HAZ JR 220



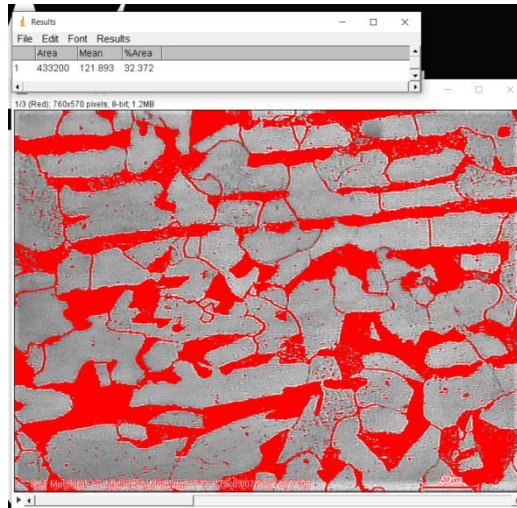
C12. Hasil Persentase Fasa *Pearlite* Pada HAZ JR 220



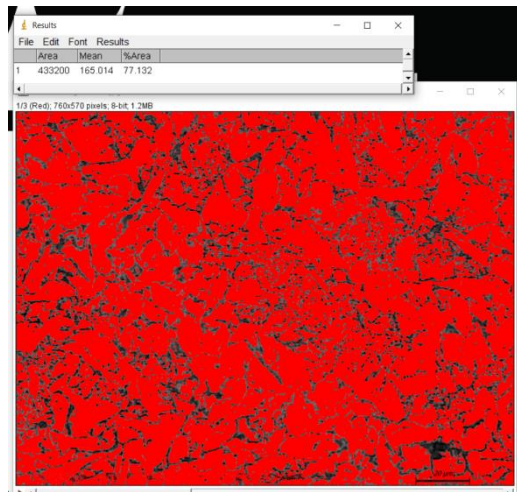
C13. Hasil Persentase Fasa *Ferrite* Pada *Base Metal* JR 240



C14. Hasil Persentase Fasa *Pearlite* Pada *Base Metal* JR 240

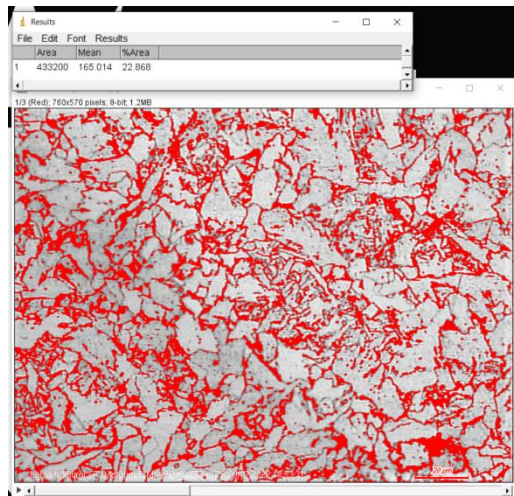


C15. Hasil Persentase Fasa *Ferrite* Pada *Weld Metal* JR 240

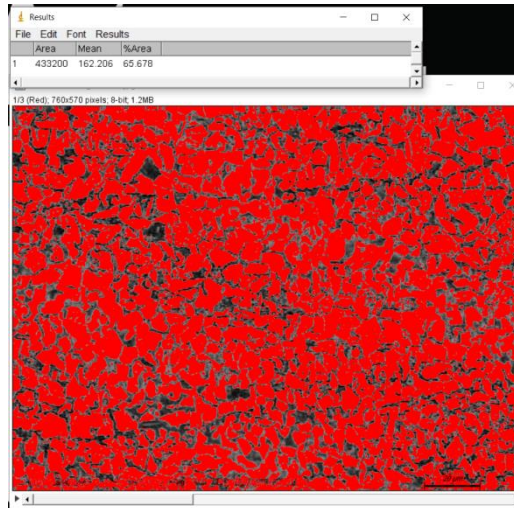




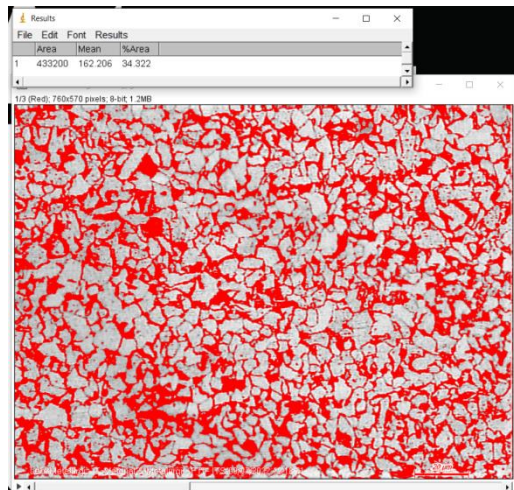
C16. Hasil Persentase Fasa *Pearlite* Pada *Weld Metal JR 240*



C17. Hasil Persentase Fasa *Ferrite* Pada HAZ JR 240



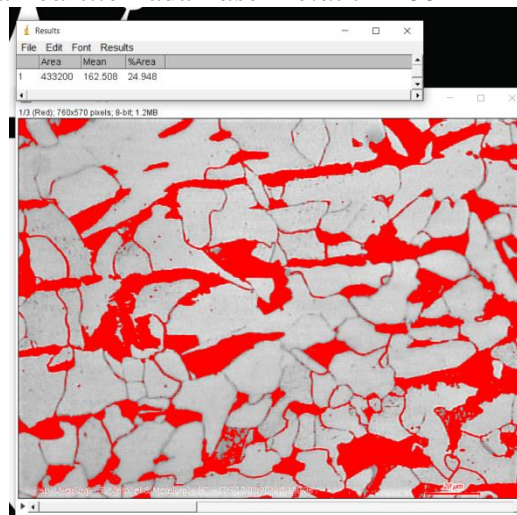
C18. Hasil Persentase Fasa *Pearlite* Pada HAZ JR 240



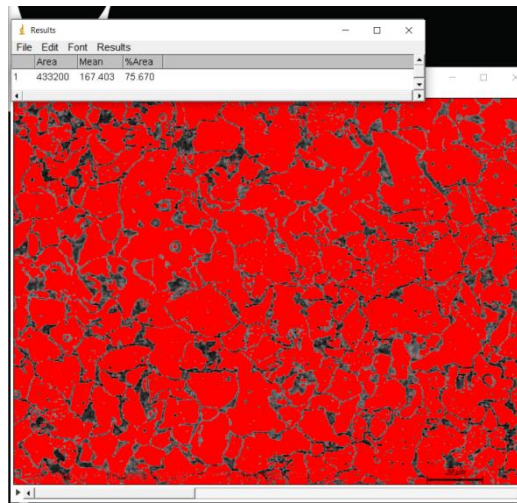
C19. Hasil Persentase Fasa *Ferrite* Pada *Base Metal J2 200*



C20. Hasil Persentase Fasa *Pearlite* Pada *Base Metal J2 200*

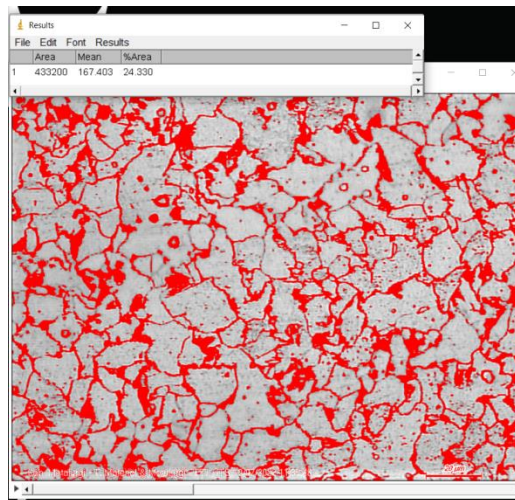


C21. Hasil Persentase Fasa *Ferrite* Pada *Weld Metal J2 200*

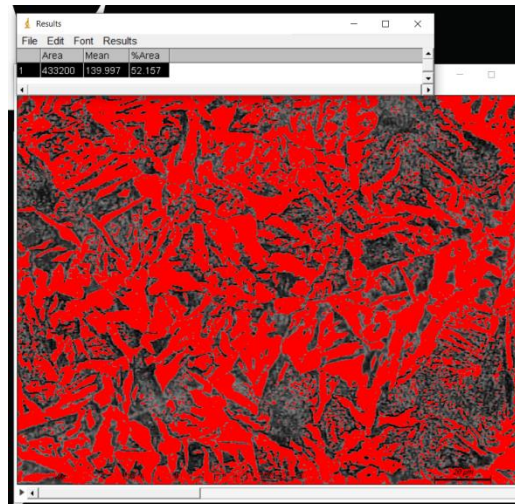




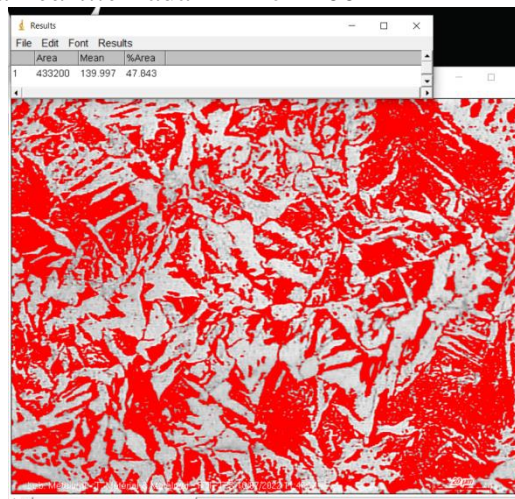
C22. Hasil Persentase Fasa *Pearlite* Pada *Weld Metal J2 200*



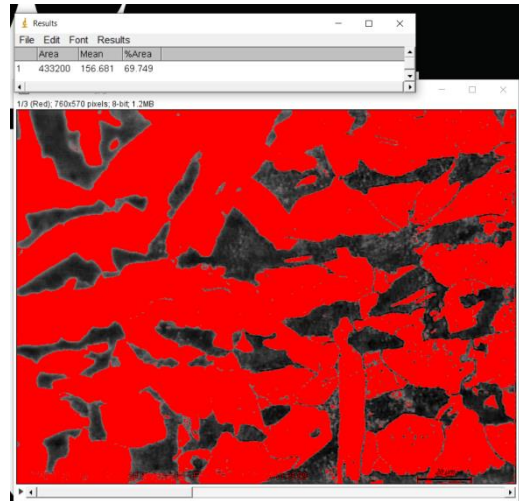
C23. Hasil Persentase Fasa *Ferrite* Pada HAZ J2 200



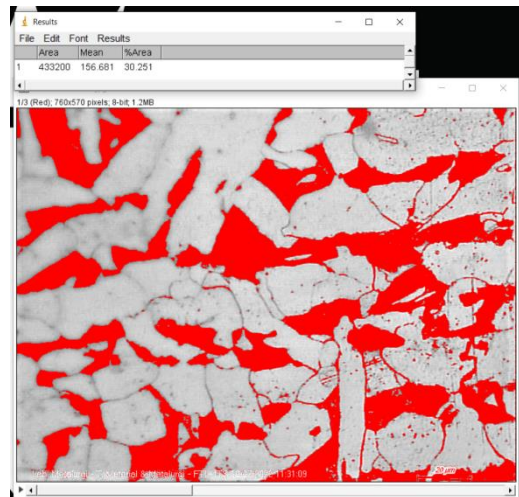
C24. Hasil Persentase Fasa *Pearlite* Pada HAZ J2 200



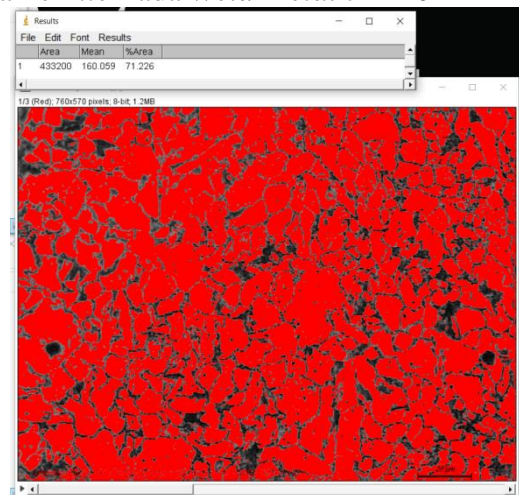
C25. Hasil Persentase Fasa *Ferrite* Pada *Base Metal J2 220*



C26. Hasil Persentase Fasa *Pearlite* Pada *Base Metal J2 220*

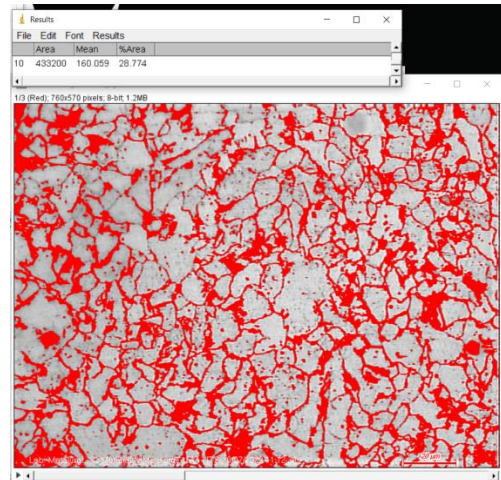


C27. Hasil Persentase Fasa *Ferrite* Pada *Weld Metal J2 220*

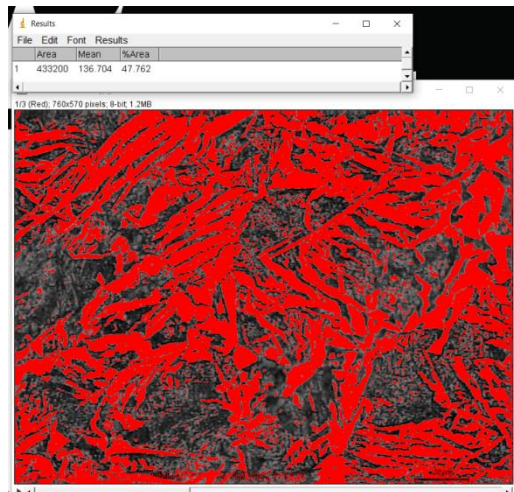




C28. Hasil Persentase Fasa *Pearlite* Pada *Weld Metal J2 220*



C29. Hasil Persentase Fasa *Ferrite* Pada HAZ J2 220

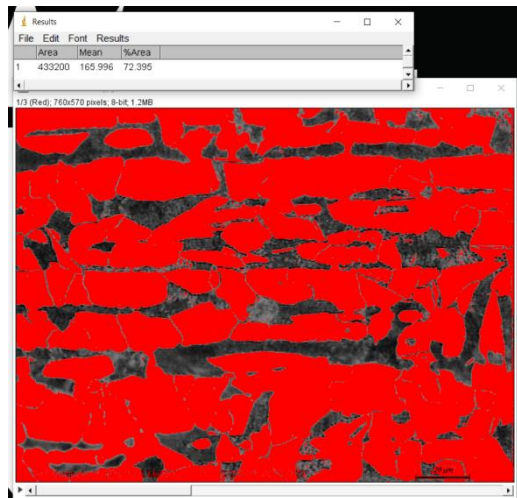


C30. Hasil Persentase Fasa *Pearlite* Pada HAZ J2 220

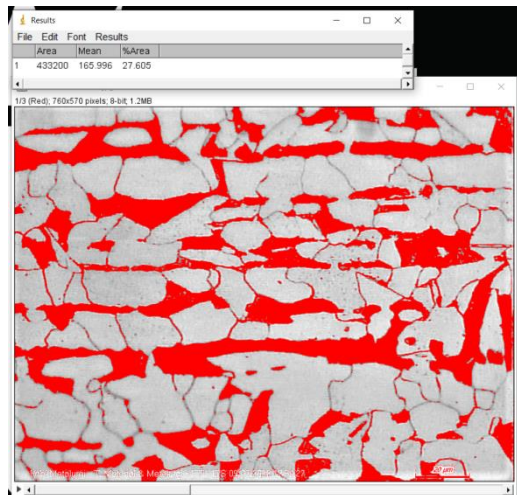




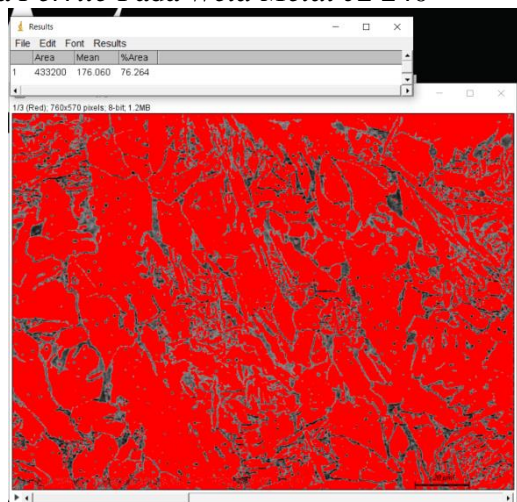
C31. Hasil Persentase Fasa *Ferrite* Pada *Base Metal J2 240*



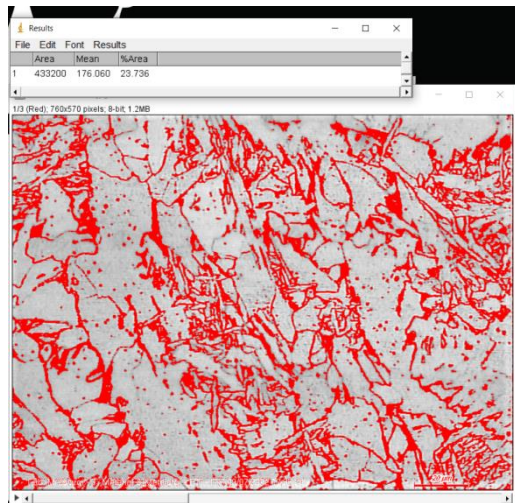
C32. Hasil Persentase Fasa *Pearlite* Pada *Base Metal J2 240*



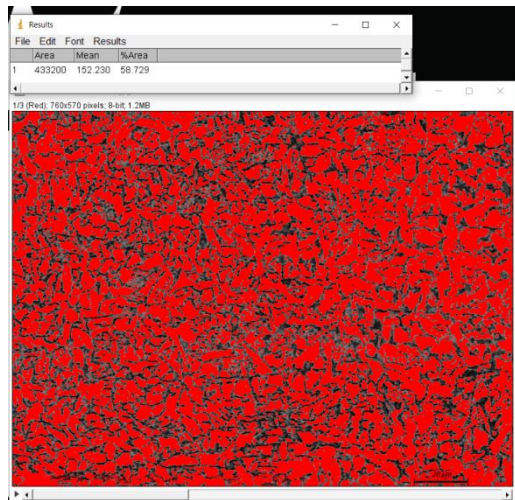
C33. Hasil Persentase Fasa *Ferrite* Pada *Weld Metal J2 240*



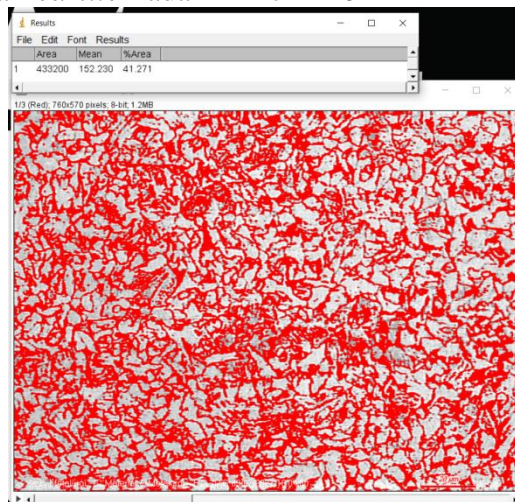
C34. Hasil Persentase Fasa *Pearlite* Pada *Weld Metal J2 240*



C35. Hasil Persentase Fasa *Ferrite* Pada HAZ J2 240

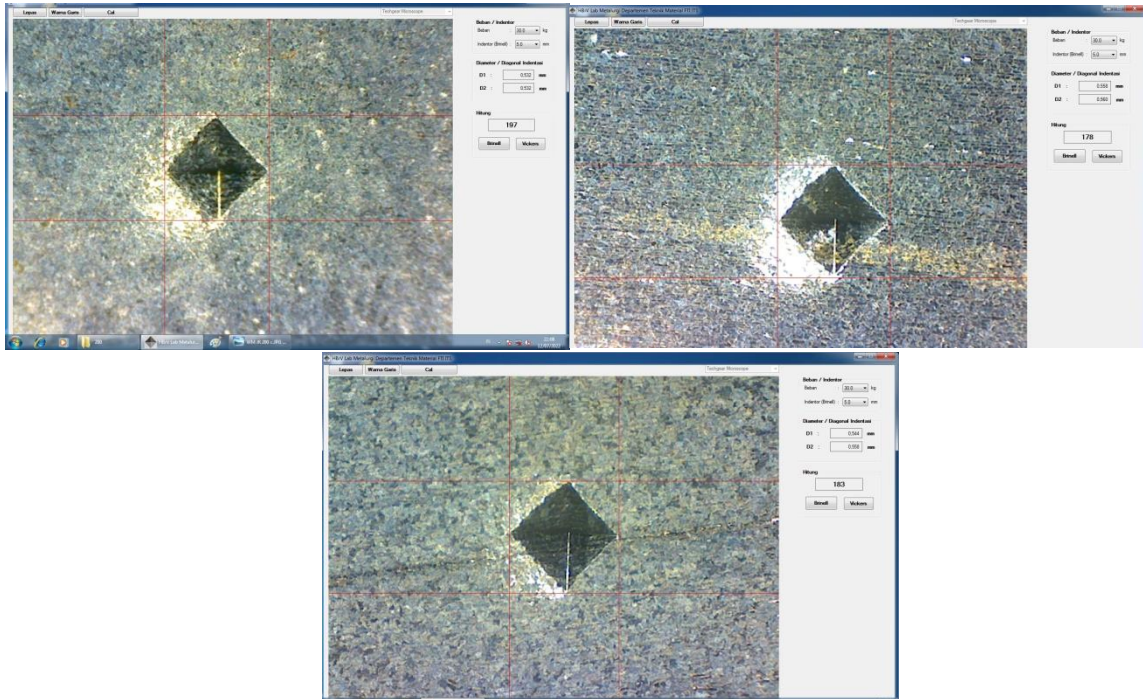


C36. Hasil Persentase Fasa *Pearlite* Pada HAZ J2 240

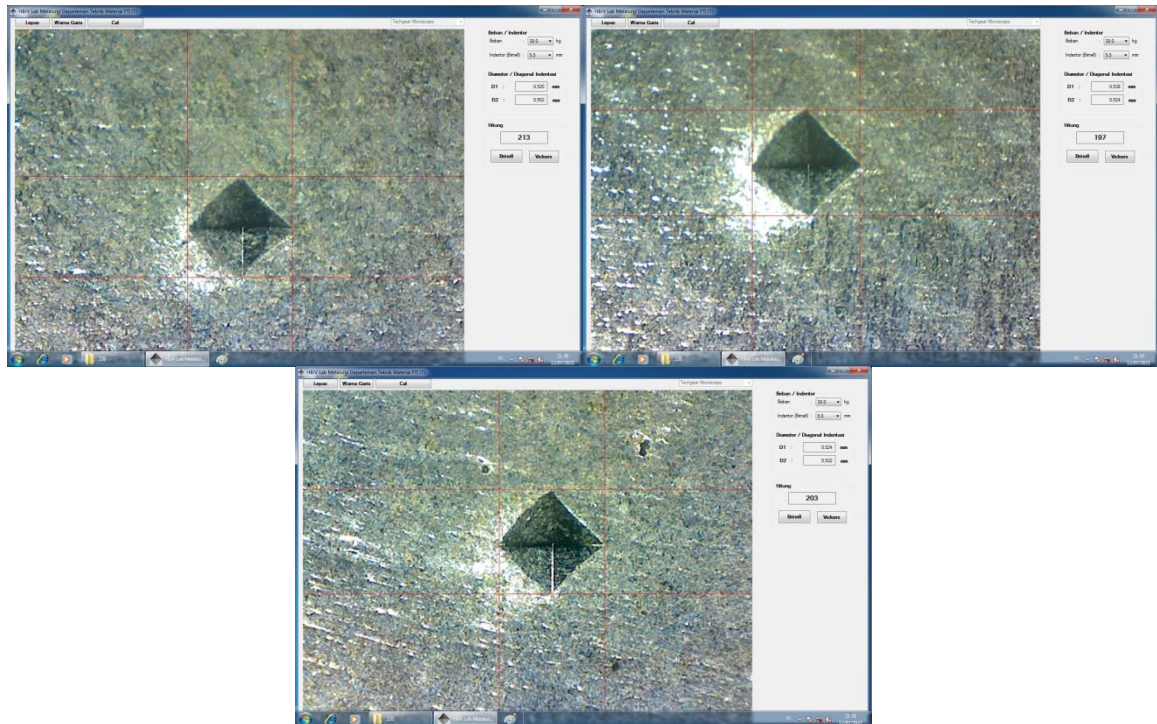




**c. Hasil Pengujian Kekerasan**  
**D1. Hasil BM JR**

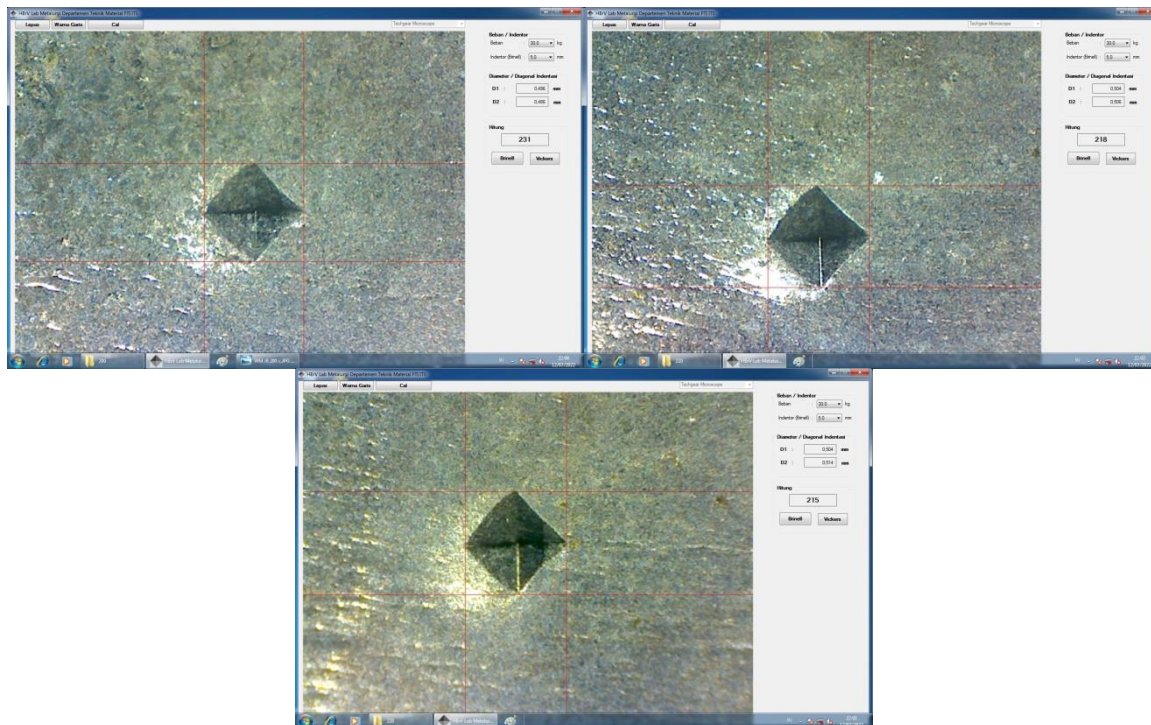


**D2. Hasil weld metal JR 200**

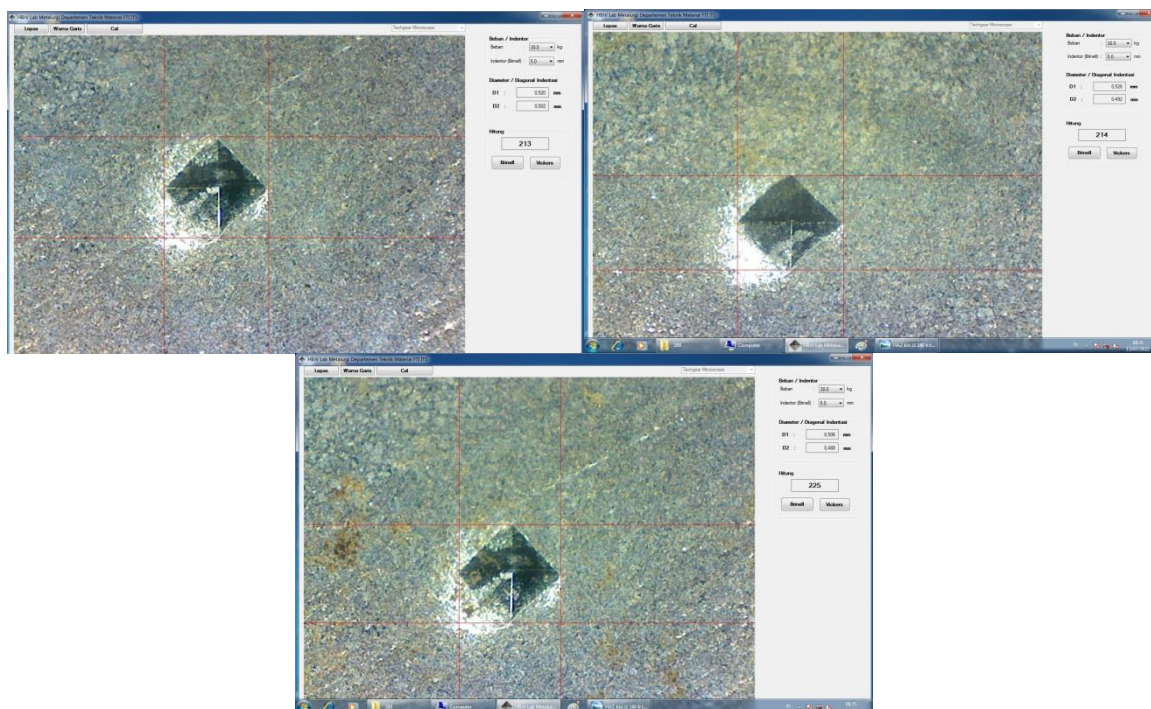




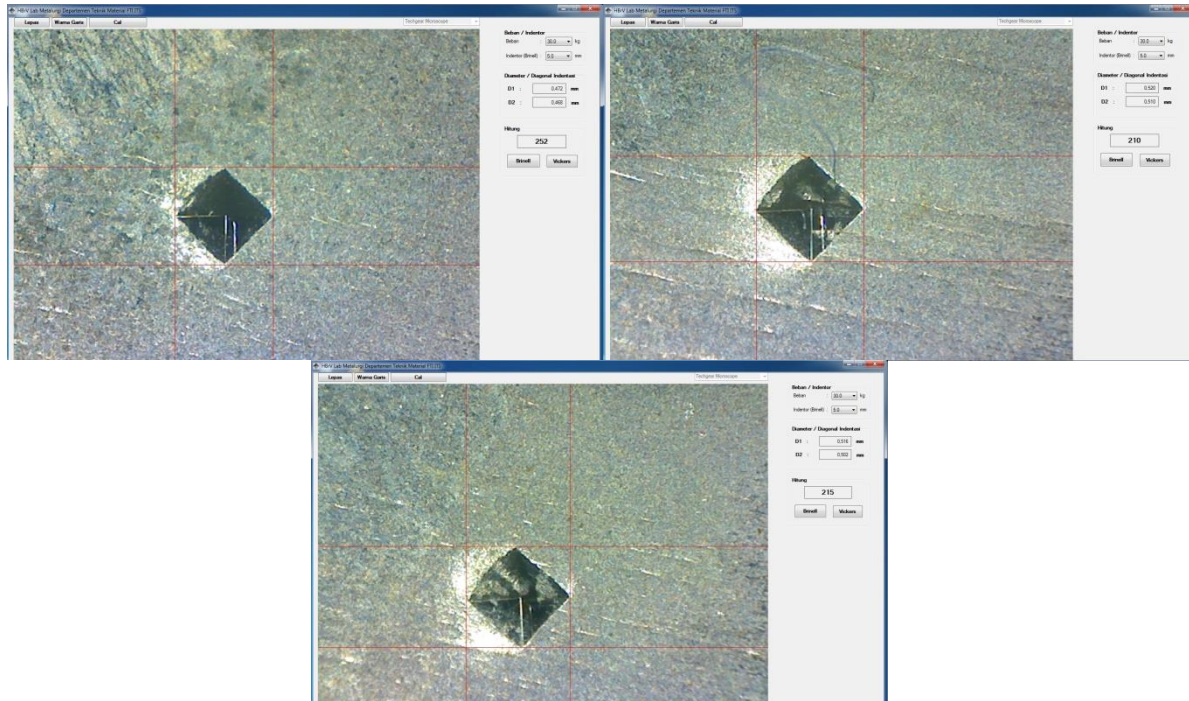
D3. Hasil HAZ JR 200



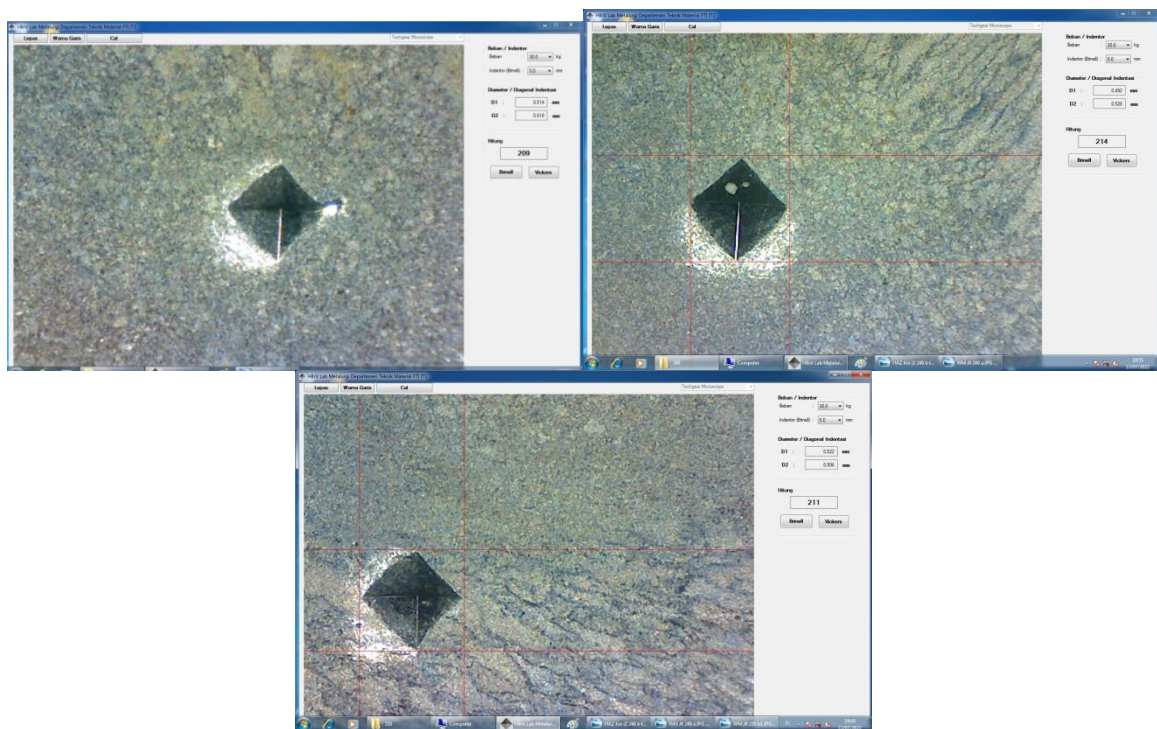
D4. Hasil weld metal JR 220



D5. Hasil HAZ JR 220

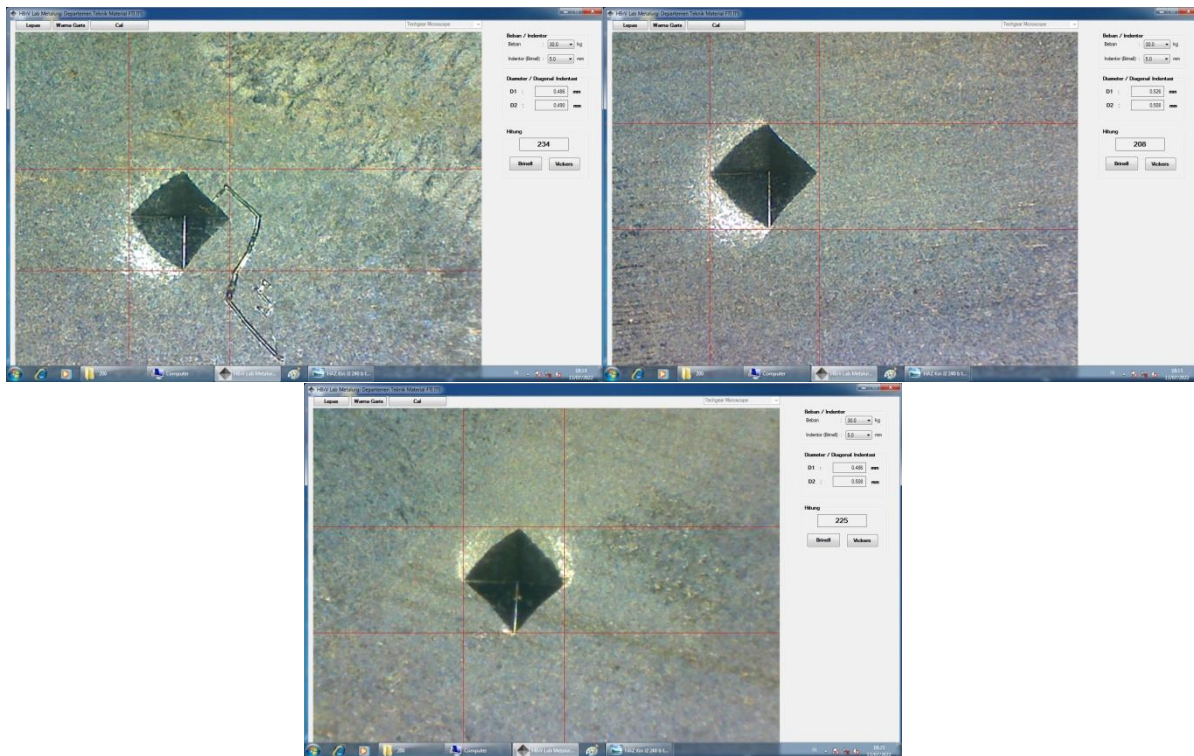


D6. Hasil weld metal JR 240

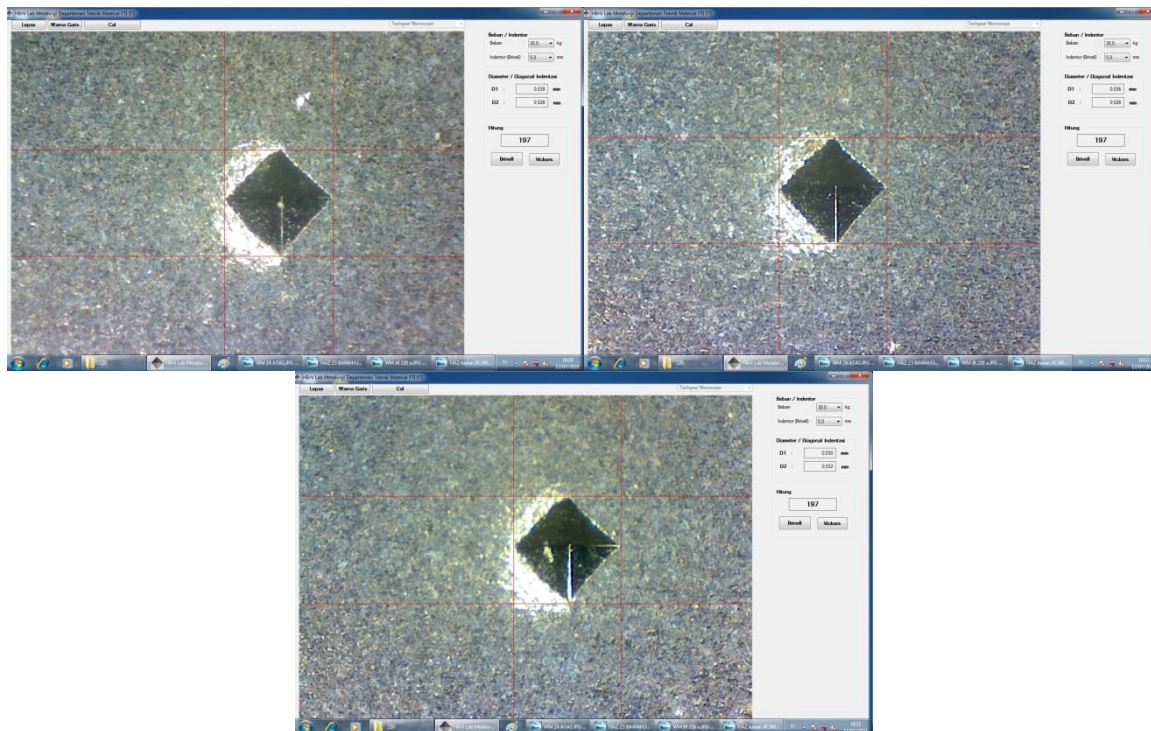




D7. Hasil HAZ JR 240

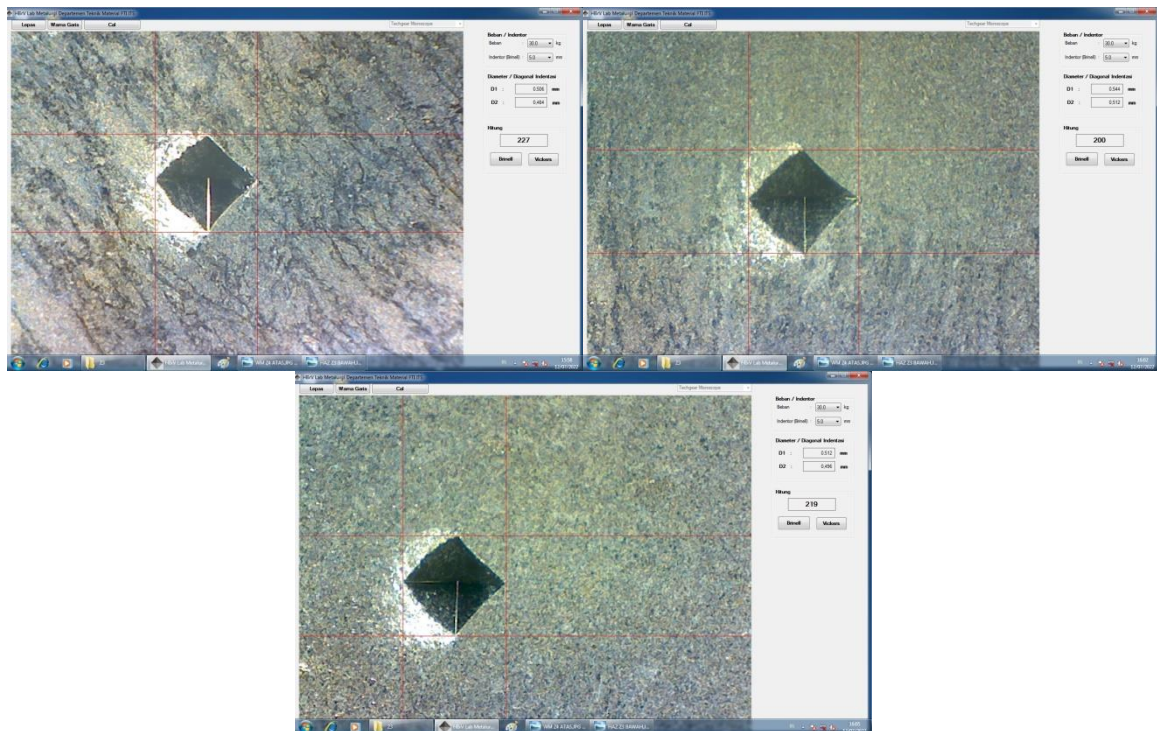


D8. Hasil Base metal J2

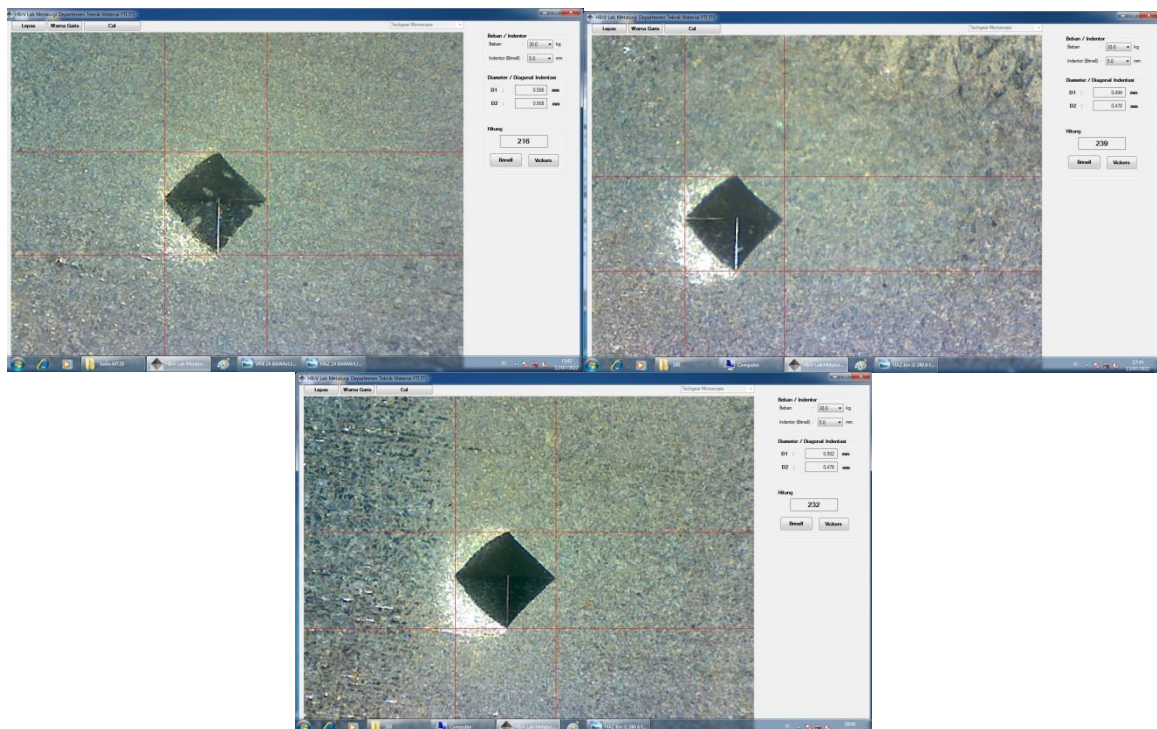




D9. Hasil weld metal J2 200

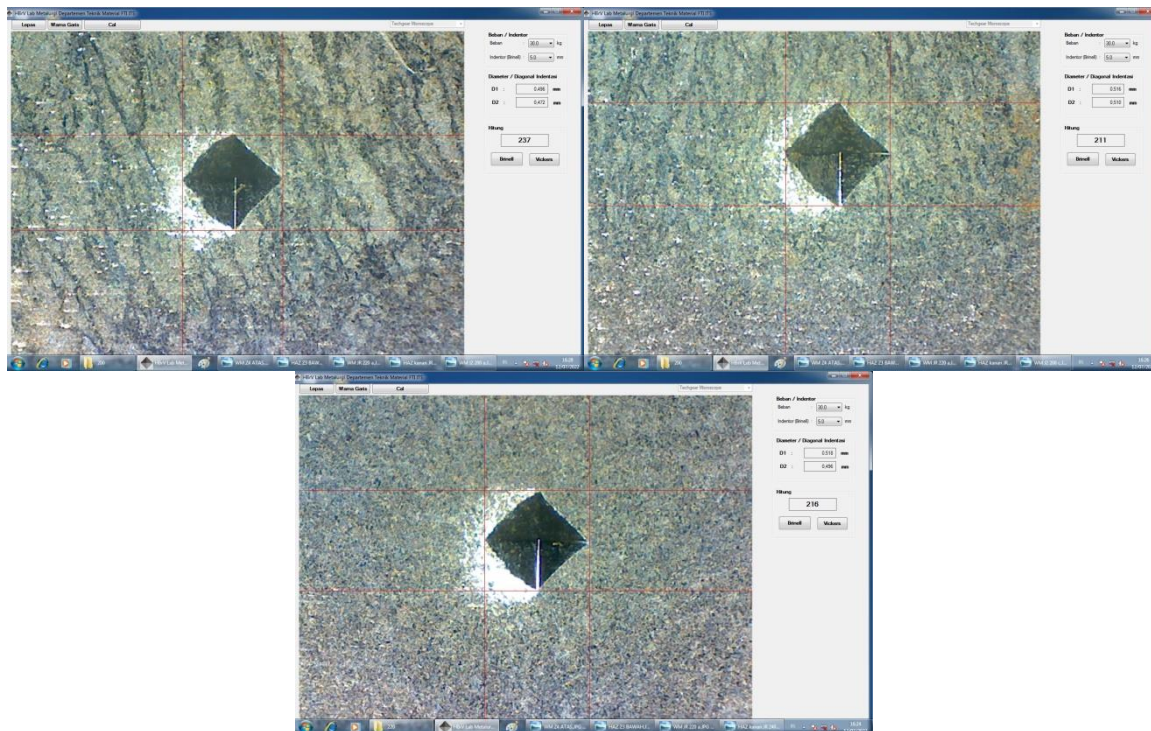


D10. Hasil HAZ J2 200

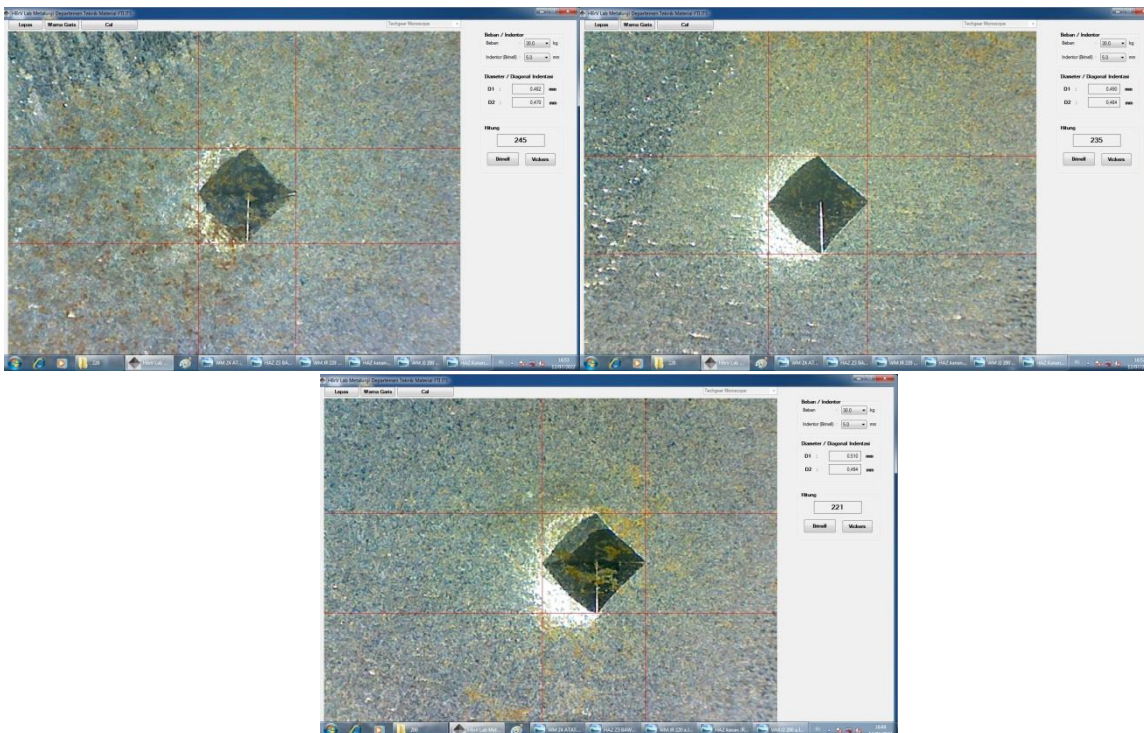




D11. Hasil *weld metal* J2 220

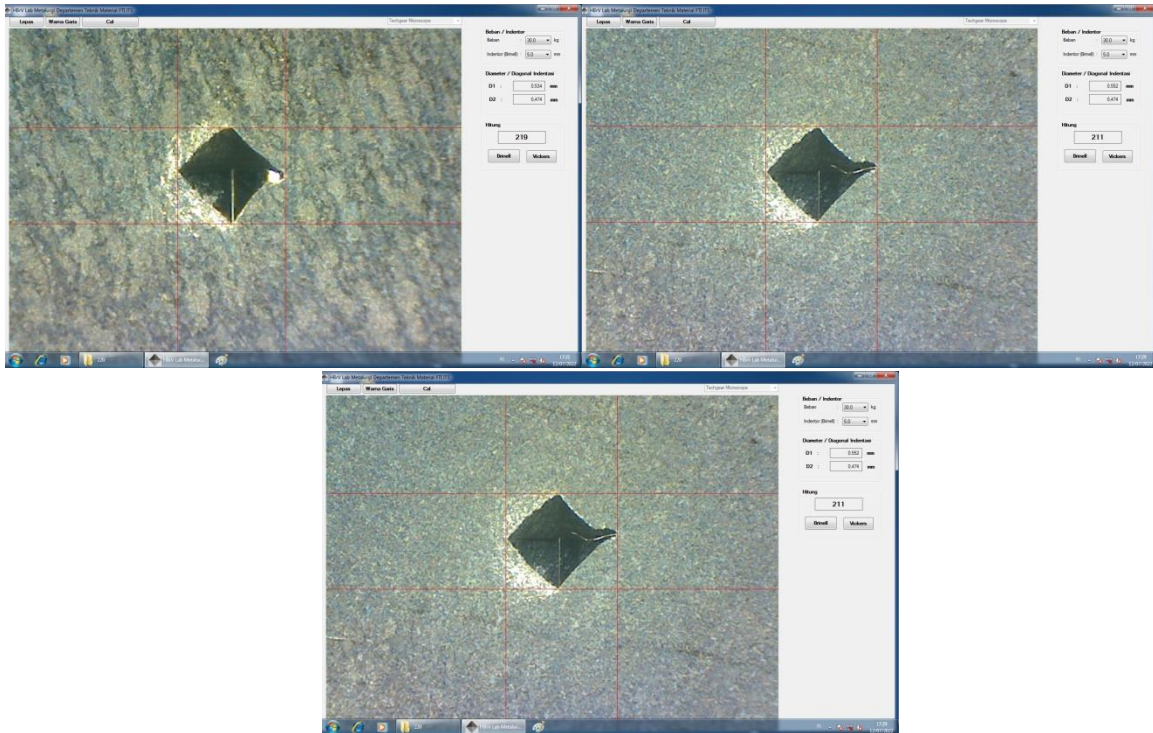


D12. Hasil HAZ J2 220

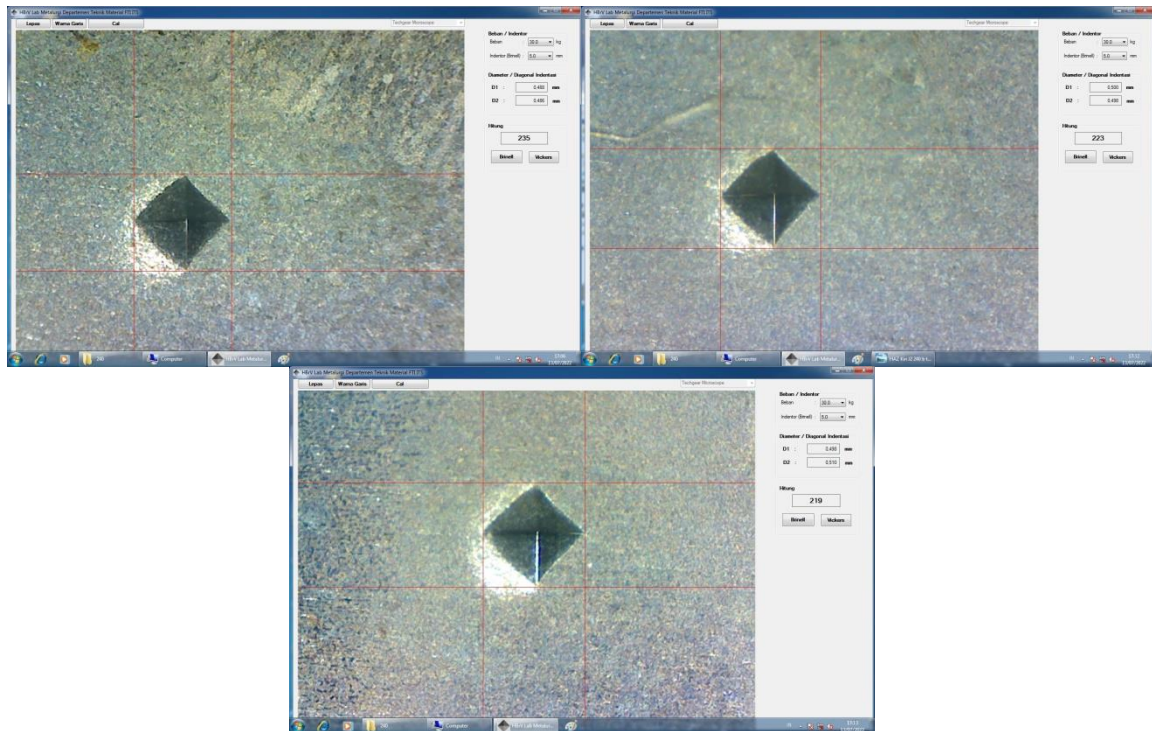




D13. Hasil *weld metal* J2 240



D14. Hasil HAZ J2 240



**d. Hasil Pengujian Tarik**

**E1. Hasil Pengujian Tarik Spesimen JR 200 1**

**LAPORAN UJI LABORATORIUM TENSILE**

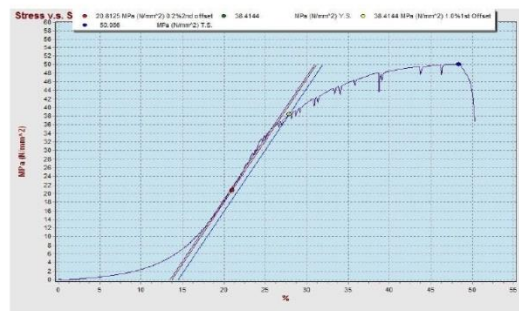
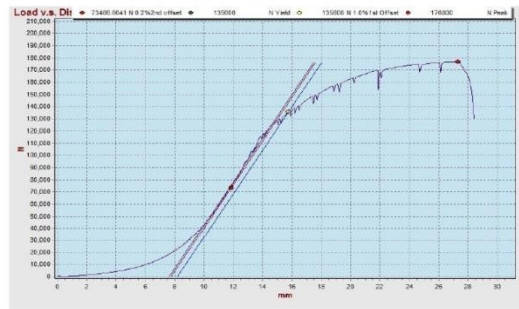
Jenis Pengujian	Uji Tarik
Type of test	
Peralatan	Mesin Uji Universal " Hung Ta " Kapasitas 1000 kN
Equipment	

**HASIL PENGUJIAN**  
**RESULT**

Sample JR 200 (J6)

02/07/2022

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	352,29	135600,00	176800,00	378,09	496,37	21,83



E2. Hasil Pengujian Tarik Spesimen JR 200 2

**LAPORAN UJI LABORATORIUM TENSILE**

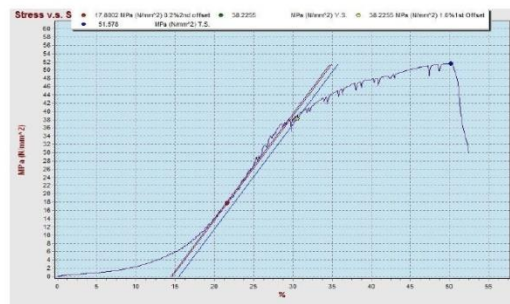
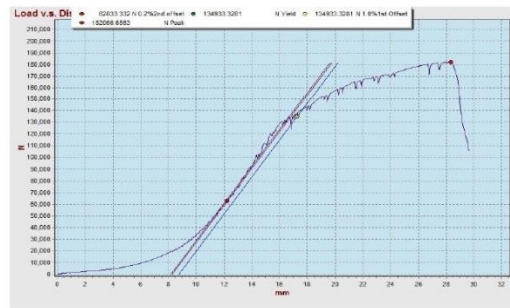
Jenis Pengujian	Uji Tarik
Type of test	
Peralatan	Mesin Uji Universal " Hung Ta " Kapasitas 1000 kN
Equipment	

**HASIL PENGUJIAN**  
**RESULT**

Sample JR 200 (J6)

02/07/2022

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	350,42	134933,33	182066,66	388,30	488,75	16,51



E3. Hasil Pengujian Tarik Spesimen JR 200 3

**LAPORAN UJI LABORATORIUM TENSILE**

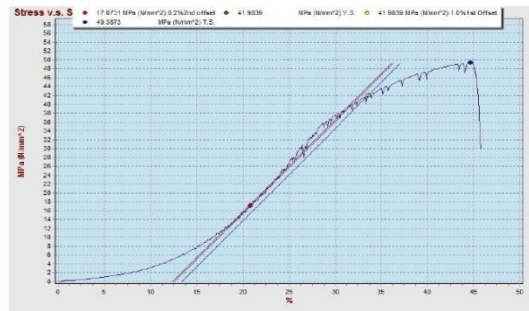
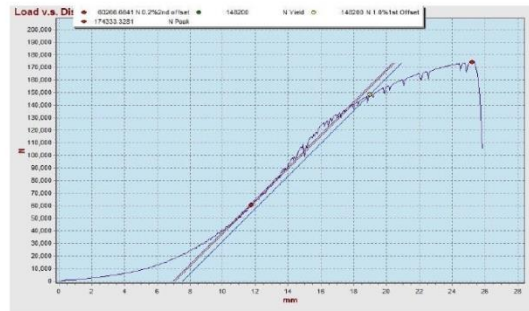
Jenis Pengujian	Uji Tarik
Type of test	
Peralatan	Mesin Uji Universal " Hung Ta " Kapasitas 1000 kN
Equipment	

**HASIL PENGUJIAN  
RESULT**

Sample JR 200 (J6)

02/07/2022

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	351,96	138200,00	174333,33	393,23	512,18	20,59





E4. Hasil Pengujian Tarik Spesimen JR 220 1

**LAPORAN UJI LABORATORIUM TENSILE**

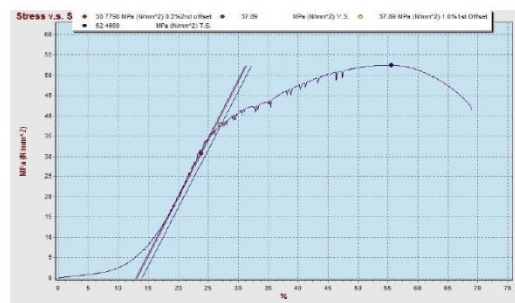
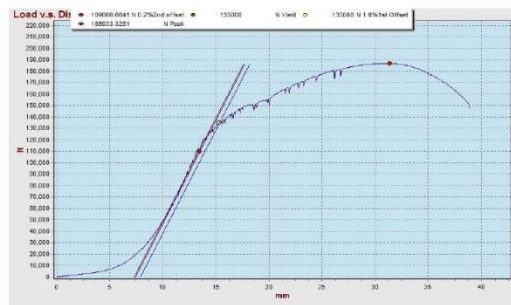
Jenis Pengujian	Uji Tarik
Type of test	
Peralatan	Mesin Uji Universal " Hung Ta " Kapasitas 1000 kN
Equipment	

**HASIL PENGUJIAN**  
**RESULT**

Sample JR 220 (J3)

02/07/2022

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	354,73	135000,00	186933,33	380,57	526,97	27,41



E5. Hasil Pengujian Tarik Spesimen JR 220 2

**LAPORAN UJI LABORATORIUM TENSILE**

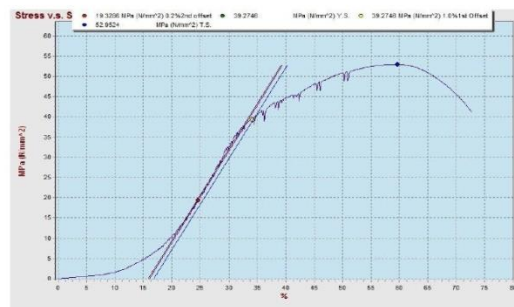
Jenis Pengujian	Uji Tarik
Type of test	
Peralatan	Mesin Uji Universal " Hung Ta " Kapasitas 1000 kN
Equipment	

**HASIL PENGUJIAN**  
**RESULT**

Sample JR 220 (J3)

02/07/2022

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	350,76	139933,33	188666,66	398,95	537,88	42,78





E6. Hasil Pengujian Tarik Spesimen JR 220 3

**LAPORAN UJI LABORATORIUM TENSILE**

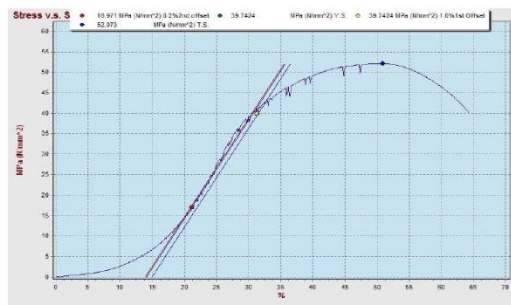
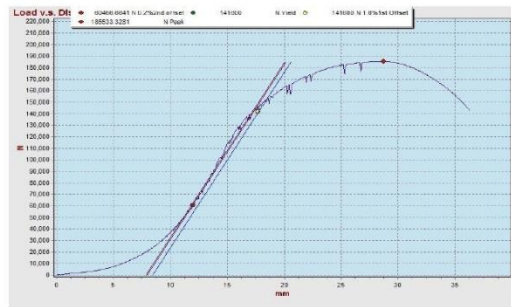
Jenis Pengujian	Uji Tarik
Type of test	
Peralatan	Mesin Uji Universal " Hung Ta " Kapasitas 1000 kN
Equipment	

**HASIL PENGUJIAN**  
**RESULT**

Sample JR 220 (J3)

02/07/2022

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	356,06	141600,00	185533,33	397,69	521,07	41,23





E8. Hasil Pengujian Tarik Spesimen JR 240 2

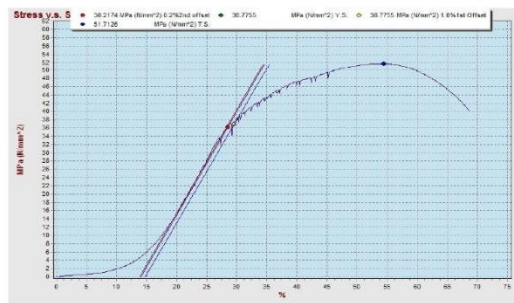
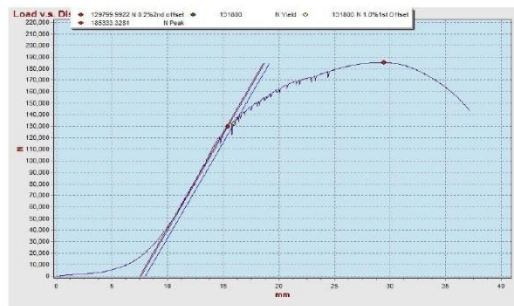
**LAPORAN UJI LABORATORIUM TENSILE**

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

**HASIL PENGUJIAN**  
**RESULT**

Sample JR 240 (J1) 02/07/2022

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	353,77	131800,00	185333,33	372,56	523,88	29,53



E9. Hasil Pengujian Tarik Spesimen JR 240 3

**LAPORAN UJI LABORATORIUM TENSILE**

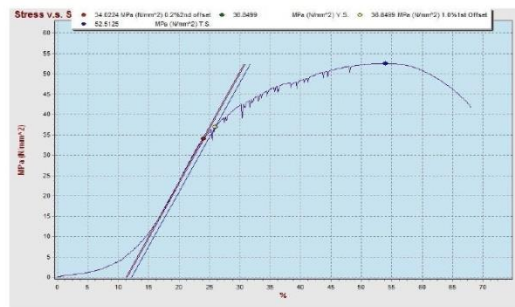
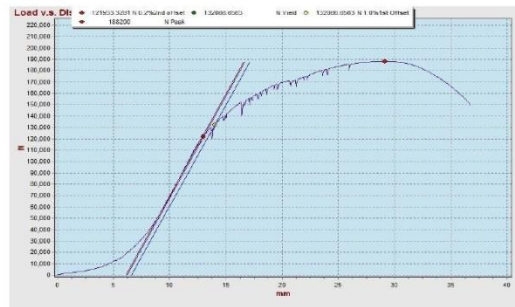
Jenis Pengujian	Uji Tarik
Type of test	
Peralatan	Mesin Uji Universal " Hung Ta " Kapasitas 1000 kN
Equipment	

**HASIL PENGUJIAN  
RESULT**

Sample JR 240 (J1)

02/07/2022

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	355,8	132066,66	188200,00	374,34	533,45	28,44



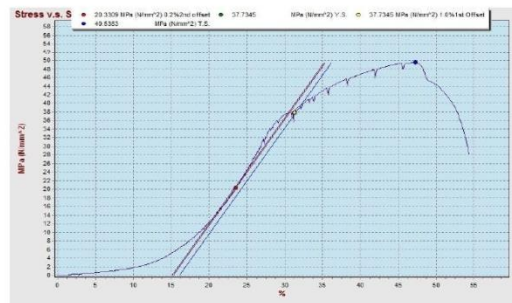
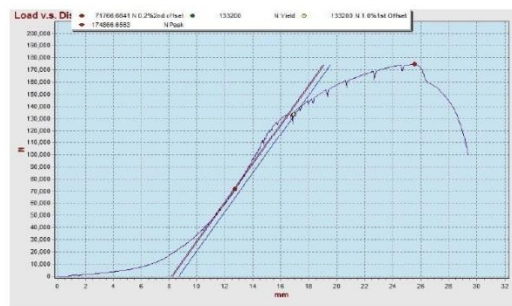
E10. Hasil Pengujian Tarik Spesimen J2 200 1

**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 J2 200 (J5)						02/07/2022
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	351,07	133200,00	174866,66	386,25	503,61	9,70





E11. Hasil Pengujian Tarik Spesimen J2 200 2

**LAPORAN UJI LABORATORIUM TENSILE**

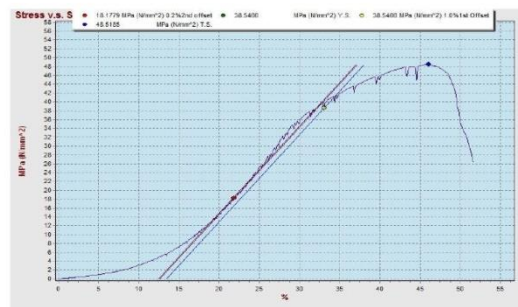
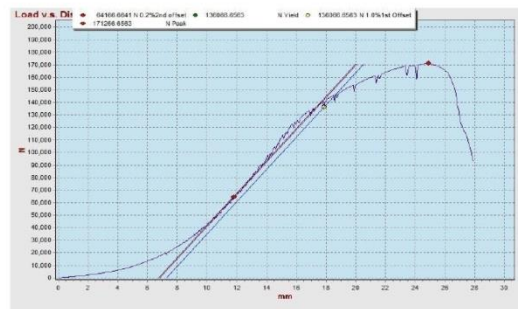
Jenis Pengujian	Uji Tarik
Type of test	
Peralatan	Mesin Uji Universal " Hung Ta " Kapasitas 1000 kN
Equipment	

**HASIL PENGUJIAN**  
**RESULT**

Sample J2 200 (J5)

02/07/2022

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	350,31	136066,66	171266,66	385,18	519,73	14,92



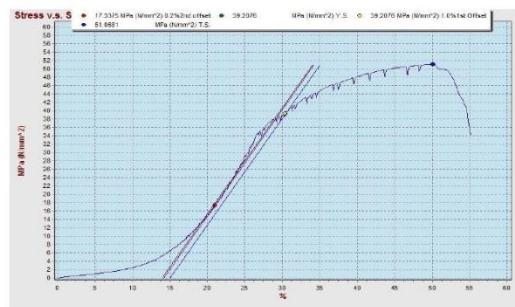
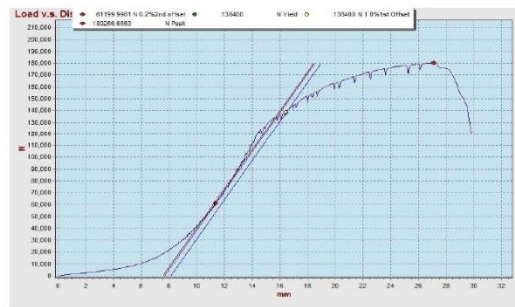
E12. Hasil Pengujian Tarik Spesimen J2 200 3

**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 J2 200 (J5)						02/07/2022
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	357,79	138400,00	180266,66	386,26	487,25	14,20



E13. Hasil Pengujian Tarik Spesimen J2 220 1

**LAPORAN UJI LABORATORIUM TENSILE**

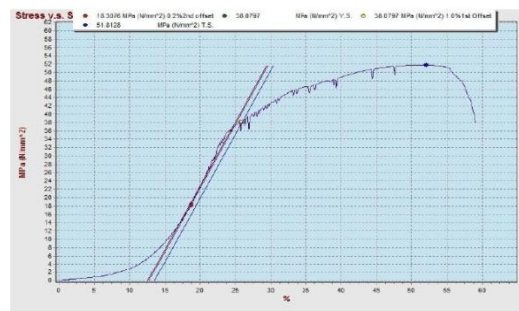
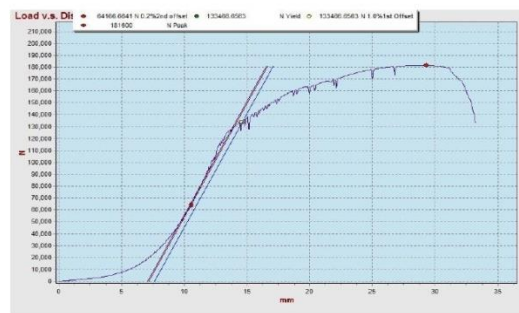
Jenis Pengujian	Uji Tarik
Type of test	
Peralatan	Mesin Uji Universal " Hung Ta " Kapasitas 1000 kN
Equipment	

**HASIL PENGUJIAN  
RESULT**

Sample J2 220 (J4)

02/07/2022

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	350,14	133466,66	181600,00	381,18	518,65	24,15



E14. Hasil Pengujian Tarik Spesimen J2 220 2

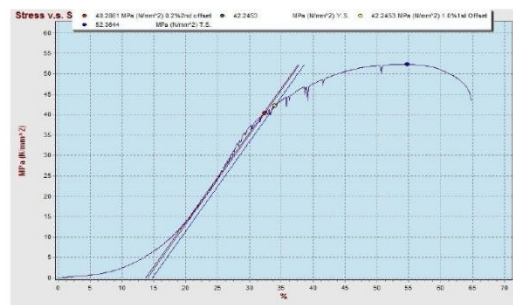
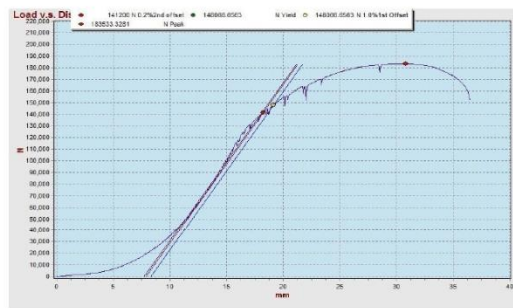
**LAPORAN UJI LABORATORIUM TENSILE**

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

**HASIL PENGUJIAN**  
**RESULT**

Sample J2 220 (J4) 02/07/2022

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	351,85	141200,00	183533,33	401,31	521,63	24,50



E15. Hasil Pengujian Tarik Spesimen J2 220 3

**LAPORAN UJI LABORATORIUM TENSILE**

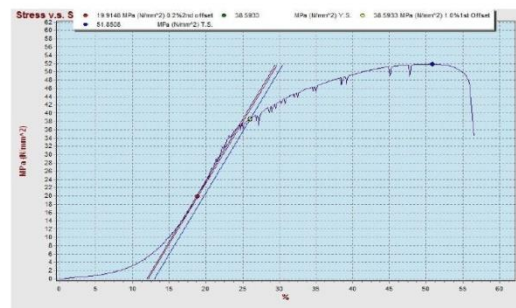
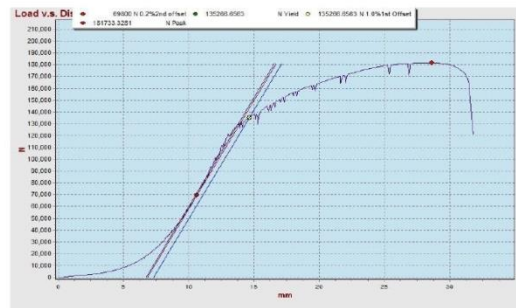
Jenis Pengujian	Uji Tarik
Type of test	
Peralatan	Mesin Uji Universal " Hung Ta " Kapasitas 1000 kN
Equipment	

**HASIL PENGUJIAN**  
**RESULT**

Sample J2 220 (J4)

02/07/2022

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	349,00	135266,66	181733,33	387,58	520,73	22,00





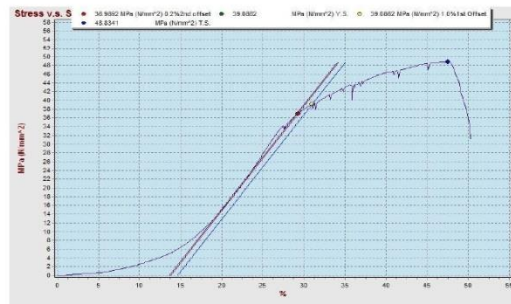
E16. Hasil Pengujian Tarik Spesimen J2 240 1

**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 J2 240 (J2)		02/07/2022				
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	347,65	137933,33	172333,33	396,76	495,72	14,74



E17. Hasil Pengujian Tarik Spesimen J2 240 2

**LAPORAN UJI LABORATORIUM TENSILE**

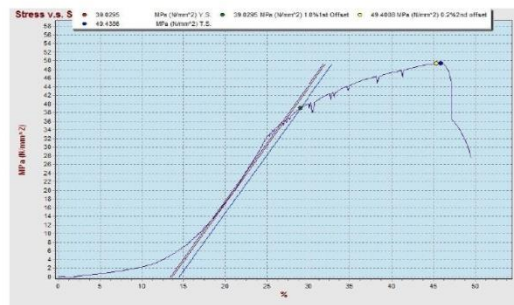
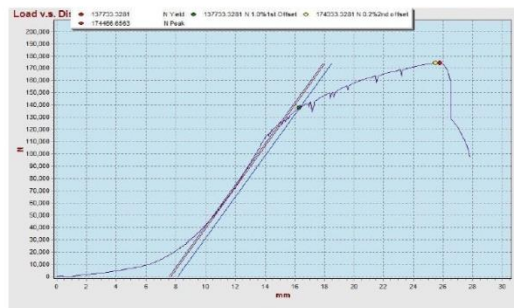
Jenis Pengujian	Uji Tarik
Type of test	
Peralatan	Mesin Uji Universal " Hung Ta " Kapasitas 1000 kN
Equipment	

**HASIL PENGUJIAN  
RESULT**

Sample J2 240 (J2)

02/07/2022

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	360,29	137733,33	174466,66	382,28	484,24	16,23



E18. Hasil Pengujian Tarik Spesimen J2 240 3

**LAPORAN UJI LABORATORIUM TENSILE**

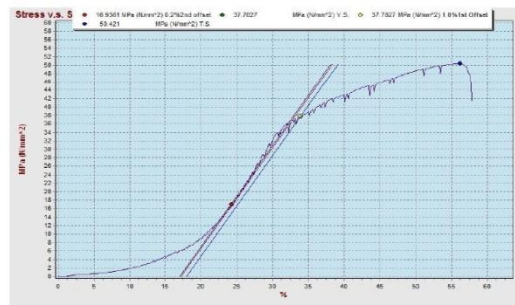
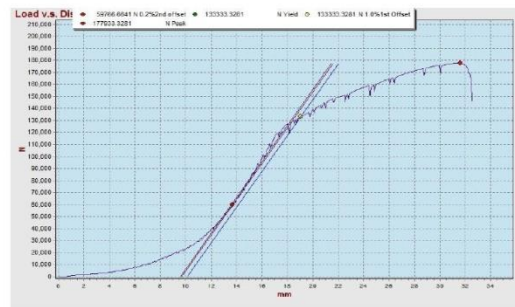
Jenis Pengujian	Uji Tarik
Type of test	
Peralatan	Mesin Uji Universal " Hung Ta " Kapasitas 1000 kN
Equipment	

**HASIL PENGUJIAN**  
**RESULT**

Sample J2 240 (J2)

02/07/2022

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	349,67	133333,33	177933,33	381,31	508,86	23,68



LAPORAN TUGAS AKHIR  
TEKNIK MATERIAL DAN METALURGI



e. Komposisi Kimia Material

F1. Komposisi Kimia Elektroda ER 70S-6

**HIT WELDING INDUSTRY CO.,LTD.**  
(CHANGZHOU HUATONG  
WELDING INDUSTRY CO.,LTD.)

**MILL TEST CERTIFICATE**

**EN 10204: 2004/3.1**

QAM. Ricardo Lee

Our Inv. (Ref) No. <b>HT20828025</b>	DATE <b>AUG.31.2020</b>	CERT NO. <b>083101</b>										
consignee ref.	BUYER REF <b>CHWI20041/VIII/2020</b>	PACK <b>47760 KGS</b>										
PT. YONTOMO SUKSES ABADI KOMPLEK DAAN MOGOT ARCADIA BLOK G4 NO.8 RT. 01 RW. 03 BATU CEPER - BATU CEPER TANGERANG - BANTEN 15122 INDONESIA	REQUIREMENTS <b>AWS A5.18 :ER 70S-6</b> <b>DIN 8559 : SG2</b> <b>EN 13479 - EN ISO 14341 -A- : G 42 2 C1/ G 42 4 M21 3S11</b> Approved by: DB(42.252.03),TUV(10801), under gas C1, M2, M3 ISO 14175 Approved by: ABS, LR, CCS, GL, NK under gas CO2 Certified by CWB to CSA standard W48 Welding Position: PA, PB, PC, PD, PE, PF DIN EN ISO6947											
PRODUCT <b>Copper Coated Mild Steel Solid Wire For Gas Shielded Welding</b>	INSPECTOR STAMP 											
BRAND MARK <b>HUATONG HTW-50</b>												
DESIGNATION <b>HTW-50(SG2 G 42 2 C1/ G 42 4 M21 3S11)</b>	TERMS OF DELIVERY <b>CNF JAKARTA, INDONESIA</b>											
DATE OF LOADING <b>AUG.19,2020 at factory</b>												
LOT NO.	Spec.	N.WEIGHT	PCS.	MFG. DATE								
<b>5442400802</b>	<b>1.2mm</b>	<b>15kg/D270</b>	<b>34560 KGS</b>	<b>2304 CTNS</b>								
<b>5442400802</b>	<b>1.6mm</b>	<b>20kg/D270</b>	<b>13200 KGS</b>	<b>660 CTNS</b>								
AUG.02,2020 AUG.02,2020												
CHEMICAL COMPOSITION												
LOT NO.	C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Cu	Mo	V	Al	Ti+Zr
<b>5442400802</b>	<b>0.07</b> ✓	<b>0.90</b> ✓	<b>1.46</b> ✓	<b>0.011</b> ✓	<b>0.014</b> ✓	<b>0.030</b> ✓	<b>0.003</b> ✓	<b>0.11</b> ✓	<b>0.005</b> ✓	<b>0.001</b> ✓	<b>0.002</b> ✓	<b>0.002</b> ✓
TEST RESULT					Typical Values							
LOT NO	Spec.	YIELD STRENGTH Rp0.2/ReH Mpa	TENSILE STRENGTH Rm Mpa	Elongation A %	TEMP. °C	IMPACT TEST KV2 J	GAS					
<b>5442400802</b>	<b>1.2mm</b>	<b>443</b> ✓ <b>446</b> ✓	<b>553</b> ✓ <b>557</b> ✓	<b>29</b> ✓ <b>29</b> ✓	<b>-20</b> <b>-40</b>	<b>93 86 92</b> <b>82 86 83</b>	<b>90.3</b> ✓ <b>83.7</b> ✓	<b>C1</b> <b>M21</b>				
<b>5442400802</b>	<b>1.6mm</b>	<b>448</b> ✓ <b>449</b> ✓	<b>556</b> ✓ <b>558</b> ✓	<b>29</b> ✓ <b>29</b> ✓	<b>-20</b> <b>-40</b>	<b>91 86 87</b> <b>85 86 81</b>	<b>88</b> ✓ <b>84</b> ✓	<b>C1</b> <b>M21</b>				
reviewed by: 												
THE REQUIREMENTS STIPULATED ARE SATISFIED.												



## F2. Komposisi Kimia S355JR

**KRAKATAU POSCO**

Order No. : Q8S1022620  
Supplier : PT. Krakatau Steel (PERSERO) TBK  
Customer : PT. KRAKATAU STEEL (PERSERO) T

**Mill Test Certificate**

PO No. : IMS KKBW DEC  
Commodity : PLATE  
Spec & Type : EN10025-2 S355JR+AR

Certificate No. : Z20106-FPQ8IN-0045A1-0002  
Date of Issue : Jan., 12, 2022

Size	Product No.	Quantity	Weight (kg)	Heat No.	Position	Tensile Test			Impact Test V Notch +20 °C Energy (Joule)	Division	Chemical Composition													
						YP (MPa)	TS (%)	EL (%)			C (%)	Si (%)	Mn (%)	P (%)	S (%)	Cr (%)	Ni (%)	Cu (%)	Mo (%)	N (ppm)	Nb (%)	Ti (%)	V (%)	Se-Al (%)
12x2600x7000	PK90223505-3506	2	3,428	SK76271	T	450	591	28	1: 205 2: 209 3: 197 A: 204	L	0.1683	0.365	1.550	0.0137	0.0034	0.016	0.005	0.010	0.002	25	0.037	0.0133	0.028	0.031
12x2600x7000	PK90223704-3706	3	5,142	SK76271	T	455	596	28	1: 232 2: 219 3: 191 A: 214	L	0.1683	0.365	1.550	0.0137	0.0034	0.016	0.005	0.010	0.002	25	0.037	0.0133	0.028	0.031
12x2600x7000	PK90224708	1	1,714	SK76271	T	454	590	29	1: 214 2: 223 3: 185 A: 207	L	0.1683	0.355	1.550	0.0137	0.0034	0.016	0.005	0.010	0.002	25	0.037	0.0133	0.028	0.031
*** Sub Total (020) ***		6	10,284 (kg)																					
16x2400x4800	PK90248601-8907	7	10,129	SK76270	T	445	585	25	1: 178 2: 177 3: 173 A: 176	L	0.1663	0.349	1.535	0.0123	0.0033	0.017	0.005	0.010	0.001	51	0.034	0.0126	0.028	0.030
16x2400x4800	PK90298903-8907	6	7,235	SK76270	T	445	585	25	1: 178 2: 177 3: 173 A: 176	L	0.1663	0.349	1.535	0.0123	0.0033	0.017	0.005	0.010	0.001	51	0.034	0.0126	0.028	0.030
16x2400x4800	PK90225301-8902	2	2,884	SK76271	T	452	577	25	1: 172 2: 141 3: 207 A: 173	L	0.1683	0.355	1.550	0.0137	0.0034	0.016	0.005	0.010	0.002	25	0.037	0.0133	0.028	0.031
*** Sub Total (020) ***		14	20,258 (kg)																					

CEQ (G) = C + Mn/6 + (Ni + Cu)/15 + (Cr + Mo + V)/5  
 \* Position - T: Top, M: Middle, B: Bottom  
 \* Tensile Test Direction: Transversal, Gauge Length: 5.65 -A<sub>v</sub> (Rectangular),  
 \* YP Method: Upper Point  
 \* Impact Test Direction: Surface Longitudinal, Full-Size: 10 mmX10 mm  
 \* Division - L: Ladle Analysis, P: Products Analysis  
 \* Supply Condition: As-Rolled unless otherwise Heat Treated.

We hereby certify that the material herein has been made in accordance with the order and above specification. This material has been fully killed and made by basic oxygen process. This material is fine grained steel. No repair welding was performed to the products. Test Certificate is issued according to ISO 10474/EN 10204 3.1.

Choi Jong Seog  
 Testing and Inspection Team Leader  
 CHOI JONG-SEOG

## F3. Komposisi Kimia S355J2

**KRAKATAU POSCO**

Order No. : Q8S1021016  
Supplier : PT. Krakatau Steel (PERSERO) TBK  
Customer : PT. KRAKATAU STEEL (PERSERO) T

**Mill Test Certificate**

PO No. : IMS PO 1  
Commodity : PLATE  
Spec & Type : EN10025-2 S355J2+N ED: 2019

Certificate No. : 210524 FPQ8IN 0018A1-0003  
Date of Issue : May., 25, 2021

Size	Product No.	Quantity	Weight (kg)	Heat No.	Position	Tensile Test			Impact Test V Notch -20°C Energy (Joule)	Division	Chemical Composition													
						YP (MPa)	TS (%)	EL (%)			C (%)	Si (%)	Mn (%)	P (%)	S (%)	Cr (%)	Ni (%)	B (ppm)	Cu (%)	Mo (%)	N (ppm)	Nb (%)	Ti (%)	V (%)
12x2440x8265	PK80268201-8205	5	9,500	SK88693	T	420	550	30	1: 200 2: 216 3: 244 A: 220	L	0.1603	0.209	1.591	0.0121	0.0031	0.012	0.008	4	0.008	0.001	57	0.031	0.0136	0.005
12x2440x8265	PK80268305	1	1,900	SK88693	T	420	550	30	1: 200 2: 216 3: 244 A: 220	L	0.1603	0.209	1.591	0.0121	0.0031	0.012	0.006	4	0.008	0.001	57	0.031	0.0136	0.005
12x2440x8265	PK80318602	1	1,900	SK889128	T	431	562	28	1: 83 2: 129 3: 184 A: 132	L	0.1564	0.211	1.534	0.0121	0.0034	0.014	0.004	4	0.009	0.002	39	0.028	0.0128	0.004
12x2440x8265	PK80319102	1	1,900	SK889128	T	431	562	28	1: 83 2: 129 3: 184 A: 132	L	0.1564	0.211	1.534	0.0121	0.0034	0.014	0.004	4	0.009	0.002	39	0.028	0.0128	0.004
12x2440x8265	PK80319104	1	1,900	SK889128	T	431	562	28	1: 83 2: 129 3: 184 A: 132	L	0.1564	0.211	1.534	0.0121	0.0034	0.014	0.004	4	0.009	0.002	39	0.028	0.0128	0.004
*** Sub Total (030) ***		20	38,000 (kg)																					
*** Heat Treatment: ***=> Normalizing rolling ***																								
*** Grade Total ***		46	77,312 (kg)																					

CEQ (G) = C + Mn/6 + (Ni + Cu)/15 + (Cr + Mo + V)/5  
 \* Position - T: Top, M: Middle, B: Bottom  
 \* Tensile Test Direction: Transversal, Gauge Length: 5.65 -A<sub>v</sub> (Rectangular),  
 \* YP Method: Upper Point  
 \* Impact Test Direction: Surface Longitudinal, Full-Size: 10 mmX10 mm  
 \* Division - L: Ladle Analysis, P: Products Analysis  
 \* Supply Condition: As-Rolled unless otherwise Heat Treated.

We hereby certify that the material herein has been made in accordance with PED2014/68/EU and AD2000-WO / AD2000-WY:2006 (Certificate No. 01 202 ROK/C-16 0081). This material has been fully killed and made by basic oxygen process. This material is fine grained steel. This material has been made by vacuum degassing process. No repair welding was performed to the products. Test Certificate is issued according to ISO 10474/EN 10204 3.1.

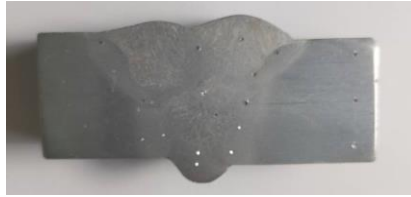
KPO01 Choi Jong Seog  
 Testing and Inspection Team Leader  
 CHOI JONG-SEOG



---

**f. Foto Makro Las**

G1. Foto Makro Las JR 240



G2. Foto Makro Las J2 240



G3. Foto Makro Las JR 220



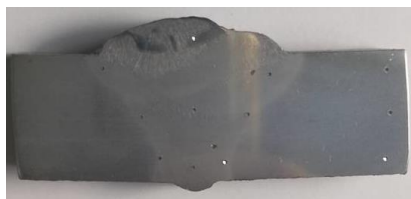
G4. Foto Makro Las J2 220



G5. Foto Makro Las JR 200



G6. Foto Makro Las J2 200



## UCAPAN TERIMA KASIH

Dalam mengerjakan laporan penelitian tugas akhir ini, Penulis juga mendapat bantuan dan dukungan dari berbagai pihak. Oleh karena itu, Penulis ingin menyampaikan terima kasih kepada seluruh pihak yang telah mendukung dan membantu. Diantaranya :

3. Papa, mama, kedua kakak penulis yang telah mendukung selama pengerjaan Tugas Akhir secara moral, mental dan finansial, sehingga laporan Tugas Akhir dapat terselesaikan.
4. Bapak Ir. Rochman Rochiem, M.Sc. dan Bapak Budi Agung Kurniawan, S.T., M.Sc selaku dosen pembimbing Tugas Akhir yang telah membimbing dengan sabar, membantu memberikan masukan dan saran mengenai penelitian yang membangun kepada penulis dalam proses pengerjaan Tugas Akhir.
5. Mas Diki Hadi, Mas Mahendra Wisnu, Mas Pungky, Mas Denis dan seluruh pegawai Divisi Welding Preparation dan Inspection PT. Inka Multi Solusi Madiun.
6. Bapak Sigit Tri Wicaksono, S.Si., M.Si., Ph.D selaku Kepala Departemen Teknik Material dan Metalurgi FTIRS-ITS.
7. Bapak Lukman Noerochiem, S.T., M.Sc., Eng.PhD. selaku dosen wali yang telah membimbing selama masa perkuliahan 4 tahun di Departemen Teknik Material dan Metalurgi FTIRS-ITS.
8. Sutarsis, S.T, M.Sc., selaku Kepala Laboratorium Metalurgi, tempat penulis melakukan pengerjaan Tugas Akhir.
9. Seluruh dosen, tenaga pendidik, dan karyawan Departemen Teknik Material dan Metalurgi FTIRS - ITS yang telah memberikan bantuan dan bimbingan kepada penulis.
10. Toga Jason, selaku partner yang membantu penulis selama mengerjakan Tugas Akhir
11. Rekan-rekan Tekloss, Izzuddin, Hanif, Fathi, Arga, Bhismo, Sulthan yang penuh dengan suka duka, drama, serta bertukar tawa dalam proses pengerjaan Tugas Akhir.
12. Keluarga besar MT20 yang selalu memberikan semangat untuk angkatan selama 4 tahun ini.
13. Teman-teman Logistik PKMBK, PKMBK, dan PMK ITS yang telah menerima penulis untuk dapat melayani dan berkarya yang tidak hanya bermanfaat bagi sesama tetapi untuk kemuliaan Tuhan Yang Maha Esa.
14. Rekan rekan Pemandu FTIRS, BLM FTIRS, EPI, Kaderisasi HMMT, dan tim Adhoc PPSDM yang telah memberikan pengalaman manajemen organisasi, bertukar pikiran, kenangan indah selama perkuliahan, serta semangat kepada penulis selama proses Tugas Akhir.
15. Teman-teman KP 16 dan sekitarnya yang telah yang mengisi perkuliahan penulis dengan penuh suka, duka, drama dan segala hal yang telah penulis alami.
16. Serta seluruh pihak yang tidak dapat disebutkan satu per satu.

Semoga penelitian ini dapat memberikan dampak yang positif dan kemanfaatan bagi pembaca dan semua yang membutuhkan.

Surabaya, 25 Juli 2022

Jeremy Osland Marganda Sinaga

*(Halaman ini sengaja dikosongkan)*

## BIODATA PENULIS



Penulis dengan nama Jeremy Osland Marganda Sinaga lahir di Medan, 6 Maret 2001. Penulis menempuh pendidikan formal dimulai dari Riwayat pendidikan dimulai dari SD Swasta Methodist 1 Medan pada tahun 2006 dan lulus pada tahun 2012. Lalu melanjutkan sekolah di SMP Methodist 1 Medan dimulai tahun 2012 dan lulus pada tahun 2015. Kemudian melanjutkan pendidikan di SMA Negeri 4 Medan pada tahun 2015 dan lulus pada tahun 2018. Lalu menempuh perkuliahan di Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya di Departemen Teknik Material dan Metalurgi pada tahun 2018 hingga saat ini. Selama perkuliahan, penulis aktif mengikuti organisasi di Persekutuan Mahasiswa Kristen ITS sebagai staff Logistik PKMBK ITS, Pemandu “Pamungkas” FTIRS dan SC Kaderisasi HMMT pada tahun kedua perkuliahan. Penulis aktif sebagai Anggota Komisi Legislasi BLM FTIRS ITS, Pemandu FTIRS, dan SC Kaderisasi HMMT pada tahun ketiga perkuliahan. Dalam bidang akademik, penulis mengikuti Kerja Praktik sekaligus magang pada posisi Smelter Reduction Preparation Intern di PT. INALUM (Persero) pada tahun 2021. Untuk menyelesaikan studi S1, penulis melakukan penelitian di bidang studi Korosi dan Analisa Kegagalan dengan Tugas Akhir berjudul “Analisis Pengaruh Variasi Arus Terhadap Struktur Mikro dan Sifat Mekanik Hasil Pengelasan *Butt Joint* pada Baja S355JR dan S355J2 dengan menggunakan Metode GMAW”. Penulis dapat dihubungi melalui alamat email : [sinagaosland@gmail.com](mailto:sinagaosland@gmail.com), no.HP : 0895611684195