

TUGAS AKHIR – TL184834

**ANALISIS PENGARUH VARIASI ARUS DAN TEGANGAN
PENGELASAN METODE FCAW TERHADAP STRUKTUR
MIKRO DAN SIFAT MEKANIK SAMBUNGAN BAJA S355 J2**

HANIF SHABRI BAKTIDILLAH
NRP. 0251184000052

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 DAN TEGANGAN
PENGELASAN METODE FCAW TERHADAP STRUKTUR
MIKRO DAN SIFAT MEKANIK SAMBUNGAN BAJA S355 J2**

HANIF SHABRI BAKTIDILLAH
NRP. 0251184000052

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 AND VOLTAGE
FCAW METHOD ON MICRO STRUCTURES AND
MECHANICAL PROPERTIES ON S355 J2 STEEL JOINTS**

HANIF SHABRI BAKTIDILLAH
NRP. 0251184000052

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 DAN TEGANGAN PENGELASAN METODE FCAW TERHADAP STRUKTUR MIKRO DAN SIFAT MEKANIK SAMBUNGAN BAJA S355 J2

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 : **HANIF SHABRI BAKTIDILLAH**
NRP. 0251184000052

Disetujui oleh Tim Penguji Tugas Akhir :

1. Ir. Rochman Rochiem, M.Sc.


Pembimbing

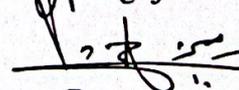
2. Budi Agung Kurniawan, S.T., M.Sc.


Ko-Pembimbing

3. Mavindra Ramadhani, S.T., M.T.


Penguji

4. Tubagus Noor Rohmannudin, S.T., M.Sc.


Penguji



SURABAYA
Juli, 2022

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

APPROVAL SHEET

ANALYSIS OF THE EFFECT OF CURRENT AND VOLTAGE FCAW METHOD ON MICRO STRUCTURE AND MECHANICAL PROPERTIES ON S355 J2 STEEL JOINTS

FINAL PROJECT

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

By : HANIF SHABRI BAKTIDILLAH
NRP. 0251184000052

Approved by Final Project Examiner Team :

1. Ir. Rochman Rochiem, M.Sc.


Advisor

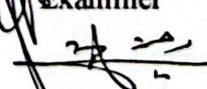
2. Budi Agung Kurniawan, S.T., M.Sc.


Co-Advisor

3. Mavindra Ramadhani, S.T., M.T.


Examiner

4. Tubagus Noor Rohmannudin, S.T., M.Sc.


Examiner



SURABAYA
July, 2022

(This page is intentionally blank)

PERNYATAAN ORISINALITAS

Yang bertanda tangan di bawah ini:

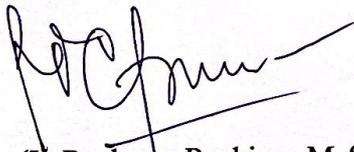
Nama mahasiswa/NRP : Hanif Shabri Baktidillah/0251184000052
Departemen : Departemen Teknik Material dan Metalurgi
Dosen Pembimbing/NIP : Ir. Rochman Rochiem, M.Sc. /195809101986031002

Dengan ini menyatakan bahwa Tugas Akhir dengan judul “ANALISIS PENGARUH VARIASI ARUS DAN TEGANGAN PENGELASAN METODE FCAW TERHADAP STRUKTUR MIKRO DAN SIFAT MEKANIK SAMBUNGAN BAJA S355 J2” adalah hasil karya sendiri, bersifat orisinal, dan ditulis dengan mengikuti kaidah penulisan ilmiah.

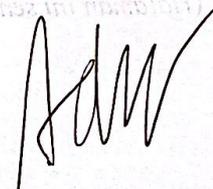
Bilamana di kemudian hari ditemukan ketidaksesuaian dengan pernyataan ini, maka saya bersedia menerima sanksi sesuai dengan ketentuan yang berlaku di Institut Teknologi Sepuluh Nopember.

Surabaya, 19 Juli 2022

Mengetahui



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



(Hanif Shabri Baktidillah)
NRP. 0251184000052

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

STATEMENT OF ORIGINALITY

The undersigned below:

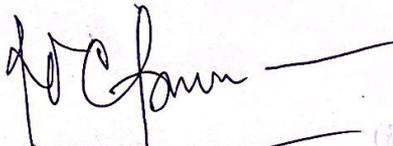
Name of student/NRP : Hanif Shabri Baktidillah/02511840000052
Departement : Departement Of Material and Metallurgy
Advisor/NIP : Ir. Rochman Rochiem, M.Sc. /195809101986031002

Hereby declare that the Final Project with the title of "ANALYSIS OF THE EFFECT OF CURRENT AND VOLTAGE FCAW METHOD ON MICROSTRUCTURES AND MECHANICAL PROPERTIES ON S355 J2 STEEL JOINTS" is the result of my own work, is original, and is written by following the rules of scientific writing..

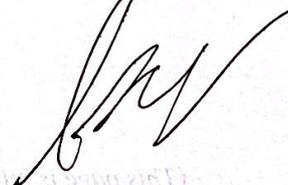
If in the future there is a discrepancy with this statement, then I am willing to accept sanctions in accordance with the provisions that apply at Institut Teknologi Sepuluh Nopember.

Surabaya, 19 Juli 2022

Acknowledged



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



(Hanif Shabri Baktidillah)
NRP.02511840000052

(This page is intentionally blank)

ANALISIS PENGARUH VARIASI ARUS DAN TEGANGAN PENGELASAN METODE FCAW TERHADAP STRUKTUR MIKRO DAN SIFAT MEKANIK SAMBUNGAN BAJA S355 J2

Nama Mahasiswa / NRP : Hanif Shabri Baktidillah/02511840000052
Departemen : Teknik Material dan Metalurgi FTIRS-ITS
Dosen Pembimbing 1 : Ir. Rochman Rochiem, S.T., M.Sc.
Dosen Pembimbing 2 : Budi Agung Kurniawan, S.T., M.Sc.

ABSTRAK

Pertumbuhan ekonomi yang seiring meningkat di Indonesia melibatkan meningkatnya kebutuhan transportasi muatan barang. Salah satu moda transportasi muatan barang masal adalah kereta api, kebutuhan transportasi muatan barang kereta api turut meningkat. Adanya peningkatan ini karena mempermudah pengiriman melalui jalur darat dan lebih hemat energi tingkat pencemaran rendah serta aman. Dalam proses produksi kereta api menggunakan salah satu proses yang melibatkan pengelasan. Metode penegelasan FCAW bisa digunakan pada gerbong kereta api. Bahan yang digunakan baja S355 J2. Penelitian ini dilakukan dengan menggunakan arus 170A, 190A, 200A dengan tegangan 26,5V dan 27,5V. Kemudian penelitian ini dilengkapi dengan pengujian uji tarik, kekerasan dan struktur mikro. Semakin naik nya arus dan tegangan mengalami penurunan jika dibandingkan dengan kenaikan tegangan dari 26.5V ke 27.5V. Pengaruh arus dan tegangan pengelasan memiliki pengaruh struktur mikro berupa transformasi ukuran butir di weld metal dan HAZ. Transformasi yang terjadi di weld metal dan HAZ lebih halus dari base metal. Dalam seluruh hasil variasi tidak ada transformasi fasa. Sehingga dapat disimpulkan bahwa kenaikan tegangan mampu menurunkan nilai tegangan tarik dari *base metal*. Sifat mekanik kekerasan pada sample terbaik 200A, 26,5V mendapatkan transformasi nilai hardness tersebut dipengaruhi oleh temperatur sekitar pada fasa pendinginan. Pada daerah HAZ mendapatkan nilai 221.67 HV, base metal 202.00 HV dan pada weld metal mendapatkan nilai 221.33 HV. Pada sampel 200A dengan 26,5V mendapatkan hasil terbaik yaitu dengan nilai *tensile strength* 545.94 MPa dan *yield strength* 440.35 MPa, *elongation* 36.08%. Dikarenakan variasi arus dan tegangan mendapatkan nilai yang optimum pada variasi 200A, 26,5V karena sifat mekaniknya mendekati nilai ideal base metal dan untuk kekerasan mendapatkan nilai yang memadai.

Kata Kunci: FCAW, NDT, Struktur Mikro, Uji Tarik, Kekerasan, Baja S355 J2.

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

ANALYSIS OF THE EFFECT OF CURRENT AND VOLTAGE FCAW METHOD ON MICRO STRUCTURE AND MECHANICAL PROPERTIES ON S355 J2 STEEL JOINTS

Student Name / NRP : Hanif Shabri Baktidillah
Departement : Teknik Material dan Metalurgi FTIRS-ITS
Advisor : Ir. Rochman Rochiem, M.Sc.
Co-Advisor : Budi Agung Kurniawan, S.T., M.Sc.

ABSTRACT

Economic growth that has increased in Indonesia involves the increasing need for transportation of goods. One of the modes of transportation of mass cargo is trains, the need for transportation of rail freight loads has also increased. This increase is because it makes shipping easier by land and is more energy efficient at low pollution levels and is safe. In the process of railway production using one of the processes involving welding. The FCAW sealing method can be used on rail cars. The material used steel S355 J2. This study was conducted using currents of 170A, 190A, 200A with voltages of 26.5V and 27.5V. Then the study is complemented by testing of tensile, hardness and microstructure tests. The increasing current and voltage decrease when compared to the increase in voltage from 26.5V to 27.5V. The influence of welding current and voltage has a microstructure influence in the form of changes in grain size in metal and HAZ welds. The changes that occur in weld metal and HAZ are finer than base metal. In the whole result of the variation there is no phase change. So it can be concluded that the increase in voltage is able to lower the tensile stress value of the *base metal*. When the mechanical hardness in the best sample 200A, 26.5V gets a change in the hardness value influenced by the ambient temperature in the cooling phase. In the HAZ area, it gets a value of 221.67 HV, the base metal is 202.00 HV and in the weld metal it gets a value of 221.33 HV. Pis up tol 200A with 26.5V getting the best results, namely with a *tensile strength value of 545.94 MPa and a yield strength of 440.35 MPa, elongation of 36.08%*. Because the variation in current and voltage gets the optimum value at variations of 200A, 26.5V because its mechanical properties are close to the ideal value of base metal and for hardness obtain adequate values.

Keywords: *FCAW, NDT, Microstructure, Tensile Test, Hardness, S355 J2 Steel.*

(This page is intentionally blank)

KATA PENGANTAR

Puji dan syukur atas kehadiran Allah SWT yang telah memberikan rahmat dan karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan penelitian tugas akhir dengan judul, “ANALISIS PENGARUH VARIASI ARUS DAN TEGANGAN PENGELASAN METODE FCAW TERHADAP STRUKTUR MIKRO DAN SIFAT MEKANIK SAMBUNGAN BAJA S355 J2”. terselesaikannya laporan tugas akhir ini tidak luput dari dukungan, bantuan, motivasi serta partisipasi dari semua pihak, untuk itu penulis ingin mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada:

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

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

Surabaya, 19 Juli 2022

Penulis



Hanif Shabri Baktidillah

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN	v
APPROVAL SHEET	vii
PERNYATAAN ORISINALITAS	ix
STATEMENT OF ORIGINALITY	xi
ABSTRAK	xiii
ABSTRACT	xv
KATA PENGANTAR	xvii
DAFTAR ISI	i
DAFTAR GAMBAR	iii
DAFTAR TABEL	v
1 BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Perumusan Masalah.....	1
1.3 Batasan Masalah.....	1
1.4 Tujuan Penelitian.....	1
1.5 Manfaat Penelitian.....	2
2 BAB II TINJAUAN PUSTAKA	3
2.1 Teknologi Pengelasan.....	3
2.2 Jenis – Jenis Pengelasan.....	3
2.3 <i>Flux Cored Arc Welding</i> (FCAW).....	3
2.3.1 Kelebihan dan Kekurangan <i>Flux Core Arc Welding</i> (FCAW).....	4
2.3.2 Parameter Pengelasan.....	4
2.3.3 Elektroda E71T-1C.....	5
2.4 Pengelasan Baja Karbon.....	6
2.5 Siklus <i>Thermal</i> Daerah Pengelasan.....	6
2.5.1 Logam Las.....	7
2.5.2 <i>Heat Affected Zone</i> (HAZ).....	7
2.5.3 Logam Induk.....	7
2.6 Baja S355.....	8
2.6.1 Baja S355 J2.....	8
2.7 Cacat Pada Pengelasan.....	9
2.8 Pengujian Spesimen.....	9
2.9 Pengujian Metalografi.....	10
2.10 Pengujian <i>Destructive Testing</i> (DT).....	10
2.10.1 <i>Tensile Test</i>	10
2.10.2 <i>Hardness Test</i>	11
2.11 <i>Non-Destructive Test</i> (NDT).....	11
2.12 Penelitian Terdahulu.....	11
3 BAB III METODOLOGI PENELITIAN	13
3.1 Diagram Alir.....	13
3.2 Alat Penelitian.....	14
3.3 Bahan Penelitian.....	14
3.4 Metode Penelitian.....	14
3.5 Prosedur Pengelasan.....	14
3.5.1 Tahapan Persiapan Material.....	15

3.5.2	Persiapan Pengelasan	16
3.5.3	Tahap Pengelasan.....	16
3.6	Prosedur Pengujian	17
3.6.1	Pengujian Metalografi.....	17
3.6.2	Pengujian Kekerasan.....	18
3.6.3	Pengujian Tarik	18
3.7	Rancangan Penelitian.....	19
BAB IV	ANALISIS DATA DAN PEMBAHASAN.....	21
4.1	Analisis Hasil Pengujian Tarik	21
4.2	Hasil Pengujian Metalografi	23
4.3	Hasil Pengujian Kekerasan	29
4.4	Rangkuman Hasil Pengujian.....	30
BAB V	KESIMPULAN DAN SARAN	33
5.1	Kesimpulan	33
5.2	Saran.....	33
DAFTAR PUSTAKA	35
LAMPIRAN	37
UCAPAN TERIMA KASIH	65
BIODATA PENULIS	67

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Skema dari <i>Flux Cored Arc Welding</i> (FCAW)	4
Gambar 2.2	<i>Heat Affected Zone</i> (HAZ)	7
Gambar 2.3	Struktur Mikro Baja S355 J2	8
Gambar 2.4	Kurva Tegangan Regangan	10
Gambar 3.1	Diagram Alir Penelitian	13
Gambar 3.2	Plat Baja S355 J2 dan Preparasi (Dokumentasi Pribadi, 2022).....	15
Gambar 3.3	<i>Test piece</i> pengelasan.	15
Gambar 3.4	Mesin FCAW <i>OTC Daihen</i> (Dokumentasi Pribadi, 2022)	16
Gambar 3.5	<i>Filler</i> FCAW SC-71LH (E71T-1C) (Dokumentasi Pribadi, 2022).....	16
Gambar 3.6	Proses Pengelasan Oleh Operator (Dokumentasi Pribadi, 2022)	17
Gambar 4.1	Grafik <i>Ultimate tensile strength</i> pada baja S355 J2	21
Gambar 4.2	Grafik <i>Yield Strength</i> pada baja S355 J2	22
Gambar 4.3	Grafik <i>elongation</i> pada baja S355 J2.....	22
Gambar 4.4	Hasil pengujian metalografi 170A-26.5V pada (a) <i>base metal</i> , (b) HAZ dan (c) WM.....	23
Gambar 4.5	Hasil pengujian metalografi 190A-26.5V pada (a) <i>base metal</i> , (b) HAZ dan (c) WM.....	24
Gambar 4.6	Hasil pengujian metalografi 200A-26.5V pada (a) <i>base metal</i> , (b) HAZ dan (c) WM.....	25
Gambar 4.7	Hasil pengujian metalografi 170A-27,5V pada (a) <i>base metal</i> , (b) HAZ dan (c) WM.....	26
Gambar 4.8	Hasil pengujian metalografi 190A-27,5V pada (a) <i>base metal</i> , (b) HAZ dan (c) WM.....	27
Gambar 4.9	Hasil pengujian metalografi 200A-27,5V pada (a) <i>base metal</i> , (b) HAZ dan (c) WM.....	27
Gambar 4.10	Grafik <i>hardness</i> pada tegangan 26.5 V	29
Gambar 4.11	Grafik <i>hardness</i> pada tegangan 27,5 V	30
Gambar 4.12	(A) WM 200A-26,5V, (B) HAZ 200A-26,5V	31

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1	Komposisi Elektroda E71T-1C	6
Tabel 2.2	Sifat mekanik elektroda E71T-1C	6
Tabel 2.3	Komposisi Baja S355 J2.....	8
Tabel 2.4	Sifat Mekanik Baja S355J2	9
Tabel 2.5	Perbedaan <i>Indentor</i> Metode Pengujian Kekerasan (Kalpakjian et al., 2009)	11
Tabel 2.6	Penelitian terdahulu	11
Tabel 3.1	Perhitungan <i>Heat Input</i>	17
Tabel 3.2	Parameter Pengelasan	17
Tabel 3.3	Rancangan penelitian.....	19
Tabel 3.4	Rancangan Penelitian	19
Tabel 4.1	Hasil <i>yield strength, tensile strength</i> dan <i>Elongation</i>	21
Tabel 4.2	Nilai Kekerasan pada setiap sampel uji.....	29

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Kereta api merupakan salah satu moda transportasi darat yang memiliki karakteristik dan keunggulan khusus terutama dalam kemampuan untuk mengangkut penumpang maupun barang secara massal, hemat energi, hemat penggunaan ruang dan mempunyai faktor keamanan tinggi, pencemaran rendah serta lebih efisien untuk angkutan jarak jauh dan angkutan keluaran dan masukan serta mengutamakan cara pemanfaatan baik terhadap sumber-sumber dalam memproduksi suatu barang atau jasa (Suseno & Cahyanto, 2020). Divisi *Welding* merupakan bagian yang bertanggung jawab atas proses produksi kereta api yang beroperasi untuk mengangkut penumpang atau barang, ataupun komponen-komponen kereta api yang ada di PT. INKA (Persero).

Pengelasan termasuk salah satu proses yang di pakai dalam perakitan kereta api. Metode ini merupakan cara penyambungan logam yang sering digunakan karena kelebihan hasil sambungan nya lebih kuat, mudah untuk digunakan, murah dan efisien. Proses pengelasan juga proses menyambungkan dua bagian logam atau lebih dengan energi panas. Pada pengelasan energi panas menimbulkan terjadinya siklus *thermal*. Laju pendinginan pada logam las dan daerah sekitarnya serta distorsi dan tegangan sisa terjadi di akibatkan adanya siklus *thermal* (Jufri et al., 2017).

Metode las *Gas Metal Arc Welding* (GMAW) adalah salah satu alat pengelasan, namun pada penggunaan metode pengelasan GMAW ini secara studi kasus nyata masih memiliki banyak kekurangan salah satunya keterbatasan elektroda dan parameter pengelasan yang di pakai. Metode lainnya adalah *Flux Cored Arc Welding* (FCAW) metode ini memiliki kelebihan banyak nya elektroda dan parameter pengelasan yang bisa digunakan. Selain hal tersebut FCAW memiliki keunggulan teknis dari pengelasan lainnya seperti pada kontrol yang lebih baik serta sifat tarik las baja rendah (Pratama et al., 2019). Namun metode tersebut memiliki beberapa kekurangan salah satunya cacat porositas atau lubang lubang kecil dan memiliki deposit pada hasil pengelasan (Čekys, 2020). Hasil pada las an dapat dipengaruhi oleh parameter dari metode pengelasan, salah satunya adalah besaran arus dan tegangan yang di pakai. Maka dilakukan penelitian ini membahas tentang pengaruh variasi besaran arus dan tegangan yang digunakan pengelasan metode FCAW pada baja S355 J2 kereta batu bara terhadap struktur mikro dan sifat mekanik.

1.2 Perumusan Masalah

Adapun rumusan masalah dalam penelitian ini, sebagai berikut :

1. Pengaruh arus dan tegangan pengelasan metode FCAW pada Baja S355 J2 kereta api batu bara terhadap struktur mikro
2. Pengaruh arus dan tegangan pengelasan metode FCAW pada Baja S355 J2 kereta api batu bara terhadap sifat mekanik

1.3 Batasan Masalah

Batasan masalah yang digunakan pada penelitian ini adalah sebagai berikut :

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

1.4 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan dalam penelitian ini, sebagai berikut :

1. Menganalisis pengaruh arus dan tegangan pengelasan metode FCAW pada Baja S355 J2 kereta api batu bara terhadap struktur mikro.
2. Menganalisis pengaruh arus dan tegangan pengelasan metode FCAW pada Baja S355 J2 kereta api batu bara terhadap sifat mekanik.

1.5 Manfaat Penelitian

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

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Teknologi Pengelasan

Pada kondisi sekarang teknik pengelasan telah dipergunakan secara luas dalam penyambungan dua logam pada konstruksi bangunan baja dan konstruksi mesin. Luasnya penggunaan teknologi ini disebabkan karena bangunan dan mesin yang dibuat dengan mempergunakan teknik penyambungan ini menjadi lebih ringan dan proses pembuatannya juga lebih sederhana, sehingga biaya keseluruhannya menjadi lebih murah (Wirjosumarto & Okumura, 1979). Penelitian dilakukan kemudian mendapatkan hasil bahwa sifat-sifat bahan yang digunakan terutama kepekaan terhadap sambungan las dan retak las memegang peran utama dalam patah getas. Dengan pengembangan teknologi pengelasan dan pemotongan merupakan pelaksanaan pengerjaan yang penting dalam teknologi produksi bahan baku logam.

2.2 Jenis – Jenis Pengelasan

Hingga hari ini terdapat begitu banyak metode pengklasifikasian dalam bidang las. Hal ini disebabkan karena belum adanya kesepakatan terkait hal tersebut. Secara konvensional terdapat dua golongan metode pengklasifikasian, yaitu klasifikasi berdasarkan cara kerja dan klasifikasi berdasarkan energi yang digunakan. Klasifikasi pertama membagi las dalam kelompok cair, las tekan, las patri. Dalam klasifikasi kedua terdapat perbedaan kelompok seperti las listrik, las kimia, las mekanik. Jika di klasifikasikan yang lebih terperinci terdapat berbaunya bentuk kelompok-kelompok yang banyak.

Kedua klasifikasi tersebut di atas, kelihatannya klasifikasi berdasarkan cara kerja lebih banyak digunakan, karena itu pengklasifikasian yang diterangkan di dalam bab ini juga didasarkan pada cara kerja. Berdasarkan klasifikasi ini pengelasan dapat dibagi dalam tiga kelas utama yaitu: pengelasan cair, pengelasan tekan dan pematrian.

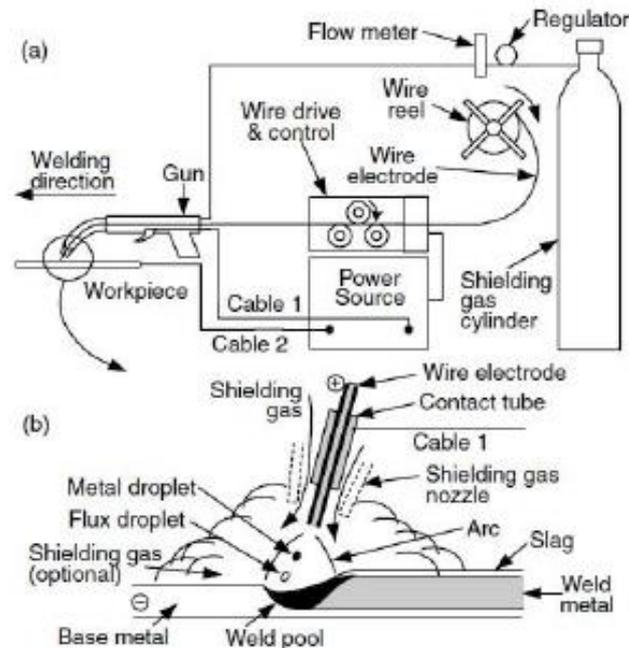
1. Pengelasan Cair, cara pengelasan cair dimana sambungan dipanaskan sampai mencair dengan sumber panas dari busur listrik atau semburan api gas yang terbakar.
2. Pengelasan Tekan, cara pengelasan tekan adalah dimana sambungan dipanaskan dan kemudian ditekan hingga menjadi satu.
3. Pematrian, Cara pengelasan ini di mana sambungan diikat dan disatukan dengan menggunakan paduan logam yang mempunyai titik cair rendah. Dalam cara ini logam induk tidak ikut mencair.

2.3 Flux Cored Arc Welding (FCAW)

Flux Cored Arc Welding (FCAW) metode pengelasan yang menggunakan panas dari busur listrik yang terus menerus atau *continue*. FCAW sendiri menggunakan elektroda tubular yang di dalamnya terdapat *flux* yang berfungsi sebagai gas pelindung. *Flux* yang ada di dalam elektroda memberikan perlindungan pada *molten weld metal pool* dari kontaminasi udara luar karena reaksi kimia dan pengotor. Pada Gambar 2.1 dibawah ini menjelaskan skema FCAW (ASM INTERNATIONAL®, 1993)

Dalam dunia pengelasan, proses *Flux Core Arc Welding* biasa digunakan diberbagai industri untuk menggabungkan dua logam dan paduan. FCAW memiliki beberapa keuntungan yaitu tingkat deposit yang tinggi, toleran dari karat dan kerak dari pada GMAW, lebih sederhana dan memiliki adaptasi yang lebih mudah daripada SAW, serta dapat memudahkan operator las.

Parameter proses FCAW harus dikenali dan dikategorikan dengan baik untuk memungkinkan semi otomatis atau otomatis dalam pengelasan busur (Mohamat et al., 2012).



Gambar 2.1 Skema dari *Flux Cored Arc Welding* (FCAW)

2.3.1 Kelebihan dan Kekurangan *Flux Core Arc Welding* (FCAW)

Dalam metode pengelasan dan berbagai jenis pengelasan, FCAW memiliki kelebihan sebagai berikut:

1. Fluks memberikan proteksi yang bagus dalam kawah las dengan membentuk gas pelindung dan lapisan kerak
2. Memiliki penetrasi dalam dan laju pengisian lebih tinggi. Dengan demikian diharapkan proses las menjadi lebih ekonomis pada pekerjaan pengelasan
3. Dapat digunakan untuk jenis pengelasan semua posisi tanpa adanya masalah *lack of fusion* seperti yang terdapat pada GMAW.
4. Unsur-unsur paduan bisa ditambahkan pada inti fluks untuk menciptakan jenis komposisi menjadi lebih banyak, termasuk beberapa logam paduan rendah dan *stainless steel*.

Kekurangan yang terdapat dalam metode FCAW sebagai berikut:

1. Setelah proses pengelasan FCAW terdapat lapisan *slag* yang harus dibersihkan diantara lapisan las.
2. *Filler* metal harus dibeli di pabrik elektroda yang dilengkapi dengan syarat *low-hydrogen*.
3. Proses pengelasan ini dapat dilakukan dengan kecepatan angin maksimal 5mph, karena bisa mengakibatkan resiko cacat *porosity* yang berlebihan. Dengan menaikkan aliran gas untuk mengatasi hembusan angin yang tinggi tidak dapat menyelesaikan masalah tersebut (Iqiyat Tillah et al., 2020).

2.3.2 Parameter Pengelasan

Untuk menunjang hasil sebuah pengelasan perlu memperhatikan beberapa pengelasan agar bisa mendapatkan hasil pengelasan yang baik dan membutuhkan personel pengelasan yang berpengalaman. Variabel yang mempengaruhi kualitas las dalam pengelasan busur diklasifikasikan ke dalam berikut:

1. Arus Pengelasan

Ampere pengelasan merupakan salah satu yang paling berpengaruh dalam proses las busur yang menonjol laju pembakaran elektroda, kedalam peleburan. Menentukan besar *ampere* las diperlukan beberapa faktor seperti geometri sambungan, bahan serta ukuran las, posisi pengelasan tergantung jenis dan diameter inti elektroda. Daerah lasan yang memiliki kapasitas panas yang tinggi maka diperlukan *ampere* las yang besar dan jika perlu diberikan pemanasan tambahan. Saat pengelasan pada logam paduan alangkah baiknya menggunakan *ampere* yang kecil untuk menghindari dari terbakarnya unsur-unsur paduan (Tewari et al., 2010).

2. Tegangan Pengelasan

Perbedaan potensial listrik antara ujung kawat las dan permukaan kolam las cair. Ini menentukan zona fusi dan tulangan las. Tingginya tegangan las menghasilkan lasan yang lebih lebar secara penetrasinya kurang dalam dibandingkan dengan tegangan las rendah. Kedalaman penetrasi maksimum pada tegangan busur optimum. Menurut (Wiryosumarto & Okumura, 1979) panjang dari busur kira kira sama dengan garis tengah elektroda. Tegangan memerlukan mengelas dengan elektroda bergaris tengah 3 sampai 6 mm, sekitar 20 sampai 30 *volt* untuk posisi datar (Tewari et al., 2010).

3. Polaritas

Pemilihan polaritas listrik tergantung pada bahan pembungkus elektroda, konduksi *thermal* dari bahan induk, kapasitas panas besar alangkah baiknya menggunakan polaritas lurus yang dimana elektroda dihubungkan dengan kutub negatif. Apabila kapasitas panas kecil pada pelat yang tipis maka menggunakan polaritas balik elektroda dihubungkan dengan kutub positif.

Sifat busur yang stabil menurut (Wiryosumarto & Okumura, 1979) biasanya terjadi ketika arus searah dibandingkan dengan arus bolak balik, terutama proses pengelasan arus rendah. Tetapi proses pengelasan dengan sambungan pendek lebih baik menggunakan arus dua arah atau bolak-balik karena saat menggunakan arus searah kemungkinan terjadi ledakan busur pada proses akhir pengelasan.

4. Heat Input

Heat input merupakan parameter penting dalam pengelasan. *Heat Input* merupakan masukan panas pada saat pengelasan dimana nantinya akan berpengaruh pada struktur mikro. Material menjadi lebih tangguh. Saat proses pengelasan berlangsung, diusahakan besar *heat input* tetap konstan agar hasil pengelasan memiliki kualitas yang sama disepanjang daerah *weld metal* dan *Heat Affected Zone* (HAZ). Tetapi pada kenyataannya nilai *heat input* saat proses pengelasan mengalami kenaikan atau penurunan nilai *heat input* tergantung pada tegangan busur las, kecepatan pengelasan dan besar arus las (Pratikno & Dhanistha, 2017).

2.3.3 Elektroda E71T-1C

Las FCAW adalah salah satu jenis las listrik yang memasok *filler* elektroda dengan mekanisme yang *continue* ke dalam busur listrik yang terbentuk diantar ujung *filler* elektroda dan metal induk. Elektroda ini terbuat dari metal tipis yang memiliki bentuk tabung berongga atau tubular diisi dengan fluks seperti kegunaannya (Utama et al., 2020).

Kawat elektroda E71T-1C merupakan elektroda berbentuk tabung yang bisa di aplikasikan dalam dunia industri otomotif. Dalam sumber daya konvensional kawat elektroda ini menggunakan arus mulai dari 120A dan 250A dengan gas pelindung 100% CO₂ (Soeiro Junior et al., 2017).

Adapun komposisi dan sifat mekanik yang terdapat dalam elektroda dapat dilihat pada Tabel 2.1 dan Tabel 2.2.

Tabel 2.1 Komposisi Elektroda E71T-1C

Elemen	Komposisi%
Karbon (C)	0.04
Mangan (Mn)	1.22
Silikon (Si)	0.67
Belerang (S)	0.07
Fosforus (P)	0.017

Tabel 2.2 Sifat mekanik elektroda E71T-1C

<i>Consumable</i>	<i>Tensile Test</i>			<i>CVN Impact Test</i> J (ft.lbs)	
	YS (MPa)	TS (MPa)	EL (%)	-18°C (0°F)	-29°C (-20°F)
SC-71LH	550 (80.000)	590 (86.000)	27.0	90 (66)	70 (52)
AWS A5.20 E71T-1C, -9C	≥ 390 (56.000)	490~670 (70.000~97.000)	≥ 22	≥27 J at -29°C (-20ft.lbs at -20°F)	

2.4 Pengelasan Baja Karbon

Penggunaan baja karbon dalam proses dan prosedur pengelasan perlu mempertimbangkan sifat *weldability* baja karbon. Sifat tersebut dipengaruhi oleh komposisi kandungan karbon dan paduan pada baja. Klasifikasi baja karbon pada prinsipnya didasarkan pada kandungan karbonnya. Kelompok tersebut terdiri dari baja karbon rendah (hingga 0,30% C), baja karbon sedang (0,30 hingga 0,45% Karbon), dan baja karbon tinggi (0,45 hingga 1,7% Karbon). Baja karbon rendah dapat dibagi lagi menjadi baja karbon sangat rendah (hingga 0,15% C) dan *mild steel* (0,15 hingga 0,30% C) (Wirjosumarto & Okumura, 1979).

Baja karbon rendah dengan kadar 0,13% C adalah baja yang baik untuk aplikasi pengelasan, namun bukan yang terbaik untuk pengelasan yang produksi tinggi. Kadar karbon yang rendah dan kandungan mangan yang rendah sekitar 0,30% cenderung menghasilkan porositas. Kondisi ini biasanya diperbaiki dengan memodifikasi prosedur pengelasan dengan cara memperlambat *travel speed*. Terdapat beberapa porositas internal yang tidak memiliki efek merugikan menurut dalam standar yang diterima porositas saat perakitan prosedur pengelasan kecepatan tinggi dapat digunakan sesuai standar.

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

2.5 Siklus *Thermal* Daerah Pengelasan

Daerah lasan terdiri dari 3 bagian yaitu logam lasan, daerah pengaruh panas yang dalam bahasa Inggrisnya adalah *Heat Affected Zone* dan disingkat menjadi daerah HAZ dan logam

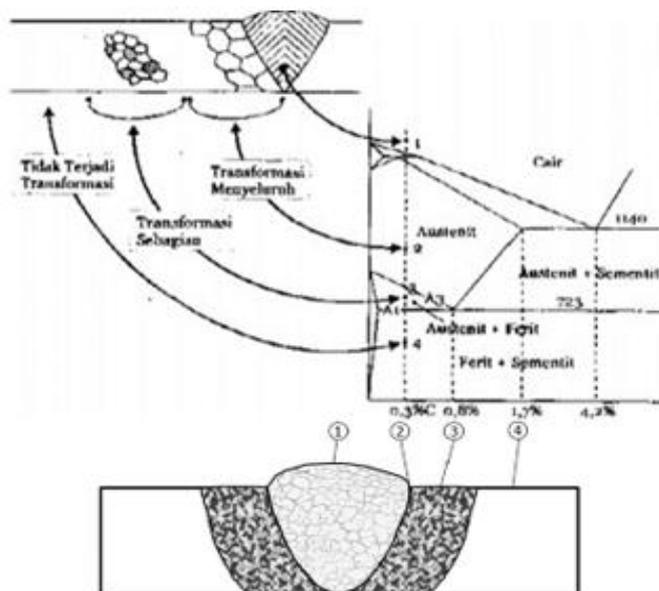
induk yang tak terpengaruhi. Daerah pengaruh panas atau daerah HAZ adalah logam dasar yang bersebelahan dengan logam las yang selama proses pengelasan mengalami siklus termal pemanasan dan pendinginan cepat. Di samping ketiga pembagian utama tersebut masih ada satu daerah khusus yang membatasi antara logam las dan daerah pengaruh panas, yang disebut batas las. Dalam siklus termal daerah lasan hal-hal yang perlu dibahas meliputi proses pembekuan, mempunyai reaksi terjadinya struktur mikro yang terbentuk (Wiryosumarto & Okumura, 1979).

2.5.1 Logam Las

Logam Las (*weld metal*), daerah endapan las (*weld metal deposit*) dari logam yang pada waktu pengelasan mencair dan kemudian membeku. Endapan las berasal dari logam pengisi atau *filler metal* (Hicks, 2001).

2.5.2 Heat Affected Zone (HAZ)

Setelah melalui proses pengelasan telah dilakukan, bisa terlihat secara kasat mata daerah yang berbeda dan ada tiga daerah yaitu *weld metal*, *Heat Affected Zone (HAZ)* serta *base metal zone*. Bagian *base metal* yang belum sempat meleleh dan merupakan daerah yang paling dekat dengan daerah *weld metal* dan daerah tersebut terdapat *mechanical properties* dan *micro structure* yang telah bertransformasi seperti pada Gambar 2.2 karena proses las yang mengakibatkan adanya masukan panas dan merupakan daerah yang paling rawan karena keberadaannya di seminimal mungkin (*Qualification Standard for Welding, Brazing, and Fusing Procedures; Welders; Brazers; and Welding, Brazing, and Fusing Operators SECTION IX Welding, Brazing, and Fusing Qualifications 2019 ASME Boiler and Pressure Vessel Code An International Code from IHS, 2019*).



Gambar 2.2 Heat Affected Zone (HAZ)

2.5.3 Logam Induk

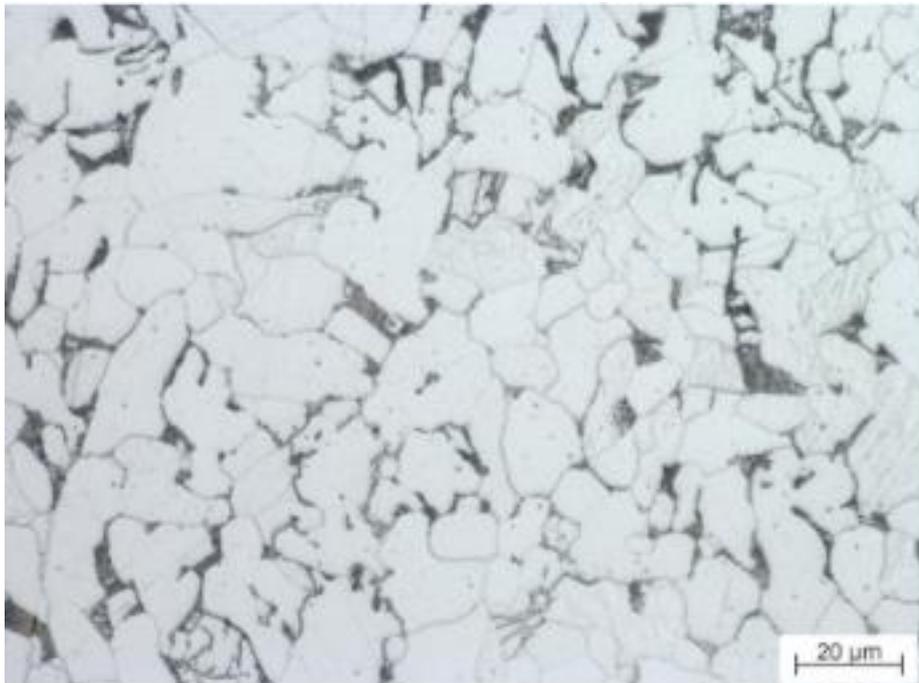
Logam induk (*base metal*) logam yang tidak terpengaruh oleh pemanasan karena proses pengelasan dan temperatur yang disebabkan selama proses pengelasan tidak menyebabkan terjadinya transformasi struktur mikro dan sifat-sifat dari logam induk. Hal ini disebabkan karena temperatur atau suhu yang terjadi di logam induk belum mencapai temperatur kritis (American Welding Society. Structural Welding Committee et al., n.d.).

2.6 Baja S355

Baja S355 adalah baja konstruksi yang paling umum digunakan dalam konstruksi, baja ini digunakan untuk produksi profil canai penampang dimana struktur batang baja industri dan utilitas dirancang dan dibangun. Baja S355 termasuk baja untuk konstruksi yang di las dan struktur yang dibebani secara dinamis. Seperti penampang menara, platform, elemen mesin. Simbol yang dimiliki baja ini adalah “S” yang artinya baja struktural. Tabel 2.3 menunjukkan sifat mekanik Baja S355.

2.6.1 Baja S355 J2

Baja S355 J2 adalah baja yang umum digunakan dalam pengerjaan konstruksi dan baja S355 J2 memiliki *weldability* yang baik. Dalam metode pengelasan konvensional baja ini bisa digunakan dengan semua metode pengelasan. Baja ini terbentuk oleh *ferrite-pearlite* (Borko et al., 2019). Struktur mikro Baja S355 J2 dan komposisi Baja S355 J2 ditunjukkan pada Gambar 2.3 dan Tabel 2.4.



Gambar 2.3 Struktur Mikro Baja S355 J2

Tabel 2.3 Komposisi Baja S355 J2

Elemen	Komposisi%
Karbon (C)	0.16
Silikon (Si)	0.20
Mangan (Mn)	1.60
Fosforus (P)	0.012
Belerang (S)	0.031
Nitrogen (N)	-
Tembaga (Cu)	0.08
Baja (Fe)	Balance

Tabel 2.4 Sifat Mekanik Baja S355J2

	Min YS Reh (MPa)	TS Rm (MPa)	Min EL	Notch Impact Test	
Steel Grade	Thickness (mm)	Thickness (mm)	Thickness (mm)	Temperature	Min. adsorbed energy
	≤16	>3≤100	>3≤40	(°C)	(J)
S355J2	355	470-630	22	-20	27

2.7 Cacat Pada Pengelasan

Dalam proses pengelasan terkadang tidak ada yang sempurna dan bisa terjadi kesalahan yang dapat mengakibatkan cacat pada benda kerja dan memiliki akibat yang membuat menurunnya kualitas dari hasil lasan yang tidak memenuhi standar (ASME IX, AWS, ASTM). Jenis cacat pada pengelasan ada beberapa tipe yaitu cacat las internal (di dalam hasil pengelasan) dan cacat visual (dapat dilihat dengan mata) (Utama et al., 2020). Ada beberapa jenis cacat dalam proses pengelasan yaitu:

1. Cacat Las Kurang Menyatu (*Lack Of Fusion*)

Lack Of Fusion penyebab terjadinya karena logam las dan benda kerja gagal menyatu dengan sempurna. Diakibatkan dengan temperatur benda kerja yang terlalu rendah atau benda kerja memiliki permukaan yang kurang bersih.

2. Cacat *Slag Inclusion*

Slag Inclusion terjadi karena oksida dan benda non logam yang terjebak pada *weld metal*. Cacat ini dapat juga dapat disebabkan oleh kontaminasi udara luar atau *slag* yang kurang bersih saat mengelas dengan beberapa lapisan (*multi pass*).

3. Cacat Porositas

Cacat ini terdapat pada *weld metal*, porositas merupakan gelembung gas yang terjebak di dalam lasan. Penyebab dari porositas ini terjadi akibat proses pemadatan yang terlalu cepat. Porositas berbentuk rongga kecil seperti bentuk bola yang berkelompok pada lokasi pengelasan. Bisa terjadi juga rongga ini tidak berkelompok yaitu tunggal yang disebut juga *blow hole*.

4. Cacat Retak

Putusnya benda kerja akibat tegangan menghasilkan retakan. Retakan ini terjadi pada bagian dekat benda kerja ataupun pada hasil lasan. Cacat retakan ini terjadi dalam bentuk yang sempit, tidak menutup kemungkinan juga terjadi retakan yang luas (Kalpakjian et al., 2009).

2.8 Pengujian Spesimen

Setiap material memiliki kemampuan sifat mekanik untuk menerima beban dinamis maupun statis tanpa mengalami kegagalan atau deformasi. Contoh sifat mekanik adalah kekuatan, kekerasan dan keuletan. Sebelum di aplikasikan memerlukan pengujian spesimen terlebih dahulu agar mendapatkan spesifikasi yang telah ditentukan (Rahmatika et al., 2021).

2.9 Pengujian Metalografi

Untuk mendapatkan hasil struktur mikro dapat dilakukan melalui pengujian metalografi dari benda kerja bernama mikroskop optik. Dalam pengujian ini ada beberapa tahapan preparasi yaitu:

1. *Cutting*

Tahap ini memiliki tujuan untuk memotong spesimen menjadi ukuran kecil pada daerah yang ingin diamati dan juga menurut standar, alat yang digunakan biasanya gerinda.

2. *Grinding*

Tahap ini bertujuan untuk meratakan permukaan spesimen untuk memudahkan pengamatan struktur mikro, alat dan bahan yang digunakan di tahap ini adalah kertas amplas dan air

3. *Polishing*

Tahap ini bertujuan untuk pemolesan dari material yang sudah di grinding, permukaan di amplas hingga *grade* tertentu agar bebas dari *scratch*, bahan atau alat yang digunakan adalah *metal polish*.

4. *Etching*

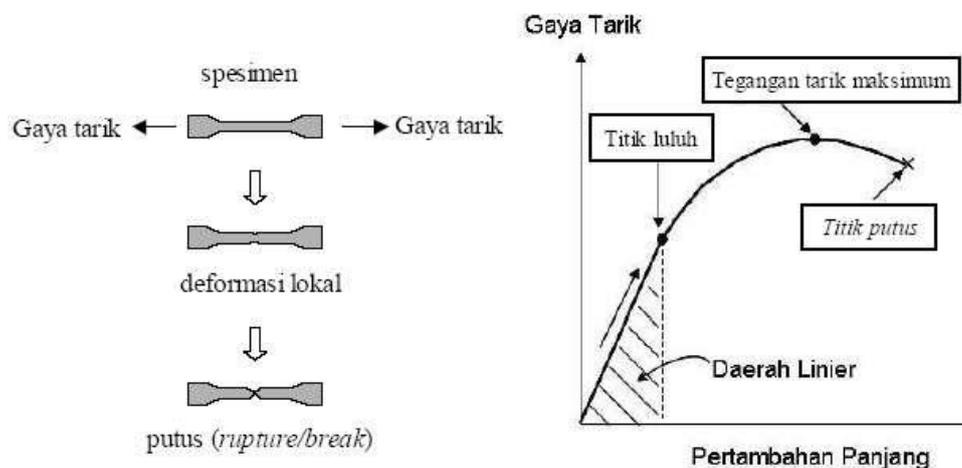
Proses ini memiliki tujuan untuk pengikisan spesimen secara kimiawi agar dapat terlihat menggunakan mikroskop optik, alat atau bahan yang digunakan pada tahap ini adalah larutan etsa, air, *alcohol* (Juliaptini, 2010).

2.10 Pengujian *Destructive Testing* (DT)

Pengujian merusak adalah salah satu metode untuk mengetahui kualitas suatu material sesuai dengan standar yang ditentukan. Dalam DT pengujian nya harus merusak material, ada beberapa pengujian seperti uji tarik, uji tekuk, uji takik dan uji kekerasan (Usama, 2010).

2.10.1 *Tensile Test*

Pengujian merusak ini memiliki tujuan untuk mendapatkan hasil kekuatan material dengan cara di tarik. Selain deformasi yang dialami material terdapat tinjauan kurva tegangan-regangan. Uji tarik adalah pengujian material dasar dengan material yang sudah dipotong dan dibentuk spesimen, pemotongan dan pembentukan spesimen harus sesuai dengan standar yang diinginkan. Hasil dari pengujian ini mendapatkan profil tarikan berupa *stress train diagram*, dapat dilihat untuk bentuk uji spesimen dan *diagram* pada Gambar 2.4 di bawah ini (Pratikno & Dhanistha, 2017).



Gambar 2.4 Kurva Tegangan Regangan

2.10.2 Hardness Test

Mechanical test dalam pengujian kekerasan paling banyak digunakan untuk mendapatkan hasil sifat-sifat logam serta material tertentu. Uji kekerasan ini biasanya dinilai ketahanannya terhadap deformasi tekan permanen. Pada umumnya deformasi tekan, ditekan di permukaan logam yang diuji dengan beban tertentu pada suatu objek. Kemudahan dari uji kekerasan ini merupakan metode paling umum yang dilakukan dalam inspeksi logam (Pratikno & Dhanistha, 2017).

Ada beberapa metode yang sering digunakan dalam pengujian kekerasan yaitu *Rockwell*, *vickers* dan *Brinell*. Adapun perbedaan pada 3 jenis pengujian ini bisa dilihat pada Tabel 2.5 di bawah:

Tabel 2.5 Perbedaan *Indentor* Metode Pengujian Kekerasan (Kalpakjian et al., 2009)

Metode	<i>Indentor</i>
<i>Brinell</i>	<i>Sphere</i> berukuran 10 mm terbuat dari baja atau <i>tungsten carbide</i>
<i>Vickers</i>	Intan berbentuk piramida dengan sudut 136°
<i>Rockwell</i>	Intan berbentuk <i>cone</i> dengan sudut 120°

2.11 Non-Destructive Test (NDT)

Non-Destructive Test (NDT) dilakukan sedemikian rupa sehingga tidak merubah integritas produk dan tekstur permukaan. Teknik pengujian NDT umumnya membutuhkan keterampilan pada operator yang besar dan menafsirkan hasil tes secara akurat, mungkin sulit karena pengamatan dapat subjektif. Tetapi, zaman semakin canggih karena bisa menggunakan komputer dan teknik peningkatan lainnya secara signifikan telah mengurangi kemungkinan terjadinya kesalahan manusia. Sistem saat ini memiliki berbagai kemampuan untuk akuisisi data dan untuk pemeriksaan kualitatif dan kuantitatif dan analisis (Kalpakjian et al., 2009).

2.12 Penelitian Terdahulu

Penelitian terdahulu ditunjukkan pada Tabel 2.6 di bawah

Tabel 2.6 Penelitian terdahulu

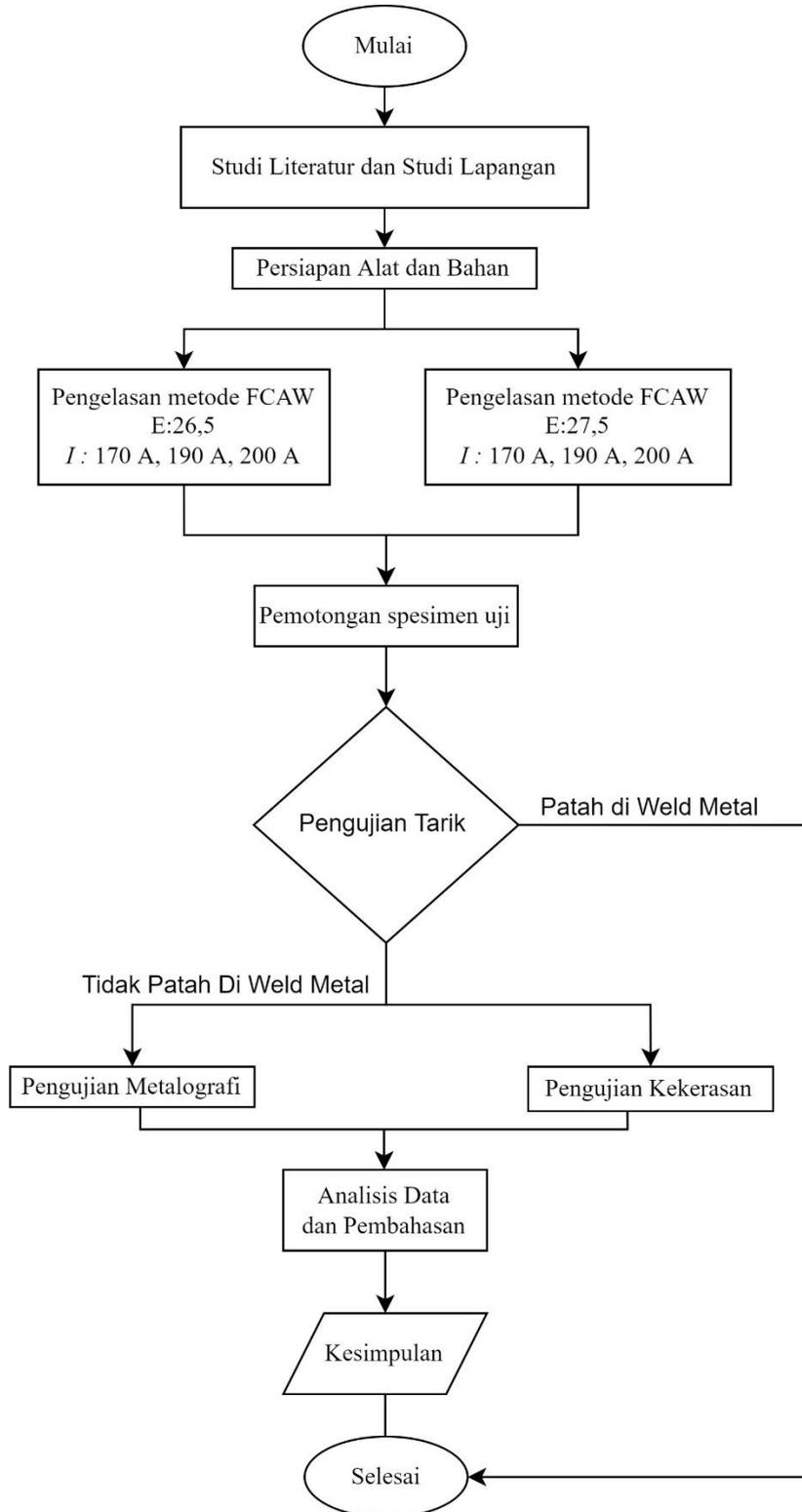
Peneliti	Judul	Hasil
(Pratama et al., 2019)	Analisa Perbandingan Kekuatan Tarik, Tekuk dan Mikrografi Pada Sambungan Las Baja SS400 Akibat Pengelasan FCAW Dengan Variasi Jenis Kampuh Dan Posisi Pengelasan	Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa baja SS 400 dengan jenis kampuh V dan posisi pengelasan 1G memiliki rata-rata kekuatan tarik sebesar 410 MPa, rata-rata regangan sebesar 41,67%, dan rata-rata modulus elastisitas sebesar 6,79 Gpa

(Utama et al., 2020)	Pengaruh Variasi Arus Las Pada Pengelasan FCAW Dari Material Baja Kapal ASTM SS 400	Hasil pengujian cacat las menggunakan Penetrant Test, maka dapat disimpulkan bahwa pengaruh variasi arus terhadap cacat las pada posisi 3G Vertical Up ketebalan <i>base metal</i> 10 mm dengan variasi arus 210A, 220A, 230A dan 240A diperoleh hasil cacat las Undercut yang terjadi pada Sampel (1A); (1B); dan (1C), cacat las Incomplete Fusion
(Pratikno & Dhanistha, 2017)	Analisis Perbandingan Proses Pengelasan SAW dan FCAW pada Material ASTM A 36 Terhadap Uji Takik	Hasil penelitian ini dapat diketahui nilai kekuatan dan kekerasan yang rendah menghasilkan nilai ketangguhan yang tinggi. Pada spesimen pengelasan FCAW memiliki nilai kekuatan rata-rata sebesar 516.40 MPa dan memiliki nilai kekerasan rata-rata pada daerah lasan sebesar 193.20 HVN dan pada daerah HAZ sebesar 155.73 HVN.

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Diagram Alir

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



Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian

3.2 Alat Penelitian

Dalam penelitian ini ada alat yang dipersiapkan, alat-alat tersebut adalah:

1. Mesin *Flux Cored Arc Welding* (FCAW)
2. Gerinda Tangan
3. Sikat baja
4. Kikir
5. Mesin *polishing*
6. Mesin *scrub/milling*
7. *Universal Testing Machine*
8. *Optical Microscope*
9. Mesin uji kekerasan *Vickers*

3.3 Bahan Penelitian

Dalam penelitian ini ada bahan yang dipersiapkan, bahan-bahan tersebut adalah:

1. Baja S355 J2
2. *Filler Metal E71T-1C*
3. *Sand paper*
4. Larutan etsa nital

3.4 Metode Penelitian

Dalam penelitian ini menggunakan metode:

1. Studi Lapangan
Pada studi lapangan ini melaksanakan penelitian atau mencari permasalahan yang muncul di proses produksi pada proses pengelasan transportasi muatan, dengan melakukan diskusi kepada *Senior Welding Engineer* untuk memperdalam keingintahuan serta melengkapi terkait perizinan dan administrasi secara formal.
2. Studi Literatur
Di studi literatur ini penulis memerlukan peninjauan melalui buku, jurnal yang serupa dengan pengaruh variasi arus pada pengelasan dengan material S355 J2.
3. Diskusi
Dengan adanya tahapan diskusi dengan pembimbing lapangan bisa untuk memperluas pengetahuan dan permasalahan dengan solusinya terkait penelitian yang dirancang. Diskusi penelitian ini berlangsung kepada Dosen pembimbing dan *Senior Welding Engineer, Junior Welding Engineer* yang menjadi pembimbing lapangan.
4. Eksperimen
Penelitian ini dilakukan dengan pengelasan sesuai dengan studi literatur dan modifikasi terkait variasi arus dan tegangan serta pengujian tarik, pengujian kekerasan dan pengujian struktur mikro.

3.5 Prosedur Pengelasan

Bagian yang dijadikan bahan penelitian ada sisi dinding atau *Side Wall* pada kereta pengangkut batu bara. Kemudian setelah menemukan bagian yang di jadikan penelitian ada tahapan awal untuk pembuatan untuk pembuatan spesimen pengelasan menggunakan metode FCAW sesuai dengan standar perusahaan dan pengelasan dilakukan oleh juru las yang sudah tersertifikasi.

3.5.1 Tahapan Persiapan Material

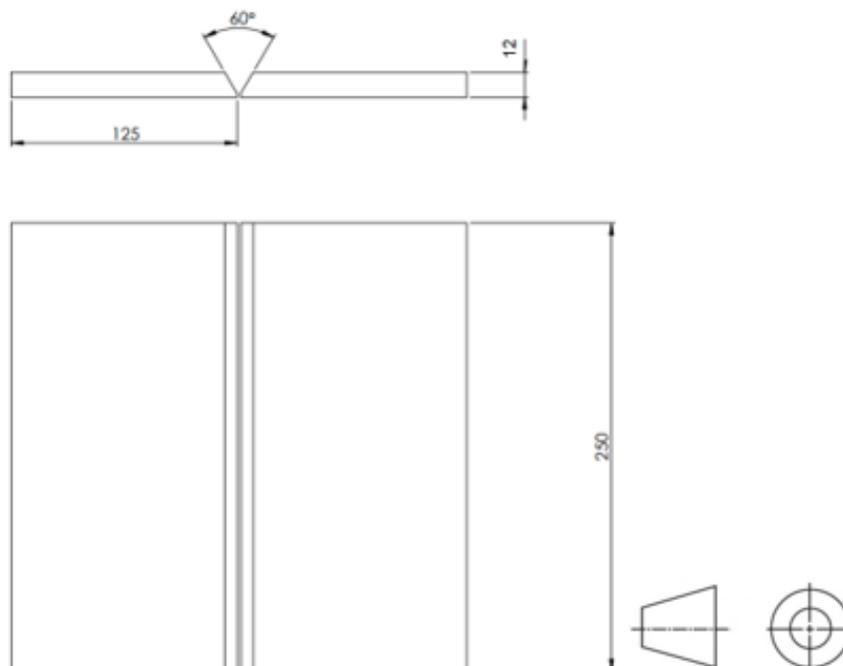
Tahap pertama dalam melakukan pengujian yaitu mempersiapkan material yang di las. Material baja yang digunakan menggunakan plat baja tipe S355 J2 seperti pada Gambar 3.2.



Gambar 3.2 Plat Baja S355 J2 dan Preparasi (Dokumentasi Pribadi, 2022)

Untuk dimensi plat baja yang di gunakan untuk las menggunakan standar ISO 15614. Pada tahapan ini ada beberapa aspek selain dimensi yaitu ketebalan plat dan desain sambungan untuk spesifikasinya yaitu:

1. Tipe Material S355 J2
2. Panjang 250 mm
3. Lebar 125 mm
4. Ketebalan 12 mm
5. Jumlah Plat yang di las 6 pasang
6. Desain sambungan *Butt Joint single V- Groove 60°*



Gambar 3.3 Test piece pengelasan.

Material las yang telah diberi bevel *single V-groove* dan *Butt Joint* yang mengacu pada ISO 15614 untuk material pengelasan. Pembuatan kampuh sudut harus sesuai lalu dipotong 60°. Dimensi persiapan material bisa dilihat pada Gambar 3.3.

3.5.2 Persiapan Pengelasan

Untuk melakukan pengelasan juga harus mempersiapkan alat maupun bahan untuk pengelasan dan berikut alat dan bahan:

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

Mesin las yang di pakai memiliki merk *OTC Daihen* dilihat pada Gambar 3.4 dengan menggunakan Gas Pelindung CO².



Gambar 3.4 Mesin FCAW *OTC Daihen* (Dokumentasi Pribadi, 2022)

2. *Filler Metal E71T – 1C*

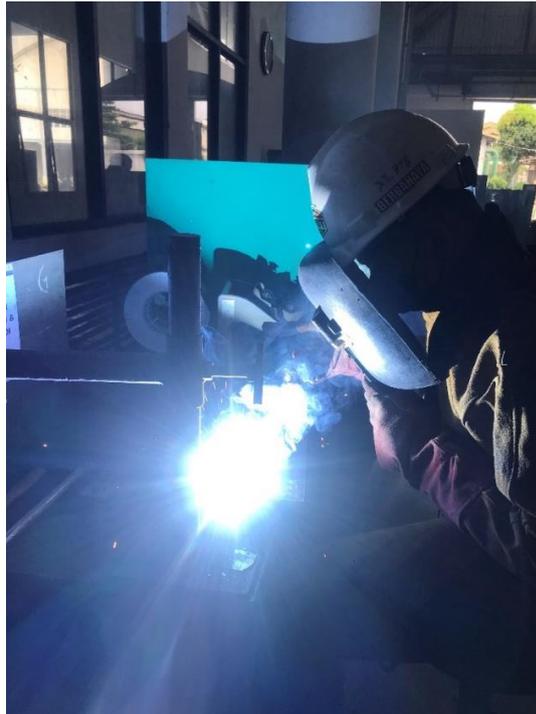
Filler FCAW dapat dilihat pada Gambar 3.5 yang digunakan berjenis E71T – 1C memiliki merk *HYUNDAI* dengan tipe SC-71LH dan berdiameter 1,2 mm.



Gambar 3.5 *Filler FCAW SC-71LH (E71T-1C)* (Dokumentasi Pribadi, 2022)

3.5.3 Tahap Pengelasan

Pada tahap pengelasan ini dilakukan di *Workshop* divisi *Weld* PT. INKA kemudian material yang sudah dipersiapkan di las oleh operator *weld* bersertifikat dapat dilihat pada Gambar 3.6 untuk proses pengelasannya. Penulis hanya memberikan data variasi arus dan tegangan yang dijadikan tinjauan penelitian, berikut data variasi arus dan tegangan, dengan perhitungan *heat input* dan parameter pengelasan seperti pada Tabel 3.1 dan Tabel 3.2.



Gambar 3.6 Proses Pengelasan Oleh Operator (Dokumentasi Pribadi, 2022)

Tabel 3.1 Perhitungan *Heat Input*

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

Tabel 3.2 Parameter Pengelasan

Jenis pengelasan	FCAW
Mesin Las	<i>OTC Daihen XD500</i>
Jenis Elektroda	SC71-LH (1,2 mm)
Logam Induk	S355 J2 (12 mm)
<i>Shielded Gas</i>	CO ₂
Posisi pengelasan	1G
Sudut kampuh	<i>Single V 60° Butt Joint</i>
<i>Travel Speed</i>	20 cm/min

3.6 Prosedur Pengujian

Ada beberapa pengujian yang dilakukan dalam upaya untuk mendapatkan hasil dan mengetahui pengaruh dalam struktur mikro dan sifat mekanik setelah proses pengelasan.

3.6.1 Pengujian Metalografi

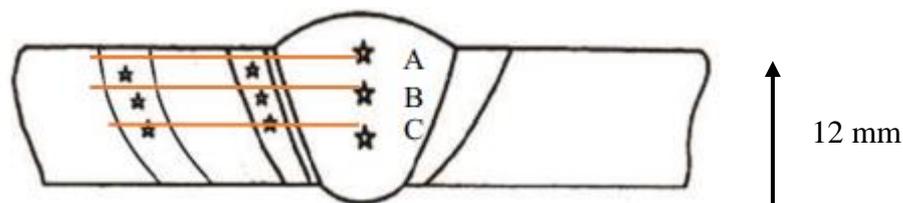
Tujuan pengujian ini untuk mengetahui standar yang terbentuk baik secara mikro atau makro penyebab dari hasil pengelasan. Dalam pengujian ini memiliki tahapan sebagai berikut:

1. Mempersiapkan spesimen

2. Memotong spesimen uji
3. Mengamplas spesimen
4. Permukaan spesimen uji di usap dengan larutan etsa nital.

3.6.2 Pengujian Kekerasan

Pengujian kekerasan merupakan pengujian yang paling banyak digunakan dalam uji sifat mekanik karena memiliki tujuan untuk mendapatkan sifat logam serta material tertentu lainnya dan dinilai ketahanannya terhadap tekanan secara permanen. Pada pembuatan spesimen uji kekerasan dipotong lebih kecil dan di haluskan menggunakan amplas sampai *grade 600* agar permukaan rata dan bisa terbaca oleh alat. Pengujian ini dilakukan untuk mendapatkan seberapa keras daerah *weld metal*, *fusion line* dan HAZ. Metode yang digunakan yaitu metode *Vickers*. Pada pengujian *vickers* dilakukan pengamatan setiap daerah sebanyak kurang lebih 3 kali. Seperti pada Gambar 3.7.

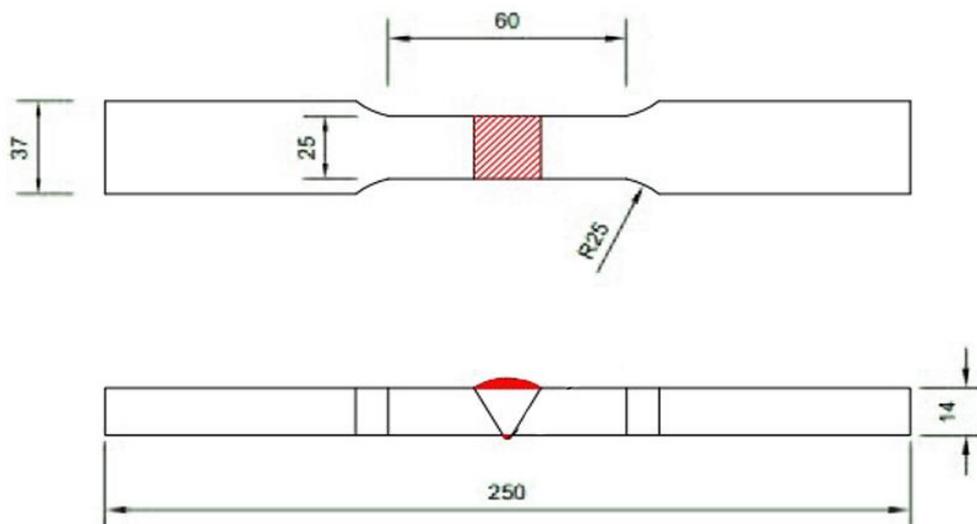


Gambar 3.7 Contoh titik daerah uji kekerasan

3.6.3 Pengujian Tarik

Pengujian tarik salah satu cara untuk mendapatkan hasil kemampuan tarik pada benda kerja yang telah di las. Ada beberapa persiapan terkait melakukan uji tarik sebagai berikut:

1. Menyiapkan material yang sudah di las dengan pengukuran dimensi yang lebih presisi sesuai dengan standar ISO 4136 yang dapat dilihat pada Gambar 3.8.



Gambar 3.8 Spesimen Uji Tarik

2. Memasukan spesimen kedalam mesin uji tarik yang dapat dilihat pada Gambar 3.9 dan untuk mendapatkan hasil dari pengujian tarik.



Gambar 3.9 Alat Pengujian Tarik (Dokumentasi Pribadi, 2022)

3.7 Rancangan Penelitian

Penelitian ini secara umum ditempuh kurang lebih selama empat bulan pengerjaan dimulai dengan studi literatur hingga penyusunan laporan. Rancangan pengujian ditunjukkan pada Tabel 3.3 dengan ditentukan jumlah spesimen masing-masing enam sampel dengan dasar variasi yang diamati. Terdapat satu material yang menggunakan pengujian *Destructive Test* tanpa variasi berdasarkan material awal yang dipakai untuk penelitian.

Tabel 3.3 Rancangan penelitian

	Sampel	Arus (A)	Tegangan (V)	Metalografi	Tarik	Kekerasan
	-	-	-	√	√	√
Baja S355 J2	170 A	170	26.5	√	√	√
	190 A	190	26.5	√	√	√
	200 A	200	26.5	√	√	√
	170 B	170	27.5	√	√	√
	170 B	190	27.5	√	√	√
	170 B	200	27.5	√	√	√

Tabel 3.4 Rancangan Penelitian

Kegiatan	Bulan																							
	Januari				Februari				Maret				April				Mei				Juni			
	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
Studi Literatur																								
Bimbingan Tugas Akhir																								
Observasi Lapangan																								
Persiapan Alat dan Bahan																								
Proses Pengelasan																								
Pengujian Tarik																								
Pengujian Kekerasan																								
Pengujian Metalografi																								
Penyusunan Laporan Akhir																								

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

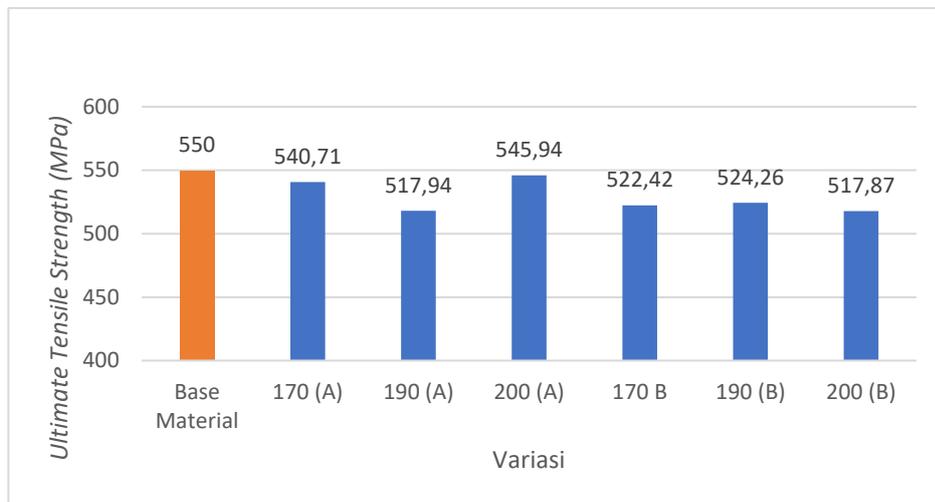
BAB IV ANALISIS DATA DAN PEMBAHASAN

4.1 Analisis Hasil Pengujian Tarik

Tabel 4.1 Hasil *yield strength*, *tensile strength* dan *Elongation*.

Sampel	<i>Yield Strength</i> (MPa)	<i>Tensile Strength</i> (MPa)	<i>Elongation</i> (%)
170 A	447.47	540.71	48.95
190 A	434.34	517.94	36.08
200 A	440.35	545.94	38.20
170 B	445.06	522.42	34.10
190 B	428.89	524.26	41.79
200 B	454.10	517.87	37.75

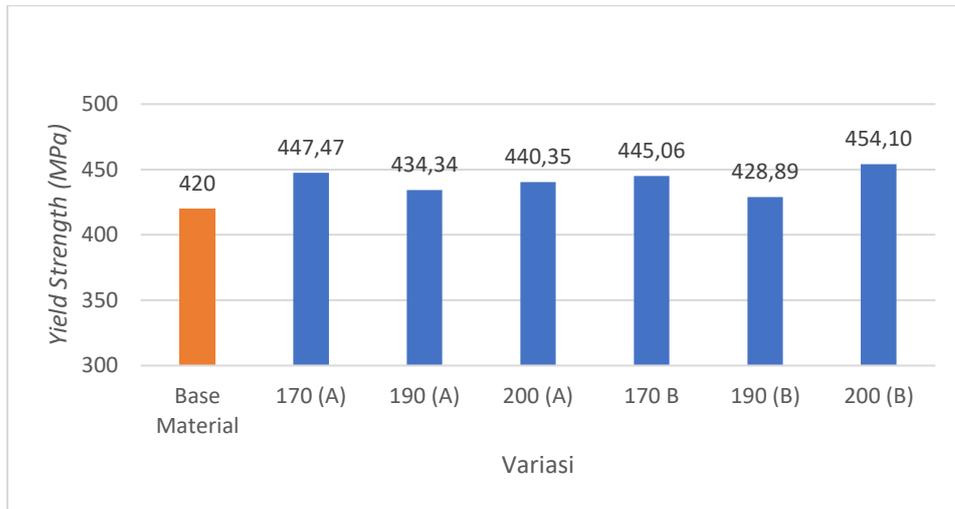
Dalam penelitian ini analisa hasil uji tarik dilakukan terhadap baja hasil pengelasan, pengujian tarik dilakukan untuk mengetahui sifat mekanik baja S355 J2 setelah mengalami proses pengelasan FCAW. Penelitian dilakukan dengan memberikan gaya tarik yang berlawanan pada benda dengan arah menjauh dari titik tengah atau dengan memberikan gaya pada salah satu ujung benda. Adapun data yang didapat berupa kekuatan tarik, regangan dan kekuatan luluh dari baja S355 J2. Analisa dilakukan dengan menganalisa variasi arus dan variasi tegangan. Adapun hasil pengamatan tertera pada Tabel 4.1.



Gambar 4.1 Grafik *Ultimate tensile strength* pada baja S355 J2

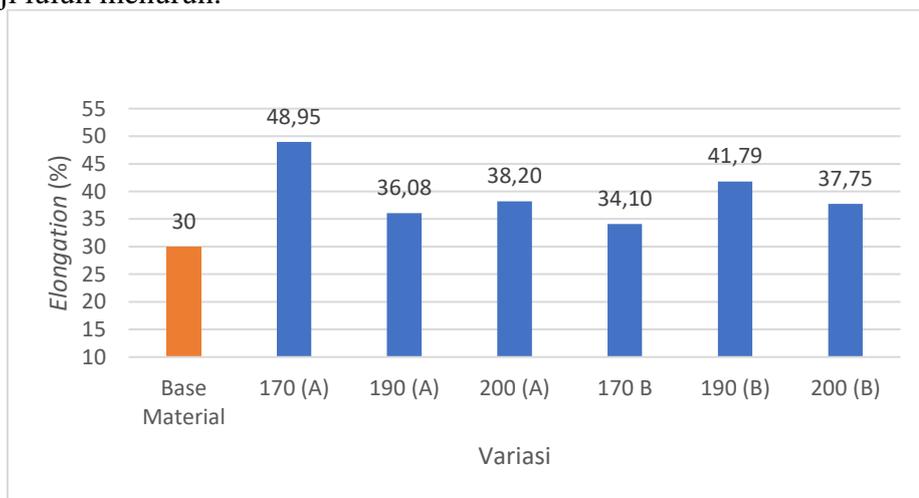
Gambar 4.1 menunjukkan grafik *ultimate tensile strength* dengan variasi arus dan tegangan yang sesuai dengan rencana penelitian. Data grafik tersebut menunjukkan penurunan nilai *Ultimate tensile strength* dan menunjukkan bahwa untuk seluruh variasi arus dan tegangan mengalami penurunan nilai *Ultimate tensile strength* dari *base metal* atau nilai ideal *Ultimate tensile strength* jika dibandingkan dengan kenaikan tegangan dari A=26.5V ke B=27.5V. Untuk variasi arus 170A mengalami penurunan nilai 1,69% dari *base metal*, kemudian 190A mengalami penurunan 5,83% dari *base metal*, 200A mengalami penurunan nilai 0,74% dari *base metal*. Kemudian untuk variasi arus 170B mengalami penurunan nilai 5,01%, untuk arus 190B mengalami penurunan nilai 4,68%, kemudian untuk arus 200B mengalami penurunan nilai 5,84% dari *base metal*. Data yang didapatkan ini sesuai dengan penelitian yang dilakukan

oleh (Immanuel, 2019) sehingga data kekuatan tarik diatas sejalan dengan dengan data yang didapatkan.



Gambar 4.2 Grafik *Yield Strength* pada baja S355 J2

Analisa kedua dilakukan untuk kekuatan uji luluh yang mendapatkan nilai *yield strength*. Analisa diatas ditunjukkan oleh Gambar 4.2. Kekuatan luluh terus mengalami kenaikan nilai dari setiap variasi arus dan tegangan dari *base material*. Pada variasi arus 170A mengalami peningkatan nilai *Yield Strength* 6,54%, 190A mengalami peningkatan nilai 3,41%, 200A mengalami peningkatan nilai 4,85%. Kemudian variasi arus 170B mengalami peningkatan nilai 5,97%, 190B mengalami peningkatan nilai 2,12%, 200B mengalami peningkatan nilai *yield strength* 8,12%. Tetapi hal ini dilakukan untuk membandingkan nilai *yield strength* akibat tegangan. Berdasarkan analisa diatas didapatkan bahwa naiknya tegangan, maka *yield strength* menurun. Berdasarkan hal tersebut dapat disimpulkan bahwa dengan naiknya tegangan, kemampuan uji tarik dan uji luluhnya terus turun. Hal tersebut sejalan dengan penelitian yang dilakukan oleh (ZHANG, 2019) dan (Mohamat et al., 2012), bahwa naiknya tegangan mengakibatkan kedalaman penetrasi naik, dan naiknya penetrasi menyebabkan kekuatan uji tarik dan uji luluh menurun.



Gambar 4.3 Grafik *elongation* pada baja S355 J2

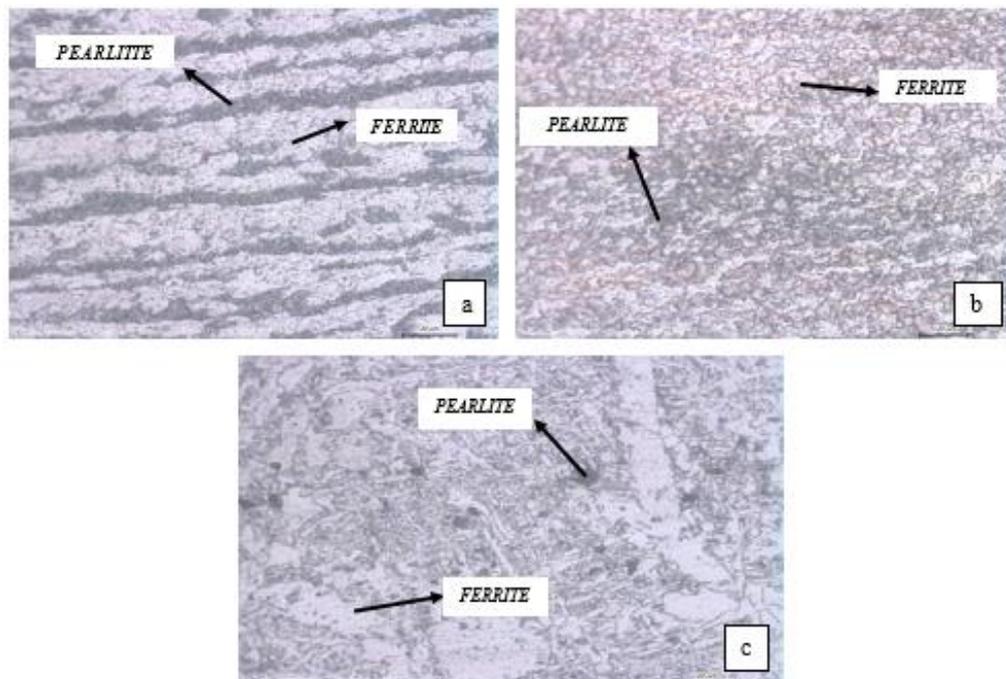
Data selanjutnya memberikan analisa terhadap elongasi pada Gambar 4.3. nilai elongasi tertinggi diberikan oleh sampel 170A dengan variasi arus 170A dan tegangan 26.5V. Sedangkan

untuk variasi tegangan didapatkan, bahwa elongasi menurun pada setiap kenaikan tegangan, kecuali untuk sampel 190B dengan variasi arus 190A dan tegangan 27.5V. Nilai elongasi tersebut naik sebagai dampak dari naiknya tegangan. Penelitian ini sejalan dengan penelitian yang dilakukan oleh (Mohamat et al., 2012).

Hasil pengujian tarik memberikan kesimpulan bahwa, dengan naiknya tegangan dan arus, maka kekuatan uji tarik dan uji luluhnya mengalami penurunan dari nilai *base material*. Dengan demikian, mengalami penurunan pada elastisitas dan plastisitas baja yang digunakan. Sehingga, sifat mekanik berupa uji tarik dan uji luluh mengalami penurunan nilai *ultimate strength* dan *yield strength* seiring dengan naiknya tegangan dan arus sebagaimana dijelaskan data diatas. Penurunan nilai *ultimate tensile strength* dan *yield strength* tersebut mengakibatkan elastisitas dan plastisitas nya turun. Hasil dari analisa ini sejalan dengan penelitian yang dilakukan oleh (Mohamat et al., 2012)

4.2 Hasil Pengujian Metalografi

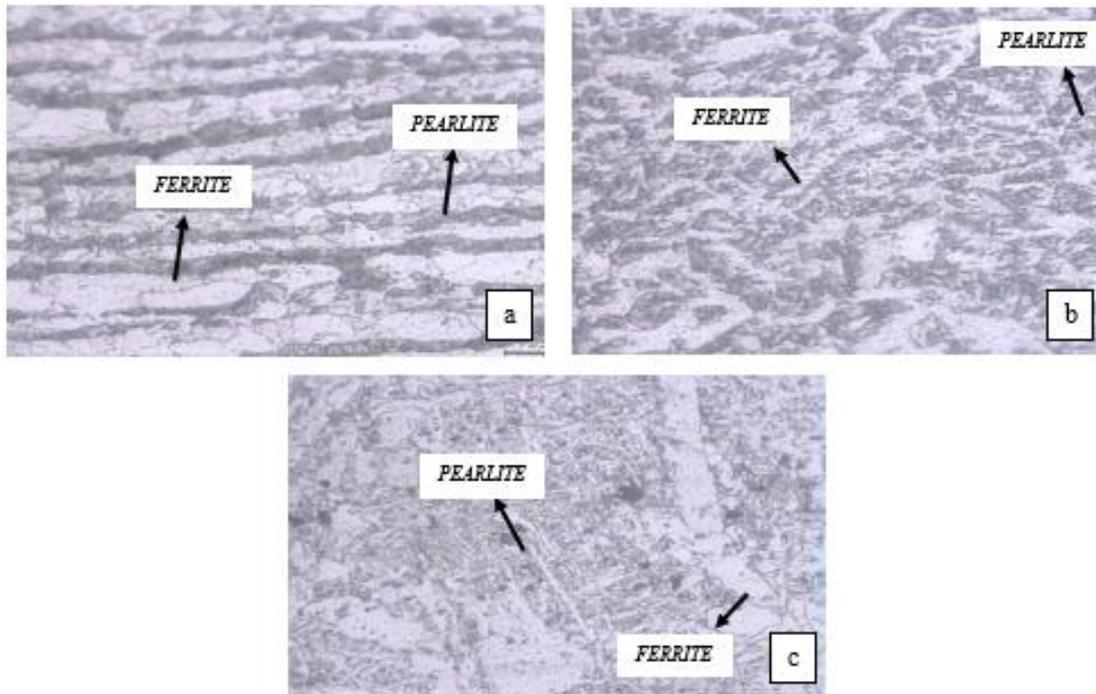
Pengujian metalografi bertujuan untuk mengetahui fenomena yang terjadi pada struktur mikro material, metalografi dilakukan pada area *base metal*, *Heat Affected Zone (HAZ)* dan *weld metal* tiap spesimen. Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui struktur *pearlite* yang berhubungan dengan keuletan serta *ferrite* yang berhubungan dengan kekerasan suatu benda. Struktur *pearlite* diberikan oleh gambar gelap, sedangkan yang terang adalah *ferrite*. Pengujian ini dilakukan pada area HAZ, *weld metal* dan *base metal* pada masing masing spesimen. Dengan demikian, struktur mikro dan kemampuan dari baja S355 J2 pada variasi arus dan tegangan dapat diketahui.



Gambar 4.4 Hasil pengujian metalografi 170A-26.5V pada (a) *base metal*, (b) HAZ dan (c) WM

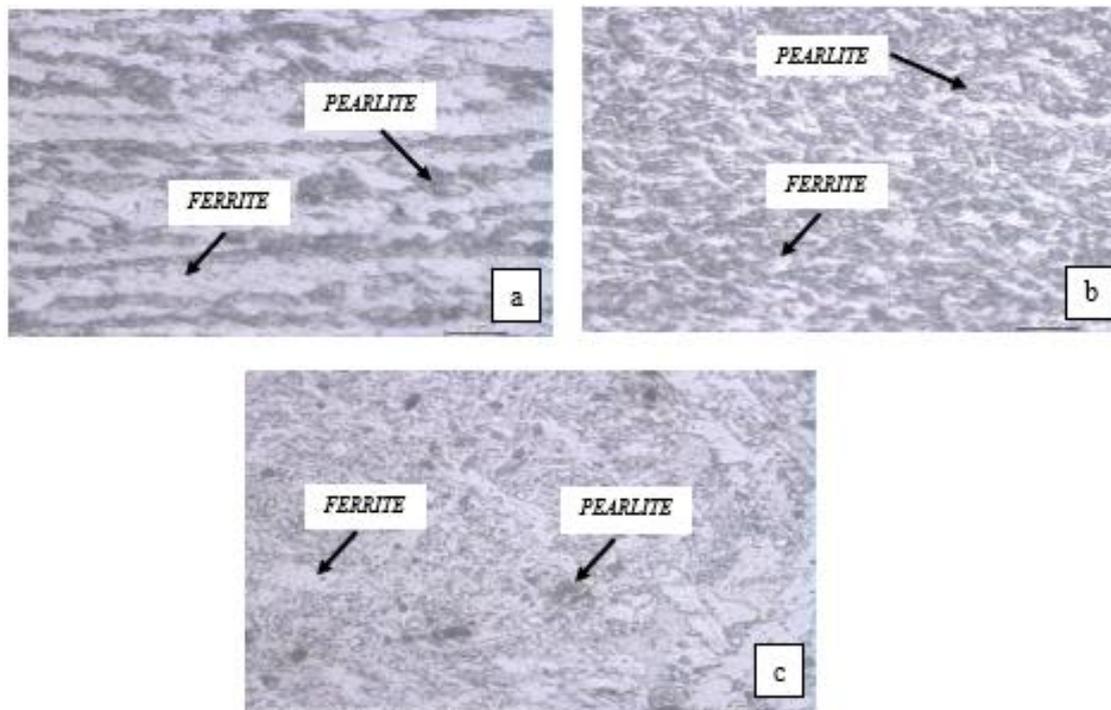
Gambar 4.4 menunjukkan zona terang dan zona gelap pada (a) *base metal*, (b) HAZ dan (c) *weld metal* untuk spesimen 170A, 26.57 V. Pada *base metal* zona terang adalah 55% dan zona gelap 45%, kemudian pada HAZ adalah 51% dan 48%, dan pada *weld metal* adalah 42% dan 58%. Dimana pada spesimen ini menunjukkan bahwa jumlah zona gelap terbesar terletak

pada *base metal* dan terendah pada *weld metal*. Adanya transformasi tersebut terjadi akibat pemanasan sehingga daerah yang dipanaskan atau HAZ menjadi lebih luas, panas tersebut diserap oleh *base metal*. Hal tersebut terjadi karena terdapat pendinginan secara cepat. Analisa ini sejalan dengan penelitian sebelumnya (Ibrahim Ahmad Ibadurrohman, Nurkholis Hamid, 2021).



Gambar 4.5 Hasil pengujian metalografi 190A-26.5V pada (a) *base metal*, (b) HAZ dan (c) WM

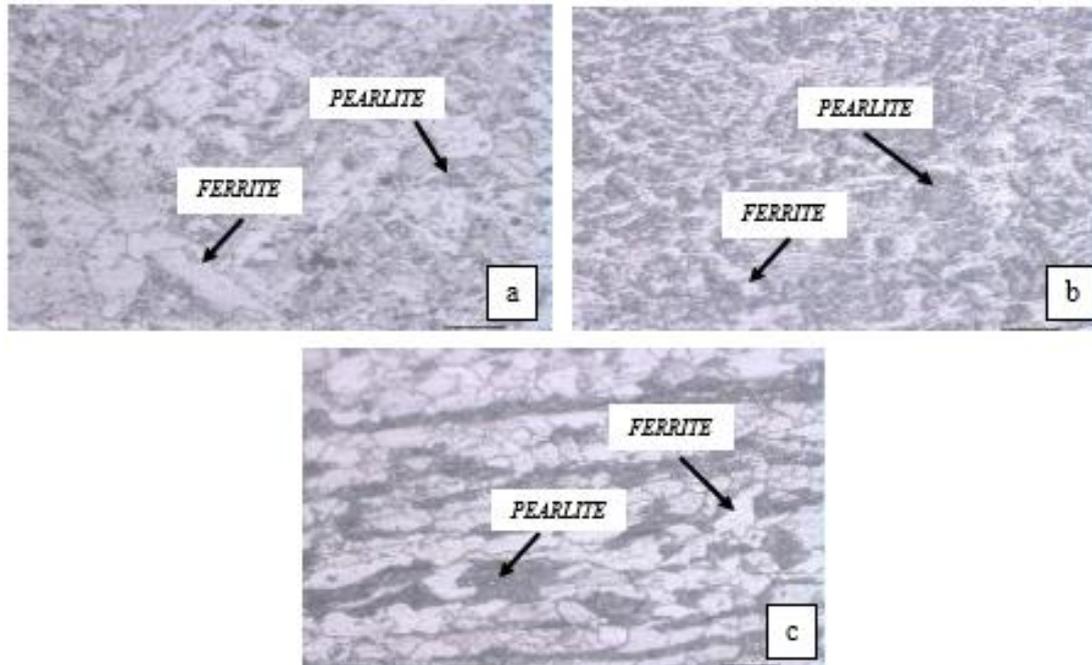
Gambar 4.5 menunjukkan zona terang dan zona gelap pada (a) *base metal*, (b) HAZ dan (c) *weld metal* untuk spesimen 190A, 26.57 V. Pada *base metal* zona terang adalah 60% dan zona gelap 40%, kemudian pada HAZ adalah 44% dan 56%, dan pada *weld metal* adalah 60% dan 40%. Dimana pada spesimen ini menunjukkan bahwa jumlah zona gelap tersebar terletak pada *base metal* dan terendah pada *weld metal*. Adanya transformasi tersebut terjadi akibat pemanasan sehingga daerah yang dipanaskan atau HAZ menjadi lebih luas, panas tersebut diserap oleh *base metal*. Hal tersebut mengakibatkan adanya pendinginan secara cepat, sehingga pada HAZ menurun sebagaimana pada Gambar 4.4 a-c. Jika dibandingkan pada 170 A, maka jumlah zona terang pada HAZ mengalami penurunan yang signifikan, hal tersebut disebabkan oleh semakin besar arusnya, logam semakin kasar. Sehingga zona terang meningkat, penelitian ini sejalan dengan penelitian yang dilakukan oleh (Ibrahim Ahmad Ibadurrohman, Nurkholis Hamid, 2021).



Gambar 4.6 Hasil pengujian metalografi 200A-26.5V pada (a) *base metal*, (b) HAZ dan (c) WM

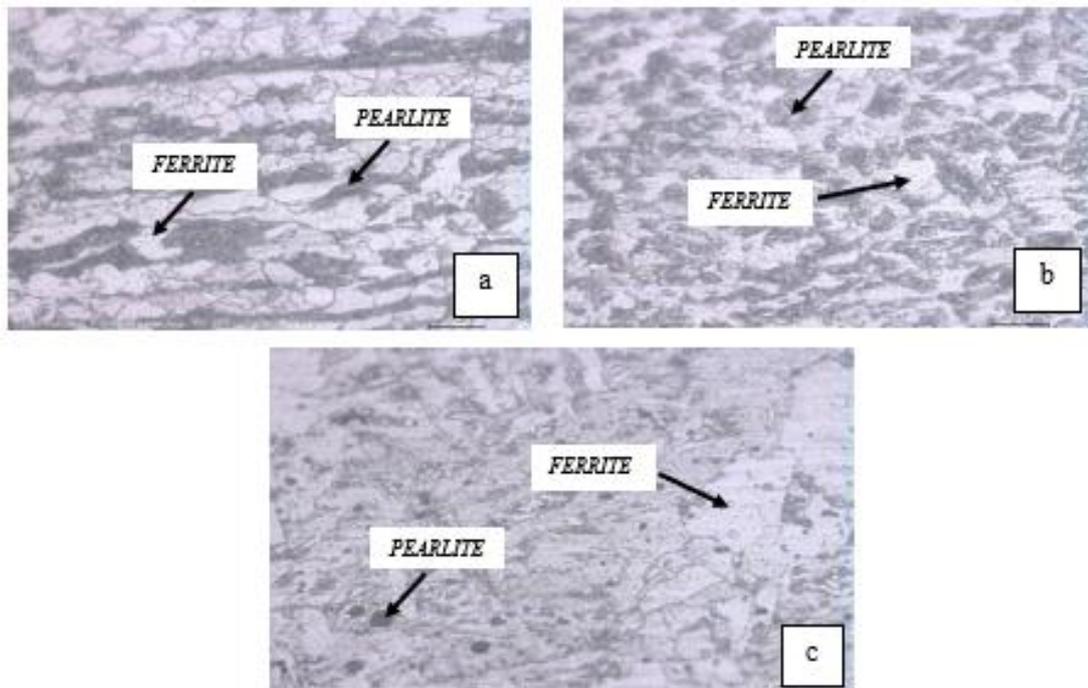
Gambar 4.6 menunjukkan zona terang dan zona gelap pada (a) *base metal*, (b) HAZ dan (c) *weld metal* untuk spesimen 200A, 26.57 V. Pada *base metal* zona terang 58% dan zona gelap 42%, kemudian pada HAZ adalah 43% dan 57%, dan pada *weld metal* adalah 58% dan 42%. Dimana pada spesimen ini menunjukkan bahwa jumlah zona gelap tersebar terletak pada *base metal* dan terendah pada HAZ. Adanya transformasi tersebut terjadi akibat pemanasan sehingga daerah yang dipanaskan atau HAZ menjadi lebih luas, panas tersebut diserap oleh *base metal*. Hal tersebut mengakibatkan adanya pendinginan secara cepat, sehingga pada HAZ menurun sebagaimana pada gambar 4.4 a-c. Jika dibandingkan pada dengan variasi sebelumnya, maka zona terang pada HAZ mengalami penurunan yang signifikan, hal tersebut disebabkan oleh semakin besar arus nya, struktur mikro semakin kasar.

Analisis selanjutnya dilakukan untuk mendapatkan struktur mikro pada variasi tegangan. Paparan diatas telah memberikan pengaruh variasi arus untuk tegangan 26.5 V. Selanjutnya, dilakukan analisa guna membandingkan mikrostruktur pada tegangan 27 V. Pengujian ini dilakukan pada area HAZ, *weld metal* dan *base metal* pada masing masing spesimen. Dengan demikian, dapat diketahui pengaruh variasi tegangan terhadap struktur mikro.



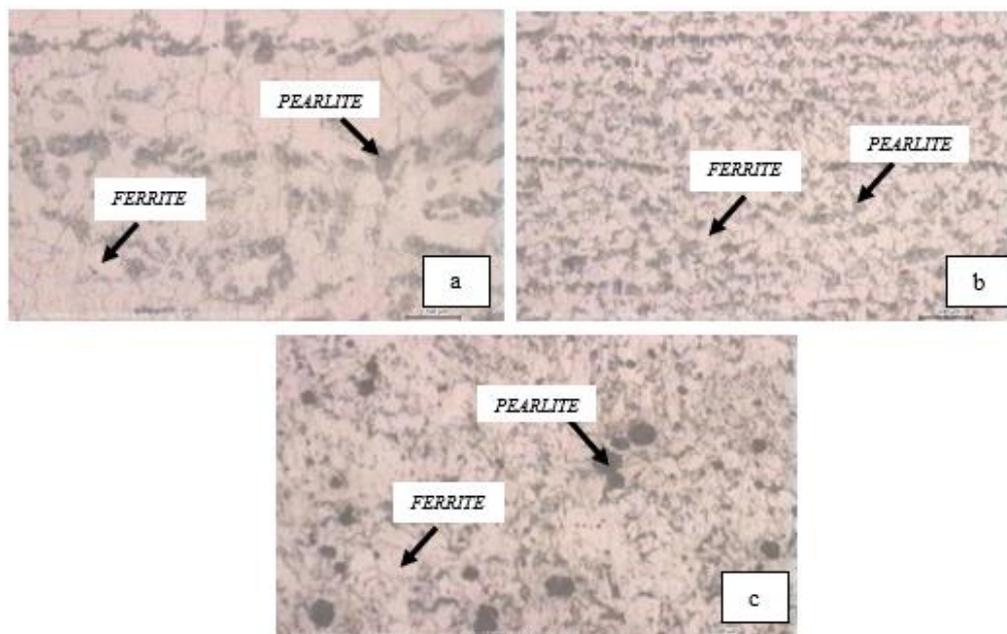
Gambar 4.7 Hasil pengujian metalografi 170A-27,5V pada (a) *base metal*, (b) HAZ dan (c) WM

Berdasarkan Gambar 4.7 dapat dilihat zona terang dan zona gelap pada (a) *base metal*, (b) HAZ dan (c) *weld metal* untuk spesimen 170A, 27 V. Pada *base metal* zona terang 53% dan zona gelap 42%, kemudian pada HAZ adalah 45% dan 55%, dan pada *weld metal* adalah 61% dan 39%. Dimana pada spesimen ini menunjukkan bahwa jumlah *pearlite* tersebar terletak pada *base metal* dan terendah pada HAZ. Namun, apabila dibandingkan, maka jumlah zona gelap nya menurun jika dibandingkan pada 26.5 V. Hal tersebut terjadi akibat adanya nilai *heat input* yang naik. Dimana kenaikan *heat input* sebanding dengan kenaikan tegangan.



Gambar 4.8 Hasil pengujian metalografi 190A-27,5V pada (a) *base metal*, (b) HAZ dan (c) WM

Berdasarkan Gambar 4.8 dapat dilihat zona terang dan zona gelap pada (a) *base metal*, (b) HAZ dan (c) *weld metal* untuk spesimen 190A, 27 V. Pada *base metal* zona terang 54% dan zona gelap 46%, kemudian pada HAZ adalah 50% dan 50%, dan pada *weld metal* adalah 64% dan 36%. Dimana pada spesimen ini menunjukkan bahwa jumlah zona gelap tersebar terletak pada *base metal* dan terendah pada HAZ. Namun, apabila dibandingkan, maka jumlah zona gelap nya menurun jika dibandingkan pada 26.5 V untuk tegangan yang sama.



Gambar 4.9 Hasil pengujian metalografi 200A-27,5V pada (a) *base metal*, (b) HAZ dan (c) WM

Berdasarkan Gambar 4.9 dapat dilihat zona terang dan zona gelap pada (a) *base metal*, (b) HAZ dan (c) *weld metal* untuk spesimen 200A, 27 V. Pada *base metal* zona terang 69% dan zona gelap 41%, kemudian pada HAZ adalah 60% dan 40%, dan pada *weld metal* adalah 62% dan 38%. Nilai pada zona terang pada HAZ ini lebih besar untuk arus yang sama namun tegangan berbeda. Sehingga jumlah zona terang nya naik seiring dengan naiknya jumlah tegangan. Hal ini bersesuaian dengan analisis diatas. Berdasarkan analisa ini dapat disimpulkan, dengan naiknya tegangan dan arus maka jumlah kandungan zona gelap semakin banyak, sehingga benda semakin keras.

Berdasarkan analisa diatas, didapatkan bahwa semakin tinggi arus dan tegangan, maka struktur zona gelapnya semakin banyak pada HAZ. Sedangkan, zona terang nya semakin mengecil seiring pada *weld metal* maupun *base metal*. Struktur zona gelap semakin naik dimana zona gelap tersebut mempengaruhi peningkatan kekuatan suatu benda. Hal ini sejalan dengan penelitian sebelumnya yang dilakukan oleh (Ibrahim Ahmad Ibadurrohman, Nurkholis Hamid, 2021)

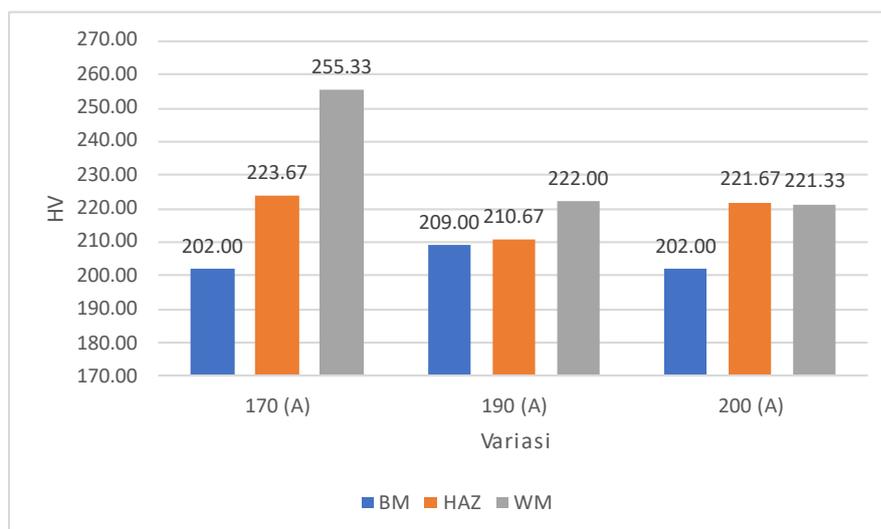
Pada Gambar 4.4 – 4.9 di atas adalah merupakan hasil dari foto struktur mikro baja karbon rendah. Struktur mikro pada gambar di atas adalah *ferrite* dan *pearlite*. Menurut Vlack (1985:383-384) butir-butir *ferrite* berwarna terang sedangkan *pearlite* berwarna gelap atau kelabu. Gambar di atas merupakan hasil dari foto struktur mikro baja S355 J2 menunjukkan daerah *ferrite* yang terpisah. Hal ini sesuai dengan teori didalam buku Vlack (1985:386) menunjukkan bahwa baja dengan struktur mikro yang mengandung daerah-daerah *ferrite* yang terpisah disebut dengan baja karbon rendah. Pada proses penelitian pengelasan ini terjadi fase panas sekitar kurang lebih 600°C yang hanya menimbulkan struktur Kristal *ferrite* dan *pearlite*. Didalam penelitian ini tampak jelas struktur mikro *ferrite* dan *pearlite* karena baja dengan kandungan kadar karbon rendah kandungan yang terbentuk adalah campuran antara *ferrite* dan *pearlite* (Wahono, 2011). Dari struktur mikro pada *weld metal* terlihat mendominasi fasa *ferrite* presentase zona terang lebih besar dari zona gelap pada seluruh *weld metal* variasi arus dan tegangan. Pada *weld metal* terjadi proses pembekuan dan terbentuk struktur mikro kasar. Semakin tinggi masukan panas pengelasan semakin kasar dan besar ukuran butir struktur mikro pada *weld metal*.

4.3 Hasil Pengujian Kekerasan

Dalam penelitian ini diuji dengan metode *vickers* untuk mengetahui *hardness* pada tiap sampel seperti pada Tabel 4.2.

Tabel 4.2 Nilai Kekerasan pada setiap sampel uji

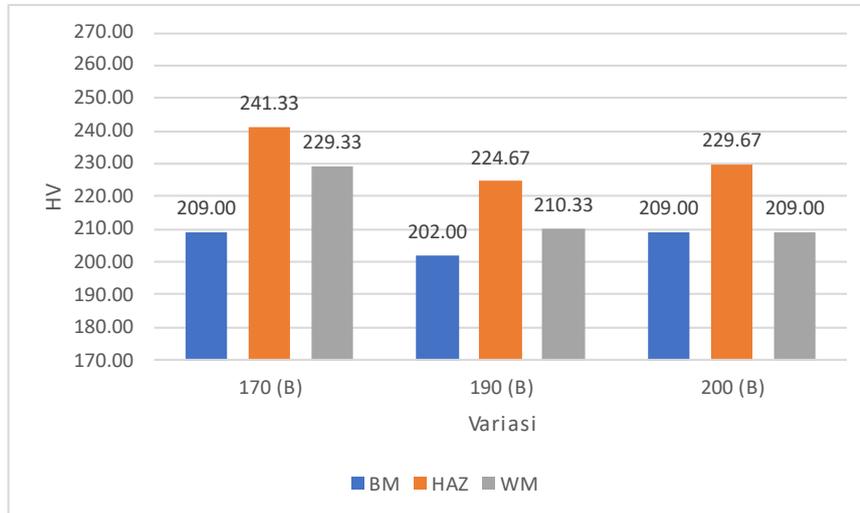
Sampel	Daerah	Nilai Kekerasan (HV)			
		Atas	Tengah	Bawah	Rata-Rata
170 A	BM		202		202.00
	HAZ	220	221	230	223.67
	WM	203	276	287	255.33
190A	BM		209		209.00
	HAZ	201	211	220	210.67
	WM	187	206	273	222.00
200A	BM		202		202.00
	HAZ	211	218	236	221.67
	WM	220	222	222	221.33
170 B	BM		209		209.00
	HAZ	211	226	287	241.33
	WM	202	204	282	229.33
190 B	BM		202		202.00
	HAZ	200	202	272	224.67
	WM	199	205	227	210.33
200 B	BM		209		209.00
	HAZ	225	229	235	229.67
	WM	203	211	213	209.00



Gambar 4.10 Grafik *hardness* pada tegangan 26.5 V

Tabel 4.2 dan Gambar 4.10 menunjukkan nilai penurunan *hardness* pada tegangan 26.5 V dan arus dari 170 A, 190 A, dan 200A. Seiring dengan bertambahnya arus, nilai *hardness* terus menurun pada daerah *weld metal*, HAZ, *base metal*. Penurunan nilai *hardness* tersebut

dipengaruhi oleh temperatur sekitar pada fasa pendinginan. Sebagaimana diulas pada sub bab 4.2 bahwa peningkatan kandungan *pearlite* membuat benda semakin keras, sehingga jumlah *ferrite* yang turun menyebabkan *hardness* turun. Ulasan ini juga sejalan dengan penelitian sebelumnya



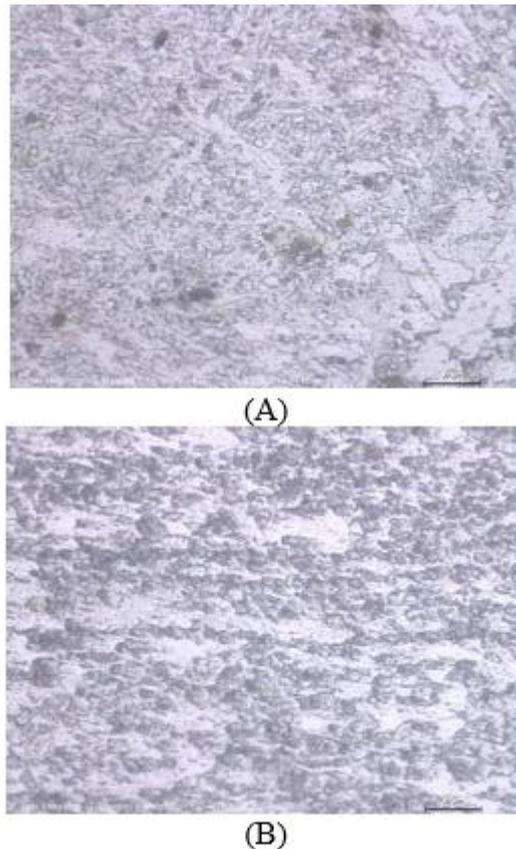
Gambar 4.11 Grafik *hardness* pada tegangan 27,5 V

Tabel 4.2 dan Gambar 4.11 diatas menunjukkan nilai penurunan *hardness* pada tegangan 27,5V dan arus dari 170 A, 190 A, dan 200A. Pada analisa ini, yang menjadi perhatian utama adalah tegangan. Untuk variasi yang sama dengan tegangan pada analisa sebelumnya didapatkan bahwa nilai *hardness* naik dengan naiknya tegangan. Berdasarkan analisa ini didapatkan bahwa, nilai kekerasan naik dengan naiknya tegangan, namun turun dengan naiknya arus. Hal tersebut dapat dipengaruhi oleh udara pendinginan, kecepatan las dan kecacatan dalam skala mikro. Analisa ini memiliki kesamaan dengan penelitian yang dilakukan oleh (Mohamat et al., 2012)

4.4 Rangkuman Hasil Pengujian

Dalam hasil penelitian ini pengaruh variasi arus dan tegangan pada sambungan baja S355 J2 metode pengelasan FCAW dengan pelat setebal 12 mm disiapkan sesuai standar dan komposisi kimia pelat dengan sifat mekaniknya ditunjukkan pada Tabel 2.3 dan 2.4 kemudian sifat metalurgi pengelasan diselidiki dengan melakukan struktur mikro dan sifat mekanik.

Pada variasi arus dan tegangan dalam penelitian ini mendapatkan sampel yang optimum pada variasi 200A dan 26,5V yang cocok pada baja S355 J2 dengan pengelasan FCAW *filler* E71T-1C/SC-71LH dengan gas pelindung CO₂ diameter 1.2 mm dan juga terdapat fluks sebagai *self shielding* saat proses pengelasan fluks yang berada dalam inti kawat las bertujuan untuk melindungi logam las saat mencair *filler* ini memiliki komposisi karbon rendah sama dengan pelat yang digunakan kurang dari 2% karbon dan elemen paduan lainnya seperti Cr, Cu, Ni, Si, Mn, S dan P kurang dari 2% dapat dilihat pada Tabel 2.1, penambahan silikon dalam kawat dapat menstabilkan fasa *austenite* dan juga molibdenum untuk meningkatkan kekuatan, kekerasan, dan ketangguhan. Dengan menggunakan 200A dan 26,5V dengan *travel speed* 20cm/min pada penelitian pengelasan ini memiliki hasil lasan yang optimum dan dapat dibuktikan dengan analisis struktur mikro yang terbentuk saat pendinginan normal dan faktor lainnya seperti komposisi kimia *filler metal* dan *base metal* seperti pada Gambar 4.12, kemudian setelah itu melakukan pengujian sifat mekanik yaitu *tensile strength* dan *hardness*.



Gambar 4.12 (A) WM 200A-26,5V, (B) HAZ 200A-26,5V

Hasil pengelasan pada bagian zona las mendapatkan morfologi struktur mikro dengan perbesaran 500x terdapat *fine pearlite* dan ada *coarse ferrite* dan bagian yang mendominasi pada zona las adalah *pearlite* dan *ferrite* dengan butiran yang *small equaxied* dan juga terdapat *Ferrite Side Plate* (FSP) yang memiliki tingkat kekerasan lebih lunak struktur ini memiliki bentuk memanjang. Pada daerah HAZ menunjukkan terbentuknya struktur mikro ada *ferrite* dan *pearlite* dengan butiran *elongated* (memanjang) dan *acicular ferrite* yang memiliki tingkat kekerasan tinggi, struktur ini berbentuk butiran lembut. Hasil pengujian struktur mikro mendapatkan pengaruh nilai sifat mekanik (kekuatan, kekerasan, keuletan) yang tinggi dengan dibuktikannya melalui pengujian *tensile strength* dan *hardness* yang sudah dilakukan. Hasil pengujian *hardness* pada sampel 200A 26,5V dengan nilai setiap daerah, HAZ nilai 221.67 HV, *base metal* 202.00 HV dan pada *weld metal* mendapatkan nilai 221.33 HV. Nilai *weld metal* dalam pengujian *hardness* memadai dan tidak kurang dari *base metal*. Kemudian pada pengujian tarik variasi 200A 26,5V mendapatkan hasil terbaik yaitu dengan nilai *tensile strength* 545.94 MPa dan *yield strength* 440.35 MPa, *elongation* 36.08%. Nilai *tensile strength* pada variasi 200A 26,5V yang didapat mendekati nilai *tensile strength* base metal yang dapat dilihat pada Gambar 4.1.

(Halaman Ini Sengaja Di Kosongkan)

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan analisa diatas, didapatkan kesimpulan sebagai berikut:

1. Pada hasil penelitian variasi arus dan tegangan dalam pengelasan terdapat transformasi ukuran butir struktur mikro daerah HAZ dan *weld metal*. Transformasi yang terjadi pada *weld metal* dan HAZ lebih halus dari *base metal*. Dalam seluruh hasil variasi tidak ada transformasi fasa.
2. Dari variasi arus dan tegangan mendapatkan nilai yang optimum pada variasi 200A, 26,5V karena sifat mekaniknya mendekati nilai ideal *base metal* dan untuk kekerasan mendapatkan nilai yang memadai.

5.2 Saran

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, adapun saran untuk penelitian selanjutnya adalah:

1. Pada penelitian selanjut nya bisa menggunakan parameter atau *filler* las yang berbeda dan dilakukan proses penelitian yang mendalam terkait pengaruh parameter variasi arus dan tegangan pada pengelasan.
2. Untuk penelitian berikut nya bisa mencoba setelah melakukan pengelasan dilakukannya *Post Weld metal Heat Treatment* (PWHT) untuk mengetahui struktur setelah proses pemanasan dan pendinginan.
3. Mencoba menggunakan material lain seperti Baja Karbon atau *Stainless Steel* dan melakukan uji NDT seperti radiografi untuk mengetahui hasil lasan yang lebih baik.

(Halaman Ini Sengaja Di Kosongkan)

DAFTAR PUSTAKA

- American Welding Society. Structural Welding Committee, American Welding Society. Technical Activities Committee., & American National Standards Institute. (n.d.). *Structural welding code--steel*.
- ASM INTERNATIONAL®. (1993).
- Borko, K., Hadzima, B., & Pastorek, F. (2019). The corrosion properties of S355J2 steel welded joint in chlorides environment. *Periodica Polytechnica Transportation Engineering*, 47(4), 342–347. <https://doi.org/10.3311/PPtr.12111>
- Čekys, K. (2020). *STEEL WELDING APPLICATION, ADVANTAGES AND DISADVANTAGES USING FLUX CORE AND GAS METAL FILLINGS*. <https://weldingheadquarters.com/flux-cored-arc-welding/>
- Dr. R.S. Parmar. (1997). *Welding Engineering and Technology*.
- Hicks, J. (2001). Metals. In *Welded Design* (pp. 11–21). Elsevier. <https://doi.org/10.1533/9781855737624.11>
- Ibrahim Ahmad Ibadurrohman, Nurkholis Hamid, L. Y. (2021). *V12 n2. November 2020*, 315–323.
- Immanuel, M. (2019). JURNAL TEKNIK PERKAPALAN Analisa Kekuatan Tarik dan Impak Baja ST 40 Pengelasan Flux-Cored Arc Welding (FCAW) Posisi 4G dengan Variasi Arus Pengelasan. *Jurnal Teknik Perkapalan*, 7(4). <https://ejournal3.undip.ac.id/index.php/naval>
- Iqiyat Tillah, R., Imawan, P. S., Pranatal, E., Teknik Perkapalan Fakultas Teknologi Mineral Dan Kelautan, J., & Teknologi Adhi Tama Surabaya Jl Arief Rachman Hakim, I. (2020). *PENGARUH VARIASI JENIS GAS PELINDUNG PADA PENGELASAN FCAW DENGAN MATERIAL SS 400*.
- Jufri, M., Subeki, N., & Asfat, A. (2017). *Seminar Nasional Teknologi dan Rekayasa (SENTRA) 2017 ISSN (Cetak) 2527-6042 eISSN (Online)*.
- Juliaptini, D. (2010). ANALISIS SIFAT MEKANIK DAN METALOGRAFI BAJA KARBON RENDAH UNTUK APLIKASI TABUNG GAS 3 KG Skripsi Diajukan kepada Fakultas Sains dan Teknologi. 2010.
- Kalpakjian, S., Schmid, S. R., Teknologi, U., Prentice, M., Singapore, H., New, L., Toronto, Y., Tokyo, S., Mexico, M., Munich, C., Capetown, P., & Kong Montreal, H. (2009). *MANUFACTURING ENGINEERING AND TECHNOLOGY* (Sixth Edition).
- Mohamat, S. A., Ibrahim, I. A., Amir, A., & Ghalib, A. (2012). The effect of Flux Core Arc Welding (FCAW) processes on different parameters. *Procedia Engineering*, 41, 1497–1501. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2012.07.341>
- Pratama, M. Y., Budiarto, U., & Jokosisworo, S. (2019). JURNAL TEKNIK PERKAPALAN Pada Sambungan Las Baja SS 400 Akibat Pengelasan FCAW (Flux-Cored Arc Welding) dengan Variasi Jenis Kampuh dan Posisi Pengelasan. *Jurnal Teknik Perkapalan*, 7(4), 203. <https://ejournal3.undip.ac.id/index.php/naval>
- Pratikno, H., & Dhanistha, W. L. (2017). *ANALISIS PERBANDINGAN PROSES PENGELASAN SAW DAN FCAW PADA MATERIAL ASTM A 36 TERHADAP UJI TAKIK*.
- Qualification Standard for Welding, Brazing, and Fusing Procedures; Welders; Brazers; and Welding, Brazing, and Fusing Operators SECTION IX Welding, Brazing, and Fusing Qualifications 2019 ASME Boiler and Pressure Vessel Code An International Code from IHS: Vol. IX*. (2019). <https://www.asme.org/shop/certification-accreditation>.
- Rahmatika, A., Sutarto, E., CARifin, A., Pengelasan dan Fabrikasi, T., Teknologi Sains Bandung, I., Mesin, T., & Tinggi Teknologi Ronggolawe, S. (2021). *Pengujian Merusak Pada Kualifikasi Prosedur Las Plat Baja Karbon SA-36 dengan Proses Pengelasan SMAW Berdasarkan Standar ASME Section IX. vol 3 no 1*.

- Soeiro Junior, J. C., da Luz, M. A., & Brandi, S. D. (2017). Comparison of deposition rate and deposition efficiency between ER70S-6 and E71T-1C consumables. *Welding International*, 31(2), 79–89. <https://doi.org/10.1080/09507116.2016.1218602>
- Suseno, & Cahyanto. (2020). Analisis produktivitas melalui pengendalian kualitas material dan komponen serta produk jadi dengan pendekatan six sigma pada proyek lrt jabodebek di pt inka. *JURNAL TEKNOLOGI TECHNOSCIENTIA*, 13(1), 11–19.
- Tewari, S. P., Gupta, A., & Prakash, J. (2010). EFFECT OF WELDING PARAMETERS ON THE WELDABILITY OF MATERIAL. In / *International Journal of Engineering Science and Technology*.
- Usama, M. (2010). *DESTRUCTIVE TESTS*.
- Utama, I., Imawan, P. S., & Pranatal, E. (2020). *PENGARUH VARIASI ARUS LAS PADA PENGELASAN FCAW DARI MATERIAL BAJA KAPAL ASTM SS 400*. <https://www.pengelasan.net/>
- Wiryosumarto, H., & Okumura, T. (1979). *Teknologi Pengelasan Logam*. Pradnya Paramita.
- ZHANG, D. kui. (2019). Effects of weld penetration on tensile properties of 2219 aluminum alloy TIG-welded joints. *Transactions of Nonferrous Metals Society of China (English Edition)*, 29(6), 1161–1168. [https://doi.org/10.1016/S1003-6326\(19\)65024-7](https://doi.org/10.1016/S1003-6326(19)65024-7)

LAMPIRAN

Lampiran 1 : Hasil Uji Tarik

1. S355 J2 /170A/26,5V

LAPORAN UJI LABORATORIUM TENSILE

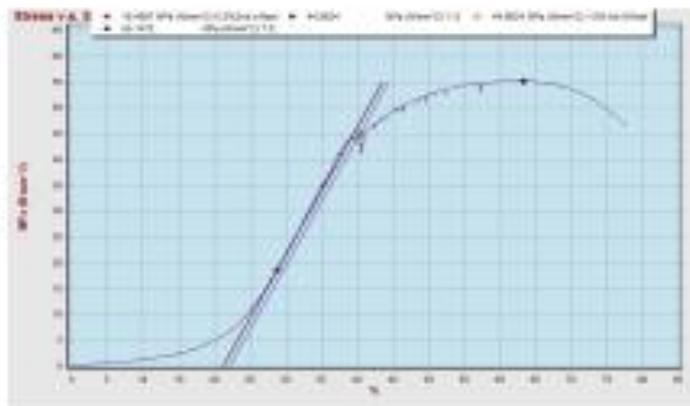
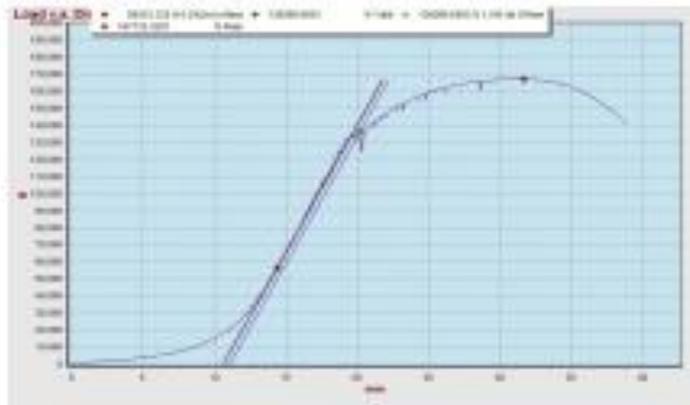
Jenis Pengujian	Uji Tarik
<i>Type of test</i>	
Peralatan	Mesin Uji Universal " Hung Ta " Kapasitas 1000 kN
<i>Equipment</i>	

HASIL PENGUJIAN *RESULT*

Sample S 355 J2 / 170A / 26.5V

03/07/2022

No.	Area	Yield Load	Peak Load	Yield Strength	Tensile Strength	Elongation
Spec	mm ²	(N)	(N)	(N/mm ²)	(N/mm ²)	%
2	302,4448	136266,66	167133,33	450,55	552,61	43,44



2. S355 J2/190A/26,5V

LAPORAN UJI LABORATORIUM TENSILE

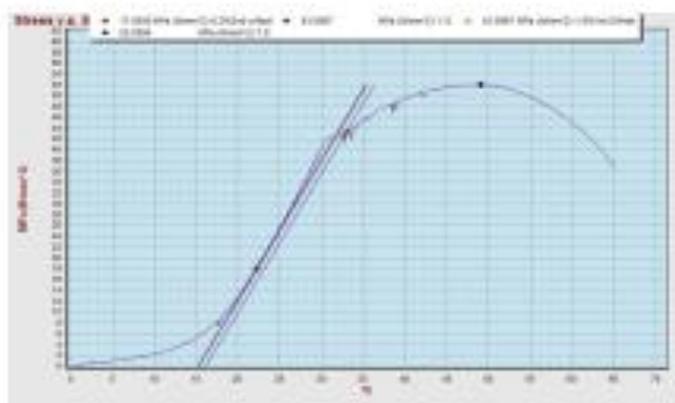
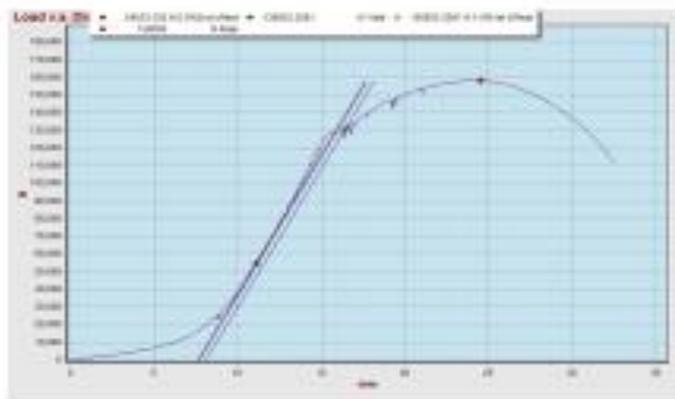
Jenis Pengujian <i>Type of test</i>	Uji Tarik
Peralatan <i>Equipment</i>	Mesin Uji Universal " Hung Ta " Kapasitas 1000 kN

**HASIL PENGUJIAN
RESULT**

Sample S 355 J2 / 190A / 26.5V

03/07/2022

No.	Area	Yield Load	Peak Load	Yield Strength	Tensile Strength	Elongation
Spec	mm ²	(N)	(N)	(N/mm ²)	(N/mm ²)	%
1	301,3612	130933,33	158000,00	434,47	524,29	45,18



3. S355 J2/200A/26,5V

LAPORAN UJI LABORATORIUM TENSILE

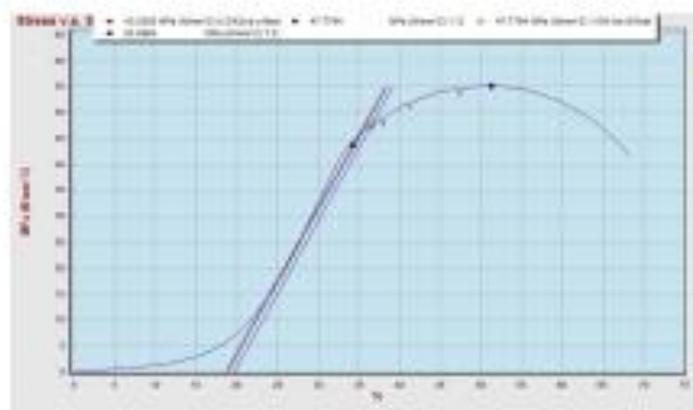
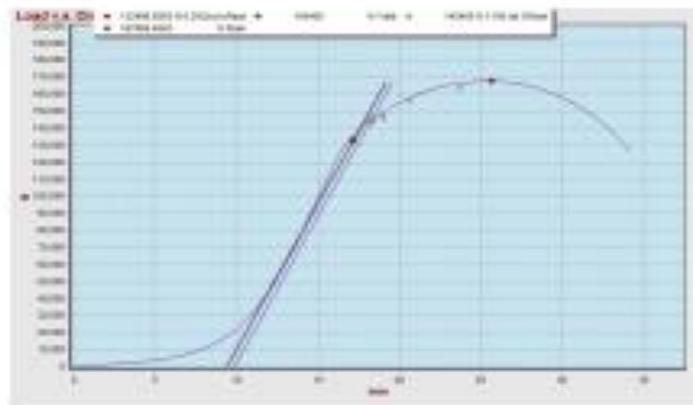
Jenis Pengujian	Uji Tarik
Type of test	
Peralatan	Mesin Uji Universal " Hung Ta " Kapasitas 1000 kN
Equipment	

**HASIL PENGUJIAN
RESULT**

Sample S 355 J2 / 200A / 26.5V

03/07/2022

No.	Area	Yield Load	Peak Load	Yield Strength	Tensile Strength	Elongation
Spec	mm ²	(N)	(N)	(N/mm ²)	(N/mm ²)	%
1	303,831	132466,66	167666,66	435,99	551,84	31,40



4. S355 J2/170A/27,5V

LAPORAN UJI LABORATORIUM TENSILE

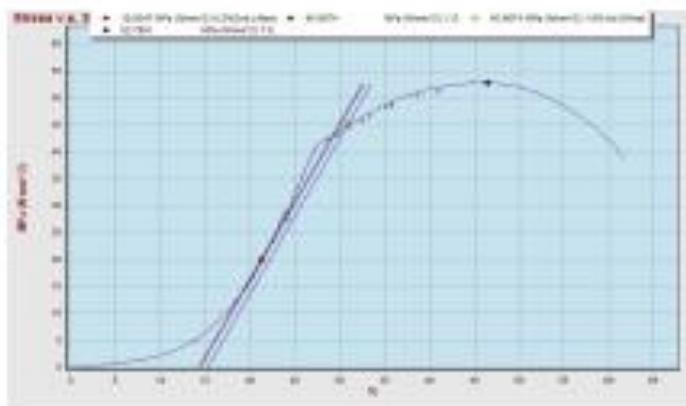
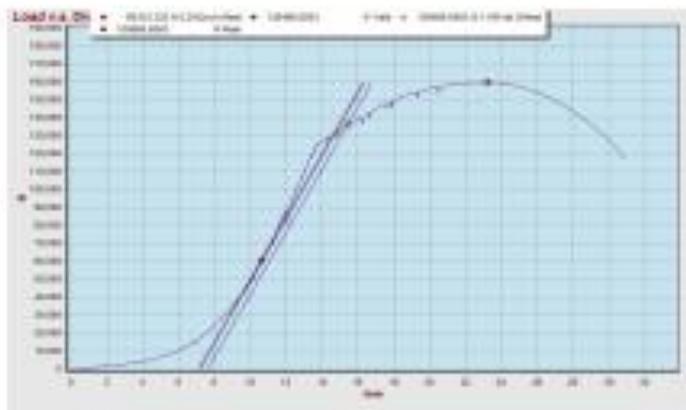
Jenis Pengujian	Uji Tarik
<i>Type of test</i>	
Peralatan	Mesin Uji Universal * Hung Ta * Kapasitas 1000 kN
<i>Equipment</i>	

HASIL PENGUJIAN
RESULT

Sample S 355 J2 / 170A / 27.5V

03/07/2022

Nr.	Area	Yield Load	Peak Load	Yield Strength	Tensile Strength	Elongation
Spec	mm ²	(N)	(N)	(N/mm ²)	(N/mm ²)	%
1	302,4	136466,66	159866,66	451,28	528,66	37,92



5. S355 J2/190A/27,5V

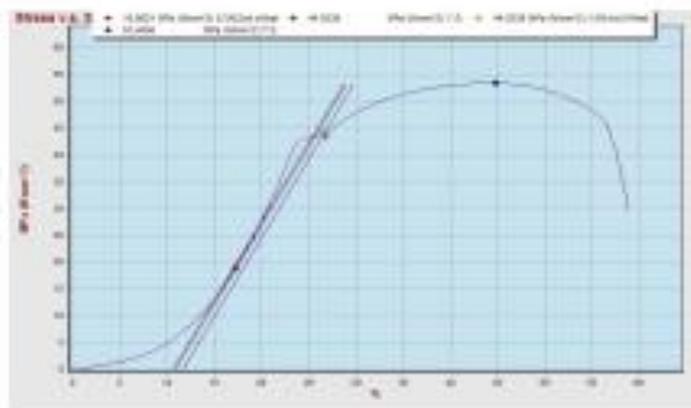
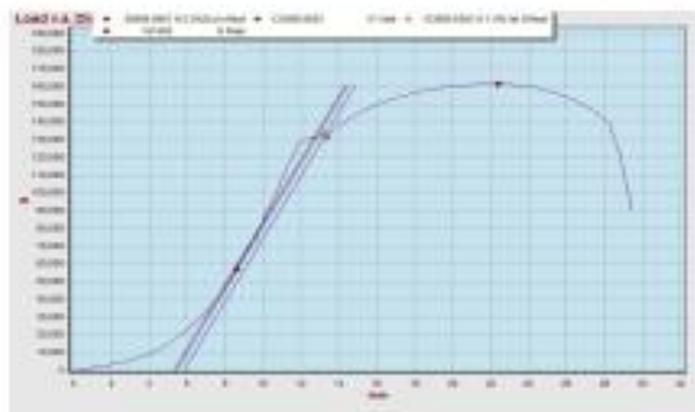
LAPORAN UJI LABORATORIUM TENSILE

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

HASIL PENGUJIAN
RESULT

Sample S 355 J2 / 190A / 27.5V 03/07/2022

No.	Area	Yield Load	Peak Load	Yield Strength	Tensile Strength	Elongation
Spec	mm ²	(N)	(N)	(N/mm ²)	(N/mm ²)	%
3	302,2236	133066,66	161400,00	440,29	534,04	46,60



6. S355 J2/200A/27,5V

LAPORAN UJI LABORATORIUM TENSILE

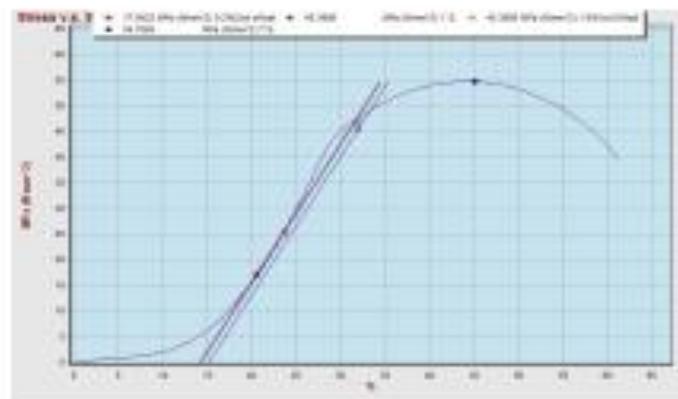
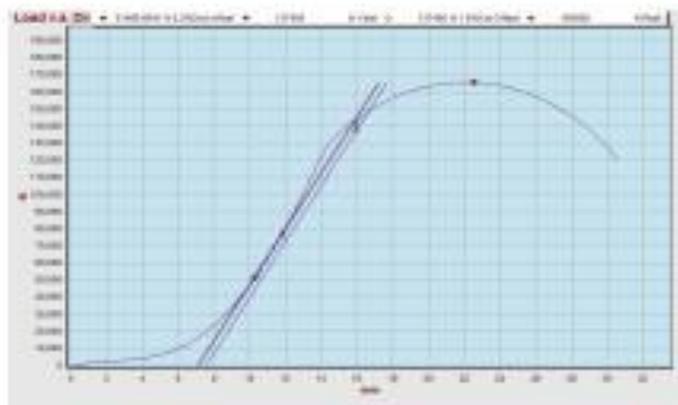
Jenis Pengujian <i>Type of test</i>	Uji Tarik
Peralatan <i>Equipment</i>	Mesin Uji Universal * Hung Ta * Kapasitas 1000 kN

HASIL PENGUJIAN
RESULT

Sample S 355 J2 / 200A / 27.5V

03/07/2022

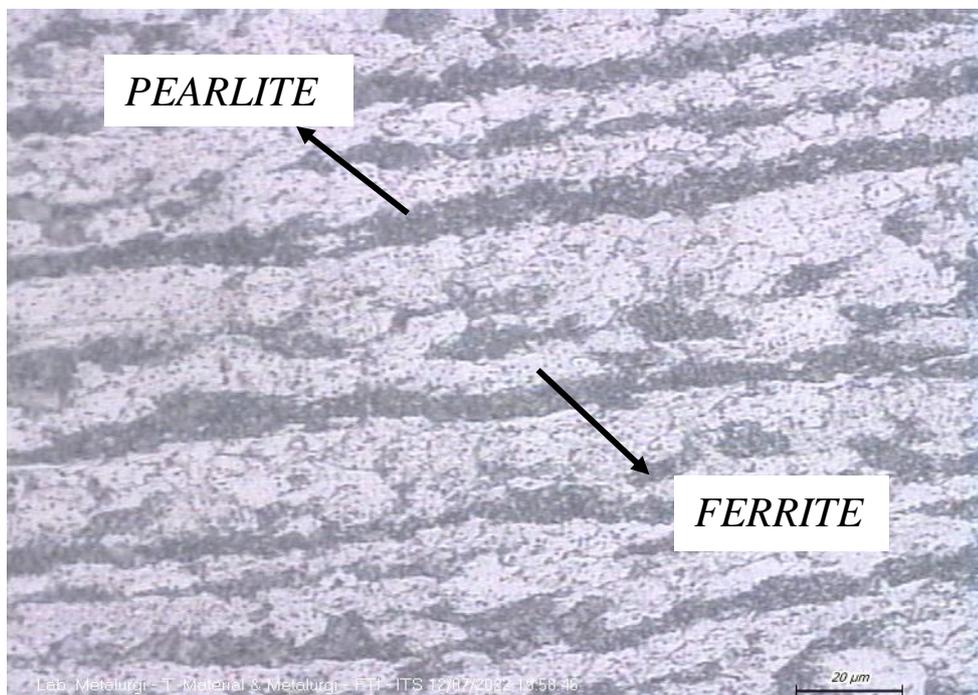
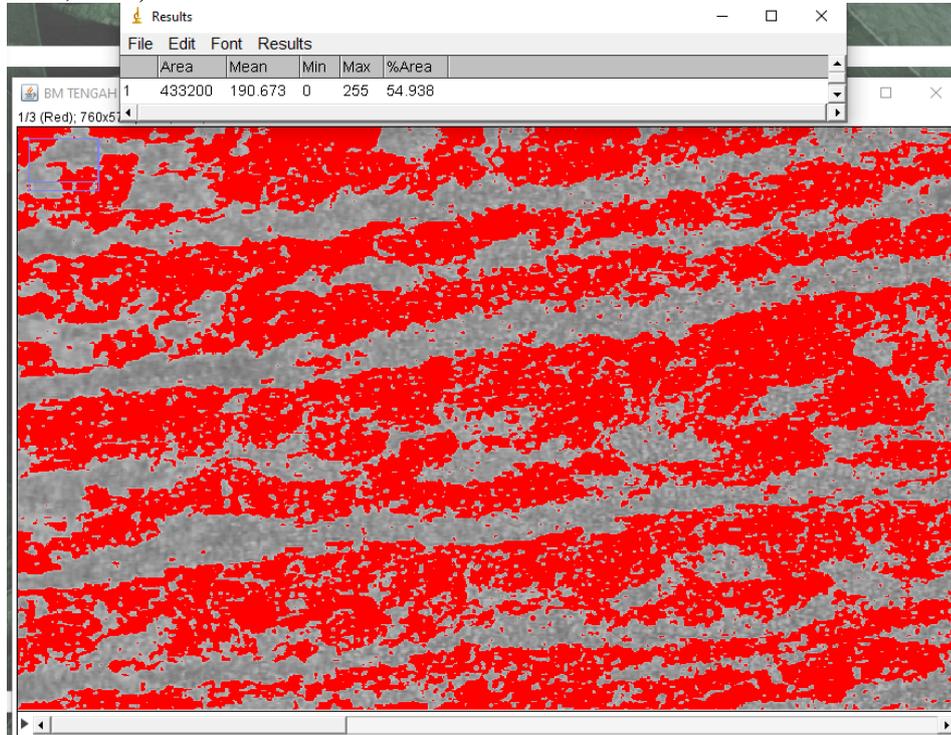
No.	Area	Yield Load	Peak Load	Yield Strength	Tensile Strength	Elongation
Spec	mm ²	(N)	(N)	(N/mm ²)	(N/mm ²)	%
1	302,904	137400,00	165600,00	453,61	546,71	46,38



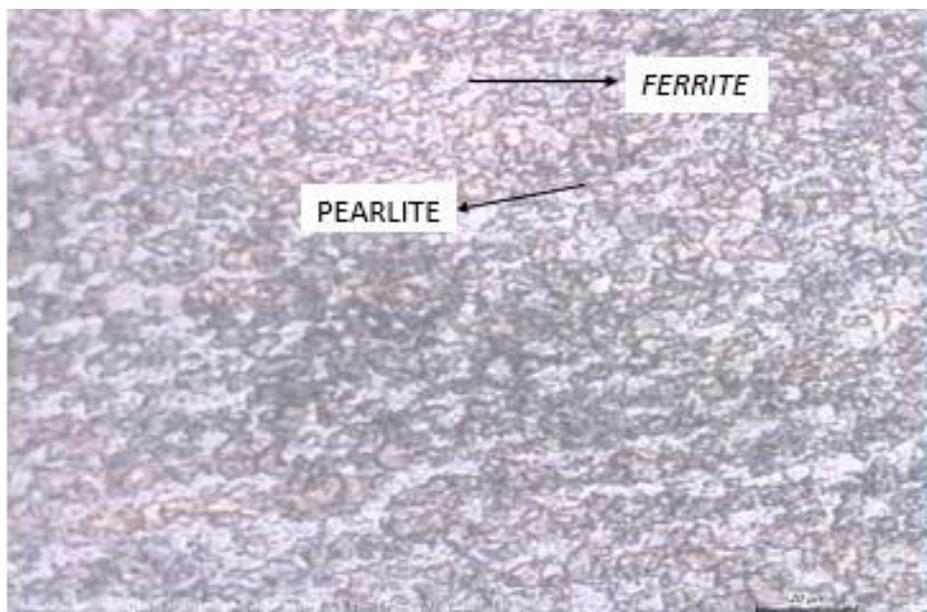
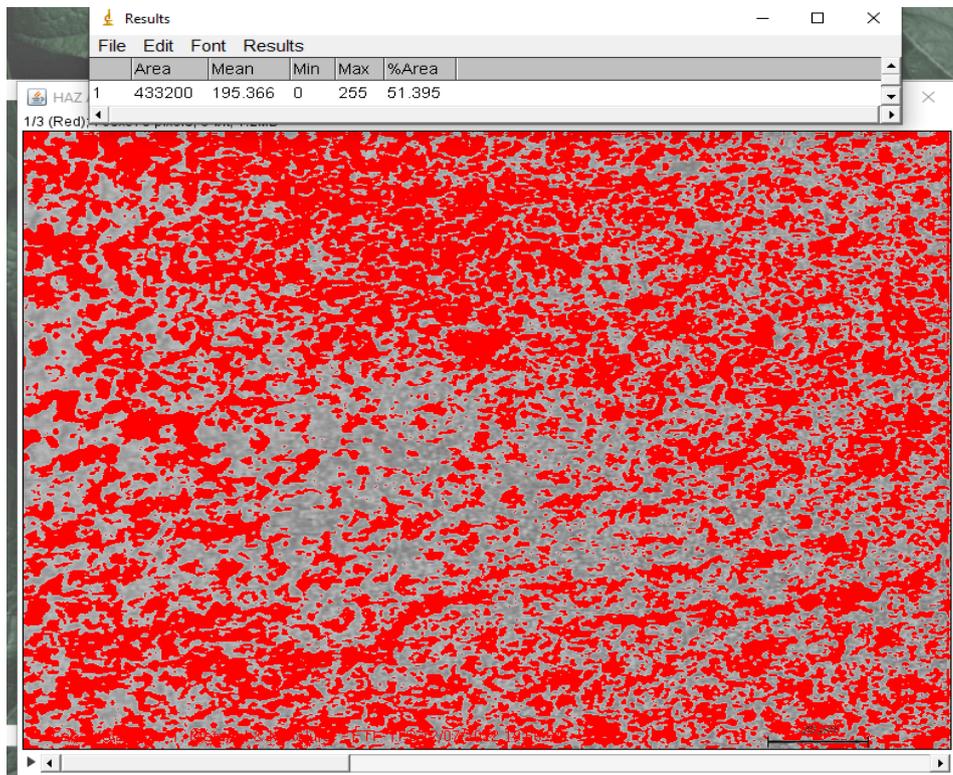
Lampiran 2 : Metalografi dan ImageJ

1. 170A 26,5V

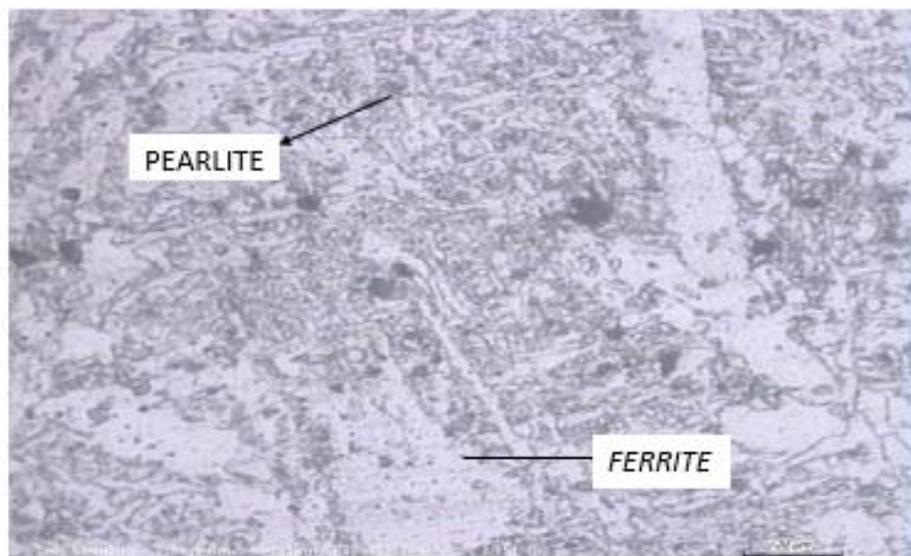
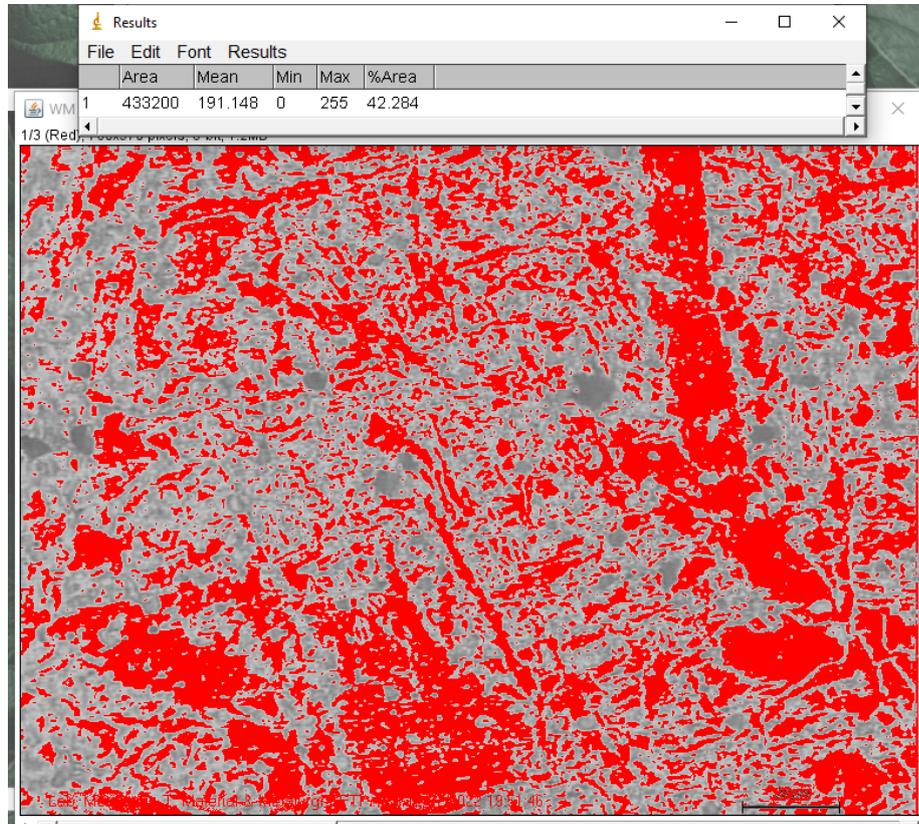
(*BASE METAL* 170A 26,5 V, MENDAPATKAN PERSENTASE *FERRITE* 54,94% DAN *PEARLITE* 45,06%.)



(HAZ MENDAPATKAN PERSENTASE *FERRITE* 51,40% DAN *PEARLITE* 48,60%)

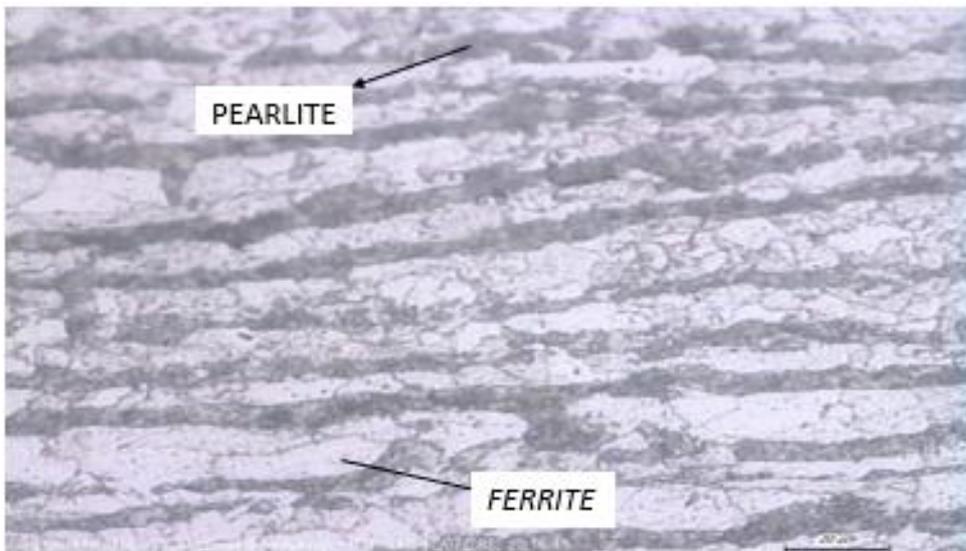
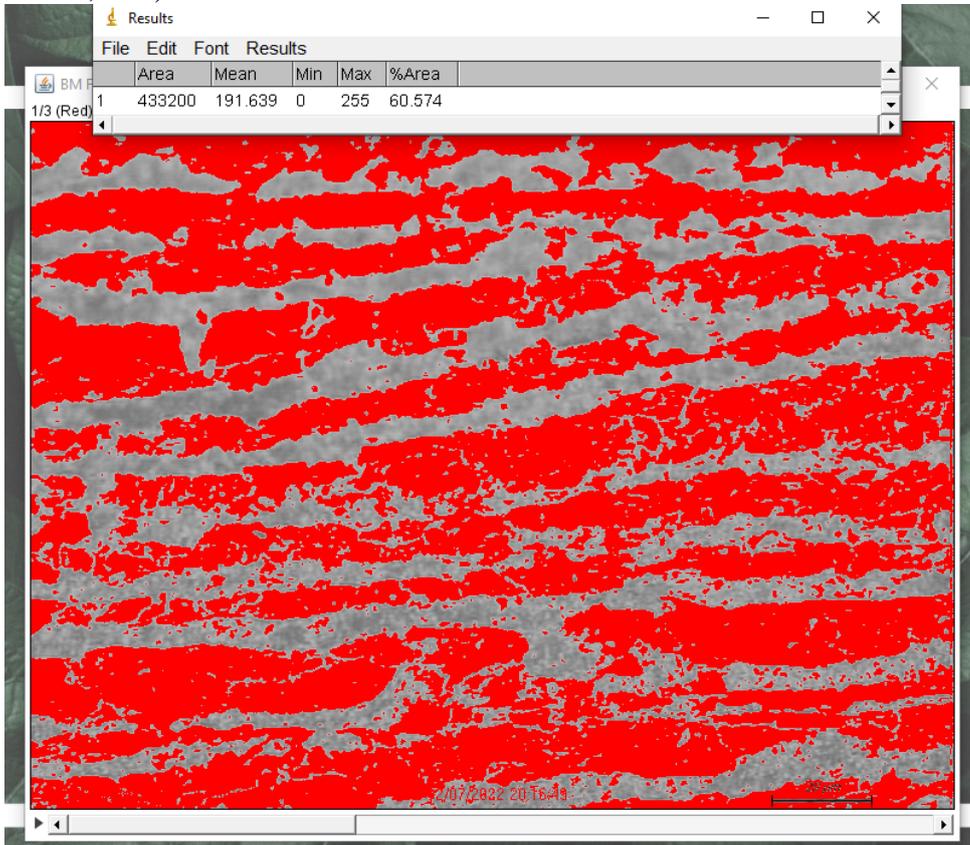


(*WELD METAL* 170A 26,5 V MENDAPATKAN PERSENTASE *FERRITE* 42,28%
PEARLITE 57,72%)

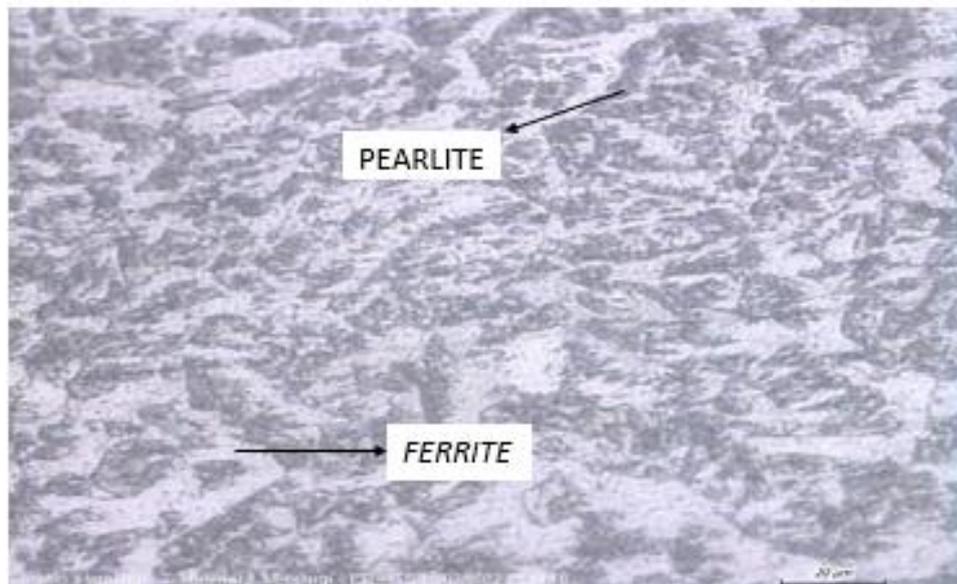
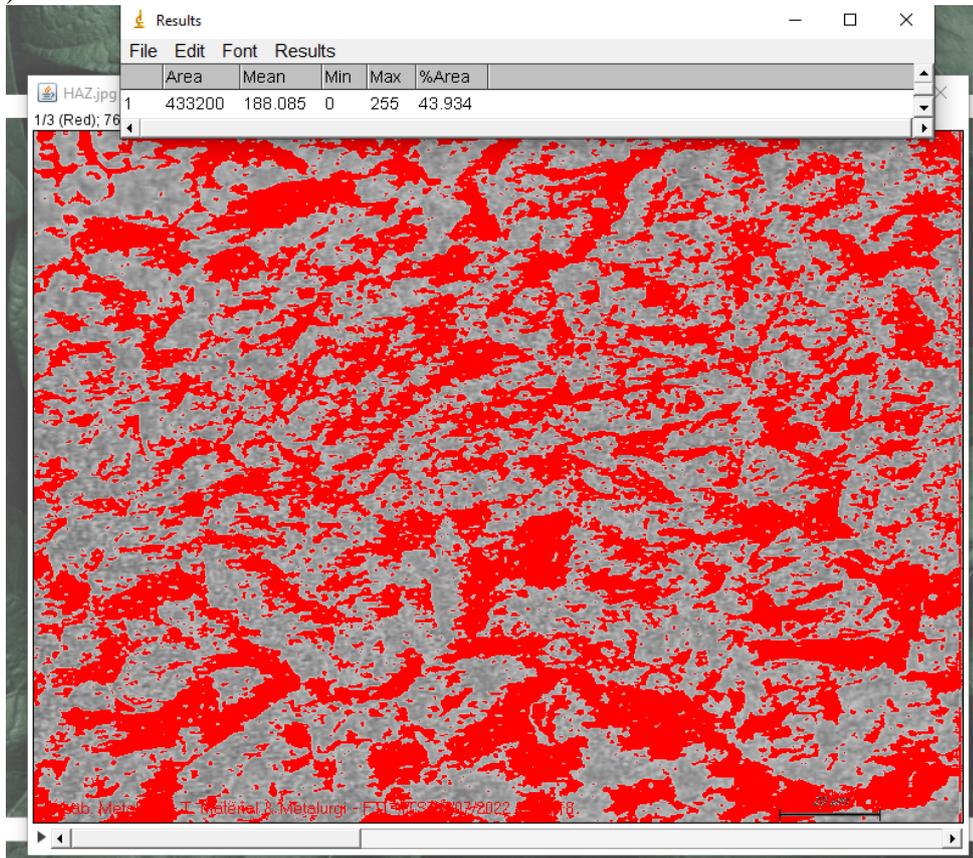


2. 190A/26,5V

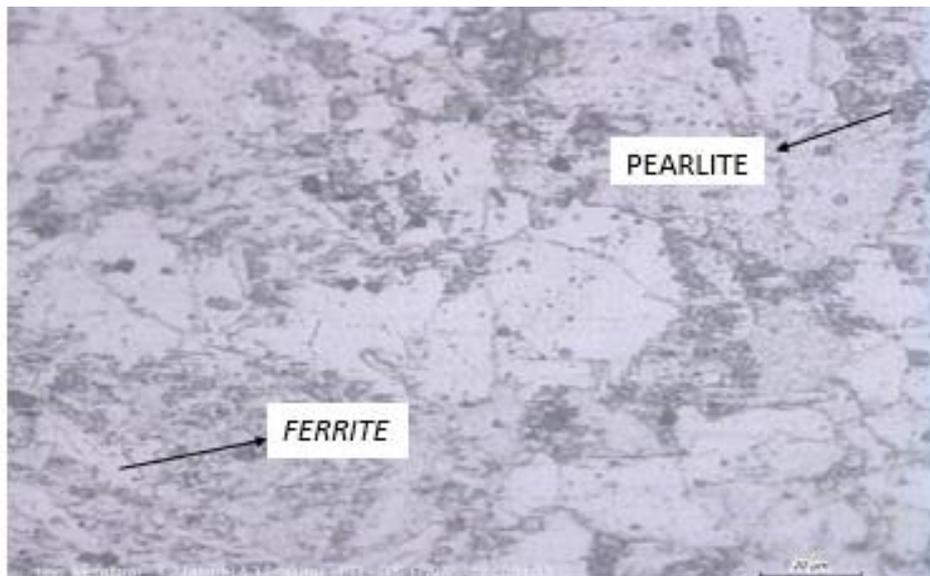
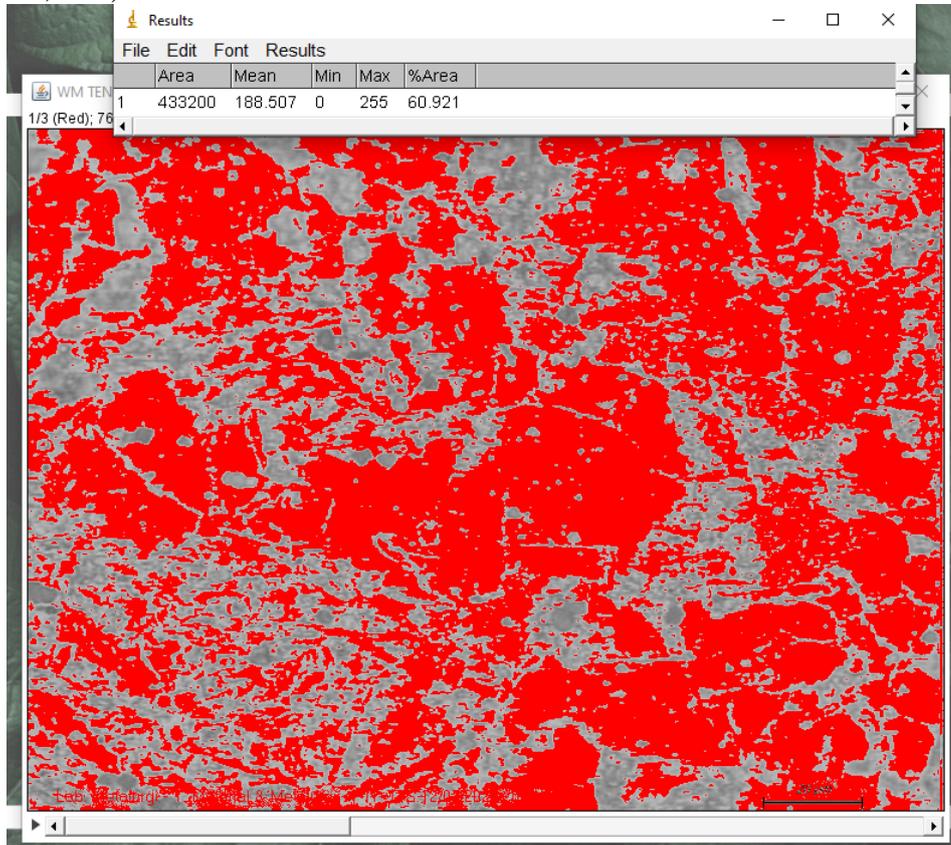
(**BASE METAL** 190A 26,5V MENDAPATKAN PERSENTASE *FERRITE* 60,57% DAN *PEARLITE* 39,43%)



(HAZ 190A 26,5V MENDAPATKAN PERSENTASE *FERRITE* 43,93% DAN *PEARLITE* 56,07%)

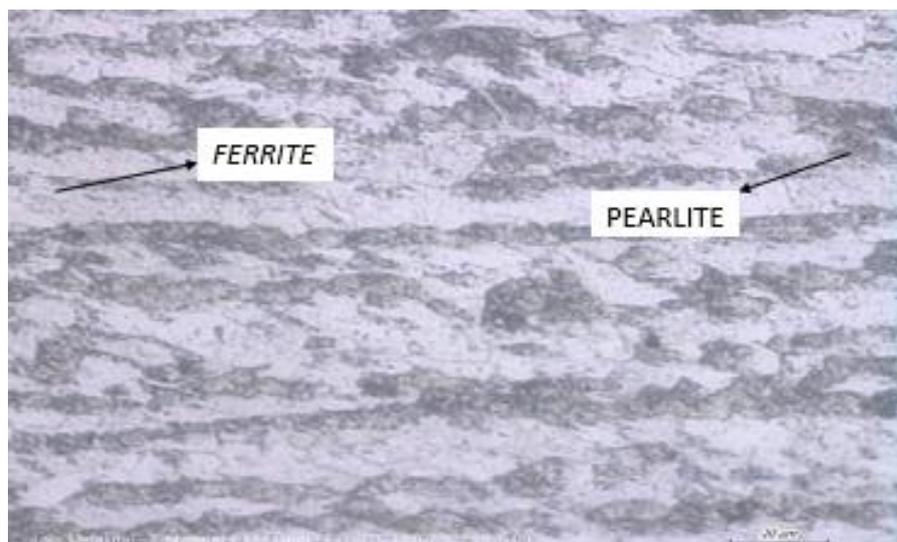
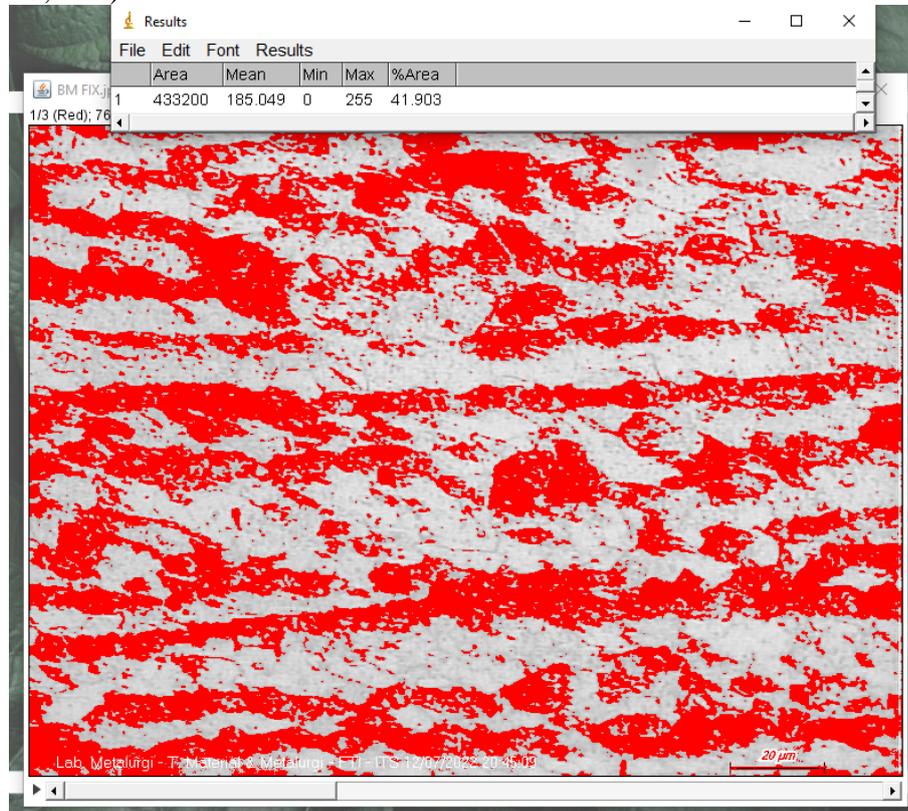


(*WELD METAL* 190A 26,5V MENDAPATKAN PERSENTASE *FERRITE* 60,92% DAN *PEARLITE* 39,08%)

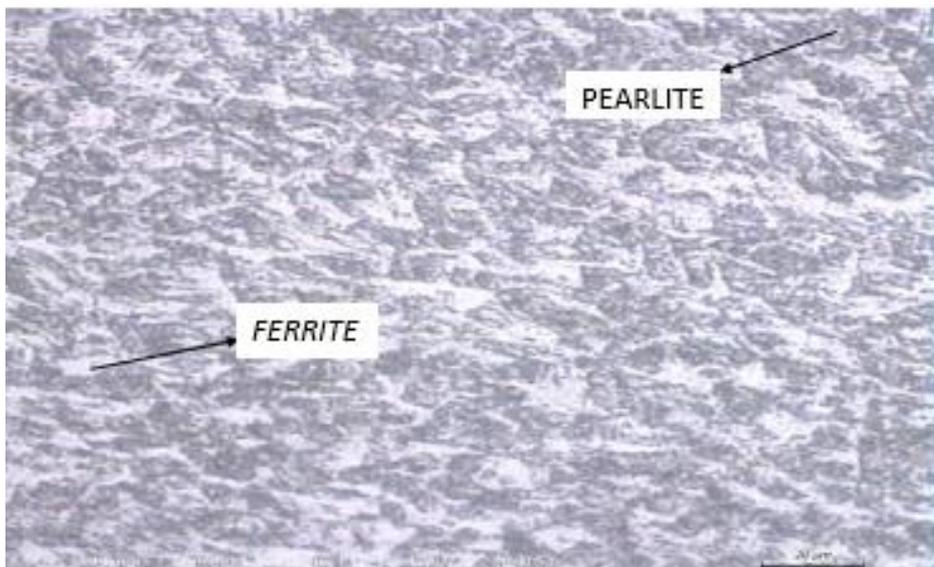
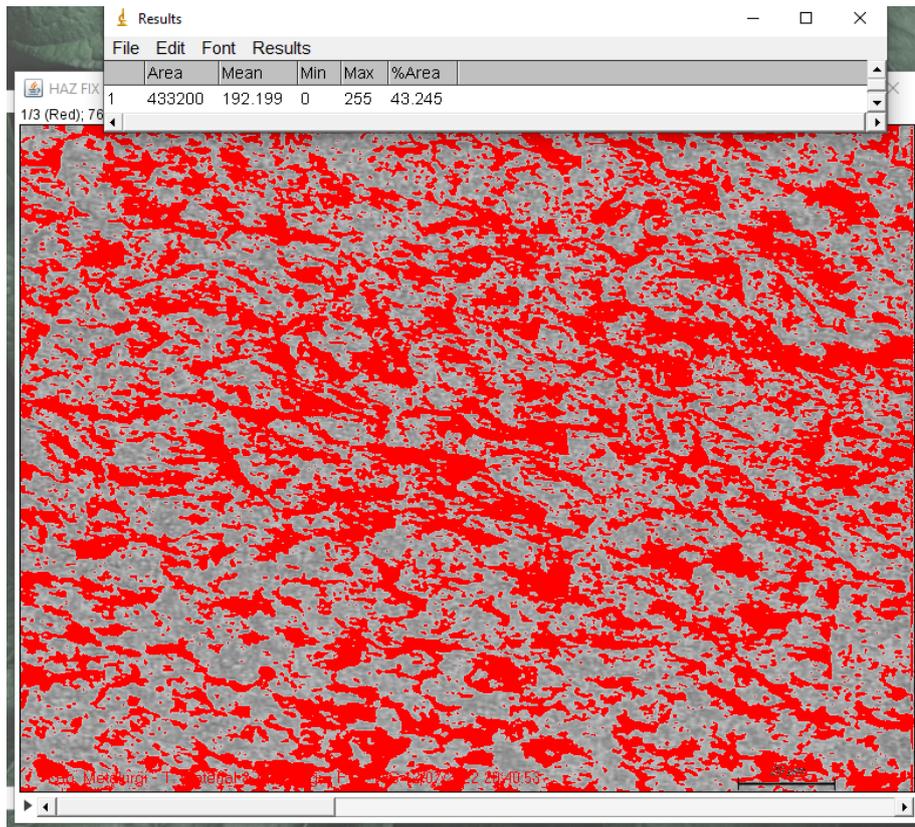


3. 200A/26,5V

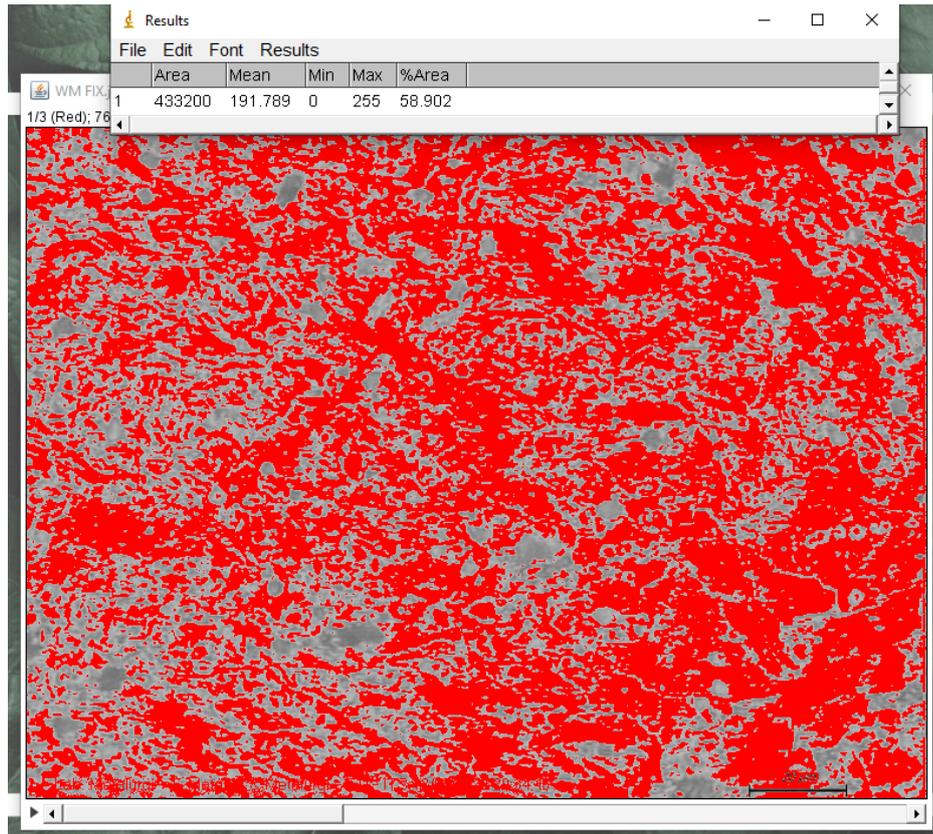
(*BASE METAL* 200A 26,5V MENDAPATKAN PERSENTASE *FERRITE* 58,01% DAN *PEARLITE* 41,90%)



(HAZ 200A 26,5V MENDAPATKAN PERSENTASE *FERRITE* 43,25% DAN *PEARLITE* 56,75%)

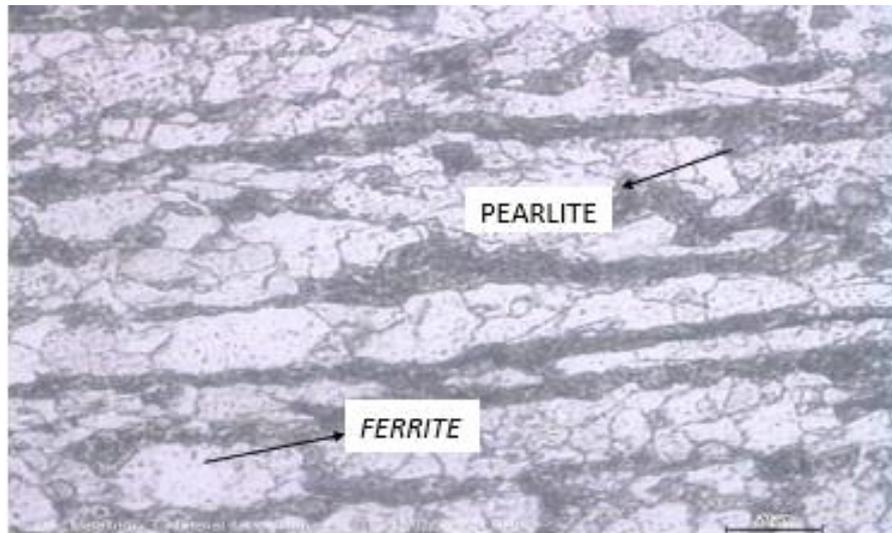
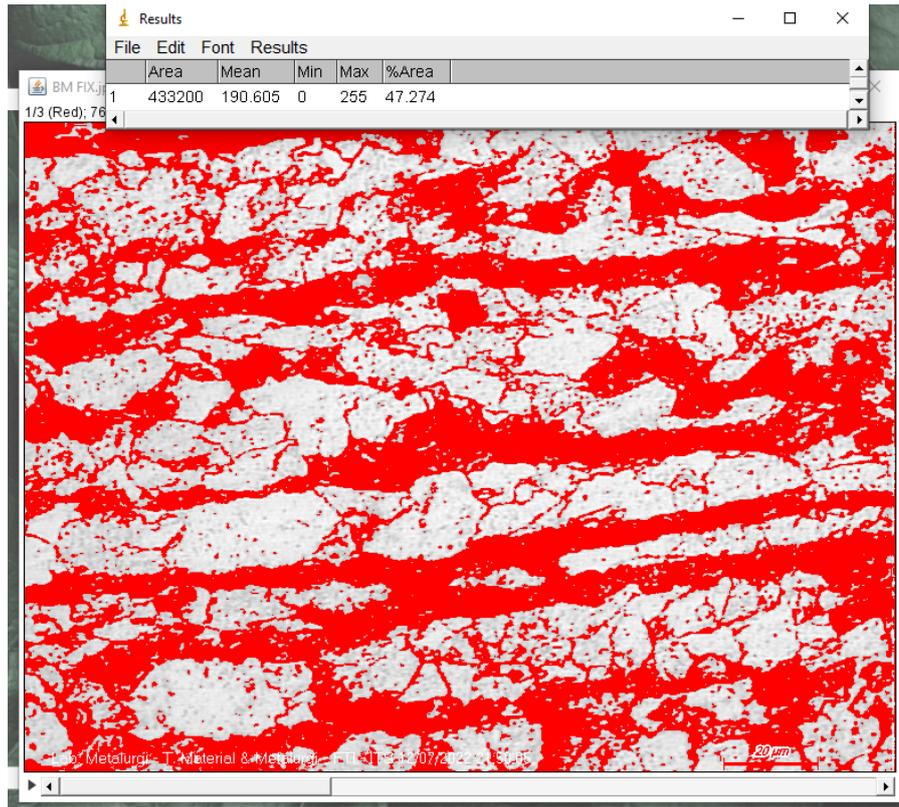


(WELD METAL 200A 26,5V MENDAPATKAN PERSENTASE *FERRITE* 58,90% DAN *PEARLITE* 41,10%)

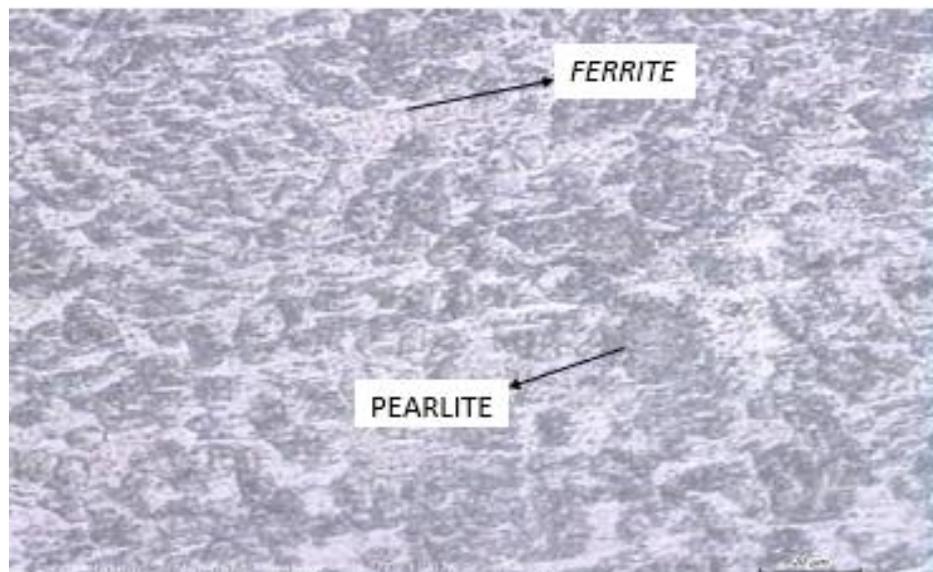
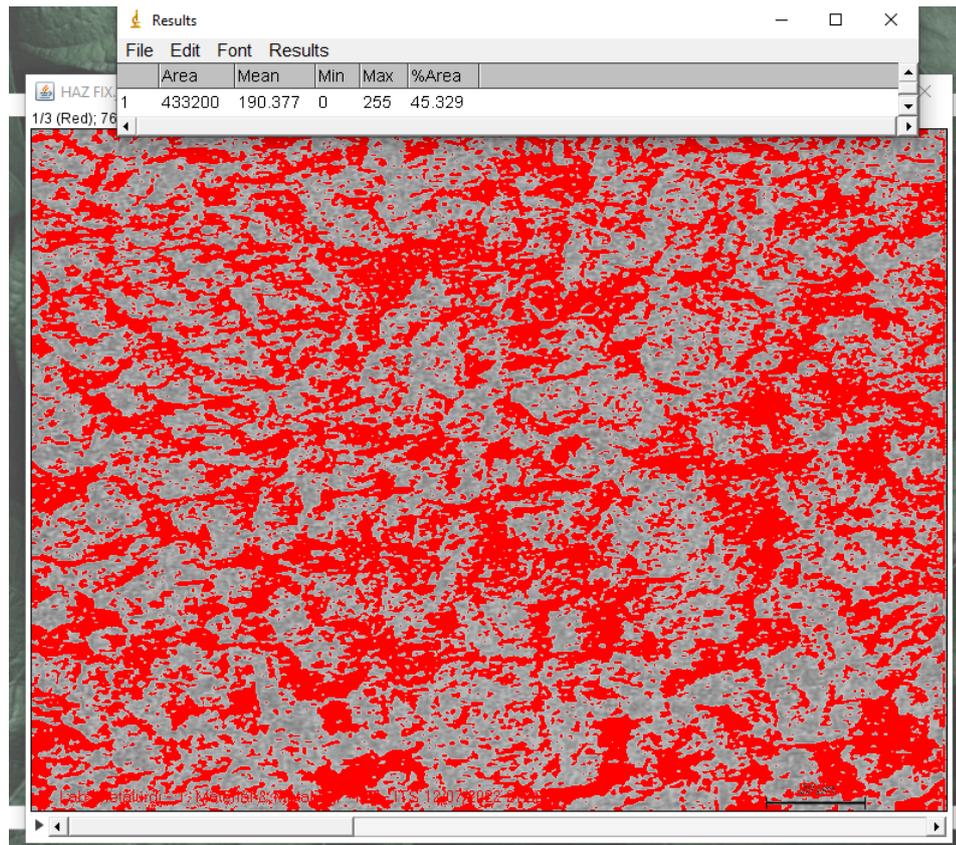


4. 170A/27,5V

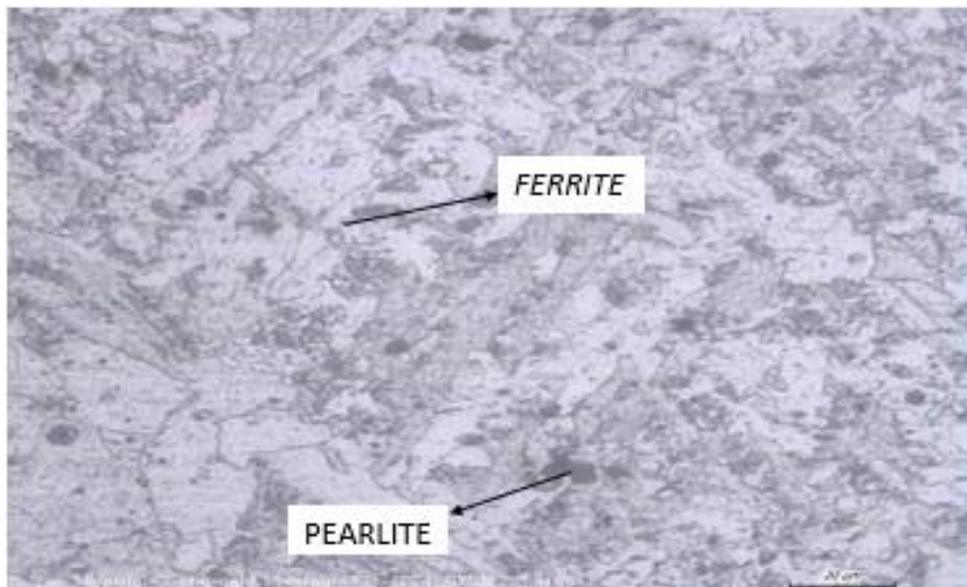
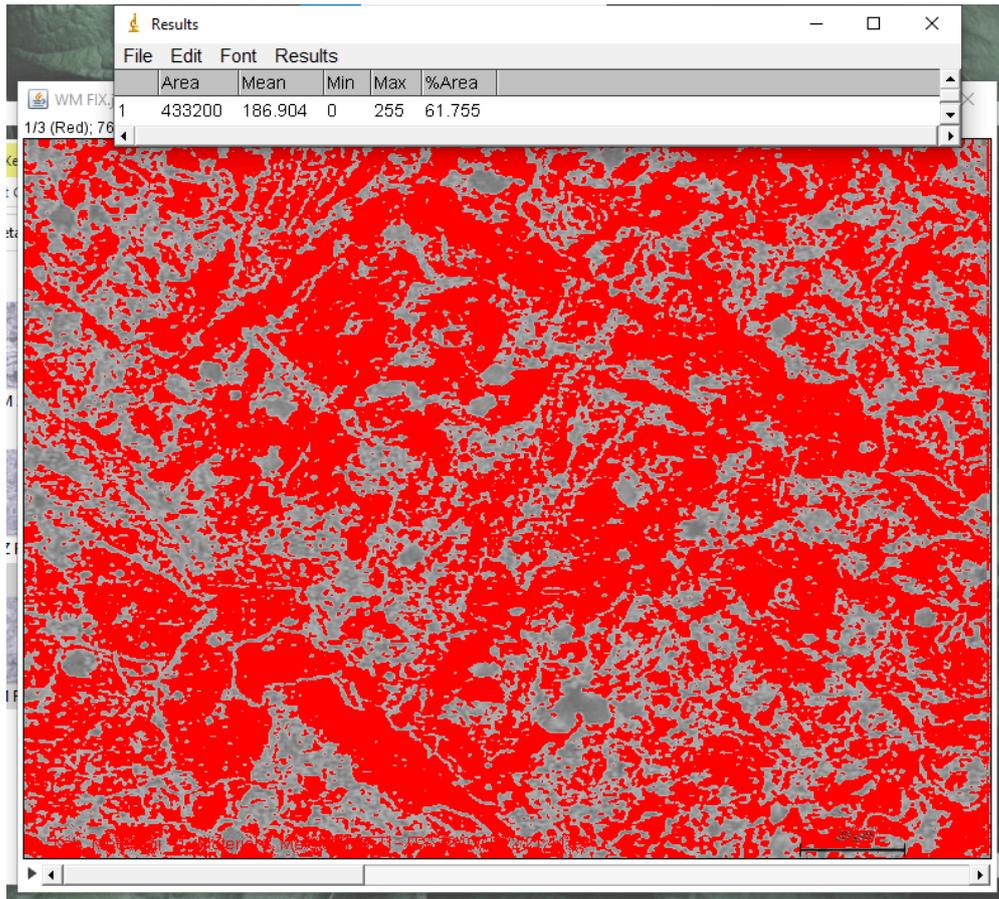
(**BASE METAL** 170A 27,5V MENDAPATKAN PERSENTASE *FERRITE* 52,73% DAN *PEARLITE* 47,27%)



(HAZ 170A 27,5V MENDAPATKAN PERSENTASE *FERRITE* 45,33% DAN *PEARLITE* 54,67%)

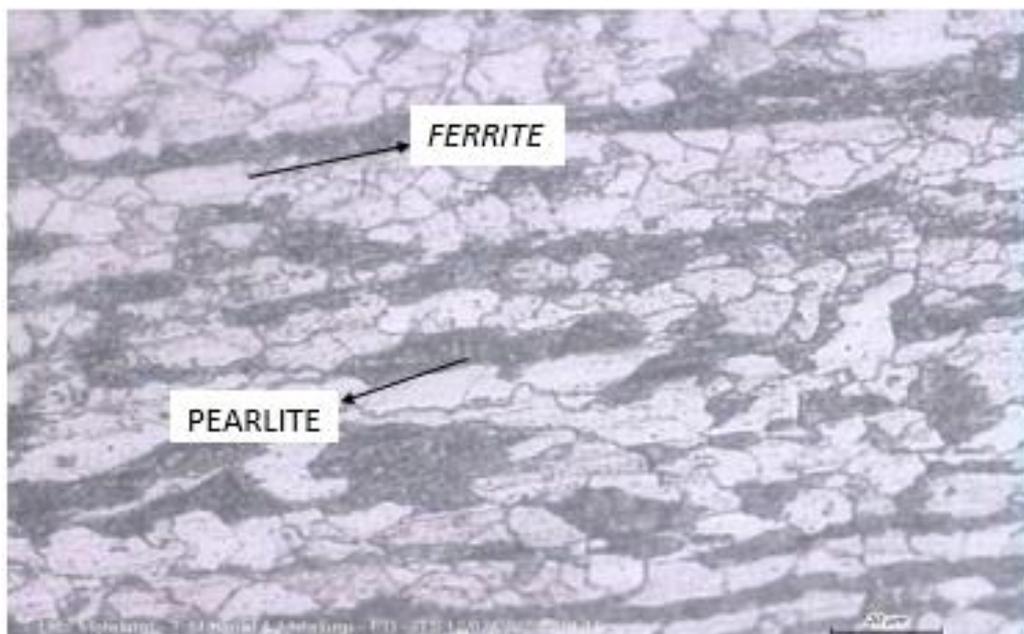
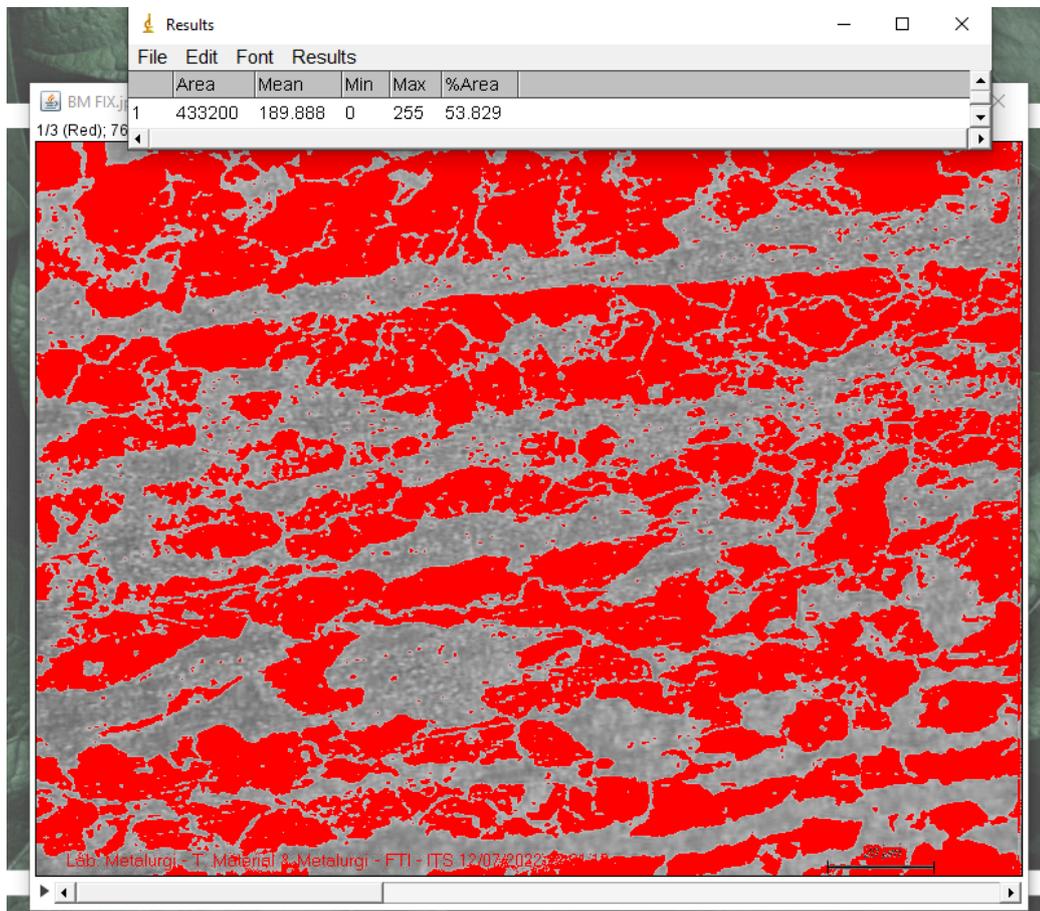


(*WELD METAL* 170A 27,5V MENDAPATKAN PERSENTASE *FERRITE* 61,75% DAN *PEARLITE* 38,25%)

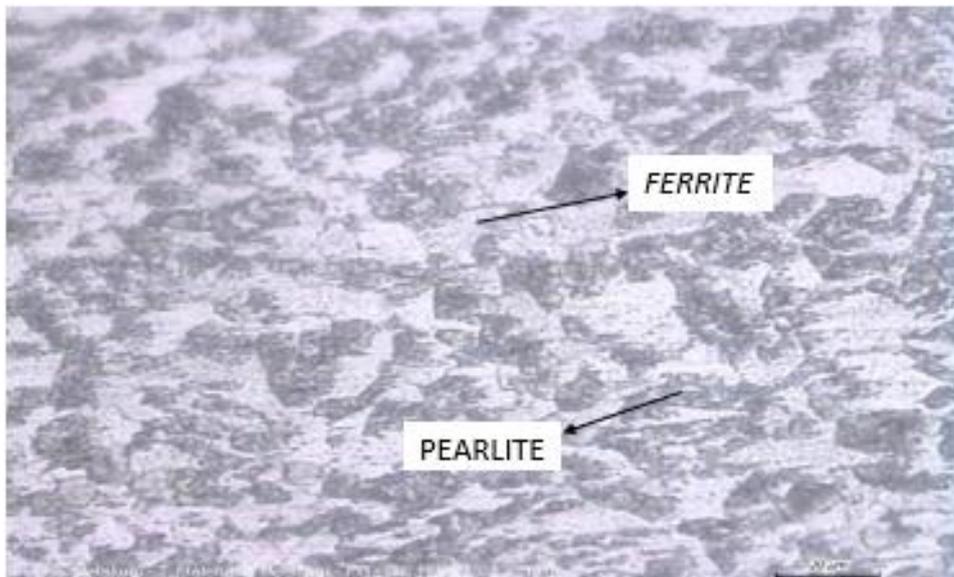
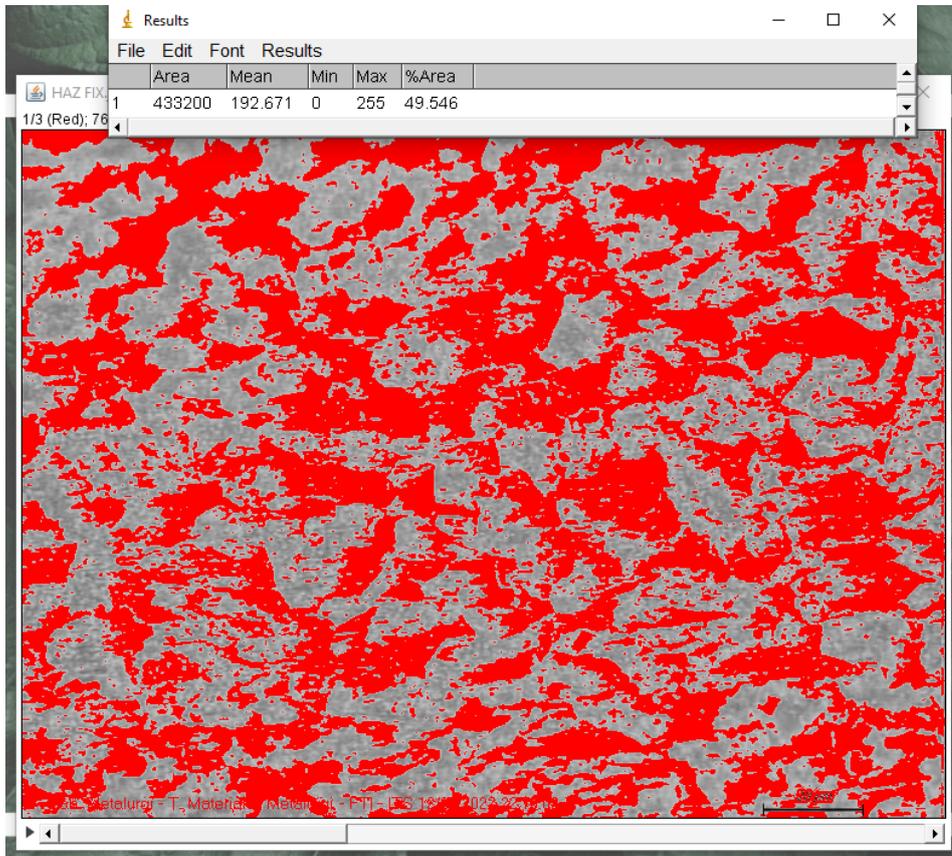


5. 190A/27,5V

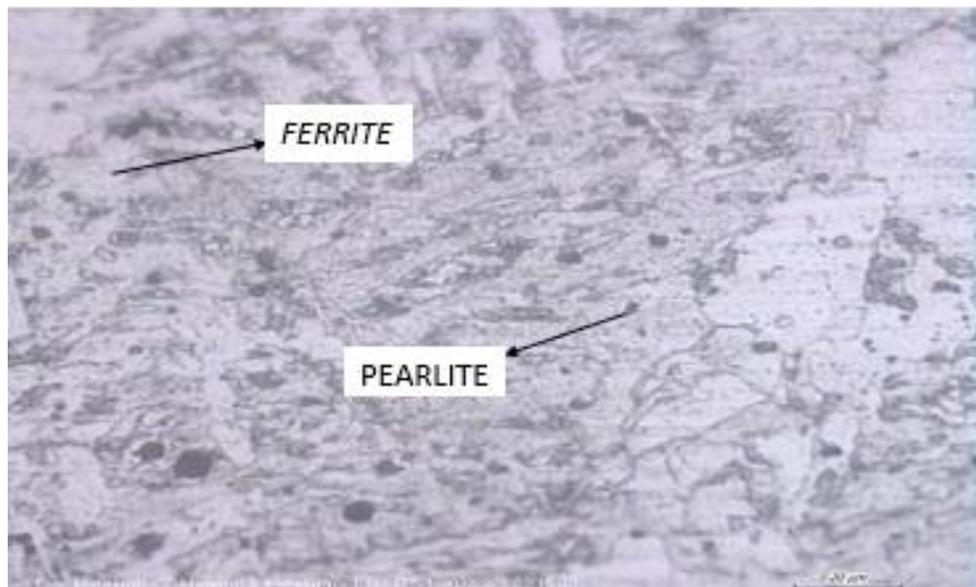
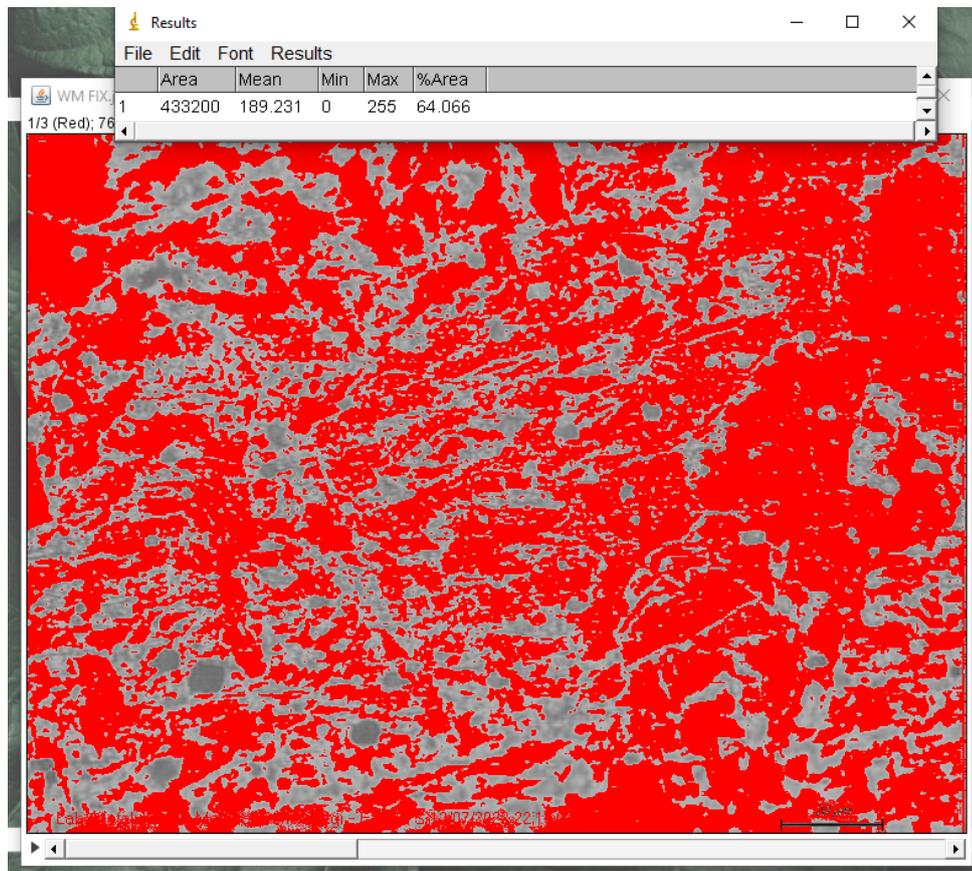
(*BASE METAL* 190A 27,5V MENDAPATKAN PERSENTASE *FERRITE* 53,83% DAN *PEARLITE* 46,17%)



(HAZ 190A 27,5V MENDAPATKAN PERSENTASE *FERRITE* 49,55% DAN *PEARLITE* 50,45%)

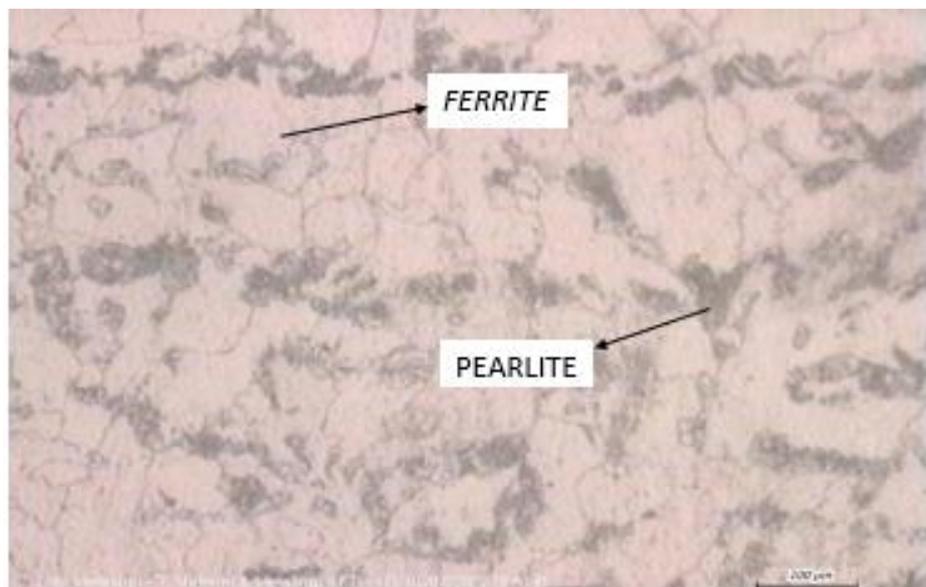
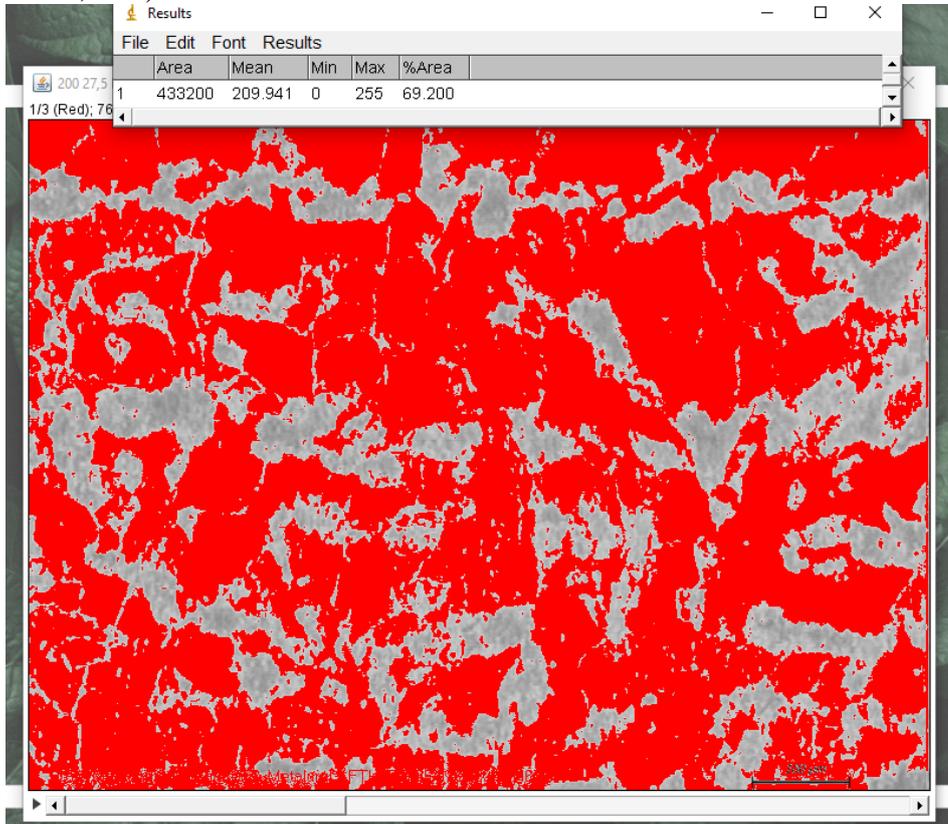


(*WELD METAL* 190A 27,5V MENDAPATKAN HASIL PERSENTASE *FERRITE* 64,07%
DAN *PEARLITE* 35,93%)

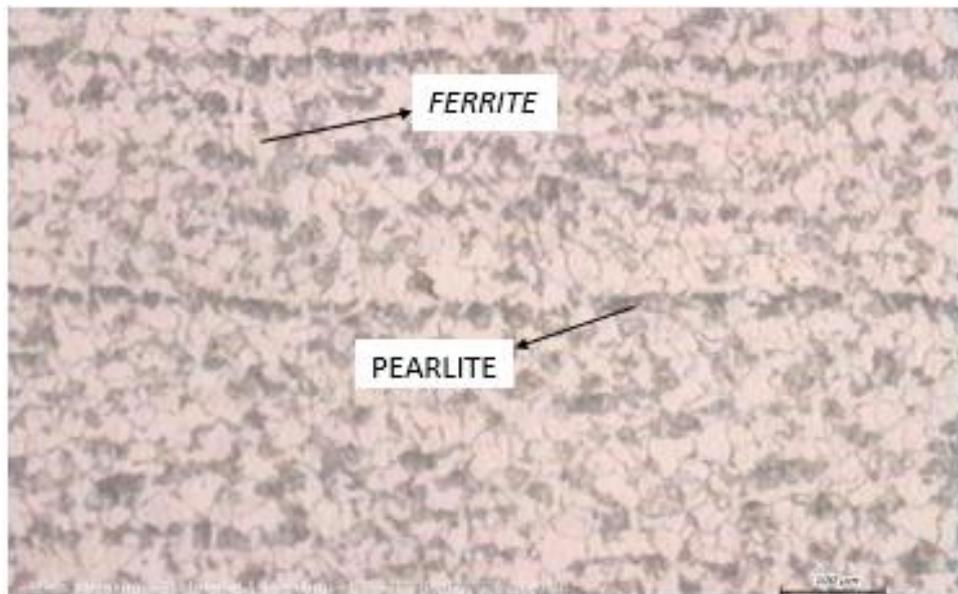
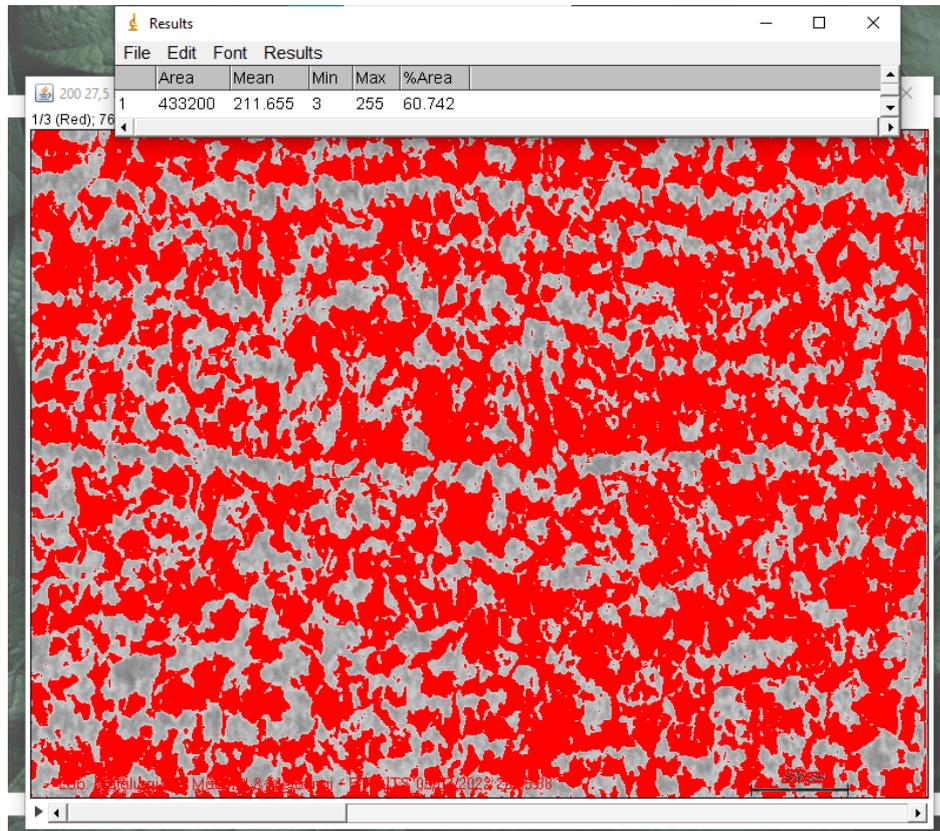


6. 200A/27,5V

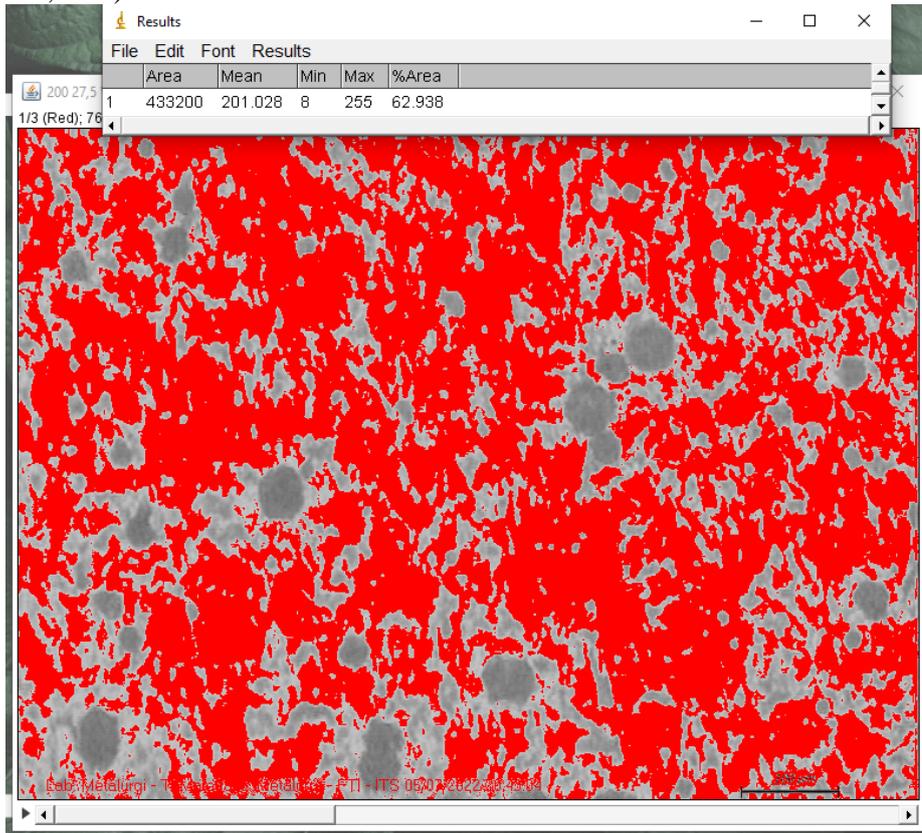
(**BASE METAL** 200A 27,5V MENDAPATKAN PERSENTASE *FERRITE* 69,20% DAN *PEARLITE* 30,80%)



(HAZ 200A 27,5V MENDAPATKAN PERSENTASE *FERRITE* 60,74% DAN *PEARLITE* 39,26%)

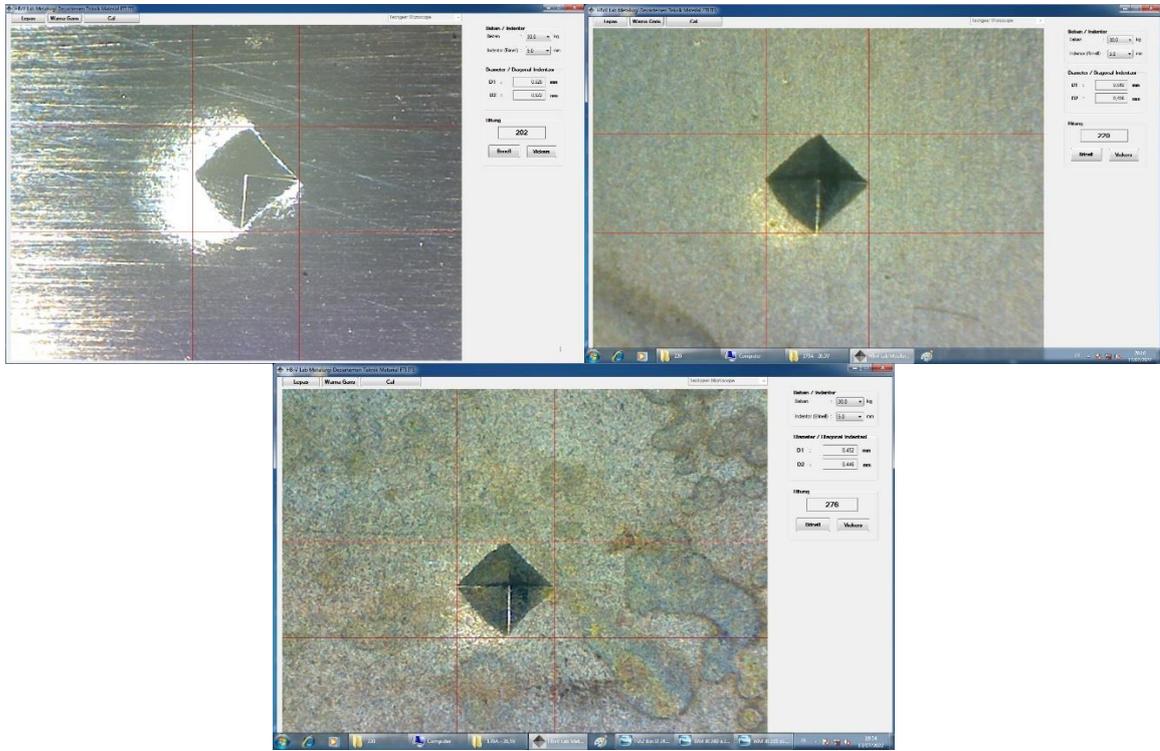


(WELD METAL 200A 27,5V MENDAPATKAN PERSENTASE *FERRITE* 62,94% DAN *PEARLITE* 37,06%)

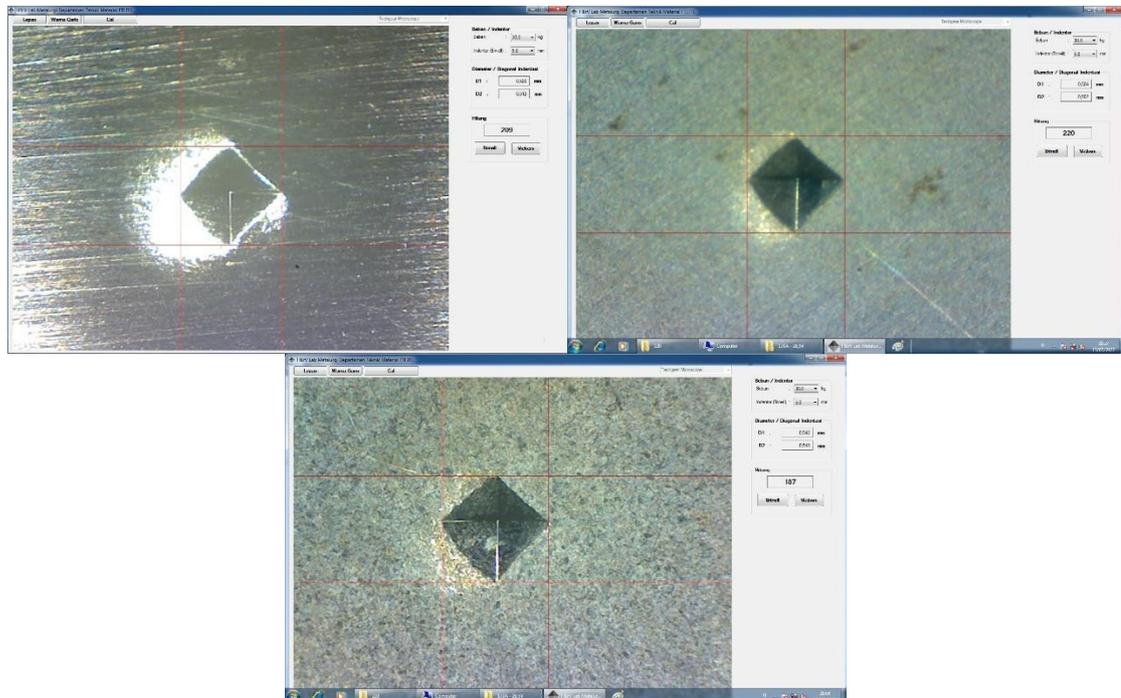


Lampiran 3 : Hasil Uji Kekerasan *Vickers*

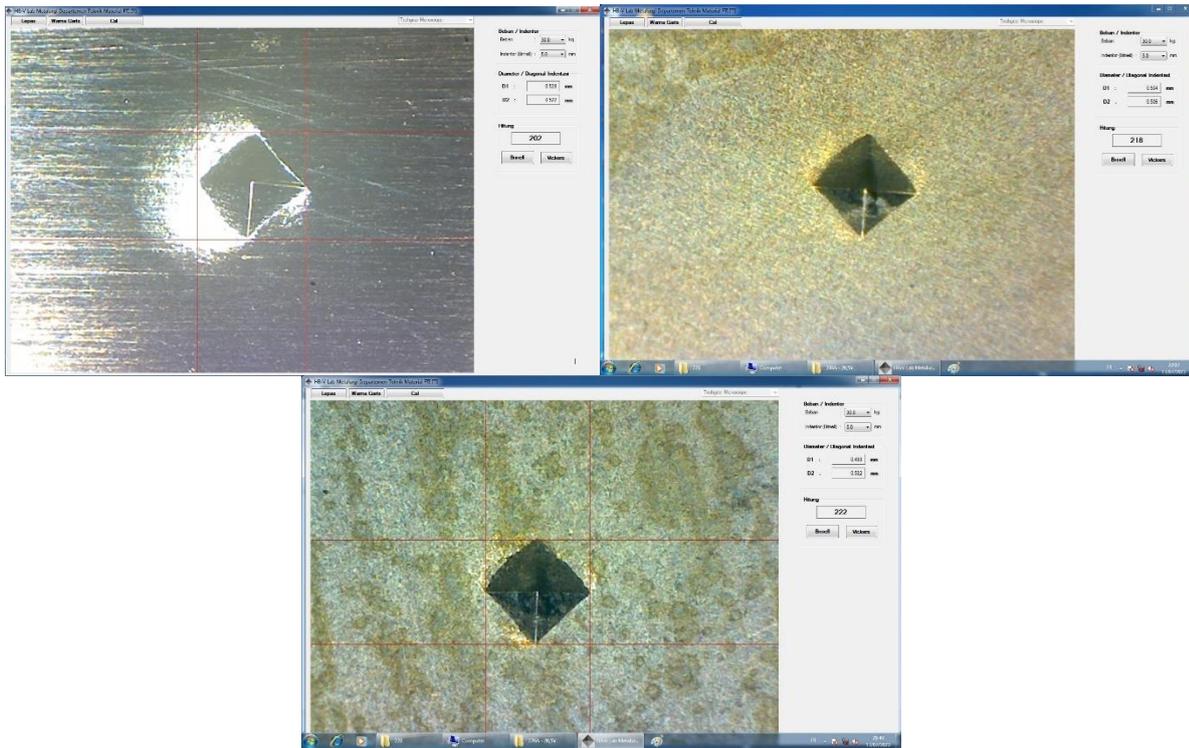
170A/26,5V(BASE METAL, HAZ, WELD METAL)



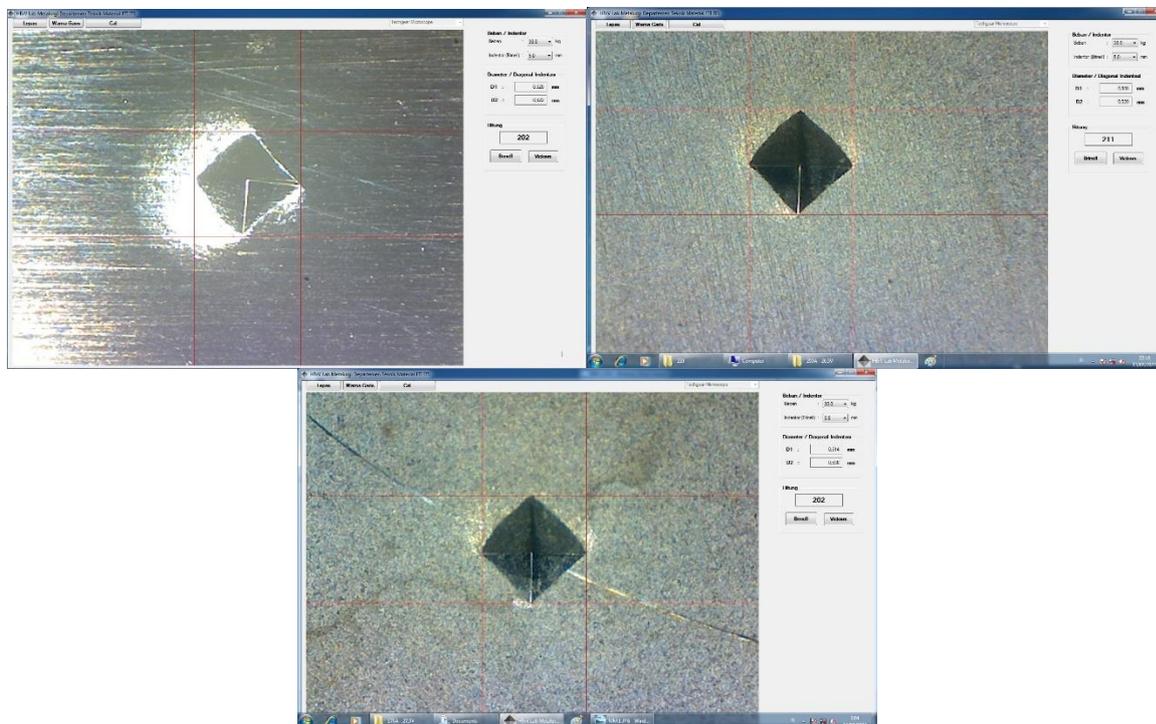
190A/26,5V(BASE METAL, HAZ, WELD METAL)



200A/26,5V(BASE METAL, HAZ, WELD METAL)

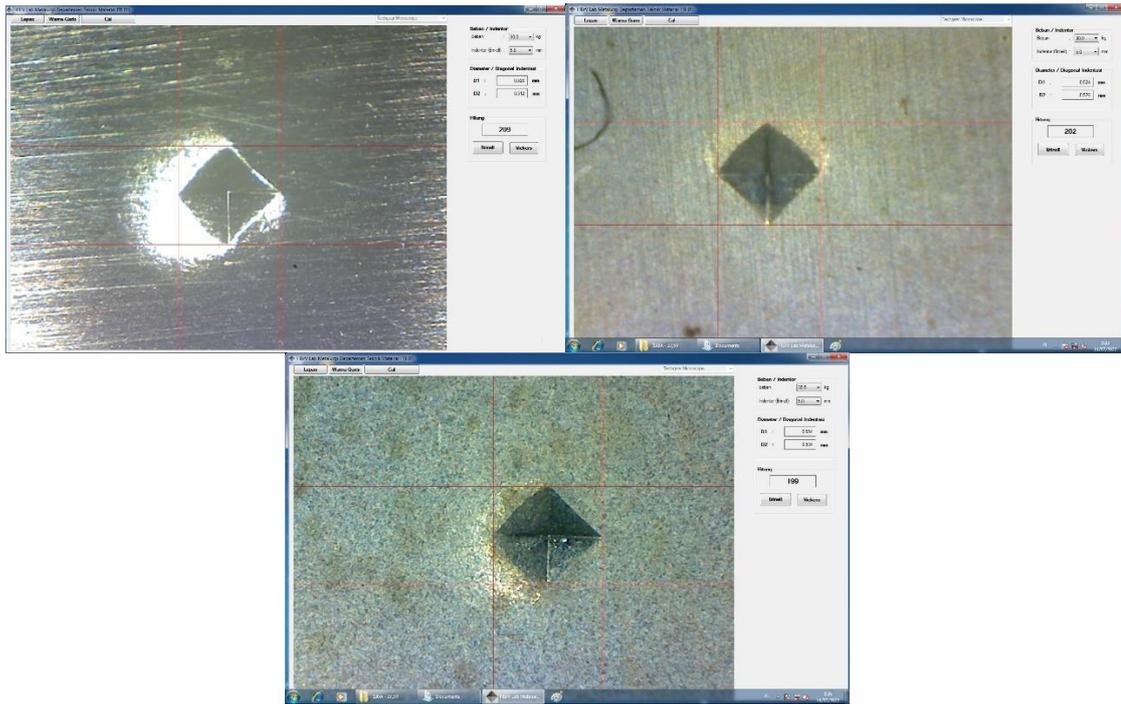


170A/27,5V(BASE METAL, HAZ, WELD METAL)

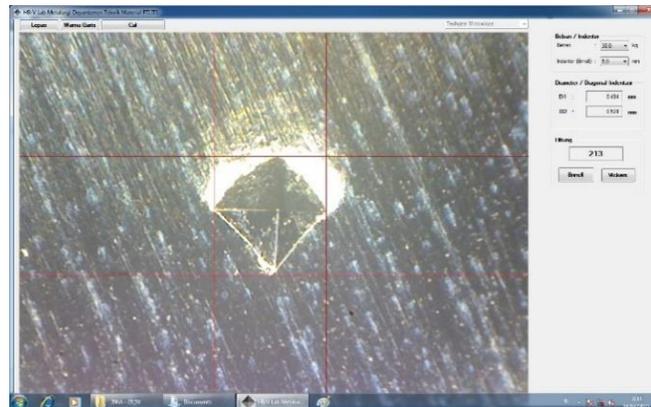
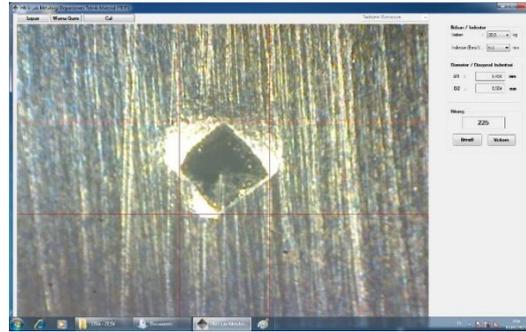
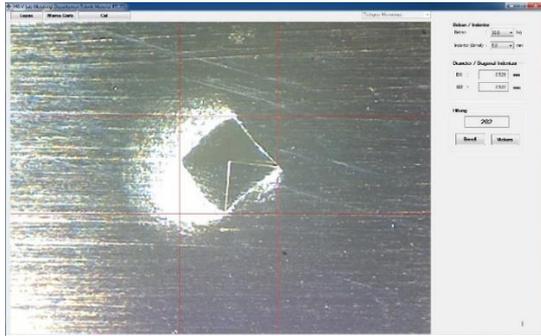


190A/27,5V(BASE METAL, HAZ, WELD METAL)

LAPORAN TUGAS AKHIR
DEPARTEMEN TEKNIK MATERIAL FI-ITS



200A/27,5V (BASE METAL, HAZ, WELD METAL)



UCAPAN TERIMA KASIH

Alhamdulillah, segala puji hanya milik Allah SWT. Berkat rahmat dan berkah-Nya penulis dapat menyelesaikan laporan tugas akhir ini. Penelitian ini dapat terselesaikan dengan baik dan lancar semata-mata tidak hanya usaha penulis sendiri, melainkan bantuan tulus dan ikhlas dari berbagai pihak. Oleh karena itu, pada kesempatan ini penulis ingin mengucapkan terima kasih kepada :

1. Kedua orang tua, Bunda, terima kasih untuk menjaga, menyayangi, mendidik dan membimbing serta selalu mendoakan penulis, Ayah terima kasih untuk *support* , kerja keras dan pengorbanan serta doa tiada henti. Gelar Sarjana Teknik ini penulis persembahkan untuk kalian.
2. Seluruh dosen dan karyawan Departemen Teknik Material dan Metalurgi FT-IRS ITS, terutama Bapak Ir. Rochman Rochiem, M.Sc. dan Bapak Budi Agung Kurniawan, S.T., M.Sc. yang telah banyak membantu penulis dalam penelitian Tugas Akhir ini.
3. Mas Diki Hadi, Mas Mahendra, Mas Dennis dan seluruh teman – teman divisi *welding* PT. INKA(Persero) terimakasih telah memfasilitasi dan membagikan ilmu nya selama perjalanan Tugas Akhir penulis.
4. Didik Rachmat Riyadi terimakasih telah membantu formatting dalam laporan ini.
5. Izzuddin Habiburrahman sebagai *partner* , sahabat, yang tidak henti-hentinya memberikan *support* baik kehidupan dan pengerjaan penelitian Tugas Akhir ini.
6. Anggota Laboratorium Metallurgy khususnya “TEKLOSSS” yang selalu bisa diajak diskusi
7. Teman-teman MT20 yang selalu ada dan menemani selama penulis menempuh lika-liku kehidupan perkuliahan di ITS, termasuk saat penulis mengerjakan Tugas Akhir ini.
8. Inisial N, *support system* yang selalu memberikan motivasi agar Tugas Akhir dapat selesai tepat waktu.

Surabaya, 19 Juli 2022
Penulis



Hanif Shabri Baktidillah

(Halaman Ini Sengaja Di Kosongkan)

BIODATA PENULIS



Penulis bernama lengkap Hanif Shabri Baktidillah. Lahir di Surabaya pada tanggal 23 Februari 2000. Penulis merupakan anak kedua dari dua bersaudara. Bertempat tinggal dan tumbuh besar di Surabaya, Jawa Timur. Penulis telah menempuh pendidikan formal yaitu SDN Kalirungkut IV/580 2006-2012, SMP Negeri 17 Surabaya tahun 2012-2015, SMA NEGERI 17 Surabaya tahun 2015-2018. Pada tahun 2018, penulis melanjutkan studi di Departemen Teknik Material dan Metalurgi, Fakultas Teknologi Industri dan Rekayasa Sistem, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya. Selama menempuh masa perkuliahan, penulis aktif di berbagai kegiatan non-akademik atau organisasi, seperti menjadi KOMTING(komandan Tingkat) MT20 Angkatan 2018, Ketua KPU ITS 2020, dan Koordinator Controlling Senat Mahasiswa Teknik Material dan Metalurgi 2021. Penulis mempunyai pengalaman Kerja Praktik pada bidang Ekstraksi bagian Refinery di PT. SMELTING Gresik dan mempunyai pengalaman Magang pada bidang manufaktur di PT. INKA, Kota Madiun. Untuk menyelesaikan Pendidikan S1, penulis mengambil topik tugas akhir pada bidang Manufaktur yang terfokus pada *Welding*. Penulis dapat dihubungi melalui email Haniffshabri@gmail.com serta pada nomor telepon +6281293194145.