

TUGAS AKHIR – TL184834

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

TOGA JASON TIMOTIUS
NRP. 02511840000139

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 TEGANGAN TERHADAP STRUKTUR MIKRO DAN SIFAT MEKANIK HASIL PENGELASAN *BUTT JOINT* PADA BAJA S355J2 DAN S355JR MENGGUNAKAN METODE LAS GMAW

**TOGA JASON TIMOTIUS
NRP. 02511840000139**

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 THE EFFECT OF VARIATION OF VOLTAGE ON
MICRO STRUCTURE AND MECHANICAL PROPERTIES OF
BUTT JOINT WELDING ON S355J2 AND S355JR STEEL
USING GMAW WELDING METHOD**

TOGA JASON TIMOTIUS
NRP. 02511840000139

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 TEGANGAN TERHADAP STRUKTUR MIKRO DAN SIFAT MEKANIK HASIL PENGELOMAN BUTT JOINT PADA BAJA S355J2 DAN S355JR MENGGUNAKAN METODE LAS GMAW

TUGAS AKHIR

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

Oleh : **TOGA JASON TIMOTIUS**
NRP. 0251184000139

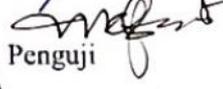
Disetujui oleh Tim Penguji Tugas Akhir :

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




Pembimbing


Ko-Pembimbing


Penguji


Penguji

SURABAYA
Juli, 2022

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

APPROVAL SHEET

ANALYSIS THE EFFECT OF VARIATION OF VOLTAGE ON MICRO STRUCTURE AND MECHANICAL PROPERTIES OF BUTT JOINT WELDING ON S355J2 AND S355JR STEEL USING GMAW WELDING METHOD

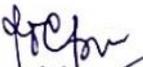
FINAL PROJECT

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

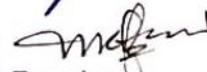
By : **TOGA JASON TIMOTIUS**
NRP. 02511840000139

Approved by Final Project Examiner Team :

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


Advisor


Co-Advisor


Examiner


Examiner



SURABAYA
July, 2022

(This page is intentionally blank)

PERNYATAAN ORISINALITAS

Yang bertanda tangan di bawah ini:

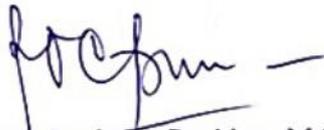
Nama mahasiswa/NRP : Toga Jason Timotius / 02511840000139
Departemen : Teknik Material dan Metalurgi FTIRS
Dosen Pembimbing/NIP : Ir. Rochman Rochiem, M.Sc. / NIP. 195809101986031002

Dengan ini menyatakan bahwa Tugas Akhir dengan judul "ANALISIS PENGARUH VARIASI TEGANGAN TERHADAP STRUKTUR MIKRO DAN SIFAT MEKANIK HASIL PENGELASAN *BUTT JOINT* PADA BAJA S355J2 DAN S355JR MENGGUNAKAN METODE LAS GMAW" adalah hasil karya sendiri, bersifat orisinal, dan ditulis dengan mengikuti kaidah penulisan ilmiah.

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

Surabaya, 22 Juli 2022

Mengetahui
Dosen Pembimbing



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

Mahasiswa



(Toga Jason Timotius)
NRP. 02511840000139

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

STATEMENT OF ORIGINALITY

The undersigned below:

Name of student/NRP : Toga Jason Timotius / 02511840000139
Departement : Material and Metallurgical Engineering FTIRS
Advisor/NIP : Ir. Rochman Rochiem, M.Sc. / NIP. 195809101986031002

Hereby declare that the Final Project with the title of "ANALYSIS THE EFFECT OF VARIATION OF VOLTAGE ON MICRO STRUCTURE AND MECHANICAL PROPERTIES OF BUTT JOINT WELDING ON S355J2 AND S355JR STEEL USING GMAW WELDING METHOD" is the result of my own work, is original, and is written by following the rules of scientific writing.

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

Surabaya, 22 July 2022

Acknowledged
Advisor



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

Student



(Toga Jason Timotius)
NRP.02511840000139

(This page is intentionally blank)

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

Nama Mahasiswa / NRP : Toga Jason Timotius / 02511840000139
Departemen : Teknik Material dan Metalurgi FTIRS
Dosen Pembimbing : Ir. Rochman Rochiem, M.Sc.

Abstrak

Mode transportasi yang memadai merupakan hal yang sangat penting untuk pengembangan suatu wilayah. Salah satu mode transportasi yang dapat menunjang peningkatan produktivitas suatu wilayah adalah kereta api. Untuk memenuhi permintaan kereta api yang terus meningkat, diperlukan inovasi dan penelitian dalam produksi setiap komponen kereta api agar dapat menghasilkan produk yang berkualitas. Oleh karena itu, perlu ditekankan pentingnya peningkatan optimalisasi produksi kereta api, khususnya dalam proses pengelasan perakitan kereta api. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk menganalisis pengaruh variasi tegangan terhadap struktur mikro dan sifat mekanik pengelasan Gas Metal Arc Welding pada baja S355 J2 dan S355JR. Metode Gas Metal Arc Welding digunakan untuk mengelas baja S355J2 dan S355JR dengan filler ER70S-6 pada sudut kampuh V 60° dan travel speed sebesar 27-32 cm/min. Variasi tegangan penelitian ini adalah 28 V, 30 V, dan 32 V dengan arus 240 A, dan penelitian ini dilengkapi dengan pengujian NDT ultrasonik, uji tarik, kekerasan, dan metalografi. Hasil dari pengujian NDT Ultrasonik menandakan seluruh material uji dari tiap tipe dan variasi dinyatakan diterima dan dapat melanjutkan pengujian. Pada hasil pengujian metalografi, baja S355JR dan S355J2 menunjukkan fasa yang dominan menyusun daerah pengelasan adalah fasa *ferrite* dan *pearlite*. Fase *ferrite* cukup dominan untuk menyusun daerah *weld metal* dan *base metal* dari baja tersebut. Sedangkan pada daerah HAZ fasa *pearlite* yang terdeteksi mengalami peningkatan dibanding dengan *base metal*. Selanjutnya pada hasil pengujian kekerasan diperoleh nilai kekerasan vickers yang paling tinggi ada pada daerah HAZ dibanding *weld metal* dan *base metal* pada perbandingan tiap daerah di kedua baja tersebut. Nilai kekerasan pada kedua daerah tersebut mengalami tren peningkatan dan penurunan seiringnya kenaikan tegangan. Nilai kekerasan tertinggi HAZ diperoleh dengan menggunakan variasi 30 V pada baja S355J2 sebesar 239,33 VHN dan kekerasan tertinggi *weld metal* diperoleh dengan menggunakan variasi 30 V 243,33 VHN. Pada hasil pengujian tarik, Nilai *Ultimate Tensile Strength* terbesar diperoleh material S355JR dengan variasi tegangan 30 V dengan nilai sebesar 528,89, pada *Yield Strength* diperoleh nilai tertinggi pada S355J2 dengan variasi 30 V dengan nilai sebesar 389,75 MPa untuk *Elongation* tertinggi diperoleh S355J2 dengan variasi voltase 28 V dengan nilai 35,68%. Material dan variasi paling optimal untuk digunakan adalah baja S355J2 dengan variasi 30 V.

Kata Kunci: *Baja S355J2, Baja S355JR, Gas Metal Arc Welding, Tegangan*

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

ANALYSIS THE EFFECT OF VARIATION OF VOLTAGE ON MICRO STRUCTURE AND MECHANICAL PROPERTIES OF BUTT JOINT WELDING ON S355J2 AND S355JR STEEL USING GMAW WELDING METHOD

Student Name / NRP : Toga Jason Timotius / 02511840000139
Departement : Material and Metallurgical Engineering FTIRS
Advisor : : Ir. Rochman Rochiem, M.Sc.

Abstract

An adequate mode of transportation is very important for the development of a region. One of the modes of transportation that can support an increase in the productivity of a region is the train. To meet the increasing demand for trains, innovation and research are needed in the production of each train component in order to produce quality products. Therefore, it is necessary to emphasize the importance of increasing the optimization of train production, especially in the welding process of train assembly. The purpose of this study was to analyze the effect of voltage variations on the microstructure and mechanical properties of Gas Metal Arc Welding on S355J2 and S355JR steels. The Gas Metal Arc Welding method is used to weld S355J2 and S355JR steel with filler ER70S-6 at an angle of $V 60^\circ$ and a travel speed of 27-32 cm/min. The voltage variations in this study were 28 V, 30 V, and 32 V with a current of 240 A, and this research was equipped with ultrasonic NDT testing, tensile testing, hardness, and metallography. The results of the Ultrasonic NDT test indicate that all test materials of each type and variation are accepted and can continue testing. In the metallographic test results, S355JR and S355J2 steels show that the dominant phases that make up the welding area are ferrite and pearlite phases. The ferrite phase is dominant enough to form the weld metal and base metal regions of the steel. Meanwhile, in the HAZ region, the detected pearlite phase increased compared to the base metal. Furthermore, on the results of hardness testing, the highest Vickers hardness value is found in the HAZ area compared to weld metal and base metal in the comparison of each area in the two steels. The hardness values in both areas experienced an increasing and decreasing trend with the increase in voltage. The highest hardness value of HAZ was obtained using a variation of 30 V on S355J2 steel of 239.33 VHN and the highest hardness of weld metal was obtained using a variation of 30 V 243.33 VHN. In the tensile test results, the largest Ultimate Tensile Strength value is obtained by S355JR material with a voltage variation of 30 V with a value of 528.89, in Yield Strength the highest value is obtained at S355J2 with a variation of 30 V with a value of 389.75 MPa for the highest Elongation obtained S355J2 with a voltage variation of 28 V with a value of 35.68%. The most optimal material and variation to use is S355J2 steel with a variation of 30 V.

Keywords: *Gas Metal Arc Welding, S355J2 Steel, S355JR Steel, Voltage*

(This page is intentionally blank)

KATA PENGANTAR

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

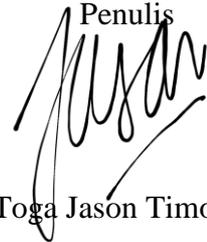
Tanpa bantuan serta dukungan dari berbagai pihak, penulis menyadari bahwa tugas akhir ini tidak dapat terselesaikan dengan baik. Oleh sebab itu, penulis mengucapkan terima kasih kepada berbagai pihak yang telah memberikan dukungan dalam penyusunan tugas akhir ini, diantaranya:

1. Bapak Ir. Rochman Rochiem, M.Sc. dan Bapak Budi Agung Kurniawan, S.T, M.Sc, selaku dosen pembimbing Tugas Akhir penulis yang selalu memberikan bimbingan selama masa pengerjaan hingga selesai
2. Bapak Sigit Tri Wicaksono, S.Si., M.Si., P.hD., selaku Kepala Departemen Teknik Material dan Metalurgi, FTIRS-ITS.
3. Dr. Widyastuti, S.Si.,M.Si. selaku dosen wali penulis selama menempuh perkuliahan di Departemen Teknik Material dan Metalurgi FT-IRS ITS Surabaya
4. Bapak dan Ibu dosen Departemen Teknik Material dan Metalurgi, FTIRS-ITS yang telah memberikan ilmu selama masa perkuliahan di Departemen Teknik Material dan Metalurgi, FTIRS-ITS.

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

Surabaya, 27 Juli 2022

Penulis



Toga Jason Timotius

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
TITLE PAGE	iii
ABSTRAK	xiii
ABSTRACT	xv
DAFTAR ISI	xix
DAFTAR GAMBAR	xxi
DAFTAR TABEL	xxiii
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Perumusan Masalah	2
1.3 Batasan Masalah	2
1.4 Tujuan Penelitian	2
1.5 Manfaat Penelitian	2
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	3
2.1 Pengelasan.....	3
2.1.1 Jenis Pengelasan.....	3
2.1.2 Pengelasan Baja Karbon	3
2.2 Baja S355J2	4
2.3 Baja S355JR.....	5
2.4 Pengaruh Silikon pada Baja	5
2.5 Pengaruh Mangan pada Baja	5
2.6 <i>Gas Metal Arc Welding</i>	6
2.6.1 Sistem Transfer Logam GMAW.....	6
2.6.2 Kekurangan Las GMAW dan Solusinya.....	7
2.7 Siklus Termal Daerah Lasan	8
2.8 Diagram Fe-Fe ₃ C	8
2.9 Parameter Pengelasan	9
2.9.1 Arus.....	10
2.9.2 Tegangan.....	10
2.9.3 Shielding Gas	10
2.10 Kawat Elektroda ER70S-6.....	10
2.11 Cacat Las.....	11
2.12 Sifat Mekanik.....	15
2.13 Pengujian.....	16
2.13.1 Pengujian Metalografi	16
2.13.2 Pengujian Tarik Transversal	17
2.13.3 Pengujian Kekerasan Vickers	17
2.13.4 Pengujian Ultrasonik	18
2.14 Penelitian Sebelumnya.....	18
BAB III METODOLOGI PENELITIAN	21
3.1 Diagram alir.....	21
3.2 Metode Penelitian	22
3.3 Alat dan Bahan	22
3.3.1 Alat Penelitian	22
3.3.2 Bahan Penelitian	24
3.4 Parameter Pengelasan	25
3.5 Prosedur Penelitian	25

3.5.1	Prosedur Pengelasan	26
3.5.2	Prosedur Pemotongan Spesimen Uji.....	26
3.6	Proses Pengujian	27
3.6.1	Pengujian Ultrasonik.....	27
3.6.2	Pengujian Kekerasan Vickers	27
3.6.3	Pengujian Metalografi.....	28
3.6.4	Pengujian Tarik Transversal	28
3.7	Rancangan Lokasi Pengujian	28
3.8	Rancangan Penelitian.....	29
BAB IV	Analisa data dan pembahasan	30
4.1	Hasil Pengujian NDT Ultrasonik	31
4.2	Pengaruh Variasi Voltase Terhadap Nilai Kekerasan.....	33
4.2.1	Hasil Pengujian Kekerasan	33
4.2.2	Pembahasan Hasil Uji Kekerasan	36
4.3	Pengaruh Variasi Voltase Terhadap Kekuatan Tarik.....	37
4.3.1	Hasil Pengujian Tarik Baja Material S355J2.....	37
4.3.2	Hasil Pengujian Tarik Baja Material S355JR	40
4.3.3	Pembahasan Hasil Pengujian Tarik.....	43
4.4	Pengaruh Variasi Voltase Terhadap Hasil Pengujian Metalografi	44
4.4.1	Hasil Pengujian Metalografi S355J2.....	44
4.4.2	Hasil Pengujian Metalografi S355JR.....	47
4.4.3	Pembahasan Pengaruh Tegangan terhadap Hasil Uji Metalografi.....	49
4.5	Analisa Hubungan Pengaruh Tegangan Terhadap Pengujian Metalografi, Pengujian Kekerasan, dan Pengujian Tarik	50
BAB V	Kesimpulan dan Saran	52
5.1	Kesimpulan	53
5.2	Saran.....	53
	DAFTAR PUSTAKA.....	55
	Lampiran	58

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Skema Proses GMAW	6
Gambar 2.2	Siklus termal dalam las busur tangan	8
Gambar 2.3	Temperatur dan fasa yang terjadi pada daerah pengelasan	9
Gambar 2.4	Profil transversal GMAW multipass menunjukkan perbedaan sifat metalurgi yang terbentuk	12
Gambar 2.5	Retakan berbeda yang mungkin ditemukan pada lasan.....	12
Gambar 2.6	Skema cacat las <i>Undercut</i>	13
Gambar 2.7	Skema Pororitas	13
Gambar 2.8	Skema <i>Slag Inclusion</i>	13
Gambar 2.9	Skema <i>Incomplete Penetration</i>	14
Gambar 2.10	Skema cacat las <i>Over Spatter</i>	14
Gambar 2.11	Skema <i>Cold Cracking</i>	15
Gambar 2.12	Skema <i>Hot Cracking</i>	15
Gambar 2.13	Mesin pengujian tarik.....	17
Gambar 2.14	Skema Uji Ultrasonik.....	18
Gambar 3.1	Diagram alir penelitian	21
Gambar 3.2	Mesin las GMAW.....	22
Gambar 3.3	Alat uji tarik.....	22
Gambar 3.4	Alat Uji Kekerasan	23
Gambar 3.5	Alat Uji Ultrasonik	23
Gambar 3.6	Mikroskop Optik	23
Gambar 3.7	Plat Baja S355J2 dan S355JR.....	24
Gambar 3.8	Gambar <i>Test Piece</i> Pengelasan.....	24
Gambar 3.9	Kawat Elektroda ER 70S-6.....	25
Gambar 3.10	Rancangan Pemotongan Spesimen Uji	27
Gambar 3.11	Skema Pengujian Kekerasan	27
Gambar 4. 1	Material S355J2 28 V setelah dilakukan pengujian NDT <i>ultrasonic</i>	31
Gambar 4. 2	Material S355J2 28 V setelah dilakukan pengujian NDT <i>ultrasonic</i>	31
Gambar 4. 3	Material S355J2 32 V setelah dilakukan pengujian NDT <i>ultrasonic</i>	32
Gambar 4. 4	Material S355JR 28 V setelah dilakukan pengujian NDT <i>ultrasonic</i>	32
Gambar 4. 5	Material S355JR 30 V setelah dilakukan pengujian NDT <i>ultrasonic</i>	32
Gambar 4. 6	Material S355JR 32 V setelah dilakukan pengujian NDT <i>ultrasonic</i>	33
Gambar 4.7	Grafik Perbandingan Hasil Pengujian Kekerasan Pada Spesimen Uji S355J2 28 V dan S355JR 28 V.....	35
Gambar 4.8	Grafik Perbandingan Hasil Pengujian Kekerasan Pada Spesimen Uji S355J2 30 V dan S355JR 30 V	35
Gambar 4.9	Grafik Perbandingan Hasil Pengujian Kekerasan Pada Spesimen Uji S355J2 32 V dan S355JR 32 V	35
Gambar 4. 10	Grafik Perbandingan Hasil Pengujian Rata-rata Kekerasan Pada Spesimen Uji S355J2 pada daerah lasan <i>Weld Metal (WM)</i> , <i>Heat Affected Zone (HAZ)</i> , dan <i>Base Metal (BM)</i>	36
Gambar 4. 11	Grafik Perbandingan Hasil Pengujian Rata-rata Kekerasan Pada Spesimen Uji S355J2 pada daerah lasan <i>Weld Metal (WM)</i> , <i>Heat Affected Zone (HAZ)</i> , dan <i>Base Metal (BM)</i>	36
Gambar 4. 12	Grafik Perbandingan rata-rata <i>Ultimate Tensile Strength</i> dari material S355J2	38
Gambar 4. 13	Grafik Perbandingan rata-rata <i>Yield Strength</i> dari material S355J2.....	39

Gambar 4. 14	Grafik Perbandingan rata-rata <i>Elongation</i> dari material S355J2.....	40
Gambar 4. 15	Grafik Perbandingan rata-rata <i>Ultimate Tensile Strength</i> dari material S355JR	42
Gambar 4. 16	Grafik Perbandingan rata-rata <i>Yield Strength</i> dari material S355JR	42
Gambar 4. 17	Grafik Perbandingan rata-rata <i>Elongation</i> dari material S355JR.....	43
Gambar 4. 18	Metalografi pada spesimen S355J2 28 V dengan perbesaran 500x	45
Gambar 4. 19	Metalografi pada spesimen S355J2 30 V dengan perbesaran 500x.....	45
Gambar 4. 20	Metalografi pada spesimen S355J2 32 V dengan perbesaran 500x.....	46
Gambar 4. 21	Metalografi pada spesimen S355JR 28 V dengan perbesaran 500x	47
Gambar 4. 22	Metalografi pada spesimen S355JR 30 V dengan perbesaran 500x	48
Gambar 4. 23	Metalografi pada spesimen S355JR 32 V dengan perbesaran 500x	49

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1	Komposisi kimia baja S355J2	4
Tabel 2.2	Sifat mekanik baja S355J2.....	4
Tabel 2.3	Komposisi kimia baja S355JR.....	5
Tabel 2.4	Sifat mekanik baja S355JR.....	5
Tabel 2.5	Komposisi kimia kawat elektroda ER 70S-6.....	11
Tabel 3.1	Parameter Pengelasan	25
Tabel 3.2	Rancangan Lokasi Pengujian.....	28
Tabel 3.3	Rancangan Penelitian.....	29
Tabel 4.1	Hasil Nilai Pengujian Kekerasan Spesimen Uji S355JR 30.....	33
Tabel 4.2	Hasil Nilai Pengujian Kekerasan Spesimen Uji S355JR 32V	33
Tabel 4.3	Hasil Nilai Pengujian Kekerasan Spesimen Uji S355JR 32V	34
Tabel 4.4	Hasil Nilai Pengujian Kekerasan Spesimen Uji S355J2 28V.....	34
Tabel 4.5	Hasil Nilai Pengujian Kekerasan Sample S355JR 32V.....	34
Tabel 4.6	Hasil Nilai Pengujian Kekerasan Spesimen S355JR 32V	34
Tabel 4.7	Hasil Pengujian Tarik Spesimen S355J2	37
Tabel 4.8	Perbandingan rata-rata UTS menggunakan material S355J2	38
Tabel 4.9	Perbandingan rata-rata <i>Yield Strength</i> menggunakan material S355J2.....	39
Tabel 4.10	Perbandingan rata-rata <i>Elongation</i> menggunakan material S355J2.....	40
Tabel 4.11	Hasil Pengujian Tarik Spesimen S355JR	41
Tabel 4.12	Perbandingan rata-rata UTS menggunakan material S355JR.....	41
Tabel 4.13	Perbandingan rata-rata <i>Yield Strength</i> menggunakan material S355JR	42
Tabel 4.14	Perbandingan rata-rata <i>Elongation</i> menggunakan material S355JR	42
Tabel 4.15	Persentase Fasa Uji Metalografi	49

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Perkembangan kereta api di Indonesia memiliki sejarah yang penting untuk kehidupan masyarakat Indonesia, dari mulainya saat zaman penjajahan Belanda pada tahun 1840 hingga saat ini. Transportasi perkeretaapian mempunyai banyak keunggulan dibanding moda transportasi lainnya, antara lain: kapasitas angkut besar, cepat, aman, hemat energi dan ramah lingkungan serta membutuhkan lahan yang relatif sedikit. Semakin kuatnya isu lingkungan, maka keunggulan kereta api dapat dijadikan sebagai salah satu alasan yang kuat untuk membangun transportasi perkeretaapian sehingga terwujud transportasi yang efektif, efisien dan ramah lingkungan. Untuk memproduksi kereta api serta menyempurnakan pengembangan kereta api dari segi teknologi, bahan material dan kenyamanan pastinya ada industri manufaktur yang bertanggung jawab. Pada tahap manufaktur kereta api, proses pengelesan adalah tahap penting untuk menyambungkan hasil las bodi-bodi kereta api atau kerap disebut proses *assembling*.

Secara umum, pengelasan adalah teknik menggabungkan dua atau lebih material berdasarkan proses difusi, yang menyatukan komponen-komponen material yang disambungkan. Sambungan las memiliki keunggulan ringan, mampu menahan kekuatan tinggi, mudah digunakan, dan sangat terjangkau. Kelemahan utama, bagaimanapun, adalah modifikasi struktur mikro material, yang mempengaruhi sifat fisik dan mekanik material. Saat ini, perkembangan ilmu pengetahuan di bidang elektronika melalui penelitian yang mengkaji sifat-sifat atom berdampak signifikan terhadap identifikasi material baru serta metode penyambungannya. Logam yang menyatu tersebut dikenal dengan istilah *fusion*. Las listrik merupakan salah satu yang menggunakan prinsip tersebut. Pada zaman sekarang pemanasan logam yang akan disambung berasal dari pembakaran gas atau arus listrik. Beberapa gas dapat digunakan, tetapi yang sangat populer adalah gas *Acetylene* yang lebih dikenal dengan gas karbit. Pengelasan menggunakan electric arc welding dibagi menjadi 2 kategori berdasarkan penggunaan jenis elektroda yaitu *Consumable Electrode* dan *Non Consumable Electrode*. Yang dimaksud dengan *Consumable Electrode* adalah keadaan saat elektroda habis terbakar dan berfungsi sebagai bahan pengisi pada logam las. Sedangkan *non Consumable Electrode* adalah proses pengelasan di mana elektroda tidak ikut terbakar. Bahan pengisi menggunakan bahan lain yang dicairkan bersamaan dengan proses pencairan logam induk. Macam-macam pengelasan kategori Consumable Electrode diantaranya adalah *Shielded Metal Arc Welding* (SMAW), *Gas Metal Arc Welding* (GMAW/MIG), *Submerged Arc Welding* (SAW) dan *Flux Core Arc Welding* (FCAW). Sementara itu, salah satu contoh pengelasan Non Consumable Electrode adalah *Gas Tungsten Arc Welding* (GTAW/TIG). Hasil pengelasan sangat berpengaruh pada sifat mekanik material serta hasil visualnya, pastinya ada juga kegagalan yang dapat mungkin terjadi pada proses pengelasan. Kegagalan atau cacat las yang sering terjadi adalah cacat las *undercut*, *porosity*, *slag inclusion*, *tungsten inclusion*, *incomplete penetration*, *incomplete fusion*, *over spatter*, *hot crack*, *cold cracking*, *distorsi*, dan *arc strike*. Diantara berbagai macam cacat las, pada manufaktur kereta api, cacat yang sering terjadi adalah cacat crack dan porositas. (Smith, 1992)

Beberapa jenis diskontinuitas dapat terjadi pada lasan atau zona yang terkena panas pada proses pengelasan kereta api. Cacat las pada otomotif yang sering terjadi adalah porositas, inklusi terak atau retak. Dari ketiganya, retakan adalah yang paling merugikan. Beberapa jenis diskontinuitas dapat terjadi pada lasan atau zona yang terkena panas. Sedangkan ada batas yang dapat diterima untuk inklusi terak dan porositas dalam lasan, retakan tidak pernah dapat diterima (Blodgett et al., 1997). Disisi lain porositas juga merupakan cacat las yang sering

ditemukan pada hasil pengelasan konstruksi dan otomotif khususnya kereta api. Porositas adalah suatu keadaan di mana gas atau rongga yang terjadi dalam logam sebagai akibat kontaminasi logam cair yang terjadi akibat proses pengelasan. Didalam proses pengelasan selama ini jarang sekali orang memperhatikan apa yang disebut dengan porositas, hal ini terjadi akibatnya kurangnya perhatian para welder terhadap Prosedur Pengelasan atau disebut juga dengan WPS, jika porositas ini tidak diperhatikan maka bisa terjadi hal-hal yang dapat mempercepat rusaknya konstruksi dari pengelasan (daerah sambungan las), rusak yang terjadi misalnya dari butir-butir (rongga udara) porositas didaerah lasan akibat dari beban dan getaran bisa mengakibatkan merambatnya butiran porositas tersebut menjadi garis panjang yang bisa menjadi sebuah retakan pada konstruksi las. (Reza Putra, 2018)

Berdasarkan uraian di atas, maka penelitian ini dilakukan untuk menganalisis pengelasan material baja yang digunakan untuk bodi kereta batu bara dengan melihat hasil struktur mikro dan sifat mekanik suatu material dari proses pengelasan dengan variasi voltase yang beragam yang dari hasil tersebut dapat dianalisis bagaimana pengoptimalan hasil las agar terhindar dari adanya cacat pada hasil pengelasan. Material yang akan digunakan adalah material S355J2 dan S355JR yang merupakan baja karbon rendah dan metode las yang akan digunakan adalah metode *Gas Metal Arc Welding* (GMAW).

1.2 Perumusan Masalah

Adapun rumusan masalah dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Bagaimana pengaruh variasi tegangan terhadap struktur mikro hasil pengelasan baja S355JR dan S355J2 menggunakan metode las GMAW?
2. Bagaimana pengaruh variasi tegangan terhadap sifat mekanik hasil pengelasan baja S355JR dan S355J2 dengan metode las GMAW?

1.3 Batasan Masalah

Agar didapatkan hasil yang optimal dan sesuai dengan yang diharapkan, maka batasan masalah dalam penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Material S355J2 dan S355JR adalah baja yang berbahan homogen dan bebas cacat.
2. Pengaruh lingkungan pada proses pengelasan diabaikan.
3. Peralatan las sudah terstandar dan operator las sudah tersertifikasi.
4. Perubahan parameter pengelasan (kecuali tegangan) saat proses pengelasan diabaikan.
5. Pengelasan dilakukan pada baja yang bertipe sama (bukan merupakan *dissimilar welding*)

1.4 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan dari penelitian ini yaitu:

1. Menganalisis pengaruh variasi tegangan terhadap struktur mikro hasil pengelasan material S355J2 dan S355JR dengan metode las GMAW.
2. Menganalisis pengaruh variasi tegangan terhadap sifat mekanik hasil pengelasan material S355J2 dan S355JR dengan metode las GMAW.

1.5 Manfaat Penelitian

Penelitian ini dapat menjadi referensi tambahan untuk pengaplikasian dan produksi pada industri dan perusahaan yang menggunakan metode pengelasan GMAW terhadap baja S355JR dan S355J2. Penelitian ini juga dapat menjadi sumber pengembangan ilmu dan sarana pembelajaran di departemen Teknik Material dan Metalurgi khususnya pada bidang pengelasan.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Pengelasan

Berdasarkan *American Welding Society* (AWS, 1989), pengelasan adalah perpaduan lokal dari logam atau nonlogam yang dihasilkan baik dengan memanaskan bahan ke suhu pengelasan yang diperlukan, dengan atau tanpa penerapan tekanan, atau dengan penerapan tekanan saja, dan dengan atau tanpa penggunaan bahan pengisi (*filler*). Pengelasan adalah penyambungan proses yang menghasilkan penggabungan bahan dengan memanaskannya sampai suhu pengelasan dengan atau tanpa penerapan tekanan atau dengan penerapan tekanan bersama, dan dengan atau tanpa penggunaan logam pengisi. pengelasan digunakan secara luas dalam pembuatan mobil, peralatan pertanian, peralatan rumah tangga, komponen komputer, peralatan pertambangan dan peralatan konstruksi, tungku dan bahkan peralatan kereta api. (BSI (British Standards Intitution), 1983).

Saat ini kemajuan ilmu pengetahuan di bidang elektronik melalui penelitian yang melihat karakteristik atom, mempunyai kontribusi yang sangat besar terhadap penemuan material baru dan sekaligus bagaimanakah menyambungkannya. Jauh sebelumnya, penyambungan logam dilakukan dengan memanasi dua buah logam dan menyatukannya secara bersama. Logam yang menyatu tersebut dikenal dengan istilah *fusion*. Las listrik merupakan salah satu yang menggunakan prinsip tersebut. Pada zaman sekarang pemanasan logam yang akan disambung berasal dari pembakaran gas atau arus listrik. Beberapa gas dapat digunakan, tetapi yang sangat populer adalah gas yang lebih dikenal dengan gas Karbit (Dwi Djamiko, 2008).

Dari beberapa proses pengelasan yang ada, proses yang paling sering digunakan khususnya di berbagai industri termasuk aerospace, otomotif dan konstruksi adalah proses las fusi. pengelasan fusi didefinisikan sebagai peleburan bersama dan penggabungan bahan dengan cara panas. Logam pengisi, yaitu logam yang ditambahkan ke area las selama pengelasan, juga dapat digunakan. Las fusi yang dibuat tanpa menggunakan logam pengisi dikenal sebagai las *autogenous*. Las fusi terdiri dari beberapa jenis metode pengelasan yaitu *Shielded Metal Arc Welding* (SMAW), *Gas Metal Arc Welding* (GMAW), *Gas Tungsten Arc Welding* (GTAW), *Submerged Arc Welding* (SAW), *Flux-Cored Arc Welding* (FCAW). (Kalpakajian, 2001)

2.1.1 Jenis Pengelasan

American Welding Society (AWS) mengategorikan jenis-jenis pengelasan berdasarkan berbagai jenis atau kombinasi energi untuk menyediakan daya yang dibutuhkan dalam pengelasan. Proses pengelasan dapat dibagi menjadi dua kelompok besar yaitu, *fusion welding* dan *solid-state welding*. (Groover, 2013)

Pengelasan fusi atau *Fusion Welding* didefinisikan sebagai peleburan bersama dan penggabungan bahan dengan cara panas. Logam pengisi, yang merupakan logam yang ditambahkan ke area las selama pengelasan, juga dapat digunakan. Las fusi yang dibuat tanpa menggunakan logam pengisi dikenal sebagai las *autogenous*. *Solid-state welding* (pengelasan tekan) mengacu pada proses penyambungan di mana hasil koalesensi dari penerapan tekanan saja atau kombinasi panas dan tekanan. Jika panas digunakan, temperatur dalam proses berada di bawah titik leleh logam yang dilas. Pada *Solid-state welding* tidak menggunakan *filler metal*. (Kalpakajian, 2001)

2.1.2 Pengelasan Baja Karbon

Pada umumnya baja karbon dapat dilas dengan seluruh proses pengelasan, baik pengelasan busur listrik, gas, tahan listrik atau jenis pengelasan lain. Akan tetapi kualitas berbeda, maka

setiap pengelasan hanya cocok di terapkan untuk tujuan-tujuan tertentu misalnya GMAW yang digunakan karena tidak menghasilkan *slag* atau terak layaknya yang terjadi pada las SMAW, dan metode las GMAW juga memiliki efisiensi yang tinggi dan pengerjaan yang cepat. Berdasarkan klasifikasi baja karbon, baja yang mempunyai sifat weld ability yang baik adalah baja karbon rendah. Dari dua faktor itu hardenability dan kepekaan terhadap retak. Baja karbon rendah yang dilas dengan elektroda yang terbuat dari baja karbon rendah juga, maka harga kekerasan yang dihasilkan relatif rendah pula sehingga kepekaan retak relatif lebih rendah juga. Baja karbon paduan antara besi dan karbon dengan sedikit Si, Mn, P, S, dan Cu sifat karbon sangat tergantung pada karbon yang dikandung dalam baja tersebut. (Yusim, n.d.)

Baja karbon rendah merupakan baja dengan kadar C kurang dari 0,3%. Baja ini memiliki sifat ulet, tangguh dan mampu mesin yang baik. Baja karbon rendah banyak digunakan dalam bidang konstruksi karena mudah dibentuk dan sifat mampu las yang baik. Baja karbon rendah tidak dapat dikeraskan kecuali dengan *cold rolling* dan *case hardening* (pengerasan permukaan dengan dilapisi). Pada proses pengelasan, baja jenis ini memiliki kegagalan yang rendah akibat retak. Retak akibat plat yang terlalu tebal dapat dihindari dengan pemilihan filler yang mengandung sedikit hidro gen dan dilakukan pemanasan mula sebelum plat dilas. Baja karbon rendah biasanya memiliki *yield strength* 275 MPa (40.000 psi), *tensile strength* antara 415 MPa dan 550 MPa (60.000 dan 80.000 psi), dan *ductility* 25% EL. (Callister, 2010)

2.2 Baja S355J2

Baja S355J2 adalah baja karbon rendah yang mudah dilas dan memiliki ketahanan benturan yang baik (juga dalam suhu di bawah nol). Bahan ini biasanya dipasok dalam kondisi tidak dirawat atau dinormalisasi. *Machinability* bahan ini mirip dengan baja ringan. Ada empat fase dalam baja S355J2, termasuk ferit/perlit (keadaan awal), austenit, bainit, dan martensit. Baja S355J2 juga adalah baja kelas struktural dengan kekuatan luluh minimum 355 MPa yang banyak digunakan dalam industri rekayasa dan konstruksi. (Zhang et al., 2021) Komposisi kimia dari Baja S355J2 ditunjukkan pada Tabel 2.1 dan Tabel 2.2.

Tabel 2.1 Komposisi kimia baja S355J2 (Zhang et al., 2021)

Element	Komposisi (%)
Karbon (C)	0,2
Silikon (Si)	0,55
Mangan (Mn)	1,6
Fosforus (P)	0,025
Belerang (S)	0,025
Tembaga (Cu)	0,55
Besi (Fe)	<i>Balanced</i>

Tabel 2.2 Sifat mekanik baja S355J2

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

2.3 Baja S355JR

Baja S355JR adalah bahan yang umum digunakan untuk berbagai bagian dan sistem struktural. Normalisasi biasanya digunakan dalam proses pembuatannya, yang menghasilkan pembentukan *microstructure* ferit-perlit (FP) atau ferit-perlit-bainit. (Dobrzanski, 1999) Produksi *microstructure* bainit atau ferit-bainit memodifikasi *microstructure* baja di zona yang terpengaruh panas saat dilas. (Dzioba et al., 2018) Komposisi dari baja S355JR ditunjukkan pada Tabel 2.3 dan Tabel 2.4 .

Tabel 2.3 Komposisi kimia baja S355JR (Polish standardization committee, 2019)

Element	Komposisi (%)
Karbon (C)	0,24
Silikon (Si)	0,55
Mangan (Mn)	1,6
Fosforus (P)	0,035
Belerang (S)	0,035
Tembaga (Cu)	0,55
Besi (Fe)	<i>Balanced</i>

Tabel 2.4 Sifat mekanik baja S355JR

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

2.4 Pengaruh Silikon pada Baja

Silikon merupakan unsur pembentuk ferit. Silikon menaikkan temperatur A1 dan A2. Elemen silikon akan menambah kekuatan dan kekerasan pada baja. Elemen ini dapat menjadi penstabil karbida yang terbentuk sebagai hasil dari penambahan paduan lainnya. Keberadaan silikon memberikan beberapa manfaat. Silikon dapat meningkatkan sifat mampu cor (*castability*) logam cair (Lino et al. 2017). Keberadaan *remaining austenite* ini penting karena pada saat tempering *austenite* akan terdekomposisi menjadi bainite. Penambahan silikon dapat menstabilkan fasa *austenite* selama tahap partisi dan memperlambat proses dekomposisi *austenite* (Kim, Sietsma, and Santofimia, 2017). Hal ini menyebabkan kekerasan dan ketahanan aus semakin meningkat namun diikuti dengan penurunan keuletan yang dapat menyebabkan terjadinya rusak. (Doloksaribu et al., n.d.)

2.5 Pengaruh Mangan pada Baja

Mangan akan terlarut dalam Fe *alpha* sampai maksimum 3% dan bersifat memperkeras ferit, namun diiringi dengan berkurangnya sifat plastisnya. Pengaruh mangan yang lain adalah pada temperatur rendah akan menstabilkan *austenite* tetapi menjadi penstabil ferrit pada temperatur tinggi. Baja biasanya mengandung setidaknya 0.3% mangan, yang bertindak dengan tiga cara yaitu mencegah pembentukan inklusi besi sulfida, dan meningkatkan kekuatan melalui peningkatan *hardenability*. Mangan juga mampu meningkatkan ketangguhan dan mampu

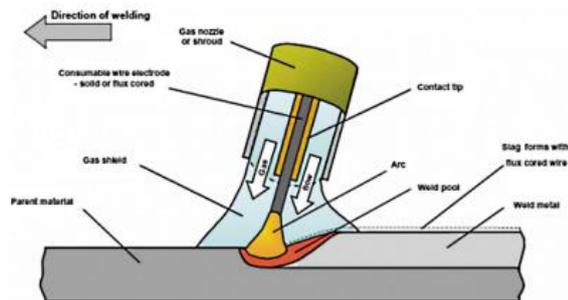
mesin. Kandungan mangan dalam baja dapat mengurangi terjadinya rapuh panas dan dingin yang disebabkan oleh adanya sulfur. Dalam baja, mangan dapat berinteraksi dengan sulfur membentuk senyawa mangan sulfida yaitu MnS. (Syafi'udin, 2016)

2.6 Gas Metal Arc Welding

GMAW (*Gas Metal Arc Welding*), sering dikenal sebagai las busur gas, adalah teknologi pengelasan yang melibatkan peniupan gas ke daerah las untuk melindungi busur dan logam cair dari lingkungan. Pengembangan proses pengelasan busur dengan produktivitas tinggi dan kualitas tinggi dipelopori oleh Proses Pengelasan Busur Logam Gas (GMAW). Pengelasan busur logam gas (GMAW) mencakup fenomena busur plasma, transfer logam, dan kolam las. (Ogino et al., 2016)

Pengelasan GMAW dilindungi oleh aliran gas lindung yang dapat berupa gas aktif misalnya karbon dioksida (CO₂), sehingga disebut *Metal Active Gas* (MAG) atau gas argon (Ar) sehingga disebut *Metal Inert Gas* (MIG). Beberapa keunggulan dari GMAW yaitu laju pendeposisian metal lebih tinggi, kecepatan las lebih tinggi dan menghasilkan penetrasi lebih dalam apabila menggunakan teknik nyala sembur. Salah satu kerugian penggunaan GMAW adalah radiasi panas yang sangat tinggi. GMAW menggunakan arus tetap dan kecepatan pasok kawat yang tetap, maka apabila posisi obor bergerak menjauh, elektroda akan memanjang keluar dan amperenya juga akan naik, sehingga panjang busur nyala akan selalu tetap. (Widharto, 2007)

Proses pengelasan GMAW seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.1 menggunakan kawat kontinu yang tidak dilapisi, yang terlindung dari kontaminasi oksida oleh gas yang diumpankan melalui ujung obor las.



Gambar 2.1 Skema Proses GMAW

2.6.1 Sistem Transfer Logam GMAW

Pada pengelasan *Gas Metal Arc Welding* dengan menggunakan kawat elektroda secara terus menerus, perpindahan atau transfer logam pun terjadi, tiga jenis sistem transfer logam dapat dibedakan menjadi:

a. Short Circuit

Merupakan metode transfer dimana logam las yang keluar dari *nozzle* langsung menyentuh bagian kawah las yang sudah terisi filler, sehingga hubungan singkat terbentuk. Umumnya transfer ini menggunakan campuran dua gas pelindung yaitu 75% argon dan 25% CO₂. Campuran ini sering digunakan karena karakteristik pengelasan yang lebih baik. Komposisi gas juga dapat mempengaruhi bentuk bead, penetrasi dan juga percikan las. Apabila lebih banyak CO₂ akan memperdalam penetrasi dan menghasilkan percikan las yang lebih banyak. Sistem transfer *Short circuit* atau *dip* terjadi saat arus las kurang dari 200 A, *voltage* kurang dari 24 V dan pengelasan yang tipis.

b. *Globular*

Pada *globular*, arus yang melintasi busur berbentuk lebih besar hal ini dikarenakan *globular* transfer terjadi di bawah arus minimum atau arus transisi, ukuran tetesan dari *globular* lebih besar dari diameter kawat elektroda. Gas pelindung CO₂ sering digunakan pada metode transfer ini. Pada *globular* tetesannya terlalu besar membuatnya lebih sulit digunakan pada posisi yang sulit dan karena tetesan besar menimbulkan percikan las yang terlalu banyak. Gaya magnet pada busur menyebabkan terjadinya tetesan yang tidak teratur dan melintasi busur, Sehingga menyebabkan banyaknya percikan-percikan. Aliran tetesan yang tidak beraturan ini akan menghasilkan bertambahnya percikan dan umumnya terjadi jika CO₂ atau campuran argon dengan hidrogen yang sedikit digunakan sebagai gas pelindung. Untuk mengurangi percikan digunakan panjang busur yang pendek sehingga, busur benar-benar akan menghasilkan kawah yang dalam dan di bawah permukaan logam. Pada pengelasan ini digunakan elektroda yang besar.

c. *Spray Transfer*

Terjadi dengan menaikkan arus yang diatur di atas arus yang diperlukan pada *globular* transfer. Dengan memakai *spray transfer* tetesan yang terjadi sangat halus. Tetesan ini melintas dengan kecepatan yang sangat tinggi yang beriangsung melalui aliran busur ke *weld pool*. Sebelum *spray transfer* ini terjadi, arus di atas arus transisi harus diatur pada mesin lasnya. Dimana arus transisi ini tergantung pada diameter elektroda, komposisi elektroda dan panjang elektroda dari *tube*. Arus transisi akan naik dengan bertambahnya diameter dan menurun jika panjang elektrodanya jauh dari *contact tube*. Sistem transfer *spray* terjadi saat arus las pengelasan lebih dari 220 A dan *voltage* lebih dari 26 V.

2.6.2 Kekurangan Las GMAW dan Solusinya

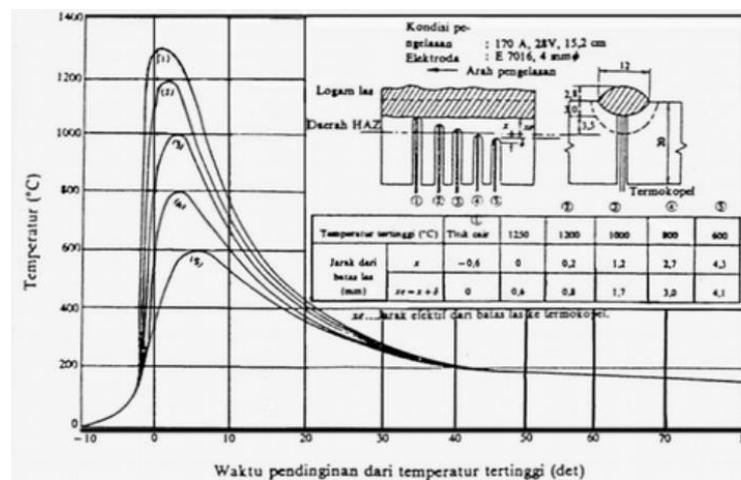
Proses pengelasan *Gas Metal Arc Welding* memiliki beberapa kelemahan dan untuk menghindari hal-hal tersebut harus ada *troubleshoot* atau solusi, kelemahan dan solusi dari *Gas Metal Arc Welding* dijelaskan sebagai berikut:

- a. *Wire-feeder* yang memerlukan pengontrolan yang berkelanjutan dikarenakan seringnya ditemukan berkarat dan kurang layak. Untuk mencegah isu ini, memberi kawat las dengan lapisan pelumas dapat meningkatkan *wire feeding* dan *weldability*.
- b. Busur yang tidak stabil. Untuk mencegah busur yang tidak stabil yang menyebabkan penetrasi yang kurang, harus diperhatikan apakah kawat las bersih dan tidak terkontaminasi dengan logam bahan dasar, periksa diameter kawat las, dan panjangnya. Kawat las yang terlalu besar dan panjang dapat menyebabkan tegangan busur bertambah besar yang menyebabkan busur tidak stabil.
- c. Pada awalnya *set-up* pengelasan merupakan permulaan yang sulit. Set up atau persiapan dari pengelasan ini juga lebih detail, karena banyak hal yang harus disiapkan seperti gas pelindung apa yang digunakan sesuai material yang akan disambung. Jadi lebih baik untuk selalu menyiapkan dengan baik sesuai prosedur agar set up lebih mudah dan mengurangi kesalahan.
- d. Feed yang terlalu lambat adalah salah satu penyebab *burn back* yang paling umum pada pengelasan GMAW. Menemukan kecepatan *wire-feed* yang tepat untuk *welding gun*

dapat berarti perbedaan antara las yang mulus dan yang bermasalah. Periksa kembali parameter mesin, dan tingkatkan kecepatan *feeder* jika perlu.

2.7 Siklus Termal Daerah Lasan

Area las dibagi menjadi tiga bagian: logam las, zona yang terkena panas (HAZ), dan logam induk, yang tidak terpengaruh oleh panas. Logam las adalah komponen logam yang meleleh kemudian memadat selama proses pengelasan. Logam di area pengelasan mengalami siklus termal, meleleh dan kemudian membeku, yang menyebabkan perubahan struktur material. Logam dasar adalah bagian logam dasar yang panas dan suhu pengelasannya tidak menyebabkan perubahan struktur atau properti. Area efek panas, juga dikenal sebagai *Heat Affected Zone (HAZ)*, adalah logam dasar yang berdekatan dengan logam las yang mengalami siklus pemanasan dan pendinginan yang cepat selama proses pengelasan (Wiryosumarto & Okumura, 1979). Skema siklus las termal dapat dilihat pada Gambar 2.2 di bawah.



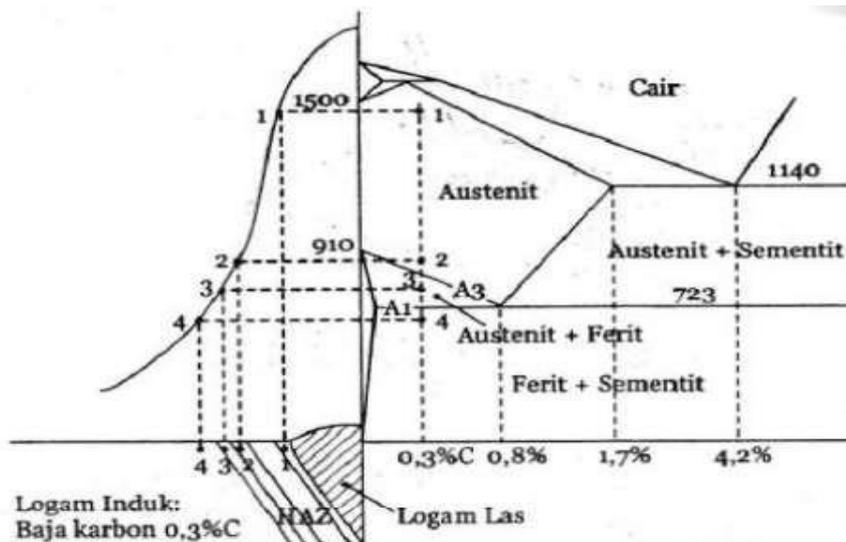
Gambar 2.2 Siklus termal dalam las busur tangan

2.8 Diagram Fe-Fe₃C

Diagram kesetimbangan fasa Fe-Fe₃C adalah alat penting untuk memahami struktur mikro dan sifat-sifat baja karbon, suatu jenis logam paduan besi (Fe) dan karbon (C). Karbon larut di dalam besi dalam bentuk larutan padat (*solid solution*) hingga 0,05% berat pada temperatur rang Baja dengan atom karbon terlarut hingga jumlah tersebut memiliki *alpha ferrite* pada temperatur rang. Pada kadar karbon lebih dari 0,05% akan terbentuk endapan karbon dalam bentuk *hard intermetallic stoichiometric compound* (Fe₃C) yang dikenal sebagai *cementite* atau *carbide*. Selain larutan padat *alpha ferrite* yang dalam kesetimbangan dapat ditemukan pada temperatur rang terdapat fase-fase penting lainnya, yaitu *delta ferrite* dan *gamma austenite*. Logam Fe bersifat *polymorphism* yaitu memiliki struktur kristal berbeda pada temperatur berbeda. Pada Fe murni, misalnya, *alpha ferrite* akan berubah menjadi *gamma austenite* saat dipanaskan melewati temperature 910° C. Pada temperatur yang lebih tinggi, mendekati 1400° C, *gamma austenite* akan kembali berubah menjadi *delta ferrite* (*Alpha* dan *Delta*). Ferrite dalam hal ini memiliki struktur kristal BCC sedangkan *Gamma Austenite* memiliki struktur kristal FCC.

Saat proses pengelasan bisa dilihat pada Gambar 2.3 bahwa karakteristik *ferrite* pada baja karbon dengan kadar karbon 0,3% memiliki sel satuan kubus pusat badan atau *Body Centered Cubic (BCC)* yang menunjukkan titik mulur yang jelas dan menjadi getas pada suhu temperatur rendah. *Austenit* mempunyai sel satuan kubus pusat muka atau *Face Centered Cubic (FCC)* yang menunjukkan titik mulur yang jelas tanpa kegetasan pada keadaan dingin, tetapi jika

berupa fasa metastabil bisa berubah menjadi α' pada temperatur rendah dengan pengerjaan. Martensit adalah fasa larutan padat lewat jenuh dari karbon dalam sel satuan tetragonal pusat badan atau *Body Centered Tetragonal (BCT)*. Semakin tinggi derajat kelewat jenuhan karbon maka semakin besar perbandingan satuan sumbu sel satuannya serta semakin keras dan getas *martensit* tersebut. Faktor-faktor yang menentukan sifat-sifat mekanik adalah macam fasa, kadar unsur paduan dalam fasa, banyak fasa, ukuran dan bentuk senyawa. Rasio atau perbandingan sumbu sel satuannya meningkat dengan tingkat kejenuhan karbon, dan martensit menjadi lebih keras dan lebih rapuh. Jenis fasa, jumlah unsur paduan dalam fasa, jumlah fasa, ukuran, dan bentuk senyawa adalah parameter yang mengatur sifat mekaniknya. (Surdia & Saito, 1985)



Gambar 2.3 Temperatur dan fasa yang terjadi pada daerah pengelasan

2.9 Parameter Pengelasan

Menurut Wiryosumarto, H., dan Okumura, T., (2000: 225) bahwa kekuatan sambungan yang tinggi memerlukan penetrasi, atau setidaknya penetrasi dalam jumlah besar. Besarnya penetrasi ditentukan oleh karakteristik fluks, polaritas, besar arus, kecepatan pengelasan, dan tegangan. Daya tembus meningkat dengan meningkatnya arus. Semakin tinggi tegangan, semakin lama dan semakin sedikit konsentrasi busur, menyebabkan panas memuai dan menyebabkan penetrasi yang luas dan dangkal. Ada pengecualian terhadap beberapa elektroda khusus untuk penembusan dalam yang memang memerlukan tegangan tinggi. Pada kecepatan tertentu, naiknya kecepatan akan memperdalam penembusan, tetapi melampaui kecepatan tersebut penembusan akan turun dengan naiknya kecepatan. Apabila busur terlalu pendek (*voltage* rendah), bola-bola metal cair akan terlalu dekat dengan benda kerja sehingga suhu terlalu panas (*overheated*) akibatnya *globular* pecah dan menghasilkan percikan las yang banyak. Busur harus cukup panjang agar bola-bola metal bahan las mencapai kolam las dengan baik. Pengelasan dengan *voltage* terlalu tinggi justru menghasilkan sambungan mentah sehingga tidak ada fusi antara bahan las dan benda kerja, penetrasi tidak sempurna, dan kontur terlalu menonjol (Widharto, 2007).

Dalam *arc welding*, biasanya terdapat masukan energi untuk mengatur besaran busur. Masukan energi busur (H) atau biasanya disebut *heat input* adalah jumlah energi yang ditransfer

per unit panjang lasan dari sumber panas berjalan. Dengan demikian heat input dapat dihitung menggunakan persamaan (2.1):

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

Keterangan:

H = Heat input

E = Tegangan (volt)

I = Arus (amper)

v = Kecepatan pengelasan (mm/s)

η = Efisiensi pengelasan

2.9.1 Arus

Kecepatan dan diameter umpan kawat mengatur arus secara tidak langsung. Ini adalah parameter pengelasan yang paling penting, dan harus dipilih secara proporsional dengan ketebalan pelat dan kecepatan pengelasan dalam hal kualitas las (Weman, 2012). Ketika sumber daya tegangan konstan digunakan, arus pengelasan berfluktuasi sejalan dengan kecepatan umpan elektroda. Hal ini terjadi karena keluaran arus sumber daya berfluktuasi secara drastis dengan variasi kecil pada tegangan busur (panjang busur) yang disebabkan oleh perubahan kecepatan umpan elektroda. Peningkatan arus pengelasan menghasilkan peningkatan kedalaman dan lebar penetrasi, laju deposisi, dan ukuran manik las sementara semua variabel lainnya tetap konstan (ASM International, 1993).

2.9.2 Tegangan

Penggunaan tinggi rendahnya tegangan digunakan dalam pengelasan dengan sistem *transfer globular* yang menggunakan arus searah dengan elektroda pada posisi positif (DCEP). *Voltage* atau tegangan busur las merupakan parameter yang akan digunakan peneliti sebagai variasi dalam penelitian untuk mendapatkan besar *voltage* yang tepat sehingga mendapatkan kekuatan yang besar. *Voltage* diperlukan untuk mendapatkan penembusan yang besar karena dengan adanya penembusan yang besar akan meningkatkan kekuatan hasil las (Ratnasari, 2016).

2.9.3 Shielding Gas

Perisai yang digunakan dalam proses pengelasan memiliki dampak besar pada kinerja keseluruhan sistem pengelasan. Tujuan utamanya adalah untuk melindungi logam cair dari nitrogen dan oksigen sekitar saat kolam las terbentuk (ASM vol 6). Gas pelindung termasuk gas inert seperti argon dan helium, serta gas aktif seperti karbon dioksida. Gas (dan campuran gas) dipilih berdasarkan logam yang dilas serta kriteria lainnya. Untuk pengelasan paduan aluminium dan baja tahan karat, gas inert digunakan, sedangkan CO₂ biasanya digunakan untuk pengelasan baja karbon rendah dan menengah (glover, 2010). Gas yang digunakan dalam pengelasan busur gas-logam (GMAW) dan pengelasan busur inti fluks (FCAW) memiliki dampak yang signifikan terhadap bentuk transfer logam selama pengelasan. Hal ini, pada gilirannya, berdampak pada efisiensi, kualitas, dan penerimaan operator secara keseluruhan dari operasi pengelasan. (ASM International, 1993)

2.10 Kawat Elektroda ER70S-6

Elektroda mengandung berbagai jenis bahan pengisi yang memiliki panjang dan diameter yang berbeda. Pada suhu sangat tinggi elektroda dan bahan tambahan meleleh dan menjadi bagian dari lasan untuk meningkatkan sifat-sifat sendi. Karena pembakaran bahan pengisi

beberapa gas yang berguna diproduksi yang digunakan untuk melindungi dan melindungi lasan cair yang sangat panas dari sekitarnya gas atmosfer. Beberapa fluks juga digunakan dalam pelapisan elektroda yang mengalami reaksi kimia dengan pengotor yang ditemukan dari logam dasar untuk membentuk terak ringan. Terak mengapung di permukaan las cair, yang dapat akan dihapus dari permukaan lasan setelah pemadatan. Dalam proses pengelasan busur logam terlindung sirkuit listrik dibentuk untuk menghubungkan elektroda dan benda kerja dengan bantuan kabel. Suhu yang dihasilkan pada proses ini adalah kisaran sekitar 5000° C di antara ujung elektroda dan benda kerja. Ini menghasilkan panas yang hebat mampu melelehkan benda kerja dan elektroda untuk membentuk las.

Klasifikasi ER70S-6 [ER48S-6] mencakup elektroda dan batang yang dirancang untuk pengelasan satu lintasan dan banyak lintasan. Mereka sangat cocok untuk aplikasi lembaran logam yang membutuhkan manik-manik las yang halus, serta baja struktural dan pelat dengan korosi sedang atau skala pabrik. Elektroda ini memungkinkan rentang arus yang lebih besar saat melindungi dengan CO₂ (AWS A5.32 Kelas SG-C) atau argon dan oksigen (AWS A5.32 Kelas SGAO-X) atau argon dan karbon dioksida (AWS A5.32 Kelas SGCO-X) (AWS A5.32 Kelas SG-AC-Y). Saat menggunakan kombinasi gas pelindung argon biner atau terner sesuai dengan spesifikasi AWS A5.32, elektroda ini membutuhkan jumlah oksidasi yang lebih tinggi daripada elektroda yang disebutkan sebelumnya (AWS A5.18)(AWS, 2005). Komposisi kimia kawat elektroda ER 70S-6 ditunjukkan pada Tabel 2.5.

Tabel 2.5 Komposisi kimia kawat elektroda ER70S-6

Unsur	Komposisi (%)
Karbon (C)	0,06-0,15
Mangan (Mn)	1,40-1,85
Silikon (Si)	0,80-1,15
Fosforus (P)	0,025
Belerang (S)	0,035
Nikel (Ni)	0,15
Kromium (Cr)	0,15
Molibdenum (Mo)	0,15
Vanadium (V)	0,03
Tembaga (Cu)	0,50

Tabel 2.6 Sifat mekanik kawat elektroda ER70S-6

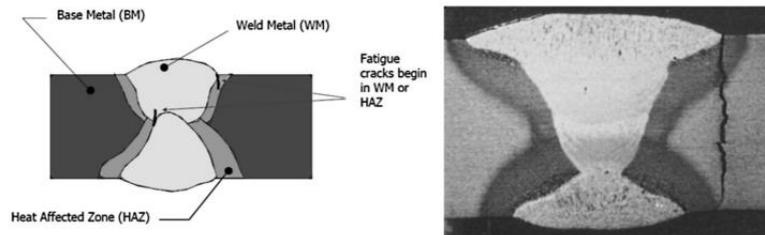
<i>Ultimate Tensile Strength</i>	<i>Yield Strength</i>	<i>Elongation</i>
480 MPa	400 MPa	22%

2.11 Cacat Las

Kegagalan dan cacat las pada komponen baja konstruksi dapat terjadi karena desain yang tidak tepat, pilihan atau kualitas baja yang salah, proses pengelasan di bawah standar dan

melalui perawatan yang tidak tepat. Sambungan baja konstruksi yang dilas khususnya sangat sensitif terhadap masalah kelelahan, korosi las dan/atau kualitas las. Perhatian utama adalah menempatkan lasan di daerah tegangan nominal. Sambungan las diproduksi sesuai spesifikasi, yang digunakan untuk meminimalkan zona yang terpengaruh panas dan tegangan sisa di dalam las.

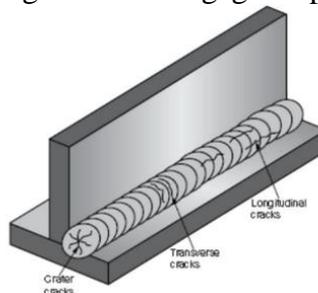
Selama proses pengelasan, cacat yang dihasilkan dapat meluas jauh ke dalam lasan. Untuk alasan ini, cacat harus dihindari. Selama proses inspeksi pengelasan, ketika cacat las terdeteksi, cacat itu harus dihilangkan, dengan perbaikan las yang sedang dilakukan. Gambar 2.3 menunjukkan las multipass yang dihasilkan menggunakan proses GMAW. Di sini, dua lasan telah dibuat menjadi alur di mana profil lasan menunjukkan (1) bahan dasar, (2) HAZ dan (3) bahan las.



Gambar 2.4 Profil transversal GMAW multipass menunjukkan perbedaan sifat metalurgi yang terbentuk

Cacat las yang dapat terjadi adalah porositas, inklusi terak atau retak. Dari ketiganya, retakan adalah yang paling merugikan. Retakan Bahkan ketika lasan optimal telah dihasilkan, retak akan sering terjadi pada logam yang dilas pada zona yang terkena panas, tetapi tidak pada bahan dasar. Hal ini karena material yang terkena panas terdiri dari material martensit yang lebih keras, dan karena perubahan volume, ada pembentukan tegangan sisa tarik yang tertinggal setelah proses.

Desain las yang baik akan menampilkan konsentrasi tegangan lokal di daerah ujung las. Namun, jika lasan yang dihasilkan dirancang dengan buruk, maka tegangan dapat terkonsentrasi di berbagai geometri atau mengakibatkan peningkatan intensitas tegangan pada titik intens, yang dapat mengakibatkan kegagalan prematur. Cacat las yang umum ditunjukkan dalam contoh berikut. Retakan memanjang, melintang, atau kawah seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.4 dapat terjadi di sembarang titik pada manik las lasan, (1) melintang ke lasan (2) membujur ke lasan dan (3) terbentuk dari kawah pada lasan. Di sini, retakan dapat merambat dengan cepat melalui lasan dan mengakibatkan kegagalan prematur. (Thomas, 2018)

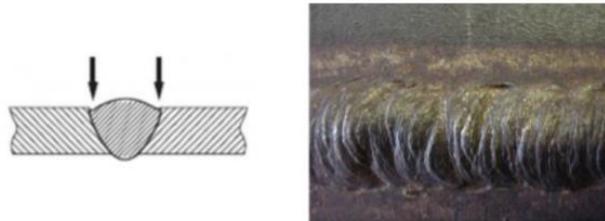


Gambar 2.5 Retakan berbeda yang mungkin ditemukan pada lasan

Ada beberapa cacat pada saat dilakukannya sebuah kegiatan pengelasan. Cacat tersebut dapat terjadi dengan penyebab yang berbeda-beda (Wiryosumarto & Okumura, 1979). Berikut adalah contoh-contoh cacat pengelasan dan penyebabnya:

1. Cacat Las *Undercut*.

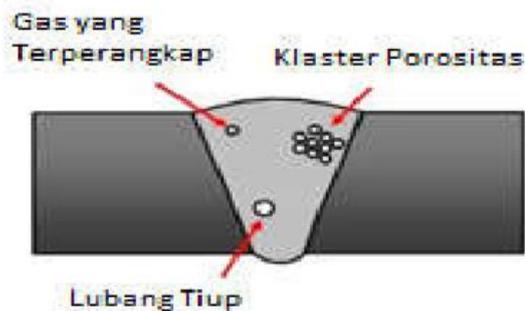
Undercut adalah sebuah cacat las yang berada di bagian permukaan atau akar, bentuk cacat ini seperti cerukan yang terjadi pada *base metal* atau logam induk. Jenis cacat pengelasan ini dapat terjadi pada semua sambungan las, baik *fillet*, *butt*, *lap*, *corner* dan *edge joint*. Berikut adalah skema cacat las *undercut* pada Gambar 2.6.



Gambar 2.6 Skema cacat las *Undercut*

2. Porositas

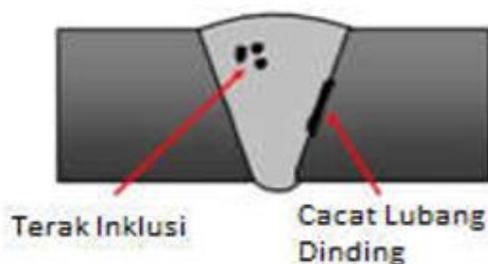
Cacat porositas adalah sebuah cacat pengelasan yang berupa sebuah lubang lubang kecil pada *weld metal* (logam las), dapat berada pada permukaan maupun didalamnya. Porositas mempunyai beberapa tipe yaitu *Cluster Porosity*, *Blow Hole*, dan *Gas Pore*. Berikut adalah skema cacat las porositas pada Gambar 2.7.



Gambar 2.7 Skema Pororitas

3. *Slag Inclusion*

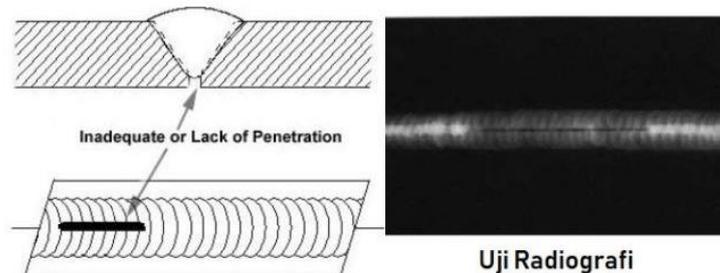
Welding Defect Slag Inclusion adalah cacat yang terjadi pada daerah dalam hasil lasan. Cacat ini berupa *slag* (fluks yang mencair) yang berada dalam lasan, yang sering terjadi pada daerah *stop and run* (awal dan berhentinya proses pengelasan). Untuk melihat cacat ini kita harus melakukan pengujian radiografi atau bending. Berikut adalah skema cacat las *slag inclusion* pada **Gambar 2.8**.



Gambar 2.7 Skema *Slag Inclusion*

4. *Incomplete Penetration*

Incomplete Penetration (IP) adalah sebuah cacat pengelasan yang terjadi pada daerah root atau akar las, sebuah pengelasan dikatakan IP jika pengelasan pada daerah *root* tidak tembus atau *reinforcemen* pada akar las berbentuk cekung. Berikut adalah skema cacat las *incomplete penetration* pada Gambar 2.9.



Gambar 2.8 Skema *Incomplete Penetration*

5. *Over Spatter*

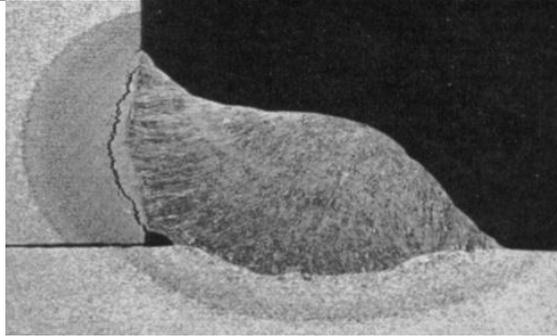
Spatter adalah percikan las, sebenarnya jika spater dapat dibersihkan maka tidak termasuk cacat. Namun jika jumlahnya berlebih dan tidak dapat dibersihkan maka dikategorikan dalam cacat visual. Berikut adalah skema cacat las *over spatter* pada Gambar 2.10.



Gambar 2.9 Skema cacat las *Over Spatter*

6. *Cold Cracking*

Retak dingin pada lasan terjadi di dekat suhu sekitar. Perbedaan antara perengkahan dingin dan perengkahan suhu menengah tidak terlalu terletak pada suhu di mana perengkahan terjadi, tetapi lebih pada sifat proses perengkahan. Retak suhu menengah adalah hasil dari pengendapan atau efek segregasi zat terlarut batas butir, yang menghasilkan retak intergranular. Pengendapan atau pemisahan zat terlarut seperti itu membutuhkan suhu di atas 350 °C. Pengecualiannya adalah hidrogen. Oleh karena itu, tidak mengherankan bahwa pengambilan hidrogen selama pengelasan terutama bertanggung jawab atas keretakan yang disebabkan oleh paparan suhu rendah dan retak dingin ini sering disebut sebagai retak hidrogen. Dua area umum HAZ di mana retakan dingin ditemukan adalah ujung las dan di bawah manik las. (Fair, 2005) Gambar skema *cold cracking* dapat dilihat pada Gambar 2.11.



Gambar 2.10 Skema *Cold Cracking*

7. *Hot Cracking*

Retak panas atau *hot cracking* dapat terjadi di daerah yang terkena panas sebagai retak likuasi ketika dipanaskan oleh busur pengelasan zat non-logam dalam baja (biasanya sulfida) meleleh sementara baja padat dan membentuk lapisan kelemahan yang retak di bawah tekanan termal pengelasan. Dalam logam las bentuk retak ini dikenal sebagai retak solidifikasi; saat logam las mendingin, baja mengeras meninggalkan non-logam tetap cair. Ini memiliki hasil yang sama dengan liquation cracking. Pola kemunculannya dapat dipengaruhi oleh pola pembekuan logam las, terkadang muncul di sepanjang garis tengah las sebagai area terakhir yang mengeras setelah kristal logam terbentuk dalam satu kali las. Bentuk retak ini dicegah dengan memperhatikan kandungan belerang dari baja dan logam las. Ada persyaratan yang luas dalam las butt run tunggal bahwa untuk menghindari keadaan di mana retak panas logam las mungkin menjadi masalah, biasanya untuk membatasi rasio kedalaman terhadap lebar lasan. (Hicks, 2001) Berikut adalah skema *hot cracking* pada Gambar 2.12.



Gambar 2.11 Skema *Hot Cracking*

2.12 Sifat Mekanik

Sifat mekanik adalah kualitas fisik suatu material karena menggambarkan kemampuan material untuk mentolerir beban atau tekanan yang menyebabkan zat tersebut berubah atau rusak. Beberapa sifat mekanik tersebut adalah:

1. Kekuatan (*strength*): Kemampuan suatu bahan untuk menahan gaya tanpa putus disebut kekuatan. Kekuatan tarik, kekuatan geser, kekuatan impak, dan kekuatan lelah adalah semua jenis kekuatan yang berbeda yang ditentukan oleh bagaimana beban diberikan pada material.
2. Kekerasan (*hardness*): Kemampuan bahan untuk menahan goresan, goresan, lekukan, atau penetrasi ditentukan oleh kekerasannya.

3. Ketangguhan (*toughness*): Ketangguhan mengacu pada kemampuan seseorang untuk mengambil sejumlah energi tertentu tanpa dirugikan. Ini juga dapat digunakan untuk menghitung jumlah energi yang dibutuhkan untuk memecahkan suatu material.
4. Keuletan (*ductility*) : Daktilitas mengacu pada kapasitas material untuk menahan stres tanpa deformasi ireversibel setelah stres dihilangkan.(American Welding Society. Structural Welding Committee, 2020)

2.13 Pengujian

2.13.1 Pengujian Metalografi

Pengujian metalografi diindikasikan untuk melihat kemungkinan perubahan struktur mikro dan makro bahan serta distribusi selama masa pakainya. Perlu diingat bahwa perubahan yang terjadi pada struktur mikro material juga akan mengubah sifat mekanik material tersebut. Pengujian metalografi juga dimaksudkan untuk menganalisis sifat-sifat material, dan mengenali fase-fase dalam struktur mikro berdasarkan skala makro dan skala mikro.(Ismet, 2011)

Sebelum dilakukan pengamatan struktur mikro dengan mikroskop maka diperlukan proses preparasi sampel. Sampel yang akan diuji harus disiapkan pada tahap persiapan spesimen, seperti(Sawitri & Firdausi, 2014):

1. *Sampling*

Pemilihan sampel atau *sampling* yang tepat dari suatu objek uji studi mikroskopis merupakan suatu hal yang sangat mendesak. Pemilihan sampel didasarkan pada tujuan yang dilakukan yang dilakukan. Pengambilan sampel dilakukan di berbagai daerah yang akan diamati struktur makronya.

2. *Cutting*

Pemotongan atau *Cutting* adalah bagian dari proses pengambilan sampel. Pemotongan yang dilakukan harus tepat dan hati-hati, karena jika tidak maka dapat menyebabkan mikrostruktur berubah atau rusak.

3. *Installation*

Pada dasarnya sampel yang diuji berukuran sangat kecil atau tidak berbentuk teratur sehingga sangat sulit ditangani untuk proses preparasi selanjutnya yaitu penggilingan dan pemolesan. Oleh karena itu untuk memudahkan penanganan atau memudahkan peneliti dalam memegang spesimen, maka sampel tersebut harus dipasang. Proses mounting dilakukan dengan menempatkan spesimen pada mesin mounting press dan ditaburi bedak. Bedak yang biasa digunakan adalah bakelit. Pada proses tersebut diberikan panas dan tekanan menjadi satu kesatuan (spesimen) antara sampel dan bakelit. Kegunaan pemasangan adalah:

- Untuk memudahkan peneliti dalam memegang benda uji atau mempermudah peneliti dalam mempersiapkan benda uji.
- Untuk mendapatkan kerataan permukaan pemasangan spesimen dimana material mounting dikorbankan dan spesimen tetap rata-rata.
- Untuk memperpanjang umur pemasangan material (tidak mudah sobek).

4. *Grinding*

Grinding merupakan salah satu tahap persiapan benda uji dimana pada proses ini dilakukan pengamplasan. Permukaan benda uji hasil proses sebelumnya, pasti permukaannya tidak rata, terkorosi, bahkan ada porositas gesekan. Untuk meratakan dan menghilangkan semuanya maka lakukan penggilingan (pengamplasan).

5. *Polishing*

Pemolesan atau *polishing* adalah suatu proses bagian terakhir dari bagian persiapan spesimen untuk mendapatkan permukaan benda kerja yang halus dengan menggunakan

mesin pemoles metalografi yang terdiri dari piringan yang berputar dan bagian dalamnya menggunakan gaya abrasif. Pemolesan sering digunakan untuk meningkatkan benda kerja terlihat mengkilap, halus, mencegah kontaminasi peralatan medis, menghilangkan oksidasi, atau mencegah korosi pada pipa. Dalam metalografi dan metalurgi, pemolesan digunakan untuk membuat pelat datar, membuat permukaan benda kerja bebas dari cacat sehingga lebih mudah untuk memeriksa struktur mikro logam dengan mikroskop.

2.13.2 Pengujian Tarik Transversal

Pengujian tarik adalah proses pengujian destruktif yang memberikan informasi tentang kekuatan tarik, kekuatan luluh, dan keuletan bahan logam. Ini mengukur gaya yang diperlukan untuk mematahkan spesimen komposit atau plastik dan sejauh mana spesimen meregang atau memanjang ke titik putus itu. Pengujian tarik komposit umumnya berupa pengujian tegangan dasar atau tegangan flat-sandwich sesuai dengan standar seperti ISO 527-4, ISO 527-5, ASTM D 638, ASTM D 3039, dan ASTM C 297. Pengujian tersebut menghasilkan diagram tegangan-regangan yang digunakan untuk menentukan modulus tarik (Saba et al., 2019). Ada dua macam pengujian tarik yaitu pengujian tarik transversal dan longitudinal.

Pengujian tarik transversal dilakukan dengan perlengkapan pengujian berupa dua pin setengah lingkaran yang terpasang pada grip standar mesin uji tarik sesuai ASTM 2290. Perlengkapan pengujian dan hasilnya ditunjukkan pada Gambar 2.13 Area perpatahan pada sampel uji tidak tepat berada di tengah sampel. Hal ini menunjukkan beban tarik tidak tersebar merata pada bahan uji yang salah satu penyebabnya adalah karena adanya ketidaksimetrisan pada bahan uji (Sigit et al., 2018).



Gambar 2.12 Mesin pengujian

tarik

2.13.3 Pengujian Kekerasan Vickers

Kekerasan adalah kemampuan suatu bahan untuk menahan goresan, pantulan, dan tekanan hingga bahan tersebut mengalami deformasi. Deformasi yang terjadi dapat berupa deformasi plastis (biasanya terjadi pada material yang lunak) atau deformasi elastik (biasanya terjadi pada material yang lebih lunak). Besarnya deformasi yang terjadi tergantung dari jenis material yang dimaksud.

Pengukuran kekerasan dapat dilakukan dengan beberapa metode sebagai berikut (Dahlan, 2000):

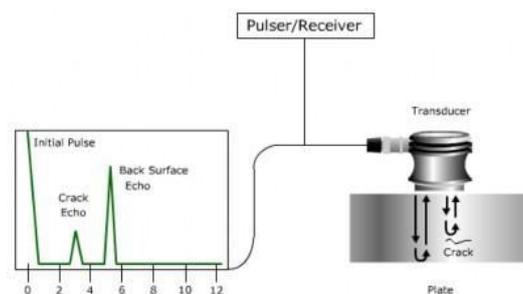
1. Uji kekerasan gores, yaitu pengujian kemampuan suatu bahan untuk menahan deformasi akibat goresan dengan bahan lain.
2. Uji kekerasan reflektif, yaitu pengujian kemampuan suatu material dalam menyerap energi impak akibat beban dinamis berupa jatuhnya suatu beban.
3. Uji kekerasan lekukan, yaitu pengujian kemampuan material menahan tekanan indentor pada permukaan.

Penelitian ini menggunakan pengujian *Vickers* dalam mengidentifikasi kekerasan spesimen. Pengujian *Vickers* dipilih karena memiliki akurasi yang lebih baik dari pengujian Brinell dan

Rockwell, dapat digunakan untuk spesimen paling lunak hingga paling keras, serta memiliki indenter dengan diagonal segiempat yang lebih akurat dibandingkan dengan indenter berbentuk Bola. Metode pengujian kekerasan *Vickers* merupakan salah satu cara untuk menentukan nilai kekerasan suatu bahan padat. Pengujian ini memanfaatkan piramida intan untuk menekan benda uji dan meninggalkan bekas lekukan (*indent*).

2.13.4 Pengujian Ultrasonik

Pengujian ultrasonik (UT) melibatkan penerapan gelombang suara frekuensi tinggi ke bagian dan merekam gelombang yang dipantulkan. Dalam contoh paling sederhana, gelombang ditransmisikan secara linier dari satu permukaan datar menuju permukaan datar paralel yang berlawanan. Sinyal yang dipantulkan dari permukaan yang berlawanan dapat dilemahkan oleh retakan dan pori-pori pada jarak antara permukaan, dan sinyal tambahan dapat dibuat langsung dari pantulan baru (lebih kecil) dari retakan atau pori-pori. Pengukuran tunggal sinyal ultrasonik versus kedalaman disebut *A-scan*. Dengan menggerakkan transduser UT secara linier, pemindaian B direkam. Dengan bergerak dalam pola palka naik-turun terus menerus untuk menutupi suatu area, terkadang dengan sudut probe yang berbeda, pemindaian C direkam. UT telah digunakan secara luas di industri dan peralatan berkembang dengan baik, tetapi seperti PT, membutuhkan permukaan yang halus (permukaan L-PBF as-built yang kasar bermasalah, oleh karena itu pengujian dengan metode ini lebih cocok untuk suku cadang L-PBF mesin). Variasi sensitivitas mungkin ada di seluruh objek, misalnya, sensitivitas dapat bervariasi dengan frekuensi, kedalaman, dan geometri sampel. Ini berarti bahwa pemilihan peralatan yang tepat, termasuk ukuran, frekuensi, dan bentuk transduser, memerlukan pengorbanan dengan sensitivitas dan deteksi pada kedalaman yang berbeda dari permukaan. Ukuran fitur minimum yang dapat dideteksi biasanya 1 mm. Keuntungan utama adalah bahwa setiap bahan logam dapat dianalisis, dan peralatan serta prosesnya dapat relatif sederhana dan biaya rendah. Ini juga digunakan untuk pengukuran ketebalan dinding. Prinsipnya bergantung pada gelombang suara yang ditransmisikan ke material yang dipantulkan dari retakan dan pori-pori. (Yadroitsev et al., 2021) Skema uji ultrasonik ditunjukkan pada Gambar 2.14 pada gambar di bawah.



Gambar 2.13 Skema Uji Ultrasonik

2.14 Penelitian Sebelumnya

Beberapa penelitian sebelumnya telah mempelajari interaksi, karakteristik maupun aplikasi dari penggunaan metode las GMAW pada baja karbon serta melakukan pengujian guna meneliti dan mengoptimalkan sifat mekanik suatu produk yang diteliti.

Penelitian pertama, Dian Ratnasari melakukan penelitian berjudul 'Pengaruh voltase pada *Gas Metal Arc Welding* (GMAW) terhadap struktur mikro dan Tegangan Lentur (Face and Root) EMS 45 dengan Sambungan Kampuh V'. Metode penelitian yang digunakan dalam

penelitian ini adalah penelitian eksperimen untuk menganalisis sebab akibat berdasarkan perlakuan yang diberikan oleh peneliti yaitu berupa perlakuan panas akibat pengelasan dengan variasi *voltage*. Hasil penelitian struktur mikro pada *voltage* 24 Volt dan 25 Volt lebih dominan ferit sehingga lebih ulet, sedangkan pada *voltage* 26 Volt lebih dominan perlit sehingga lebih getas. Relevansinya dengan penelitian yang dilaksanakan adalah sama-sama melakukan pengelasan GMAW pada baja karbon untuk menganalisis pengaruh variasi voltase terhadap struktur mikro dari *test piece* yang diteliti. (Ratnasari, 2016)

Penelitian kedua adalah dari Waluyo, J (2012) ‘Pengaruh Tebal Pelat Baja Karbon Rendah Lama Penekanan dan Tegangan Listrik pada Pengelasan Titik terhadap Sifat Fisis dan Mekanis’. Hasil penelitian menyatakan bahwa semakin tinggi *voltage* maka nilai kekerasan semakin meningkat dan menyebabkan kekuatan tarik menurun, sedangkan *voltage* yang rendah menyebabkan nilai kekerasan menurun sehingga kekuatannya meningkat. Relevansinya dengan penelitian yang dilaksanakan yaitu penggunaan variasi *voltage* untuk menganalisis pengaruhnya terhadap sifat fisis dan mekanis, serta ukuran bahan *test piece* yang digunakan adalah sama yaitu setebal 12 mm. (Waluyo, 2012)

Penelitian ketiga adalah dari Alfian Wahyu Prasetya, Rusiyanto, dan Pramono yang membawa judul ‘Pengaruh debit gas pelindung dan tegangan listrik terhadap tingkat kekerasan dan struktur mikro sambungan las GMAW pada baja karbon sedang EMS-45’. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh variasi debit gas pelindung dan tegangan listrik terhadap tingkat kekerasan dan struktur mikro sambungan las GMAW pada baja karbon sedang EMS-45. Penelitian ini berjenis eksperimental menggunakan teknik analisis data deskriptif. Variasi debit gas yang digunakan adalah 12 liter/menit, 15 liter/menit, dan 18 liter/menit, sedangkan tegangan listrik yang digunakan adalah 25 V, 28 V, dan 31 V. Hasil penelitian menunjukkan mayoritas tingkat kekerasan dan struktur mikro mengalami perubahan pada daerah weld metal dan HAZ, semakin banyak kandungan fasa perlit maka tingkat kekerasan meningkat. Tingkat kekerasan weld metal dan HAZ meningkat. Relevansi penelitian ini dengan penelitian yang dilakukan adalah kedua penelitian memiliki tujuan yang sama yaitu mencari variasi pengaruh tegangan listrik terhadap sifat mekanik dan struktur mikro pada baja karbon dengan metode pengelasan GMAW (Prasetya, 2017).

Penelitian keempat adalah dari Wijoyo dengan judul ‘Kajian Kekerasan dan Struktur Mikro Sambungan Las GMAW Baja Karbon Tinggi dengan Variasi Masukan Arus Listrik’. Tujuan penelitian ini adalah menyelidiki kekerasan dan struktur mikro sambungan las GMAW baja karbon tinggi akibat variasi masukan arus listrik. Hasil penelitian menunjukkan bahwa semakin tinggi arus listrik yang dipakai dalam pengelasan sampai 120 A, maka kekerasan hasil lasan semakin menurun, sedangkan struktur mikro didominasi cementite dengan ukuran yang lebih halus. Kesimpulan penelitian tersebut adalah peningkatan arus listrik pada pengelasan dapat menurunkan kekerasan hasil las, Semakin tinggi arus listrik yang digunakan dalam pengelasan baja karbon tinggi sampai 120 A menurunkan jumlah dan ukuran cementite, yang memiliki sifat keras, Sifat-sifat mekanis yang lain hasil pengelasan pada variasi pemakaian arus listrik sangat mungkin dipengaruhi oleh struktur mikro dan sifat keras dari hasil lasan tersebut. Relevansi dengan penelitian yang dilakukan adalah sama-sama menggunakan metode las GMAW kepada baja karbon yang akan dicari struktur mikro tersebut (Wijoyo & Aji, 2015).

Penelitian kelima adalah dari M, Bodude dengan judul penelitian ‘*Studies on Effects of Welding Parameters on the Mechanical Properties of Welded Low-Carbon Steel*’. Pada penelitian ini, digunakan pengelasan OAW dan GMAW. Dua preparasi tepi yang berbeda pada

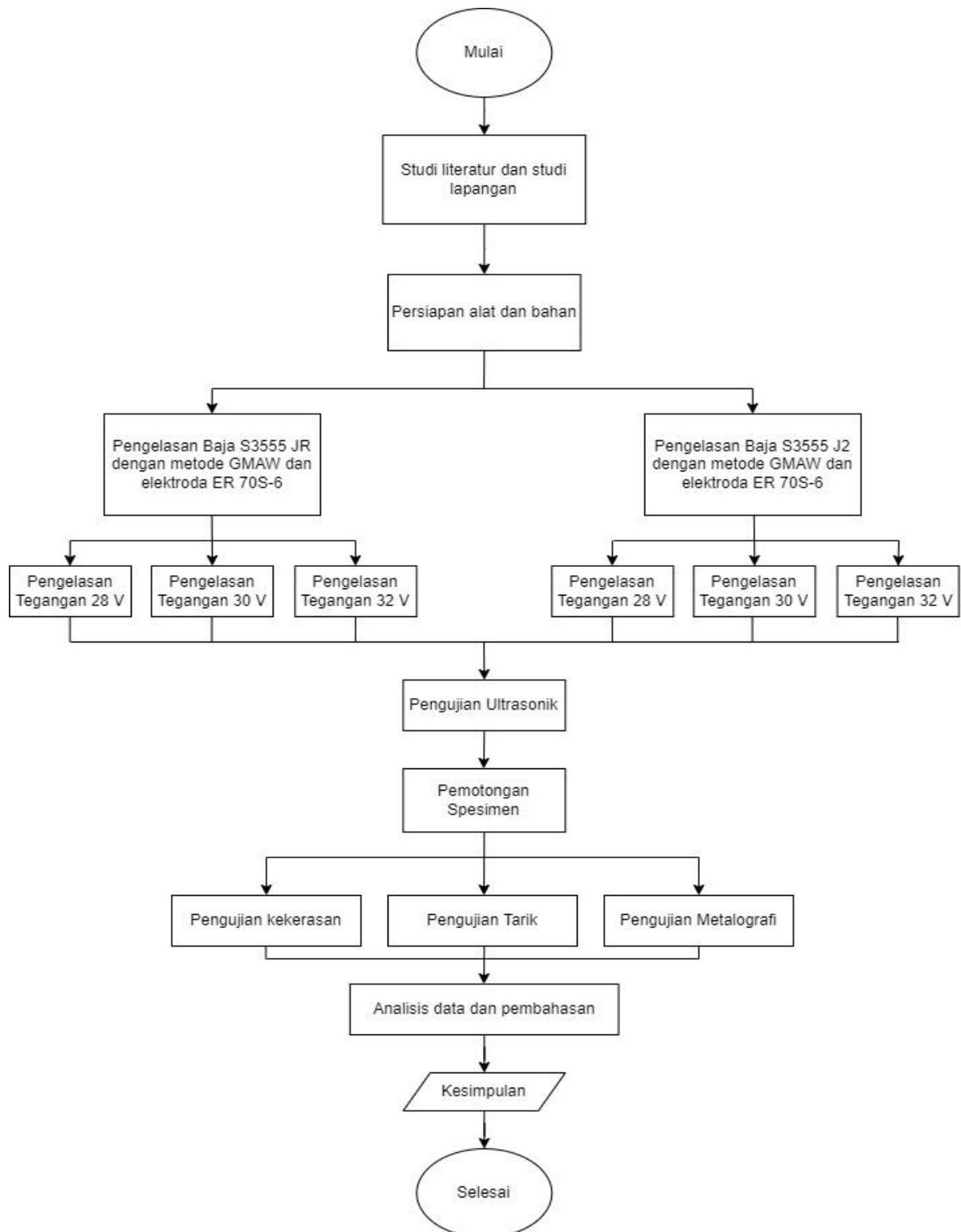
ukuran tertentu, baja karbon rendah setebal 10 mm, dengan parameter pengelasan berikut: tegangan pengelasan ganda 100 V dan 220 V, berbagai arus pengelasan pada 100, 120, dan 150 Ampere. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis lekuatan tarik, kekerasan dan kekuatan impak dari sambungan las. Hal tersebut dilakukan dan ditemukan bahwa kekuatan tarik dan kekerasan berkurang dengan meningkatnya masukan panas ke dalam lasan. Namun, kekuatan impak lasan meningkat dengan meningkatnya masukan panas. Pemeriksaan mikrostruktur yang dilakukan mengungkapkan bahwa laju pendinginan di media yang berbeda memiliki efek yang signifikan pada mikrostruktur las. Perlit dan ferit diamati pada struktur mikro, tetapi proporsi ferit terhadap perlit bervariasi dalam kondisi yang berbeda. Relevansi penelitian ini dengan penelitian sekarang adalah sama-sama mencari sifat mekanik dan struktur mikro menggunakan variasi tegangan dan metode las yang sama. (Bodude, 2015).

Penelitian keenam adalah dari Aladin Puncoro yang membawa judul ‘Analisis Pengaruh Variasi Arus Listrik 90A, 100A, 130A terhadap Sifat Mekanis dan Struktur Mikro hasil Pengelasan *Gas Metal Arc Welding* (GMAW) pada Baja Karbon JIS S50C’. Pada penelitian ini didapati hasil kekerasan tertinggi terdapat pada arus 130 A, daerah las dengan nilai 127,13 HV sedangkan pada daerah HAZ dengan nilai 114,8 HV. Nilai kekerasan tertinggi kedua setelah arus 130 A adalah arus 110 A dengan nilai didaerah las 70,33 HV sedangkan didaerah HAZ nilai kekerasannya 135,1 HV. Nilai kekerasan yang terendah adalah arus 90 A yaitu dengan nilai pada daerah las 84,35 HV, sedangkan kekerasan didaerah HAZ yaitu 81,99 HV. Pada hasil pengujian tarik, kekuatan rata – rata max force tertinggi terdapat pada spesimen variasi arus 130 A pengelasan GMAW yaitu sebesar 18263 Newton, untuk kekuatan tarik atau tensile strength nilai tertinggi juga terdapat pada arus 130 A dengan nilai 146,74 Kgf/mm². Pada *yield strength* nilai tertinggi adalah arus 130 A yaitu 46,26 MPa, dan untuk nilai elongation nilai tertinggi juga pada arus 130 A yaitu dengan nilai 7,7 %. Pada pengamatan struktur mikro variasi arus 130 A memiliki kekerasan yang lebih tinggi, karena terlihat memiliki struktur perlit yg lebih banyak dari pada variasi arus 110 A dan 90 A, sedangkan kekerasan yg paling rendah terjadi pada daerah las dan HAZ variasi arus 90 A. Dapat di simpulkan bahwa semakin besar arus pengelasan yang digunakan maka kekerasan yang di dapat pada daerah las dan HAZ juga semakin tinggi. Relevansi dengan penelitian yang dijalankan adalah penelitian menggunakan material baja karbon yang menggunakan pengelasan GMAW untuk mencari sifat mekanis dan struktur mikro teroptimal. Perbedaan yang didapat adalah dari segi variasi arus sedangkan penelitian ini menggunakan variasi tegangan. (Puncoro, n.d.).

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Diagram alir

Diagram alir penelitian penelitian ini dapat dilihat pada **Gambar 3.1** di bawah ini



Gambar 3.1 Diagram alir penelitian

3.2 Metode Penelitian

Metode yang dilakukan untuk penelitian ini adalah:

1. Studi Lapangan
2. Studi Literatur
3. Diskusi
4. Eksperimental

3.3 Alat dan Bahan

3.3.1 Alat Penelitian

Adapun alat yang dipersiapkan dalam penelitian ini adalah:

1. Mesin *Gas Metal Arc Welding* (GMAW) OTC Daihen

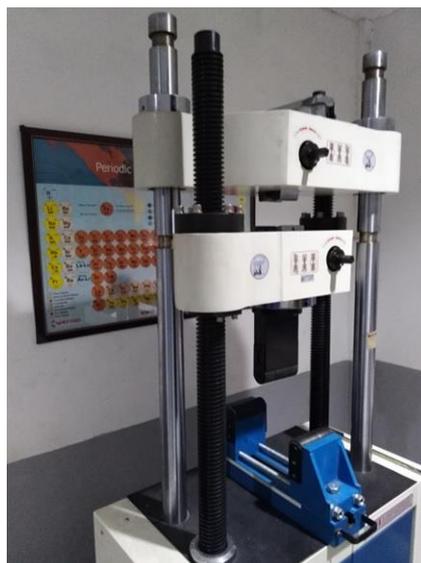
Mesin yang digunakan untuk pengelasan test piece dapat dilihat pada Gambar 3.2 sebagai berikut.



Gambar 3.2 Mesin las GMAW

2. Alat Uji Tarik

Alat ini adalah salah satu alat pengujian yang digunakan penelitian ini untuk menganalisis kekuatan tensile hasil penengelasan. Tipe alat yang digunakan adalah HT-9501. Gambar dapat dilihat pada Gambar 3.3 sebagai berikut.



Gambar 3.3 Alat uji tarik

3. Alat Uji Kekerasan

Alat ini adalah salah satu alat pengujian yang digunakan penelitian ini untuk menganalisis kekerasan hasil penegelasan. Gambar dapat dilihat pada Gambar 3.4 sebagai berikut.



Gambar 3.4 Alat Uji Kekerasan

4. Alat Uji Ultrasonik

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



Gambar 3.5 Alat Uji Ultrasonik

5. Mikroskop Optik

Alat ini digunakan untuk menganalisis struktur mikro dari hasil proses pengelasan pada penelitian. Mikroskop yang digunakan adalah Olympus BX-51M. Alat yang digunakan pada penelitian ditampilkan pada Gambar 3.6.



Gambar 3.6 Mikroskop Optik

6. Gerinda Tangan

Alat ini digunakan untuk preparasi spesimen uji kekerasan dan metalografi

7. Kertas Gosok/Amplas
Kertas amplas digunakan untuk mempersiapkan spesimen uji metalografi
8. Alat Milling
Mesin bubut atau milling adalah suatu mesin perkakas yang digunakan untuk memotong benda yang diputar.
9. Beaker Glass
10. Mesin Polishing
Alat ini digunakan untuk meratakan permukaan baja secara otomatis

3.3.2 Bahan Penelitian

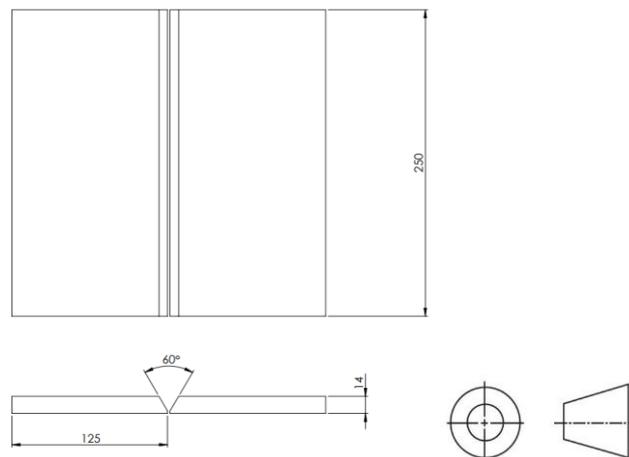
Adapun bahan yang dipersiapkan dalam penelitian ini adalah:

1. Baja S355JR

Dilakukan proses pengelasan pada baja S355JR yang memiliki ukuran 250 mm x 125 mm x 14 mm sesuai pada Gambar 3.7 dan Gambar 3.8. Komposisi kimia dan sifat kimia dapat dilihat pada Tabel 2.3 dan Tabel 2.4.



Gambar 3.7 Plat Baja S355J2 dan S355JR



Gambar 3.8 Gambar *Test Piece* Pengelasan

2. Baja S355J2

Dilakukan proses pengelasan pada baja S355J2 yang memiliki ukuran 250mm x 125mm x 14 mm sesuai pada Gambar 3.1 dan Gambar 3.2. Komposisi kimia dan sifat kimia dapat dilihat pada Tabel 2.1 dan Tabel 2.2

3. Kawat Elektroda ER70S-6 Huatong HTW-50

Kawat elektroda ER 70S-6 yang digunakan pada penelitian kali ini merupakan elektroda ER 70S-6 Huatong HTW-50. Kawat elektroda ER70S-6 ditunjukkan pada Gambar 3.9.



Gambar 3.9 Kawat Elektroda ER 70S-6

4. Larutan Etsa Nital

5. *Sand Paper*

Adapun kertas amplas atau *Sand Paper* yang digunakan dengan grade 80, 100, 240, 400, 600, 800, 1 000, 1200, 1500, dan 2000

6. Gas Argon dan CO₂

3.4 Parameter Pengelasan

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

Tabel 3.1 Parameter Pengelasan

Proses Pengelasan	GMAW
Posisi	1G
Material	S355J2 dan S355JR
Filler Metal	ER 70S-6 (1.2 mm)
Tipe Sambungan	Butt Joint
Arus (Ampere)	240
Tegangan (Volt)	28, 30, 32
Travel Speed (Cm/minute)	27-32
Polaritas	DCEP
Shielding Gas	Argon & CO ₂
Heat Input (KJ/mm)	1,26-1,49; 1,35-1,68 ; 1,44-1,7
Sudut Kampuh V (°)	60

3.5 Prosedur Penelitian

Pada penelitian ini prosedur penelitian yang dilakukan adalah:

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

2. Studi Literatur

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

3. Diskusi

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

4. Eksperimental

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

3.5.1 Prosedur Pengelasan

Proses pengelasan material dilakukan dengan tahapan sebagai berikut:

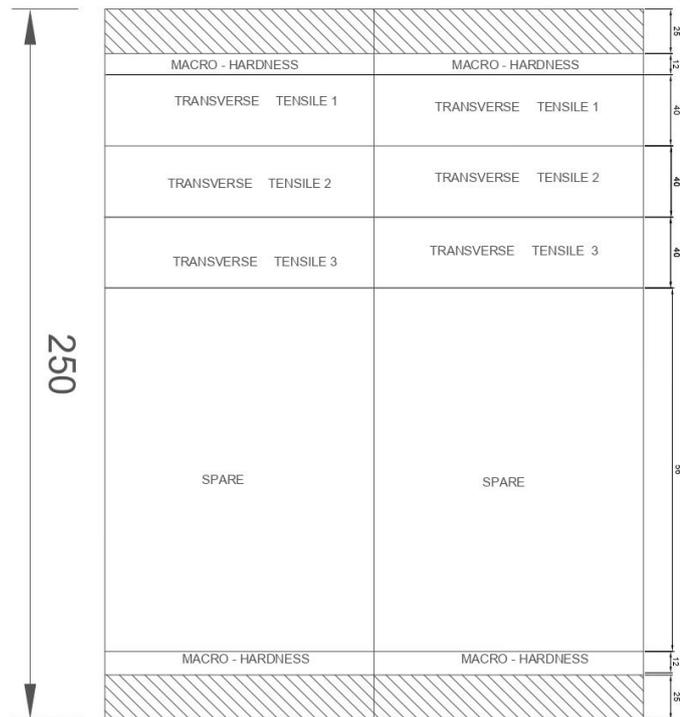
Prosedur yang digunakan pada proses pengelasan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Test piece dipersiapkan sesuai ukuran dan bevel yang telah ditentukan.
2. Kelurusan material, root opening, root face dimension dari test piece diperiksa sesuai dengan parameter yang telah ditentukan.
3. Mesin las dan elektroda dipersiapkan. Melakukan proses pengelasan.
4. Parameter pada mesin las diatur sesuai kebutuhan.
5. Arus diatur sesuai dengan variasi yang telah ditentukan
6. Proses pengelasan dilakukan.
7. Hasil pengelasan diperiksa secara visual dan uji ultrasonik.
8. Jika hasil las tidak memenuhi standar maka proses 1-6 diulang. Jika memenuhi standar langkah 1-7 diulangi dengan variasi tegangan yang berbeda.

3.5.2 Prosedur Pemotongan Spesimen Uji

Prosedur pembuatan spesimen uji adalah sebagai berikut:

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



Gambar 3.10 Rancangan Pemotongan Spesimen Uji

3.6 Proses Pengujian

Dalam melaksanakan penelitian ini ada beberapa proses pengujian yang harus dilakukan untuk mendapatkan hasil dan jawaban dari permasalahan yang dicari. Proses-proses pengujian yang dilakukan adalah sebagai berikut

3.6.1 Pengujian Ultrasonik

Pengujian dengan teknologi pengujian ultrasonik NDT portabel ini adalah pengujian yang tidak merusak material, disebut juga sebagai uji non-destruktif, dan bekerja dengan mengirimkan gelombang frekuensi tinggi ke dalam material atau benda uji untuk mengukur sifat geometris dan fisik. Alat ini digunakan untuk menguji material hasil pengelesan GMAW dengan variasi tegangan. Umumnya frekuensi yang digunakan berada pada rentang 1 MHz hingga 10 MHz. Pada penelitian ini pengujian ultrasonik digunakan untuk mengukur sifat geometris dan fisik material hasil pengelasan GMAW dengan variasi tegangan. Standar pengujian ultrasonik pada penelitian ini adalah AWS D1.1.

3.6.2 Pengujian Kekerasan Vickers

Uji kekerasan adalah teknik yang digunakan untuk mendapatkan distribusi kekerasan material hasil pengelasan GMAW dengan variasi tegangan. Ketahanan suatu material terhadap lekukan permanen disebut sebagai kekerasannya. Ada banyak teknik untuk mengukur kekerasan, dan masing-masing pengujian ini dapat mengidentifikasi nilai kekerasan yang berbeda untuk bahan yang sama yang diuji. Pengujian kekerasan yang digunakan adalah dengan metode pengujian macro *Vickers hardness tester* sesuai standar ASTM E92-17 dan sudut indentor yang digunakan adalah *diamond pyramide* dengan sudut 136° . Skema Pengujian kekerasan ditunjukkan pada Gambar 3.11.



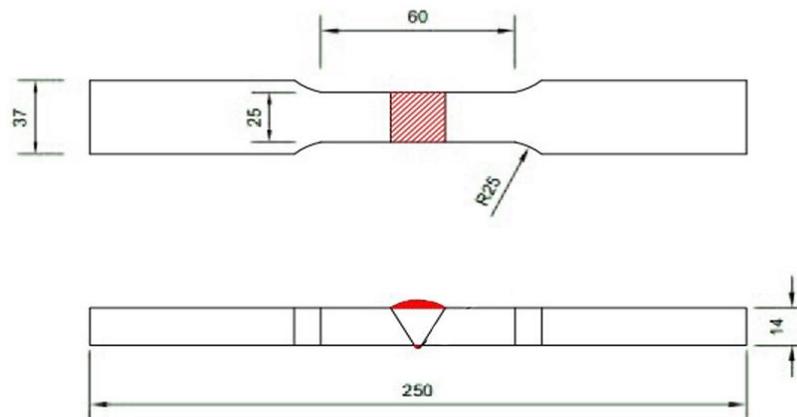
Gambar 3.11 Skema Pengujian Kekerasan

3.6.3 Pengujian Metalografi

Proses analisis metalografi digunakan untuk mengidentifikasi logam atau paduan serta berbagai karakteristik pengidentifikasi dari zat logam tertentu. Ukuran butir dan pertumbuhan butir, serta struktur mikro fase intermetalik, adalah contoh dari sifat tersebut. Pada penelitian ini pengujian metalografi bertujuan untuk menganalisis struktur mikro dari material hasil pengelasan GMAW dengan variasi tegangan yang diobservasi menggunakan mikroskop optik yang ditunjukkan pada Gambar 3.6. Standar yang digunakan pada pengujian metalografi pada penelitian ini adalah ASTM E407-07 dan untuk larutsan etsa yang digunakan adalah natal.

3.6.4 Pengujian Tarik Transversal

Pengujian tarik merupakan pengujian yang dilakukan untuk menganalisis kekuatan material hasil pengelasan GMAW dengan variasi tegangan dalam menerima pembebanan statis hingga patah. Pengujian ini juga digunakan untuk menganalisis sejauh mana mater itu bertambah panjang. Hasil dari pengujian ini berupa kurva tegangan regangan serta mendapatkan informasi hasil mengenai *tensile strength*, *elongation*, dan *yield strength* dari material uji. Pengujian ini dilakukan dengan menggunakan standar ISO 4136. Uji tarik yang digunakan adalah *transverse tensile test*.



3.7 Rancangan Lokasi Pengujian

Adapun rencana lokasi pengujian spesimen disajikan pada Tabel 3.2 sebagai berikut:

Tabel 3.2 Rancangan Lokasi Pengujian

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

3.8 Rancangan Penelitian

Pada penelitian ini terdapat beberapa spesimen uji yang diuji. Spesimen uji yang dibutuhkan secara menyeluruh dapat dilihat pada Tabel 3.3 sebagai berikut.

Tabel 3.3 Rancangan Penelitian

Nama Spesimen	Nilai Voltase	Pengujian			
		Ultrasonik	Tarik	Hardness	Metalografi
S355J2-28	28	✓	✓	✓	✓
S355J2-30	30	✓	✓	✓	✓
S355J2-32	32	✓	✓	✓	✓
S355JR-28	28	✓	✓	✓	✓
S355JR-30	30	✓	✓	✓	✓
S355JR-32	32	✓	✓	✓	✓

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

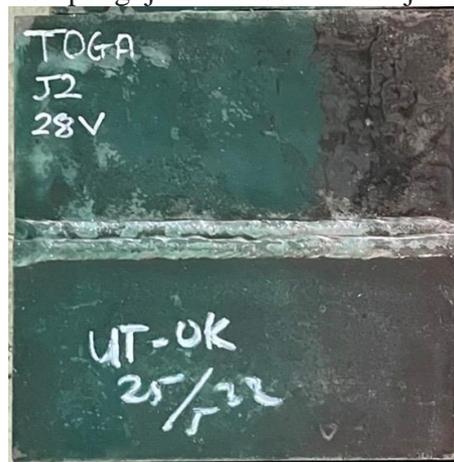
BAB IV ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN

4.1 Hasil Pengujian NDT Ultrasonik

Pengujian ultrasonik atau *Ultrasonic Testing* (UT) adalah metode uji material *non destructive testing* (NDT). Pengujian NDT Ultrasonik dilakukan pada material uji S355J2 dan S355JR karena sebelum melanjutkan pengujian lainnya, harus dipastikan bahwa material uji layak digunakan atau tidak. Hasil dari Pengujian NDT ultrasonik adalah sebagai berikut:

1. S355J2 28 V

Berikut adalah gambar dari material S355J2 dengan variasi 28V setelah dilakukan pengujian NDT *Ultrasonic*. Hasil pengujian ultrasonik ditunjukkan pada Gambar 4.1.



Gambar 4. 1 Material S355J2 28 V setelah dilakukan pengujian NDT *ultrasonic*

2. S355J2 30 V

Berikut adalah gambar dari material S355J2 dengan variasi 30V setelah dilakukan pengujian NDT *Ultrasonic*. Hasil pengujian ultrasonik ditunjukkan pada Gambar 4.2.



Gambar 4. 2 Material S355J2 28 V setelah dilakukan pengujian NDT *ultrasonic*

3. S355J2 32V

Berikut adalah gambar dari material S355J2 dengan variasi 32V setelah dilakukan pengujian NDT *Ultrasonic*. Hasil pengujian ultrasonik ditunjukkan pada Gambar 4.3.



Gambar 4. 3 Material S355J2 32 V setelah dilakukan pengujian NDT *ultrasonic*

4. S355JR 28V

Berikut adalah gambar dari material S355JR dengan variasi 28V setelah dilakukan pengujian NDT *Ultrasonic*. Hasil pengujian ultrasonik ditunjukkan pada Gambar 4.4.



Gambar 4. 4 Material S355JR 28 V setelah dilakukan pengujian NDT *ultrasonic*

5. S355JR 30 V

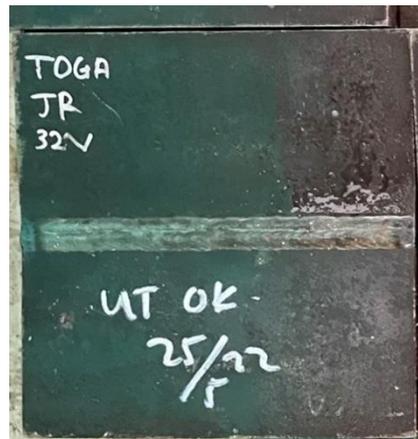
Berikut adalah gambar dari material S355JR dengan variasi 30V setelah dilakukan pengujian NDT *Ultrasonic*. Hasil pengujian ultrasonik ditunjukkan pada Gambar 4.5.



Gambar 4. 5 Material S355JR 30 V setelah dilakukan pengujian NDT *ultrasonic*

6. S355JR 32 V

Berikut adalah gambar dari material S355JR dengan variasi 32V setelah dilakukan pengujian NDT *Ultrasonic*. Hasil pengujian ultrasonik ditunjukkan pada Gambar 4.6.



Gambar 4. 6 Material S355JR 32 V setelah dilakukan pengujian NDT *ultrasonic*

Dari Gambar 4.1, Gambar 4.2, Gambar 4.3, Gambar 4.4, Gambar 4.5, dan Gambar 4.6 dapat ditinjau bahwa hasil dari setiap material S355J2 dan S355JR yang diuji ditandai “UT OK”. Dengan itu diketahui hasil *ultrasonic testing* menunjukkan bahwa tidak ada kecacatan, porositas, maupun laminasi dari material uji, dengan itu disimpulkan bahwa semua material diterima untuk melanjutkan proses pengujian selanjutnya.

4.2 Pengaruh Variasi Voltase Terhadap Nilai Kekerasan

4.2.1 Hasil Pengujian Kekerasan

Metode pengujian yang digunakan adalah *vickers* sesuai dengan standar ASTM E92-17. Dari pengujian tersebut didapatkan hasil yang disajikan pada **Tabel 4.1**, **Tabel 4.2**, **Tabel 4.3**, **Tabel 4.4**, **Tabel 4.5** dan **Tabel 4.6** sebagai berikut:

Tabel 4.1 Hasil Nilai Pengujian Kekerasan Spesimen Uji S355JR 30

Sample S355J2 (28V; tanpa perlakuan)

NO	VHN (<i>Vickers Hardness Number</i>)		
	<i>Base</i>	<i>Weld</i>	<i>HAZ</i>
1		242	245
2	188	232	237
3		216	224
Rata-rata	188	230,00	235,33

Tabel 4.2 Hasil Nilai Pengujian Kekerasan Spesimen Uji S355JR 32V

Sample S355J2 (30 V; tanpa perlakuan)

NO	VHN (<i>Vickers Hardness Number</i>)		
	<i>Base</i>	<i>Weld</i>	<i>HAZ</i>
1		263	229
2	196	222	250
3		220	235
Rata-rata	196	239,33	243,33

Tabel 4.3 Hasil Nilai Pengujian Kekerasan Spesimen Uji S355JR 32V

Sample S355J2 (32 V; tanpa perlakuan)

NO	VHN (<i>Vickers Hardness Number</i>)		
	<i>Base</i>	<i>Weld</i>	HAZ
1		243	243
2	194	240	253
3		235	234
Rata-rata	194	239,33	243,33

Tabel 4.4 Hasil Nilai Pengujian Kekerasan Spesimen Uji S355J2 28V

Sample S355J2 (28 V; tanpa perlakuan)

NO	VHN (<i>Vickers Hardness Number</i>)		
	<i>Base</i>	<i>Weld</i>	HAZ
1		238	243
2	182	228	225
3		208	219
Rata-rata	182	224,67	229,00

Tabel 4.5 Hasil Nilai Pengujian Kekerasan Sample S355JR 32V

Sample S355JR (32 V; tanpa perlakuan)

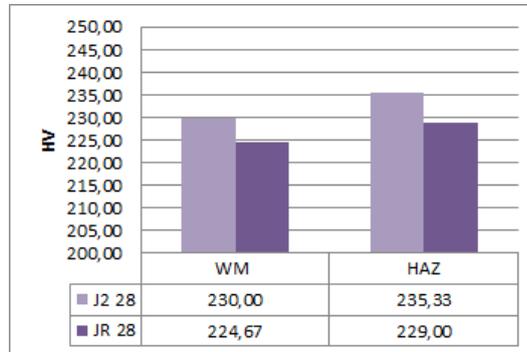
NO	VHN (<i>Vickers Hardness Number</i>)		
	<i>Base</i>	<i>Weld</i>	HAZ
1		229	232
2	192	247	253
3		219	214
Rata-rata	192	231,67	233,00

Tabel 4.6 Hasil Nilai Pengujian Kekerasan Spesimen S355JR 32V)

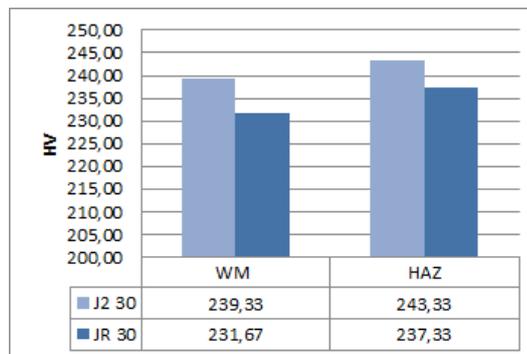
Sample S355J2 (32 V; tanpa perlakuan)

NO	VHN (<i>Vickers Hardness Number</i>)		
	<i>Base</i>	<i>Weld</i>	HAZ
1		240	250
2	188	250	234
3		218	228
Rata-rata	188	236,00	237,33

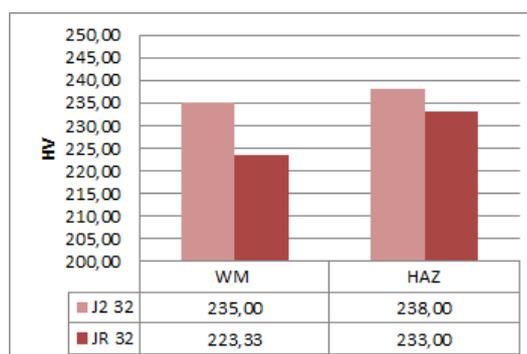
Perbandingan nilai kekerasan (HVN) dari material S355J2 dan S355JR dari setiap variasi ditunjukkan dengan Gambar 4.7, Gambar 4.8, Gambar 4.9, Gambar 4.10, dan Gambar 4.11 pada grafik sebagai berikut:



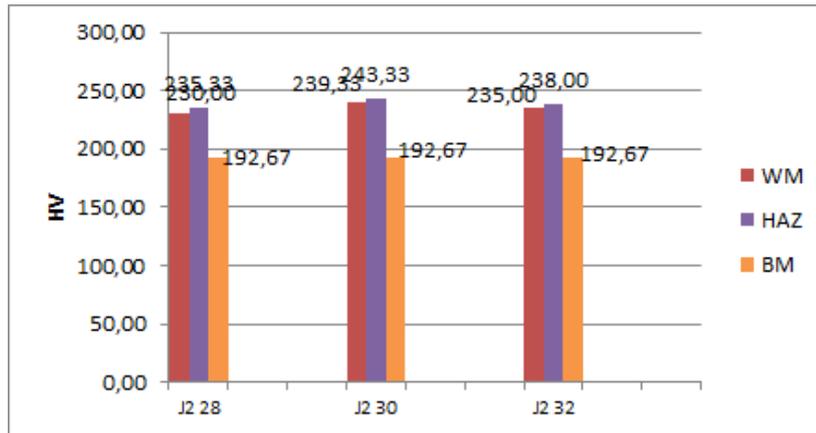
Gambar 4.7 Grafik Perbandingan Hasil Pengujian Kekerasan Pada Spesimen Uji S355J2 28 V (■) dan S355JR 28 V (■)



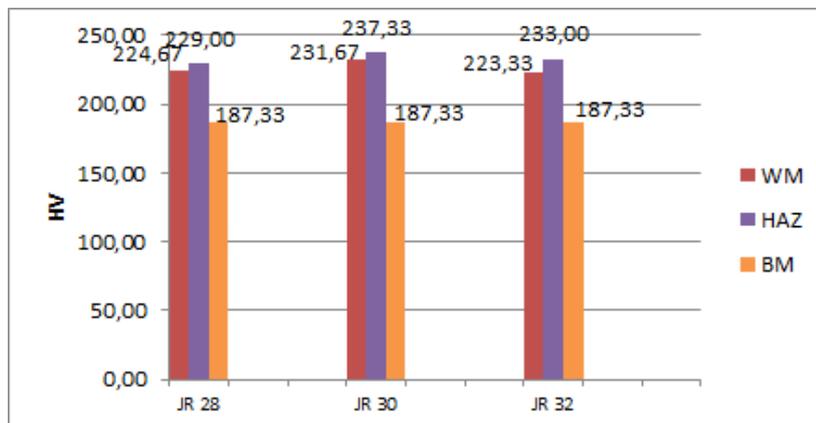
Gambar 4.8 Grafik Perbandingan Hasil Pengujian Kekerasan Pada Spesimen Uji S355J2 30 V (■) dan S355JR 30 V (■)



Gambar 4.9 Grafik Perbandingan Hasil Pengujian Kekerasan Pada Spesimen Uji S355J2 32 V (■) dan S355JR 32 V (■)



Gambar 4. 10 Grafik Perbandingan Hasil Pengujian Rata-rata Kekerasan Pada Spesimen Uji S355J2 pada daerah lasan *Weld Metal* (WM), *Heat Affected Zone* (HAZ), dan *Base Metal* (BM)



Gambar 4. 11 Grafik Perbandingan Hasil Pengujian Rata-rata Kekerasan Pada Spesimen Uji S355JR pada daerah lasan *Weld Metal* (WM), *Heat Affected Zone* (HAZ), dan *Base Metal* (BM)

4.2.2 Pembahasan Hasil Uji Kekerasan

Dari data hasil uji kekerasan yang disajikan pada gambar dan tabel di atas dapat dilihat bahwa penggunaan dan memvariasikan tegangan pengelasan dapat memengaruhi hasil kekerasan pada daerah HAZ dan *weld metal*. Dapat dilihat bahwa nilai kekerasan pada HAZ selalu lebih tinggi di dibandingkan pada *Weld Metal* pada tiap material dan variasi. Menurut Parekke, S. (2014), hal tersebut dikarenakan adanya distribusi kekerasan baja setelah mengalami pengelasan yaitu pada daerah *weld metal* yang memiliki kekerasan lebih rendah daripada *Heat Affected Zone* (HAZ) karena daerah ini mengalami pendinginan paling lambat. Kekerasan mengalami peningkatan mulai dari daerah pengaruh panas atau HAZ, tetapi mengalami penurunan hingga ke logam induk. Kekerasan daerah *Heat Affected Zone* (HAZ) meningkat karena butir mulai mengalami penghalusan. Semakin jauh dari *weld metal* kekerasan butir semakin meningkat dan ukurannya semakin halus. Hal ini terjadi karena temperatur pemanasan pada daerah ini mengalami penurunan sehingga struktur logam awal tidak sepenuhnya mengalami transformasi ketika pengelasan. Akibatnya pada saat pendinginan cenderung terbentuk struktur logam awal ferit yang lebih lunak. (Parekke et al., 2014)

Dari data hasil di atas juga terlihat adanya tren peningkatan nilai kekerasan pada variasi tegangan 28 V saat ditingkatkan ke tegangan 30 V. Fenomena ini dikarenakan semakin tinggi

voltage atau masukan panas yang diberikan sehingga bahan atau logam tersebut semakin keras, maka mangan karbida (MnC) yang sifatnya memberikan kekerasan pada logam terbentuk. (Priadi, 2007) Namun adapula tren penurunan nilai kekerasan pada variasi tegangan 30 V saat ditingkatkan ke tegangan 32 V. Hal ini disebabkan jika menerapkan tegangan terlalu tinggi, panas yang dihasilkan mempengaruhi struktur mikro oleh pertumbuhan batas butir dan pembakaran beberapa aditif yang menyebabkan kemungkinan terbentuknya cacat formasi, porositas dan penurunan kekerasan (Al-Sarairih, 2018). Peningkatan tegangan dapat membuat material terlihat lebih getas dan keras karena zona gelap yang lebih dominan daripada ferit, namun jika terlalu panas, dapat bisa menimbulkan konsekuensi deformasi. (Ratnasari, 2016)

4.3 Pengaruh Variasi Voltase Terhadap Kekuatan Tarik

4.3.1 Hasil Pengujian Tarik Baja Material S355J2

. Berikut adalah hasil pengujian tarik dari spesimen uji material S355J2 dengan variasi tegangan/voltase 28 V, 30 V, 32 V yang ditunjukkan pada Tabel 4.7.

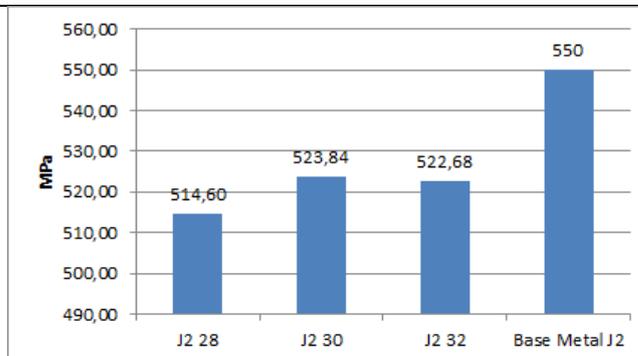
Tabel 4.7 Hasil Pengujian Tarik Spesimen S355J2

Kode	<i>Ultimate Tensile Strength</i> (MPa)	<i>Avg. Ultimate Tensile Strength</i> (MPa)	<i>Elongation</i> (%)	<i>Avg. Elongation</i> (%)	<i>Yield Strength</i> (MPa)	<i>Avg. Yield Strength</i> (MPa)
J228-1	515,93		38,12		375,13	
J228-2	524,85	514,60	34,56	35,68	373,13	375,06
J228-3	503,03		34,36		376,94	
J230-1	528,88		35,04		392,52	
J230-2	529,51	523,84	36,75	35,43	385,16	389,75
J230-3	523,12		34,49		391,58	
J232-1	523,30		28,97		381,98	
J232-2	527,61	522,68	29,28	29,74	364,41	378,90
J232-3	517,13		30,97		390,32	

Dari tabel di atas, diperoleh nilai rata-rata dari masing-masing *ultimate tensile strength*, *yield strength* dan *elongation*. Adapun nilai *ultimate tensile strength*, *yield strength* dan *elongation* tertinggi diperoleh pada spesimen S355J2 30 V dengan nilai secara berurutan sebesar 523,84 MPa, 389,75 MPa, dan 35,43% lalu diikuti oleh spesimen S355J2 32 V dengan nilai UTS, yield strength dan elongation berturut-turut sebesar 522,68 MPa, 378,90 MPa, dan 29,74%. Spesimen S355JR 28 V masing-masing memiliki nilai UTS, yield strength dan elongation terkecil sebesar 514,60 MPa, 375,06 MPa, dan 35,68%.

Tabel 4. 8 Perbandingan rata-rata UTS menggunakan material S355J2

Kode	<i>Ultimate Tensile Strength</i> (MPa)	<i>Avg. Ultimate Tensile Strength</i> (MPa)	<i>Tren</i>
J228-1	515,93	514,60	Turun 6,44 %
J228-2	524,85		
J228-3	503,03		
J230-1	528,88	523,84	Turun 4,76 %
J230-2	529,51		
J230-3	523,12		
J232-1	523,30	522,68	Turun 4,97 %
J232-2	527,61		
J232-3	517,13		
<i>Base Metal</i>		550	

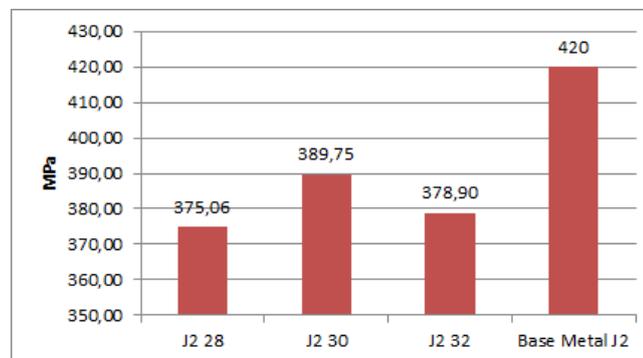


Gambar 4. 12 Grafik Perbandingan rata-rata *Ultimate Tensile Strength* dari material S355J2

Pada grafik perbandingan rata-rata *ultimate tensile strength* spesimen pengelasan baja S355J2 yang ditunjukkan pada Tabel 4.8 dan Gambar 4.12, terdapat nilai *ultimate tensile strength* base metal S355J2 yang digunakan sebagai pembandingan dengan nilai *ultimate tensile strength* dari spesimen pada penelitian ini yang bertujuan untuk melihat apakah nilai *ultimate tensile strength* spesimen pengelasan mencapai base metal atau tidak. Adapun nilai *ultimate tensile strength* sebesar 420 MPa. Nilai *ultimate tensile strength* tertinggi diperoleh dari spesimen J2 30 dengan nilai 523,84 MPa dan mengalami penurunan dari base metal sekitar 4,76%. Kemudian diikuti oleh spesimen J2 32 dan J2 82 dengan nilai *ultimate tensile strength* sebesar 522,68 MPa dan 514,60 MPa dan memiliki penurunan masing-masing sebesar Turun 4,97% dan 6,44%.

Tabel 4. 9 Perbandingan rata-rata *Yield Strength* menggunakan material S355J2

Kode	<i>Yield Strength</i> (MPa)	<i>Avg. Yield Strength</i> (MPa)	<i>Tren</i>
J228-1	375,13	375,07	Turun 10,70 %
J228-2	373,13		
J228-3	376,94		
J230-1	392,52	389,75	Turun 7,20 %
J230-2	385,16		
J230-3	391,58		
J232-1	381,98	378,90	Turun 9,78 %
J232-2	364,41		
J232-3	390,32		
<i>Base Metal</i>		420	

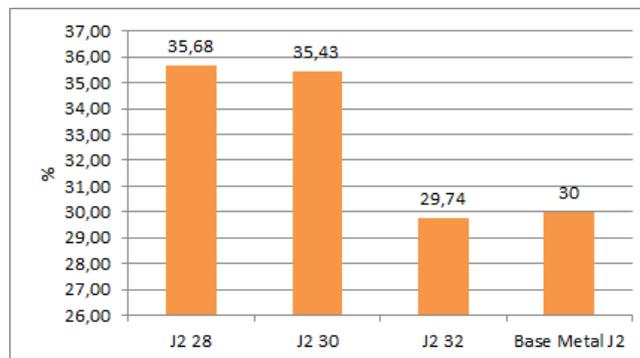


Gambar 4. 13 Grafik Perbandingan rata-rata *Yield Strength* dari material S355J2

Pada grafik perbandingan rata-rata *yield strength* spesimen pengelasan baja S355J2 yang ditunjukkan pada Tabel 4.9 dan Gambar 4.13, terdapat nilai *yield strength* base metal S355J2 yang digunakan sebagai pembandingan dengan nilai *yield strength* dari spesimen pada penelitian ini yang bertujuan untuk melihat apakah nilai *yield strength* spesimen pengelasan mencapai base metal atau tidak. Adapun nilai nilai *yield strength* sebesar 420 MPa. Nilai *yield strength* tertinggi diperoleh dari spesimen J2 30 dengan nilai 389,75 MPa dan mengalami penurunan dari base metal sekitar 7,20%. Kemudian diikuti oleh spesimen J2 32 dan J2 82 dengan nilai *yield strength* sebesar 378,90 MPa dan 375,07 MPa dan memiliki penurunan masing-masing sebesar Turun 9,78% dan 10,70%.

Tabel 4. 10 Perbandingan rata-rata *Elongation* menggunakan material S355J2

Kode	<i>Elongation</i> (%)	Avg. <i>Elongation</i> (%)	Tren
J228-1	38,12	35,68	Naik 18,93 %
J228-2	34,56		
J228-3	34,36		
J230-1	35,04	35,43	Naik 18,09 %
J230-2	36,75		
J230-3	34,49		
J232-1	28,97	29,74	Turun 0,87 %
J232-2	29,28		
J232-3	30,97		
<i>Base Metal</i>		30	



Gambar 4. 14 Grafik Perbandingan rata-rata *Elongation* dari material S355J2

Pada grafik perbandingan rata-rata *Elongation* spesimen pengelasan baja S355J2 yang ditunjukkan pada Tabel 4.10 dan Gambar 4.14, terdapat nilai *Elongation* base metal S355J2 yang digunakan sebagai pembandingan dengan nilai *Elongation* dari spesimen pada penelitian ini yang bertujuan untuk melihat apakah nilai *Elongation* spesimen hasil pengelasan mencapai base metal atau tidak. Adapun nilai nilai *Elongation* strength sebesar 30%. Nilai *Elongation* tertinggi diperoleh dari spesimen J2 28 dengan nilai 35,68% dan mengalami kenaikan dari base metal sekitar 18,93%. Kemudian diikuti oleh spesimen J2 30 dan J2 32 dengan nilai *elongation* sebesar 35,43% dan 29,74% dan memiliki kenaikan masing-masing sebesar Turun 18,09% dan 0,87%.

4.3.2 Hasil Pengujian Tarik Baja Material S355JR

Pengujian tarik memiliki fungsi untuk mengetahui tingkat kekuatan suatu material dan untuk mengenali karakteristik pada material tersebut. Berikut adalah hasil pengujian tarik dari spesimen uji material S355JR dengan variasi tegangan/voltase 28 V, 30 V, 32 V yang ditunjukkan pada Tabel 4.11.

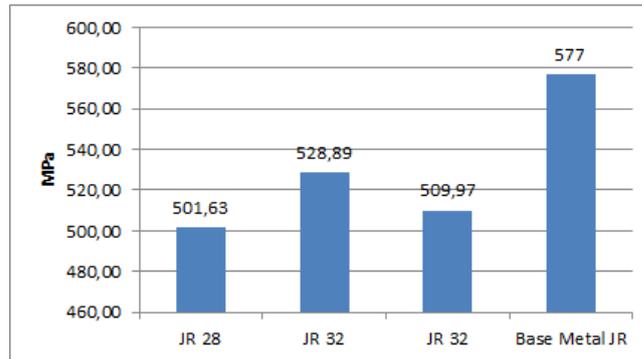
Tabel 4. 11 Hasil Pengujian Tarik Spesimen S355JR

Kode	<i>Ultimate Tensile Strength</i> (MPa)	<i>Avg. Ultimate Tensile Strength</i> (MPa)	<i>Elongation</i> (%)	<i>Avg. Elongation</i> (%)	<i>Yield Strength</i> (MPa)	<i>Avg. Yield Strength</i> (MPa)
JR28-1	482,58		29,28		354,24	
JR28-2	488,67	501,63	29,16	27,83	374,86	375,58
JR28-3	533,64		25,04		397,62	
JR30-1	527,52		30,24		399,42	
JR30-2	535,07	528,89	33,76	31,19	386,27	387,06
JR30-3	524,09		29,56		375,49	
JR32-1	482,01		28,68		373,22	
JR32-2	527,85	509,97	30,44	29,67	380,84	383,57
JR32-3	520,04		29,90		396,65	

Dari Tabel 4.11 di atas, diperoleh nilai rata-rata dari masing-masing *ultimate tensile strength*, *yield strength* dan *elongation*. Adapun nilai *ultimate tensile strength*, *yield strength* dan *elongation* tertinggi diperoleh pada spesimen S355JR 30 V dengan nilai secara berurutan sebesar 528,89 MPa, 387,06 MPa, dan 31,19% lalu diikuti oleh spesimen S355JR 32 V dengan nilai UTS, *yield strength* dan *elongation* berturut-turut sebesar 509,97 MPa, 383,57 MPa, dan 29,67%. Spesimen S355JR 28 V masing-masing memiliki nilai UTS, *yield strength* dan *elongation* terkecil sebesar 501,63 MPa, 375,58 MPa, dan 27,83%.

Tabel 4. 12 Perbandingan rata-rata UTS menggunakan material S355JR

Kode	<i>Ultimate Tensile Strength</i> (N/mm ²)	<i>Avg. Ultimate Tensile Strength</i> (MPa)	<i>Tren</i>
J228-1	482,58		
J228-2	488,67	514,60	Turun 13,06 %
J228-3	533,64		
J230-1	527,52		
J230-2	535,07	527,17	Turun 8,34 %
J230-3	524,09		
J232-1	482,01		
J232-2	527,85	522,68	Turun 11,62 %
J232-3	520,04		
<i>Base Metal</i>		577	



Gambar 4. 15 Grafik Perbandingan rata-rata *Ultimate Tensile Strength* dari material S355JR

Tabel 4. 13 Perbandingan rata-rata *Yield Strength* menggunakan material S355JR

Kode	<i>Yield Strength</i> (MPa)	<i>Avg. Yield Strength</i> (MPa)	<i>Tren</i>
J228-1	354,24	375,57	Turun 11,62 %
J228-2	374,86		
J228-3	397,62		
J230-1	399,42	387,06	Turun 10,40 %
J230-2	386,27		
J230-3	375,49		
J232-1	373,22	383,57	Turun 11,21 %
J232-2	380,84		
J232-3	396,65		
<i>Base Metal</i>		432	



Gambar 4. 16 Grafik Perbandingan rata-rata *Yield Strength* dari material S355JR

Pada grafik perbandingan rata-rata *yield strength* spesimen pengelasan baja S355JR yang ditunjukkan pada Tabel 4.13 dan Gambar 4.16, terdapat nilai *yield strength* base metal S355JR yang digunakan sebagai pembandingan dengan nilai *yield strength* dari spesimen pada penelitian ini yang bertujuan untuk melihat apakah nilai *yield strength* spesimen pengelasan mencapai base metal atau tidak. Adapun nilai nilai *yield strength* sebesar 420 MPa. Nilai *Yield Strength* tertinggi diperoleh dari spesimen JR 30 dengan nilai 387,06 MPa dan mengalami penurunan sebesar 10,40% dari base metal.

Tabel 4. 14 Perbandingan rata-rata *Elongation* menggunakan material S355JR

Kode	<i>Elongation</i> (%)	<i>Avg. Elongation</i> (%)	<i>Tren</i>
J228-1	29,28		
J228-2	29,16	27,83	Naik 11,21 %
J228-3	25,04		
J230-1	30,24		
J230-2	33,76	31,19	Naik 24,75 %
J230-3	29,56		
J232-1	28,68		
J232-2	30,44	29,67	Naik 18,69 %
J232-3	29,99		
<i>Base Metal</i>		25	



Gambar 4. 17 Grafik Perbandingan rata-rata *Elongation* dari material S355JR

Pada grafik perbandingan rata-rata *Elongation* spesimen pengelasan baja S355J2 yang ditunjukkan pada Tabel 4.14 dan Gambar 4.17, terdapat nilai *yield strength* base metal S355J2 yang digunakan sebagai pembandingan dengan nilai *Elongation* dari spesimen pada penelitian ini yang bertujuan untuk melihat apakah nilai *Elongation* spesimen pengelasan mencapai base metal atau tidak. Adapun nilai nilai *yield strength* sebesar 420 MPa. Nilai *Elongation* tertinggi diperoleh dari spesimen J2 28 dengan nilai 35,68 MPa dan mengalami kenaikan dari base metal sekitar.

4.3.3 Pembahasan Hasil Pengujian Tarik

Dari tabel hasil pengujian tarik di diketahui setelah dilakukannya pengujian tarik, diperoleh grafik perbandingan dan tabel nilai *Ultimate Tensile Strength*, *Yield Strength*, dan *Elongation* pada spesimen uji Baja S355J2 dan S355JR dengan variasi tegangan 28 V, 30 V dan 32 V.

Pada tiap spesimen uji Baja S355J2 yang diuji sebanyak tiga kali tiap variasi, rata-rata tegangan tarik tertinggi terdapat pada variasi 30V sebesar 523,84 MPa, untuk rata-rata tegangan luluh tertinggi terdapat pada variasi 30 V dengan nilai 389,75 MPa dan rata-rata elongasi tertinggi terdapat pada variasi 28 V dengan nilai 35,68%. Ditinjau dari grafik pada Gambar 4.12, 4.13, dan 4.14, didapat tren yaitu dimana ada kenaikan *ultimate tensile strength*, *yield strength* dari variasi 28 V ke variasi 30 V lalu menurun pada variasi 32 V, sedangkan pada hasil *elongation* menunjukkan bahwa semakin tinggi tegangan menyebabkan penurunan *elongation*.

Pada tiap spesimen uji Baja S355JR yang diuji sebanyak tiga kali tiap variasi, rata-rata tegangan tarik tertinggi terdapat pada variasi 30 V dengan nilai sebesar 528,89 MPa, untuk rata-rata tegangan luluh tertinggi terdapat pada variasi 30 V dengan nilai 387,06 MPa dan rata-rata elongasi tertinggi terdapat pada variasi 30 V dengan nilai 31,19%. Pada dasarnya, tegangan

tarik maksimum cenderung menurun seiring bertambahnya voltase pengelasan. Ditinjau dari grafik pada Gambar 4.15, Gambar 4.16, dan Gambar 4.17, didapat tren yaitu dimana ada kenaikan nilai *ultimate tensile strength*, *yield strength*, dan *elongation* dari variasi 28 V ke variasi 30 V lalu menurun pada variasi 32 V.

Adanya penurunan nilai *ultimate tensile strength*, *yield strength*, dan *elongation* dikarenakan faktor heat input, yang menyimpulkan bahwa besar kuat tegangan mempengaruhi kekerasan dan tegangan tarik dari setiap spesimen. Perilaku ini dijelaskan oleh fakta bahwa tegangan yang lebih tinggi menghasilkan masukan panas atau *heat input* yang lebih tinggi, yang dapat memberikan ruang untuk membentuk kecacatan las dan dengan demikian sifat mekanik yang diamati berkurang. (Talabi et al., 2014). Pengaruh peningkatan *voltage* menyebabkan kenaikannya masukan panas oleh karena itu pengaruh masukan panas yang tinggi menyebabkan laju pendinginan setelah pengelasan menjadi lambat sehingga hal tersebut juga menyebabkan bentuk manik yang lebar, penetrasi dangkal, penguatan manik rendah, serta terjadi perpanjangan meningkat dan terjadi lubang halus sehingga mengakibatkan adanya penurunan kekuatan pada sifat mekanis logam lasan. (Wirjosumarto & Okumura, 1979)

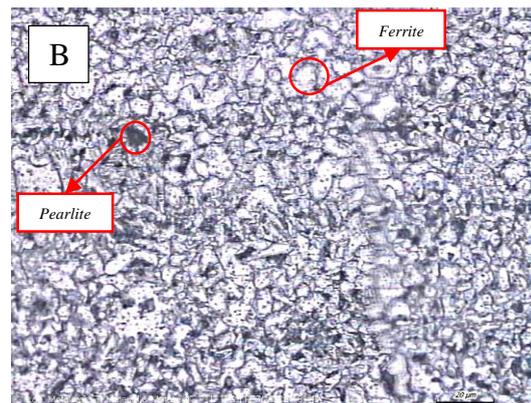
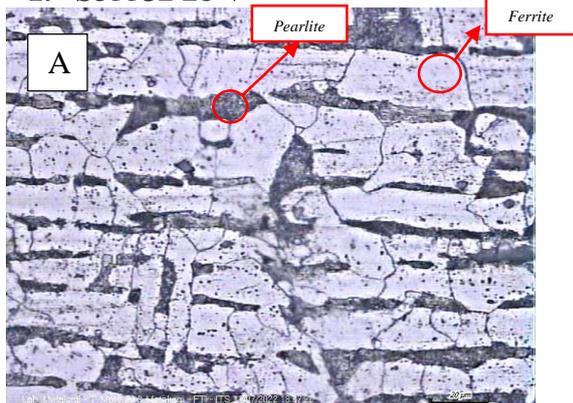
4.4 Pengaruh Variasi Voltase Terhadap Hasil Pengujian Metalografi

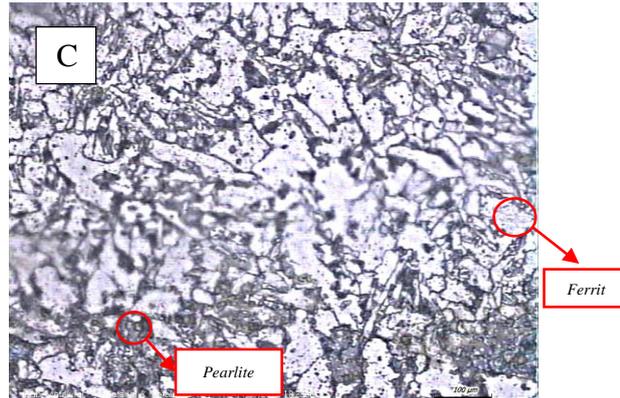
Pengujian metalografi dilakukan untuk memperoleh informasi terkait mikrostruktur logam yang kelak dapat digunakan untuk menjelaskan berbagai karakteristik logam. Hal ini dilakukan dengan spesimen uji diberikan larutan etsa Nital dengan standar ASTM E3 lalu difoto dengan mikroskop optik. Setelah didapatkan gambar dari mikroskop, dilanjutkan dengan perhitungan persentase fasa menggunakan aplikasi ImageJ. Pada struktur mikro terdapat zona terang yaitu fasa *ferrite*, dan zona gelap yaitu fasa *pearlite* dan batas butir *pearlite*. Dari pengujian tersebut didapatkan hasil perhitungan persentase zona gelap dan zona terang sebagai berikut:

4.4.1 Hasil Pengujian Metalografi S355J2

Berikut adalah hasil pengujian metalografi dari spesimen uji material S355J2 dengan variasi 28 V, 30 V, dan 32 V di tiga daerah lasan yang berbeda:

1. S355J2 28 V

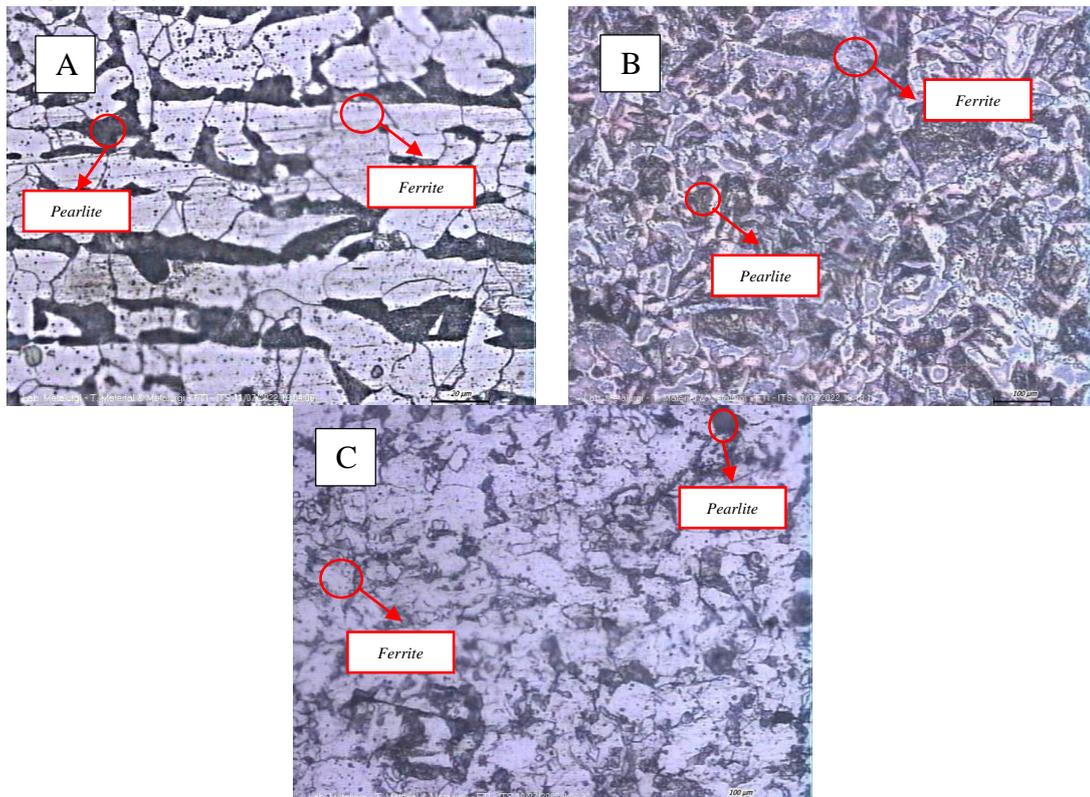




Gambar 4. 18 Metalografi di daerah (A) Base Metal, (B) HAZ, (C) Weld Metal pada spesimen S355J2 28 V dengan perbesaran 500x

Pada Gambar 4.18 dapat dilihat bahwa terdapat dua fasa yang menyusun pada tiap daerah lasan spesimen uji S355J2 dengan variasi 28 V yaitu zona terang dan zona gelap. Zona terang dapat dilihat berwarna putih dan fasa zona gelap berwarna hitam. Setelah perhitungan kadar fasa melalui ImageJ, dapat disimpulkan bahwa ada daerah (A) *Base Metal* didapatkan zona terang sebesar 68,72% dan zona gelap sebesar 31,28%. Pada daerah (B) HAZ didapatkan zona terang sebesar 50,80% dan zona gelap sebesar 49,21%. Pada daerah (C) *Weld Metal* didapatkan zona terang sebesar 68,24% dan zona gelap sebesar 37,16%.

2. S355J2 30 V

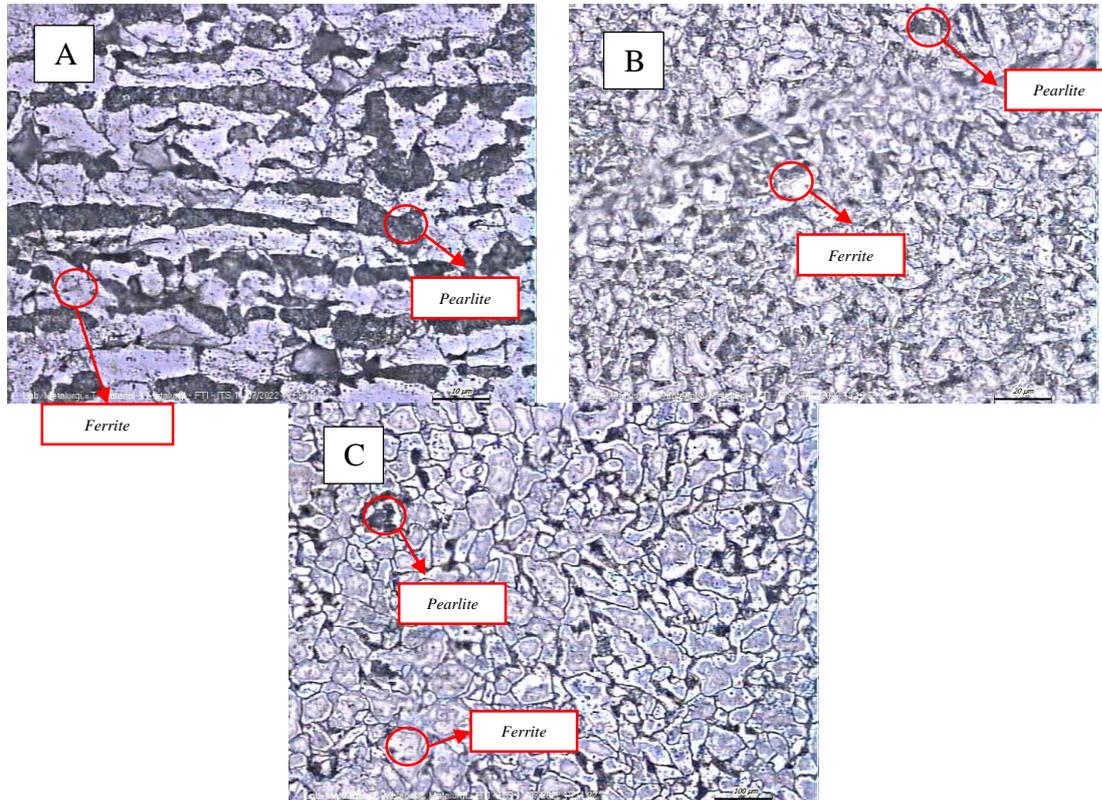


Gambar 4. 19 Metalografi di daerah (A) Base Metal, (B) HAZ, (C) Weld Metal pada spesimen S355J2 30 V dengan perbesaran 500x

Pada Gambar 4.19 dapat dilihat bahwa terdapat dua fasa yang menyusun pada tiap daerah lasan spesimen uji S355J2 dengan variasi 30 V yaitu zona terang dan zona gelap. Zona terang

dapat dilihat berwarna putih dan zona gelap berwarna hitam. Setelah perhitungan kadar fasa melalui ImageJ, dapat disimpulkan bahwa ada daerah (A) *Base Metal* didapatkan zona terang sebesar 64,89% dan zona gelap sebesar 35,11%. Pada daerah (B) HAZ didapatkan zona terang sebesar 41,41% dan zona gelap sebesar 58,60%. Pada daerah (C) *Weld Metal* didapatkan zona terang sebesar 54,43% dan zona gelap sebesar 45,47%.

3. S355J2 32 V



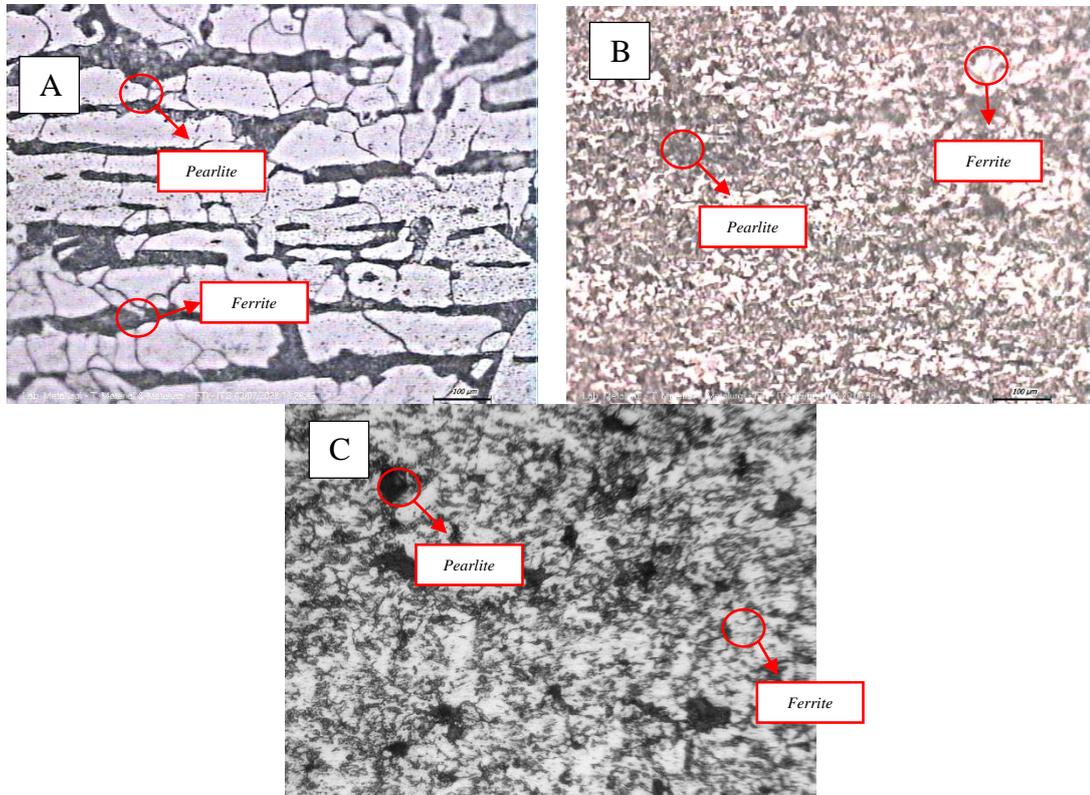
Gambar 4. 20 Metalografi di daerah (A) Base Metal, (B) HAZ, (C) Weld Metal pada spesimen S355J2 32 V dengan perbesaran 500x

Pada Gambar 4.20 dapat dilihat bahwa terdapat dua fasa yang menyusun pada tiap daerah lasan spesimen uji S355J2 dengan variasi 30 V yaitu zona terang dan zona gelap. Zona terang dapat dilihat berwarna putih dan zona gelap berwarna hitam. Setelah perhitungan kadar fasa melalui ImageJ, dapat disimpulkan bahwa ada daerah (A) *Base Metal* didapatkan zona terang sebesar 67,68% dan zona gelap sebesar 32,32%. Pada daerah (B) HAZ didapatkan zona terang sebesar 47,46% dan zona gelap sebesar 52,55%. Pada daerah (C) *Weld Metal* didapatkan zona terang sebesar 58,37% dan zona gelap sebesar 41,64%.

4.4.2 Hasil Pengujian Metalografi S355JR

Berikut adalah hasil pengujian metalografi dari spesimen uji material S355JR dengan variasi 28 V, 30 V, dan 32 V di tiga daerah lasan yang berbeda

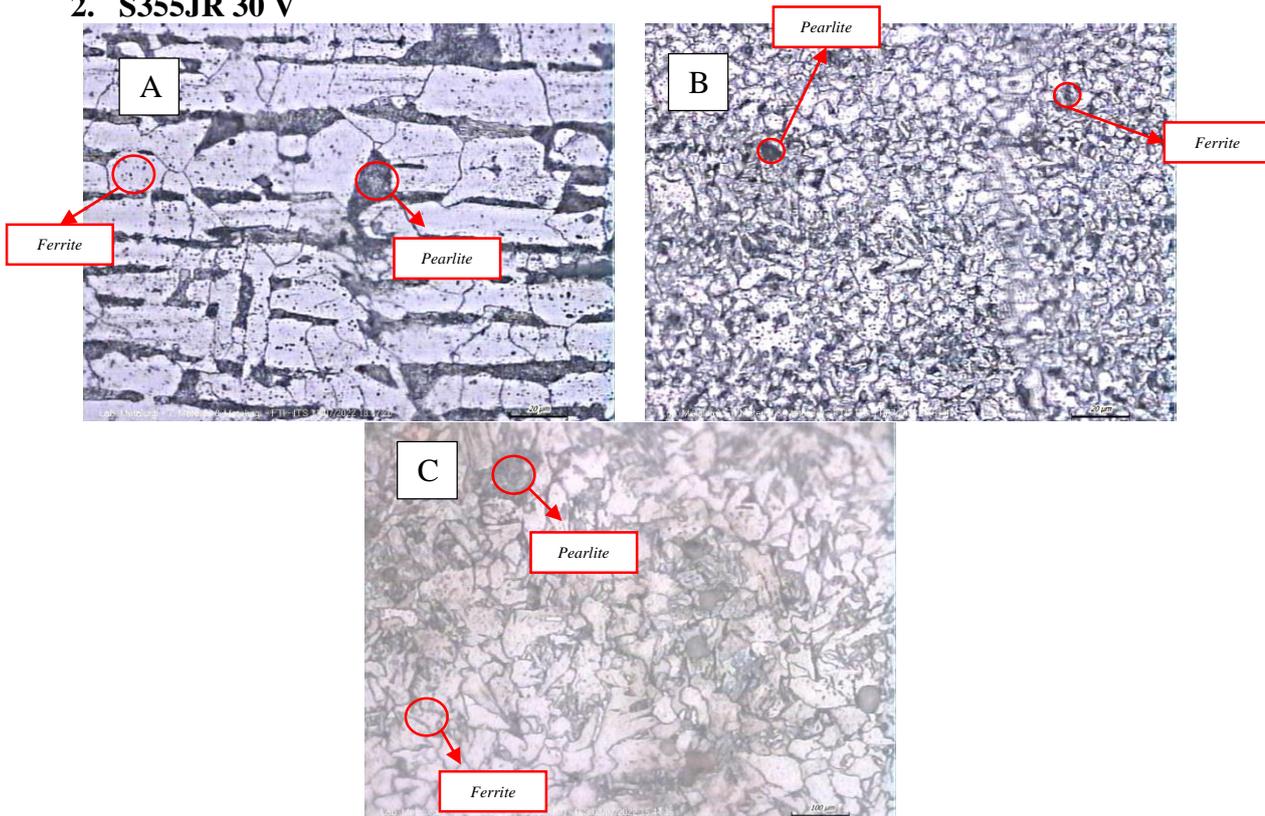
1. S355JR 28 V



Gambar 4. 21 Metalografi di daerah (A) Base Metal, (B) HAZ, (C) Weld Metal pada spesimen S355JR 28 V dengan perbesaran 500x

Pada Gambar 4.21 dapat dilihat bahwa terdapat dua fasa yang menyusun pada tiap daerah lasan spesimen uji S355JR dengan variasi 28 V yaitu zona terang dan zona gelap. Zona terang dapat dilihat berwarna putih dan fasa zona gelap berwarna hitam. Setelah perhitungan kadar fasa melalui ImageJ, dapat disimpulkan bahwa ada daerah (A) *Base Metal* didapatkan zona terang sebesar 66,77% dan zona gelap sebesar 33,23%. Pada daerah (B) HAZ didapatkan zona terang sebesar 46,21% dan zona gelap sebesar 53,80%. Pada daerah (C) *Weld Metal* didapatkan zona terang sebesar 64,06% dan zona gelap sebesar 35,94%.

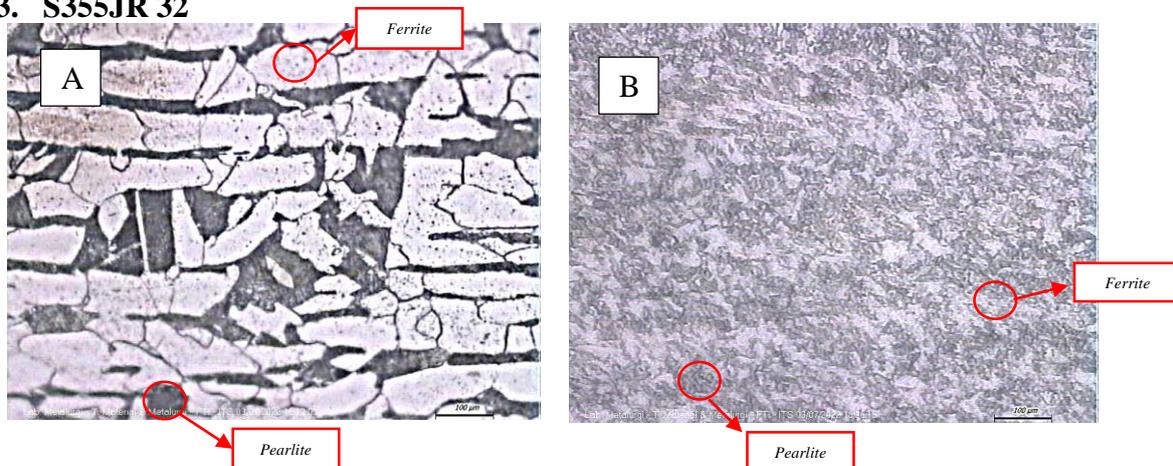
2. S355JR 30 V

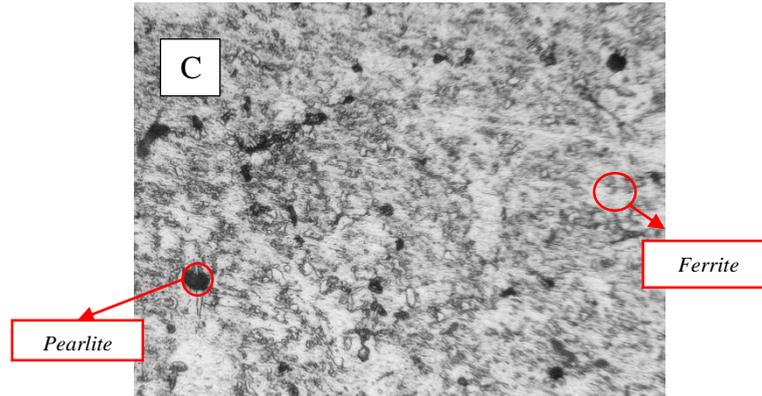


Gambar 4. 22 Metalografi di daerah (A) Base Metal, (B) HAZ, (C) Weld Metal pada spesimen S355JR 30 V dengan perbesaran 500x

Pada Gambar 4.22 dapat dilihat bahwa terdapat dua fasa yang menyusun pada tiap daerah lasan spesimen uji S355JR dengan variasi 30 V yaitu zona terang dan zona gelap. Zona terang dapat dilihat berwarna putih dan zona gelap berwarna hitam. Setelah perhitungan kadar fasa melalui ImageJ, dapat disimpulkan bahwa ada daerah (A) *Base Metal* didapatkan zona terang sebesar 67,56% dan *zona gelap* sebesar 32,44%. Pada daerah (B) HAZ didapatkan zona terang sebesar 42,04% dan *zona gelap* sebesar 57,96%. Pada daerah (C) *Weld Metal* didapatkan zona terang sebesar 53,02% dan *zona gelap* sebesar 46,98%.

3. S355JR 32





Gambar 4. 23 Metalografi di daerah (A) Base Metal, (B) HAZ, (C) Weld Metal pada spesimen S355JR 32 V dengan perbesaran 500x

Pada Gambar 4.23 dapat dilihat bahwa terdapat dua fasa yang menyusun pada tiap daerah lasan spesimen uji S355JR dengan variasi 32 V yaitu zona terang dan zona gelap. Zona terang dapat dilihat berwarna putih dan zona gelap berwarna hitam. Setelah perhitungan kadar fasa melalui ImageJ, dapat disimpulkan bahwa ada daerah (A) *Base Metal* didapatkan zona terang sebesar 67,90% dan zona gelap sebesar 32,10%. Pada daerah (B) HAZ didapatkan zona terang sebesar 45,92% dan zona gelap sebesar 54,08%. Pada daerah (C) *Weld Metal* didapatkan zona terang sebesar 56,81% dan zona gelap sebesar 43,19%. Tabel persentase fasa uji metalografi ditunjukkan pada **Tabel 4.15** sebagai berikut.

Tabel 4. 15 Persentase Fasa Uji Metalografi

Variasi	Kode	WM		HAZ		Base Metal		Average	
		Ferit	Perlit	Ferit	Perlit	Ferit	Perlit	Ferit	Perlit
28 V	J2 28	62,84	37,16	49,21	50,80	68,72	31,28	60,26	39,75
30 V	J2 30	54,53	45,47	41,41	58,60	64,89	35,11	53,81	46,39
32 V	J2 32	58,37	41,64	47,46	52,55	67,68	32,32	55,8	44,2
28 V	JR 28	64,06	35,94	46,21	53,80	66,77	33,23	59,01	40,99
30 V	JR 30	53,02	46,98	42,04	57,96	67,56	32,44	52,13	47,87
32 V	JR 32	56,81	43,19	45,92	54,08	67,90	32,10	56,58	43,12

4.4.3 Pembahasan Pengaruh Tegangan terhadap Hasil Uji Metalografi.

Pada pengamatan struktur mikro pada daerah lasan (B) HAZ dan (C) *weld metal* dengan perbesaran 500x pada Gambar 4.18, Gambar 4.19, Gambar 4.20, Gambar 4.21, Gambar 4.22, Gambar 4.23 dapat dilihat struktur mikro pengelasan yang ditentukan oleh banyak faktor atau parameter diantaranya masukan panas, kuat arus, tegangan, *shielding gas*, kecepatan las, ataupun filler/elektroda. *Weld metal* yang merupakan bagian dari logam yang pada waktu pengelasan mencair dan kemudian membeku setelah proses solidifikasi. Pembekuan pada *weld metal* yang membentuk butiran-butiran halus, dikarenakan rekristalisasi pada suhu tinggi dan butir tersebut kehilangan orientasi kristal. Struktur butir las memiliki batas-batas butir dan batas butir merupakan hambatan bagi pergerakan dislokasi. Jika butir semakin halus cenderung semakin memperbanyak batas butir. Batas butir yang banyak membuat gerakan dislokasi semakin sulit yang nantinya juga meningkatkan sifat mekanik dibanding pada daerah *base metal*. Pengaruh *shielding gas* juga dapat membantu kualitas dari hasil pengelasan dan menghindarkan *lack of fusion* dan porositas karena berdasarkan Suyono, et al. gas pelindung

yang sering digunakan untuk pengelasan GMAW adalah campuran gas Argon dan CO₂. Keuntungannya adalah penetrasi yang dalam, low spatter, high *travel speed* dan baik untuk segala posisi pengelasan. (Suyono et al., 2011). Kuat arus, tegangan, dan kecepatan las sangat mempengaruhi nilai masukan panas yang nantinya juga sangat berpengaruh terhadap hasil las. Masukan panas dapat menjadi maksimum dengan menggunakan arus dan tegangan yang tinggi disertai kecepatan las yang lambat. Karena semakin lama waktu pengelasan maka masukan panas pada spesimen semakin besar dan menyebabkan pertumbuhan ukuran butir. Dari segi elektroda yang digunakan juga berpengaruh karena khususnya elektroda yang digunakan pada penelitian ini yaitu ER70S-6 yang menambahkan kandungan unsur karbon, silikon dan mangan, semakin banyak unsur-unsur tersebut maka dapat membantu meningkatkan sifat mekanik hasil las khususnya pada pengelasan baja karbon rendah.

Berdasarkan Tabel 4.15, dapat ditinjau bahwa perlit pada daerah lasan HAZ memiliki nilai persentase paling tinggi dibanding pada *weld metal dan base metal*. Pada *weld metal* memiliki nilai persentase zona terang yang paling tinggi. Hal tersebut dipengaruhi kenaikan variasi tegangan yang membuat masukan panas yang makin tinggi dan menyebabkan laju pendinginan setelah pengelasan menjadi lambat sehingga struktur zona terang yang terbentuk lebih banyak pada *weld metal*. (S., Mizhar & I.H, 2014). Sedangkan peningkatan persentase zona gelap pada HAZ ini disebabkan oleh penggunaan variasi tegangan pengelasan. Semakin besar tegangan yang digunakan menyebabkan tingginya masukan panas yang dihasilkan oleh pengelasan berakibat pada terjadinya lama pendinginan dan memberi batas butir waktu untuk dapat bertumbuh dan dengan itu terbentuk struktur mikro zona gelap yang lebih halus dan membentuk ukuran butir yang lebih kecil dibanding zona terang. 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*.

Dapat disimpulkan bahwa pada daerah las *weld metal*, nilai persentase zona terang tertinggi terdapat pada material S355JR variasi 28 V dengan nilai sebesar 64,06% dan nilai persentase zona terang terbesar terdapat pada S355J2 dengan variasi 30V dengan variasi 45,47%. Sedangkan pada HAZ nilai persentase zona terang tertinggi terdapat pada material S355J2 variasi 28 V dengan nilai sebesar 58,60% dan nilai persentase zona terang terbesar terdapat pada S355J2 dengan variasi 30V dengan variasi 50,80%.

4.5 Analisa Hubungan Pengaruh Tegangan Terhadap Pengujian Metalografi, Pengujian Kekerasan, dan Pengujian Tarik

Dapat ditinjau dari hasil dan pembahasan yang didapat bahwa menggunakan beragam variasi tegangan pada pengelasan berpengaruh pada hasil struktur mikro dan sifat mekanik dari suatu material. Variasi tegangan yang semakin tinggi membuat masukan panas semakin besar. Hal tersebut menyebabkan semakin rendahnya persentase ferit karena masukan panas tinggi memperpanjang periode pendinginan dan dapat menyebabkan fase perlit mengembang di wilayah HAZ. Tidak hanya itu, rendahnya persentase ferit yang disebabkan karena semakin tinggi masukan panas, menyebabkan adanya pertumbuhan ukuran butir dan jika tegangan yang digunakan terlalu tinggi menurunkan sifat mekanik dari material tersebut dan memungkinkan terjadinya formasi *defect* pada material seperti *burn-through*. Namun patut diperhatikan bahwa jika arus dan tegangan yang dipakai terlalu rendah menyebabkan defek material yaitu kurangnya fusi atau sering disebut *lack of fusion* dan porositas, dengan itu parameter pengelasan harus diperhatikan dan pemilihannya harus optimal. Parameter pengelasan yang digunakan yang dapat dilihat pada Tabel 3.1. Pemilihan variasi tegangan (28 V, 30V, dan 32V) dengan arus (240 A) konstan dan *travel speed* (27-32 cm/min) ini disesuaikan dari historis wps yang pernah digunakan dan alhasil dapat mendapatkan hasil yang optimal dengan mengetahui bahwa kecacatan/*defect* pada pengelasan tidak ditemukan sesuai Bab 4.1. Pemilihan elektroda juga

sangatlah penting, berdasarkan AWS A5.18 dan AWS A5.23, ER70S-6 yang merupakan elektroda yang digunakan pada penelitian ini memiliki kandungan karbon maksimum sebesar 0,15 %, silikon maksimum sebesar 1,15 % dan mangan maksimum sebesar 1,85 % sebagai elemen doksidasi dan pembantu peningkatkan sifat mekanik. Kandungan karbon material S355J2 dan S355JR adalah $\pm 0,2\%$ yang menunjukkan pengelasan dengan elektroda ini dapat dilakukan. Elektroda ini digunakan untuk baja karbon rendah menggunakan gas pelindung CO₂ atau Argon *mix* serta arus listrik dan tegangan yang tinggi. Parameter pengelasan yang berpengaruh lainnya adalah *shielding gas*. *Shielding gas* dapat membantu kualitas dari hasil pengelasan dan menghindarkan *lack of fusion* dan porositas karena berdasarkan Suyono, et al. gas pelindung yang sering digunakan untuk pengelasan GMAW adalah campuran gas Argon dan CO₂. Keuntungannya adalah penetrasi yang dalam, low spatter, high *travel speed* dan baik untuk segala posisi pengelasan.

Pada Tabel 4.15 ditunjukkan bahwa pada daerah *weld metal*, persentase zona terang mendominasi dibanding persentase zona gelap. Namun pada HAZ, zona gelap mendominasi dibanding zona terang. Dari Tabel 4.15 ditunjukkan juga bahwa kenaikan tegangan menyebabkan kenaikan fasa perlit pada daerah HAZ dan kenaikan fasa ferit pada *weld metal*. Hal tersebut membenarkan teori bahwa semakin banyak kandungan persentase zona gelap maka tingkat kekerasan meningkat seperti yang dikutip dari Prasetya, 2017 dikarenakan kandungan persentase zona gelap pada tiap daerah lasan selaras dengan hasil kekerasan. Selain itu faktor lain adalah penambahan silikon dan mangan melalui elektroda ER70S-6, dimana penambahan silikon dapat menstabilkan fasa *austenite* selama tahap partisi dan memperlambat proses dekomposisi austenite (Kim, Sietsma, and Santofimia, 2017). Hal ini menyebabkan kekerasan dan ketahanan aus semakin meningkat. Penambahan mangan setidaknya 0,3% dapat juga menambah kekuatan dengan peningkatan hardenability. Namun, saat menaikkan besar tegangan dari variasi 30 V ke 32 V menyebabkan penurunan sifat mekanik baik dari kekerasannya dan kekuatan tarikannya. Menurut Widharo, pengelasan dengan *voltage* terlalu tinggi justru menghasilkan sambungan mentah sehingga tidak ada fusi antara bahan las dan benda kerja, penetrasi tidak sempurna, dan kontur terlalu menonjol (Widharo, 2007).

Pengaruh nilai tegangan pada hasil pengujian uji tarik ditunjukkan pada Tabel 4.7 dan Tabel 4.11 yang menunjukkan hasil yang selaras dengan pengujian kekerasan dimana pada tegangan dengan variasi 30 V mendapatkan hasil UTS, *yield strength*, dan elongation yang memiliki kenaikan dari hasil dengan besar tegangan 28 V, namun memiliki penurunan saat ditingkatkan ke tegangan dengan variasi 32 V. Didapatkan tren *similar* antara pengujian kekerasan dan uji tarik yaitu tren naik turun setiap kenaikan ketiga variasi tegangan. Pada tren menurun, dari hasil pengujian kekerasan dapat ditinjau bahwa pengaruh peningkatan *voltage* menyebabkan kenaikannya masukan panas oleh karena itu pengaruh masukan panas yang tinggi menyebabkan laju pendinginan setelah pengelasan menjadi lambat sehingga struktur *ferrite acicular* yang terbentuk lebih banyak. Pada material S355J2 30 V yang ditunjukkan pada Gambar 4.19, terlihat *ferrite acicular* yang terbentuk dan mendominasi pada mikrostruktur. *Acicular ferrite* pertumbuhannya difasilitasi oleh adanya kerapatan dari tempat nukleasi yang tinggi. Inklusi membantu untuk tumbuhnya *acicular ferrite* yang berbentuk jarum dengan orientasi arah acak. Kenaikan *voltage* yang terlalu tinggi juga mempengaruhi struktur mikro oleh pertumbuhan batas butir, menghasilkan sambungan mentah sehingga tidak ada fusi antara bahan las dan benda kerja, penetrasi tidak sempurna, dan kontur terlalu menonjol yang menyebabkan kemungkinan terbentuknya cacat formasi, porositas dan penurunan sifat mekanik. Pengaruh nilai tegangan pada hasil pengujian uji tarik menunjukkan hasil yang selaras dengan tren nilai pengujian kekerasan dengan itu disimpulkan bahwa variasi tegangan yang menyebabkan naik turunnya nilai *heat input* berpengaruh terhadap persentase dan ukuran butir mikrostruktur dan berpengaruh juga terhadap sifat mekanik material.

(Halaman ini sengaja dikosongka

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Adapun kesimpulan yang dapat diambil dari penelitian yang telah dilakukan. Kesimpulan adalah sebagai berikut.

1. Ferit dan perlit adalah fase dominan yang membentuk tiga area pengelasan dalam pengelasan *butt joint* baja S355JR dan S355J2. Semakin tinggi nilai tegangan yang digunakan, semakin rendah persentase zona terang karena masukan panas tinggi yang dipengaruhi oleh nilai tegangan, yang memperpanjang periode pendinginan dan dapat menyebabkan zona gelap mengembang di wilayah HAZ. Sementara fasa ferit lebih banyak di area *weld metal* daripada di area *base metal*, hal ini juga disebabkan oleh tegangan yang tinggi, yang memiliki efek yang sama dengan zona HAZ dan menyebabkan pertumbuhan zona terang.
2. Variasi tegangan pada pengelasan yang dipilih menentukan kualitas sifat mekanik material. Peningkatan dengan variasi tegangan dan nilai arus yang tepat dapat meningkatkan *tensile strength*, *yield strength* dan *elongation* serta kekerasan, namun jika melewati batas wajar dan terlalu panas dapat menyebabkan penurunan sifat mekanik dan menimbulkan kecacatan pada material yang disebabkan oleh batas butir memiliki waktu yang lama untuk bertumbuh yang dapat menghasilkan struktur mikro yang lebih kasar. Hasil pengujian tarik dari kedua material menunjukkan variasi tegangan yang paling optimal digunakan adalah variasi 30 V dikarenakan penurunan nilai pada variasi tersebut dibanding dengan nilai *base metal* mengalami paling sedikit penurunan. Material yang memiliki nilai UTS, *yield strength* dan *elongation* yang paling optimal diperoleh menggunakan arus 30 V dengan baja S355J2.

5.2 Saran

Berdasarkan penelitian yang dilakukan saran untuk dapat digunakan pada penelitian selanjutnya adalah sebagai berikut:

1. Melakukan penelitian lebih lanjut mengenai penggunaan proses pemanasan awal (*Preheat*) atau proses PWHT untuk dapat memperbaiki sifat kekuatan dan kekerasan hasil lasan.
2. Melakukan penelitian lebih lanjut mengenai penggunaan variasi kecepatan pengelasan untuk memberikan tinjauan lebih banyak terhadap pengaruh masukan panas terhadap dengan metode ini.

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

DAFTAR PUSTAKA

- Al-Sarairoh, F. M. (2018). The effect of current and voltage on mechanical properties of low carbon steel products. *International Journal of Mechanical Engineering and Technology*, 9(3), 134–142.
- American Welding Society. Structural Welding Committee, A. W. S. T. A. C. & A. N. S. I. (2020). *American Welding Society D1.1/D1.1M:2020 An American National Standard*.
- ASM International. (1993). *ASM Handbook Volume 6: Welding, Brazing, and Soldering*.
- AWS. (2005). Specification for Carbon Steel Electrodes and Rods for Gas Shielded Arc Welding. *American Welding Society (AWS)*, 44.
- Blodgett, O. W., Funderburk, R. S., & Miller, D. K. (1997). *Weld Cracking : An Excerpt from The Fabricators' and Erectors' Guide to Welded Steel Construction*.
- Bodude, M. (2015). *Studies on Effects of Welding Parameters on the Mechanical Properties of Welded Low-Carbon Steel*. Pada penelitian ini, digunakan pengelasan OAW dan GMAW.
- BSI (British Standards Intitution). (1983). *Filler Rods and Wires for Gas-Shield Arc Welding*.
- Callister, W. D. (2010). Materials science and engineering: An introduction (8th edition). *Materials & Design*, 12(1), 59. [https://doi.org/10.1016/0261-3069\(91\)90101-9](https://doi.org/10.1016/0261-3069(91)90101-9)
- Dahlan, H. (2000). Material, Pengaruh Variasi Beban Indentor Micro Hardness Tester Terhadap Akursi Data Uji Kekerasan. *Badan Tenaga Nuklir Nasional*.
- Dobrzanski, Leszek A. (1999). *Materials science lexicon, basic settlement of Polish, foreign and international standard, Metals, Polymers, Ceramics, Composites*.
- Doloksaribu, M., Lesmana, E. I., & Mulyani, R. H. (n.d.). *Dan Struktur Mikro Untuk Aplikasi Tracklink Tank Effect of Variation of Silicon Content and Heat Treatment on Low Alloy Steel of Mechanical Properties*.
- Dwi Djamiko, R. (2008). *Modul Teknik Pengelasan Logam*.
- Dzioba, I., Lipiec, S., Furmanczyk, P., & Pala, R. (2018). Investigation of fracture process of S355JR steel in transition region using metallographic and fractographic tests and numerical analysis. *Acta Mechanica et Automatica*, 12(2), 145–150. <https://doi.org/10.2478/ama-2018-0023>
- Fair, J. R. (2005). Encyclopedia of Physical Science and Technology, Chemical engineering. *Ap*, 42(4), 1.
- Groover, M. P. (2013). Fundamentals of Modern Manufacturing Material, Processes, and Systems, 5th Edition. In *Journal of Chemical Information and Modeling*.
- Hicks, J. (2001). Welded design. *Welded Design*. <https://doi.org/10.1533/9781855737624>
- Ismet, E. (2011). *Fretting Pada Selongsong (Shaft Sleeve) Pompa Sentrifugal Kapasitas 900m³/jam di PDAM Kota Padang*.
- Kalpakajian, S. (2001). Manufacturing Engineering and Technology. *Journal of Emerging Technologies in Engineering Research*, 3(2), 1–349.
- Ogino, Y., Hirata, Y., & Murphy, A. B. (2016). Numerical simulation of GMAW process using Ar and an Ar–CO₂ gas mixture. *Welding in the World*, 60(2), 345–353. <https://doi.org/10.1007/s40194-015-0287-3>
- Parekke, S., Leonard, J., & Muchsin, A. H. (2014). Pengaruh Pengelasan Logam Berbeda (Aisi 1045) Dengan (Aisi 316L) Terhadap Sifat Mekanis Dan Struktur Mikro. *J. Sains & Teknologi, Desember*, 3(2), 191–198.
- Polish standardization committee. (2019). PN-EN 10025-2:2019-11 Hot rolled products of structural steels Part 2: Technical delivery conditions for non-alloy structural steels. In *Standards*.
- Prasetya, A. W. (2017). Pengaruh debit gas pelindung dan tegangan listrik terhadap tingkat kekerasan dan struktur mikro sambungan las GMAW pada baja karbon sedang EMS-45.

- Jurnal Kompetensi Teknik*, 8(2), 42–52.
- Priadi, D. (2007). *Mikro , Dan Kekuatan Impak Pada Baja Karbon Rendah Jenis Sb 46. 17(3)*, 203–212.
- Puncoro, A. E. (n.d.). Analisis Pengaruh Variasi Arus Listrik 90A, 100A, 130A terhadap Sifat Mekanis dan Struktur Mikro hasil Pengelasan Gas Metal Arc Welding (GMAW) pada Baja Karbon JIS S50C. 2019.
- Ratnasari, D. (2016). *PENGARUH VOLTAGE PADA GAS METAL ARC WELDING (GMAW) TERHADAP STRUKTUR MIKRO DAN TEGANGAN LENTUR (FACE AND ROOT) EMS 45 DENGAN SAMBUNGAN KAMPUH V. UNNES.*
- Reza Putra, A. (2018). PENGARUH POROSITAS LAS TERHADAP KEKUATAN TARIK PADA MATERIAL AISI 1050 YANG MENGGUNAKAN KAMPUH LAS V 90°. *UMJ. S.*, Mizhar & I.H, P. (2014). *Mizhar, S., & Pandiangan, I.H. (2014). PENGARUH MASUKAN PANAS TERHADAP STRUKTUR MIKRO, KEKERASAN DAN KETANGGUHAN PADA PENGELASAN SHIELD METAL ARC WELDING (SMAW) DARI PIPA BAJA DIAMETER 2,5 INCHI.*
- Saba, N., Thariq, M., & Jawaid, M. (2019). *Mechanical and Physical Testing of Biocomposites, Fibre-Reinforced Composites and Hybrid Composites.*
- Sawitri, D., & Firdausi, A. (2014). Perancangan Mekanik Mesin Poles Untuk Proses Metalografi Bahan Menggunakan Motor Listrik. *Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Sepuluh Nopember.*
- Sigit, R., Setiawan, J., Ismarwanti, S., Ajiriyanto, M. K., Teknologi, P., & Bakar, B. (2018). *PEMBAKUAN METODE UJI BAHAN STRUKTUR ELEMEN BAKAR REAKTOR DAYA PRA-IRADIASI : PENGUJIAN TARIK TRANSVERSAL DAN LONGITUDINAL.* 149–155.
- Smith, F. J. M. (1992). *Basic Fabrication and Welding Engineering.* Wing Tai Cheung Printing Co. Ltd.
- Surdia, T., & Saito, S. (1985). *Pengetahuan Bahan Teknik.*
- Suyono, E. H., Irawan, S., & Purnowidodo, A. (2011). Pengaruh Kuat Arus Dan Campuran Gas Argon-Co 2 Pada Pengelasan Gmaw Terhadap Kekuatan Tarik Dan Impact Pada Baja Karbon Medium Fasa Ganda. *Jurnal Rekayasa Mesin*, 2(2), 137–144.
- Syafi`udin, I. (2016). *PENGARUH KADAR MANGAN (Mn) TERHADAP STRUKTUR MIKRO DAN KEKERASAN BAJA PADUAN Fe-17Cr-xMn MELALUI METODE PELEBURAN.*
- Talabi, S. I., Owolabi, O. B., Adebisi, J. A., & Yahaya, T. (2014). Effect of welding variables on mechanical properties of low carbon steel welded joint. *Advances in Production Engineering And Management*, 9(4), 181–186. <https://doi.org/10.14743/apem2014.4.186>
- Thomas, D. J. (2018). Analyzing the Failure of Welded Steel Components in Construction Systems. *Journal of Failure Analysis and Prevention*, 18(2), 304–314. <https://doi.org/10.1007/s11668-018-0392-x>
- Waluyo, J. (2012). *Pengaruh Tebal Pelat Baja Karbon Rendah Lama Penekanan dan Tegangan Listrik pada Pengelasan Titik terhadap Sifat Fisis dan Mekanis.*
- Widharto. (2007). *Menuju Juru Las Tingkat Dunia. Cetakan Pertama.*
- Wijoyo, W., & Aji, B. K. (2015). Kajian Kekerasan Dan Struktur Mikro Sambungan Las Gmaw Baja Karbon Tinggi Dengan Variasi Masukan Arus Listrik. *Simetris : Jurnal Teknik Mesin, Elektro Dan Ilmu Komputer*, 6(2), 243. <https://doi.org/10.24176/simet.v6i2.459>
- Wiryosumarto, & Okumura, T. (1979). *Teknologi Pengelasan Logam.*
- Yadroitsev, I., Yadroitsava, I., & MacDonald, E. (2021). Fundamentals of Laser Powder Bed Fusion of Metals. *Fundamentals of Laser Powder Bed Fusion of Metals.* <https://doi.org/10.1016/c2020-0-01200-4>
- Yusim, A. K. (n.d.). *PENGARUH PENGELASAN GMAW TERHADAP KETAHANAN KOROSI BAJA SS400 Jurusan Fisika Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS) Surabaya*

Kampus ITS Sukolilo Surabaya 60111 Email : adiplex@gmail.com.

Zhang, K., Dong, W., & Lu, S. (2021). Finite element and experiment analysis of welding residual stress in S355J2 steel considering the bainite transformation. *Journal of Manufacturing Processes*, 62(October 2020), 80–89.
<https://doi.org/10.1016/j.jmapro.2020.12.029>

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

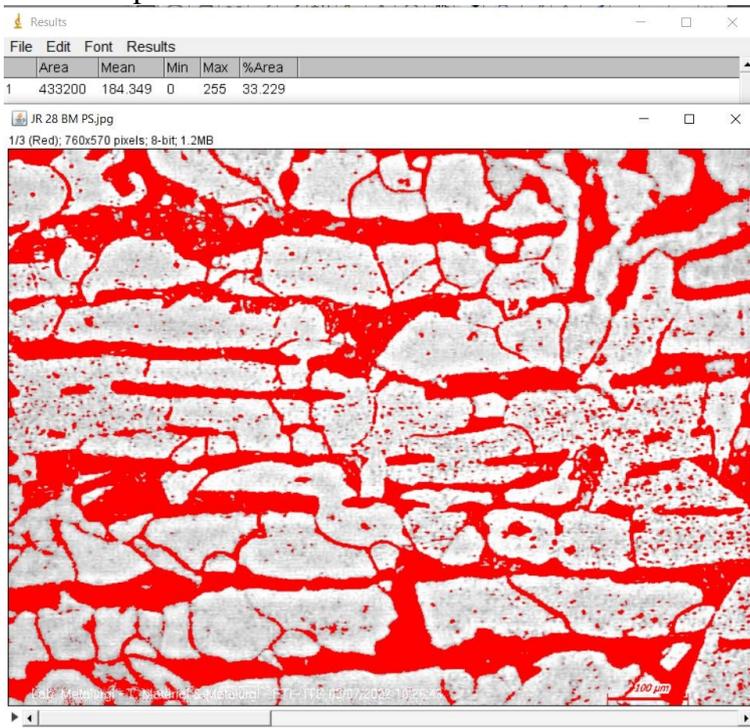
LAMPIRAN

A. Dokumen Hasil NDT

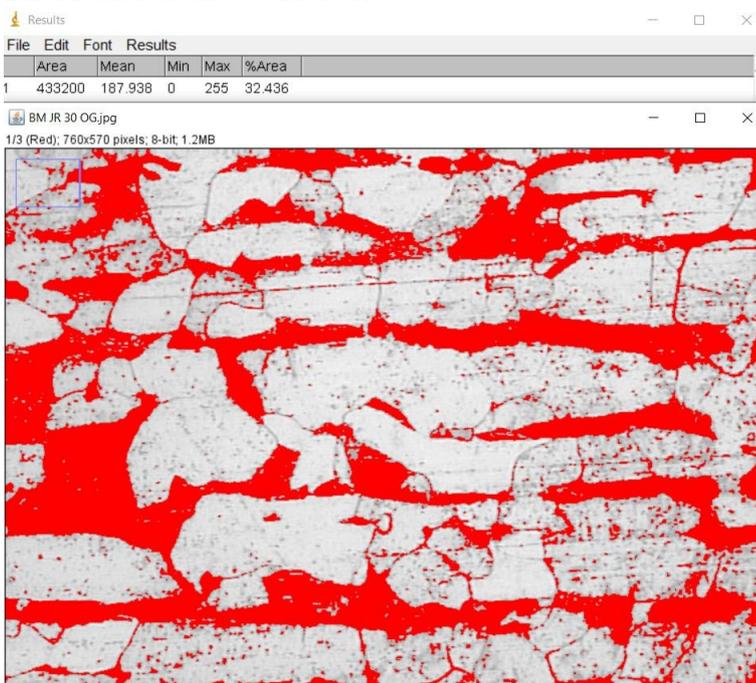
		ULTRASONIC TEST REPORT				Report No.	: 002/MS-TAV/2022									
		Page 1 of 1				Drawing No.	: N/A									
						Procedure No.	: 01/QC/PRO/MS/2022									
						Rev.	: 00									
Project	: UT - Tugas Akhir - Toga					Product No.	: N/A									
Location	: Madium					Applicable Codes	: AWS D1.1									
Customer	: N/A					Acceptance Criteria	: Table 8.2									
Material	: S355J2 & S355JR					UT Equipment	: SIUI									
Thickness	: 14 mm					Type	: Smarter									
						Serial No.	: M06320220009R									
Joint Design	<input type="checkbox"/> Single Bevel		<input checked="" type="checkbox"/> Single V-Groove		<input type="checkbox"/> Other ()											
	<input type="checkbox"/> Single Bevel With Permanent Backing		<input type="checkbox"/> Single V-Groove With Permanent Backing													
Surface Condition	<input checked="" type="checkbox"/> As-welded		<input type="checkbox"/> As-ground		<input type="checkbox"/> Other ()											
Stage of Examination	<input checked="" type="checkbox"/> After Welding		<input type="checkbox"/> After Hydrostatic		<input type="checkbox"/> Other ()											
Welding Process(es)	<input checked="" type="checkbox"/> GMAW		<input type="checkbox"/> GTAW		<input type="checkbox"/> Other ()											
Scope of Examination	<input type="checkbox"/> Base Metal		<input checked="" type="checkbox"/> Weld Part		<input type="checkbox"/> Back Gouging											
	<input type="checkbox"/> Edge Preparation		<input type="checkbox"/> Repair Welding		<input type="checkbox"/> Other ()											
Couplant	<input checked="" type="checkbox"/> CMC		<input type="checkbox"/> Oil		<input type="checkbox"/> Other ()											
Calibration Block	<input checked="" type="checkbox"/> IIW V1		<input type="checkbox"/> V2		<input type="checkbox"/> Other ()											
Examination Face	<input checked="" type="checkbox"/> Face A		<input type="checkbox"/> Face B		<input type="checkbox"/> Face C											
Test Range	Straight		: 50 mm		Scanning Technique	: Contact Testing										
	Angle		: 100 mm													
Search Unit	Angle (°)	Brand	SN	Frequency (MHz)	Size (mm)	Cable (Type and Length)										
	0	SIUI	11905672R	2,5	ø 20	Lemo 00 & 2000mm										
	70	SIUI	02116645R	2	20 x 22	Lemo 00 & 2000mm										
	-	-	-	-	-	-										
	-	-	-	-	-	-										
Joint No.	Probe angle (°)	Frequency (MHz)	Leg	Decibels				Record of Discontinuity				Evaluation		Remarks		
				Indication Level (a)	Reference Level (b)	Attenuation Factor (c)	Indication Rating (d)	Class of Indication	Length (mm)	Angular Distance (mm)	Depth from Face A (mm)	Distance from Y (mm)	Discontinuity Type		Accepted	Repaired
T-JR-28	0	2,5	-	-	21	-	-	-	-	-	-	-	-	Accepted	-	No Lamination was found
	70	2	-	-	46	-	-	-	-	-	-	-	-	Accepted	-	-
T-JR-30	0	2,5	-	-	21	-	-	-	-	-	-	-	-	Accepted	-	No Lamination was found
	70	2	-	-	46	-	-	-	-	-	-	-	-	Accepted	-	-
T-JR-32	0	2,5	-	-	21	-	-	-	-	-	-	-	-	Accepted	-	No Lamination was found
	70	2	-	-	46	-	-	-	-	-	-	-	-	Accepted	-	-
T-J2-28	0	2,5	-	-	21	-	-	-	-	-	-	-	-	Accepted	-	No Lamination was found
	70	2	-	-	46	-	-	-	-	-	-	-	-	Accepted	-	-
T-J2-30	0	2,5	-	-	21	-	-	-	-	-	-	-	-	Accepted	-	No Lamination was found
	70	2	-	-	46	-	-	-	-	-	-	-	-	Accepted	-	-
T-J2-32	0	2,5	-	-	21	-	-	-	-	-	-	-	-	Accepted	-	No Lamination was found
	70	2	-	-	46	-	-	-	-	-	-	-	-	Accepted	-	-
Discontinuity Type :				CR : Crack	IF : Incomplete Fusion	IP : Incomplete Penetration	EI : Elongated Indication									
Examined by				Witnessed/Reviewed by				Reviewed/Approved by								
																
Name : Pungky Dhikha S.																
NDT Level : II																

B. Dokumentasi Pengujian Metalografi

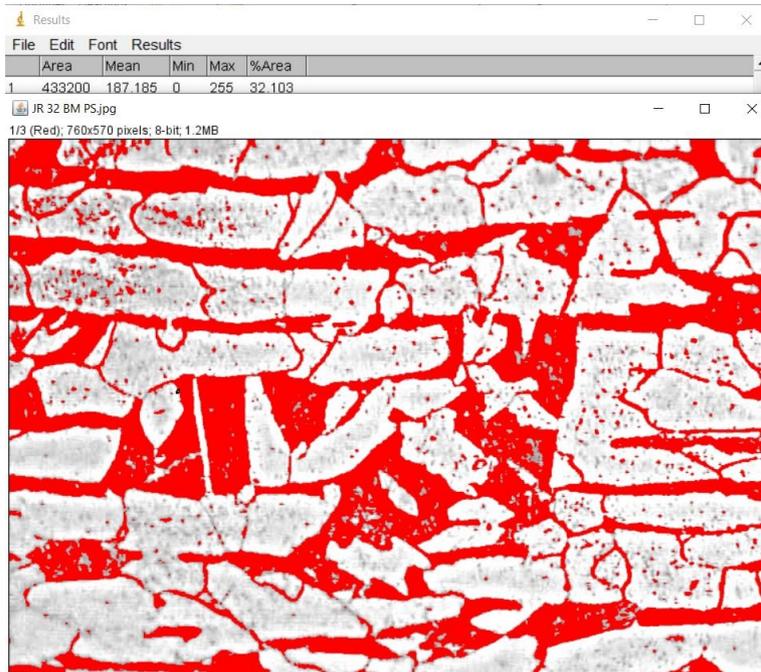
B1. Hasil persentase fasa BM JR 28



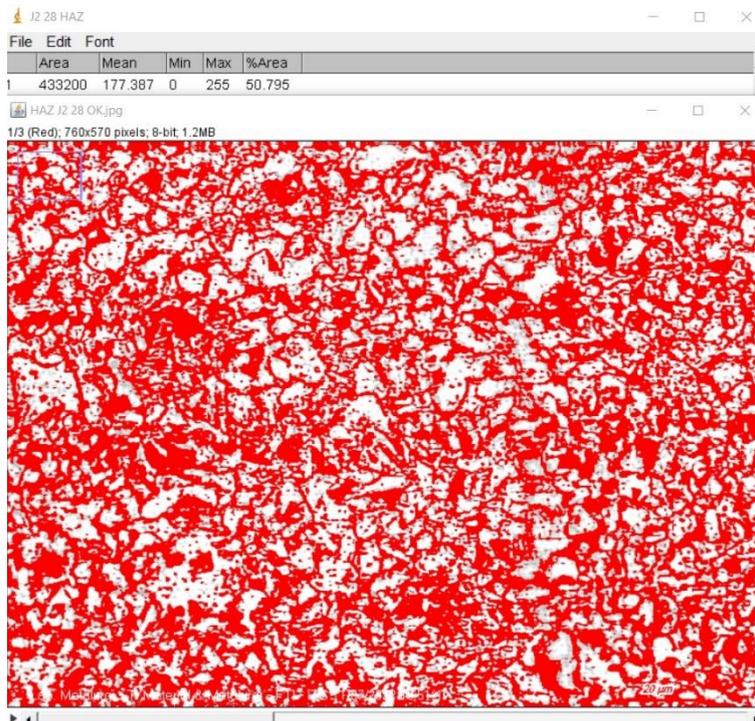
B2. Hasil Persentase BM JR 30



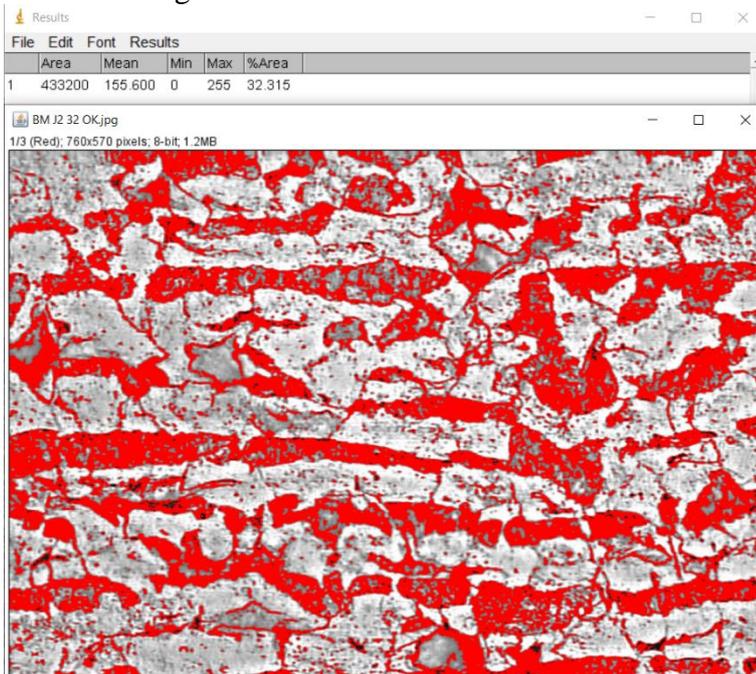
B3. Hasil Persentase BM JR 32



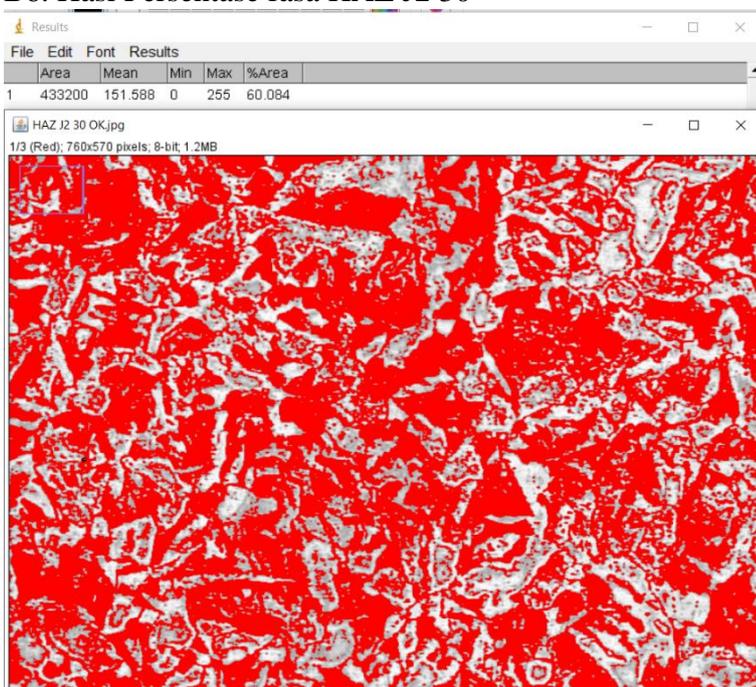
B4. Hasil Persentase HAZ J2 28



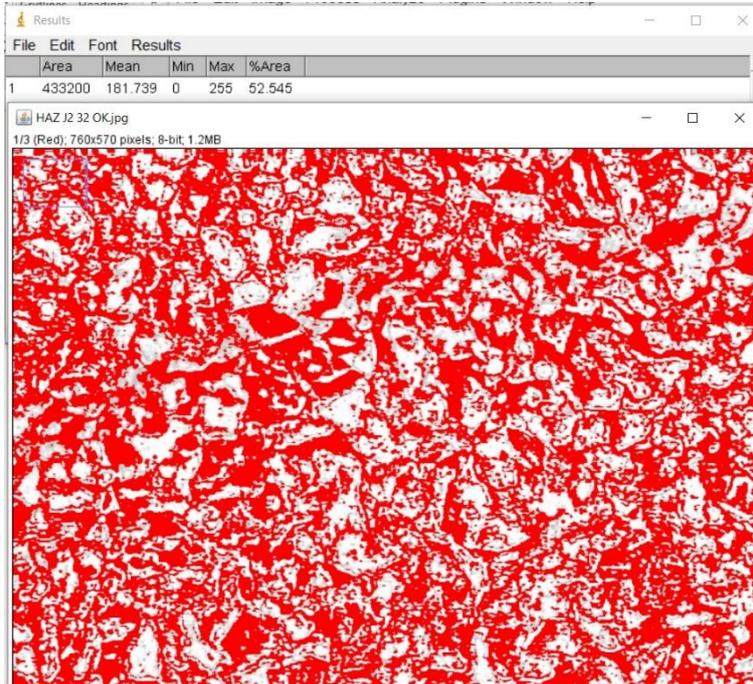
B5. Perhitungan Fasa BM J2 32



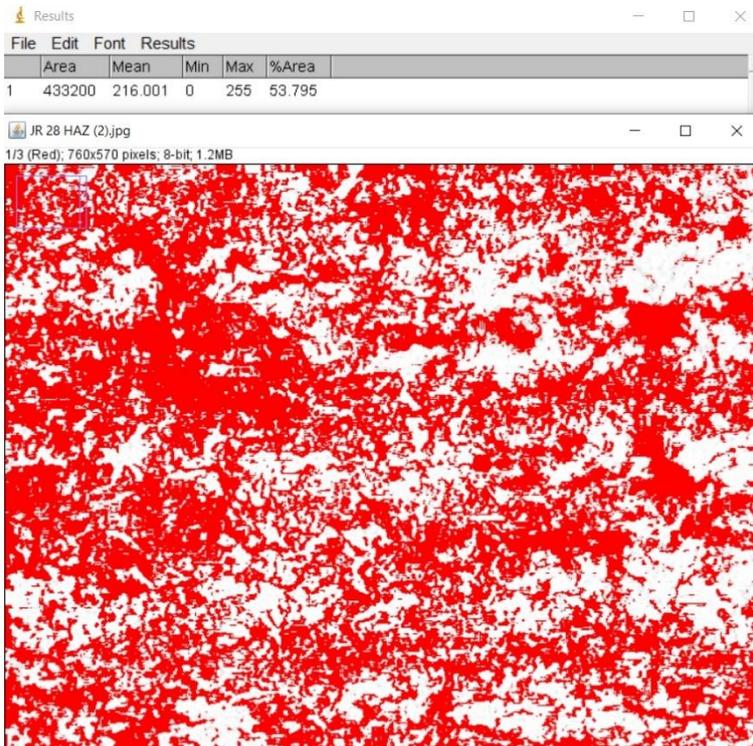
B6. Hasi Persentase fasa HAZ J2 30



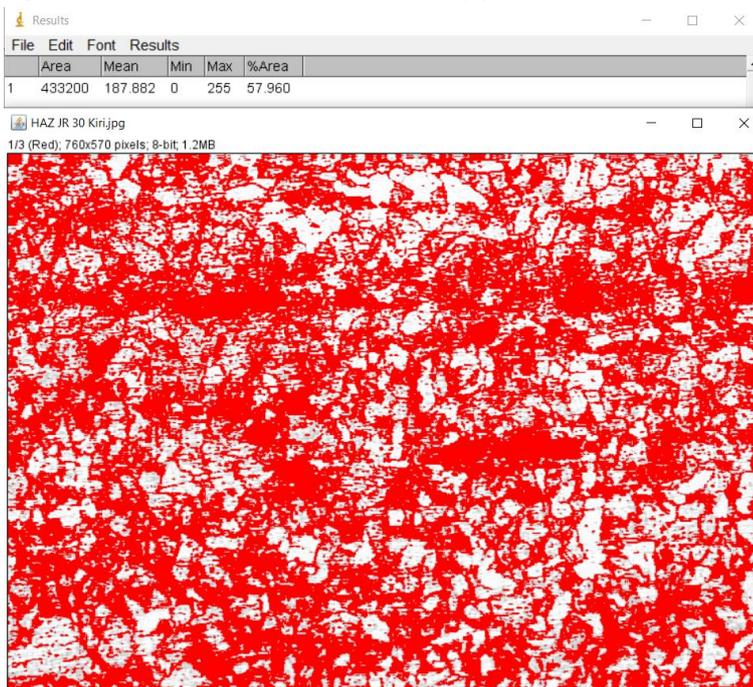
B7. Hasi Persentase Fasa HAZ J2 32



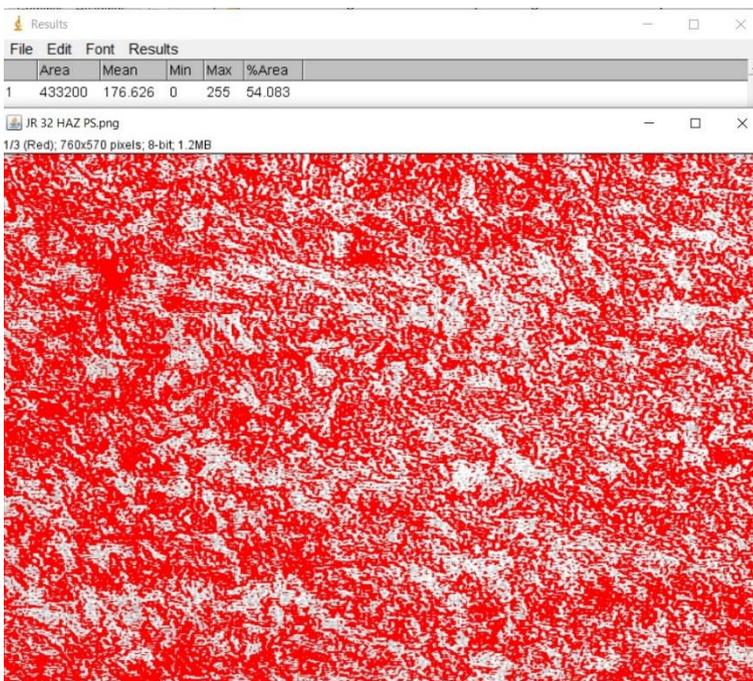
B8. Hasi Persentase Fasa HAZ JR 28



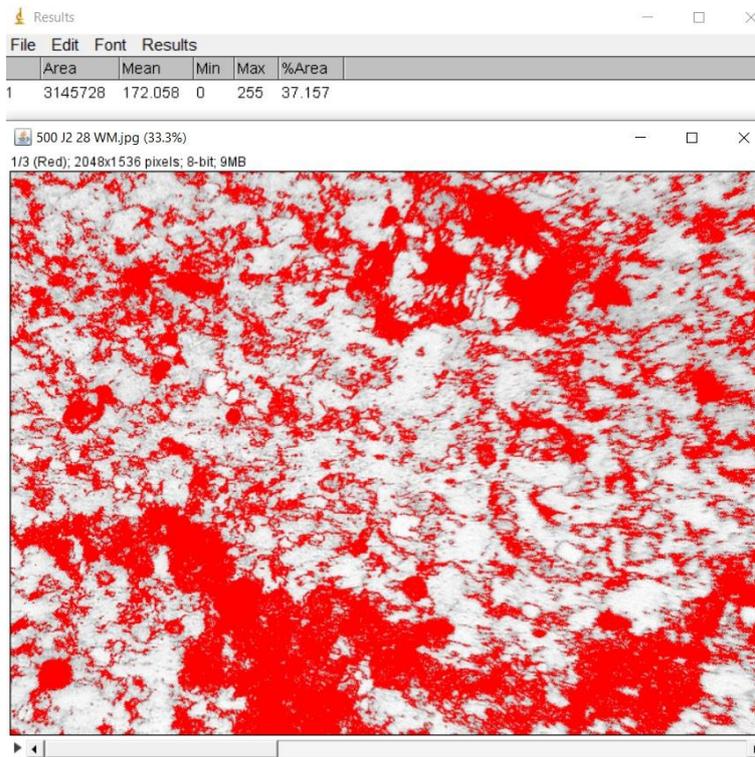
B9. Hasil Persentase Fasa HAZ JR 30



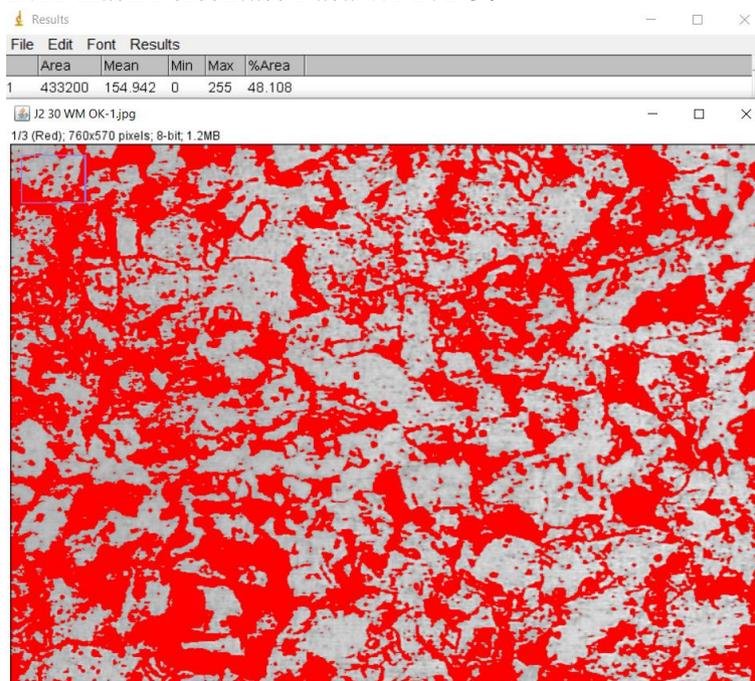
B10. Hasil Persentase Fasa HAZ JR 32



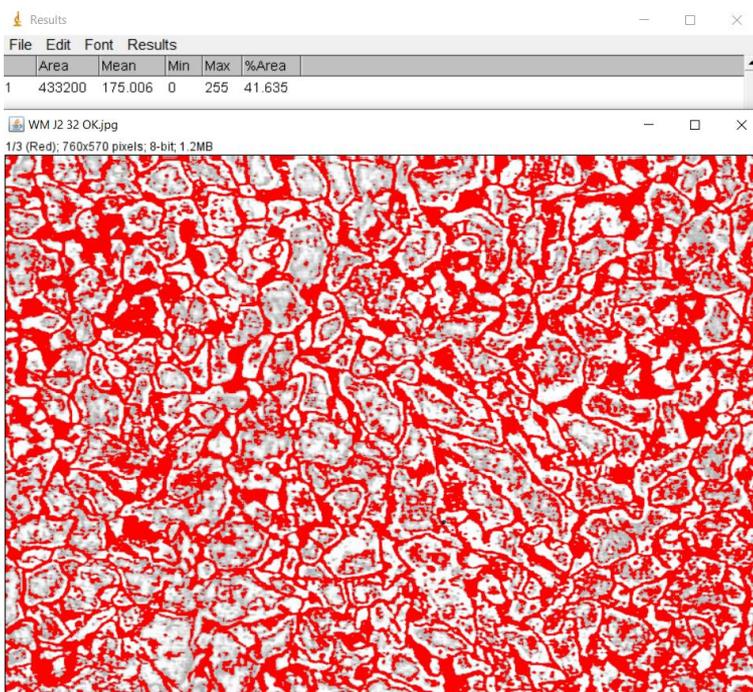
B.11 Hasil Persentase Fasa WM J2 28



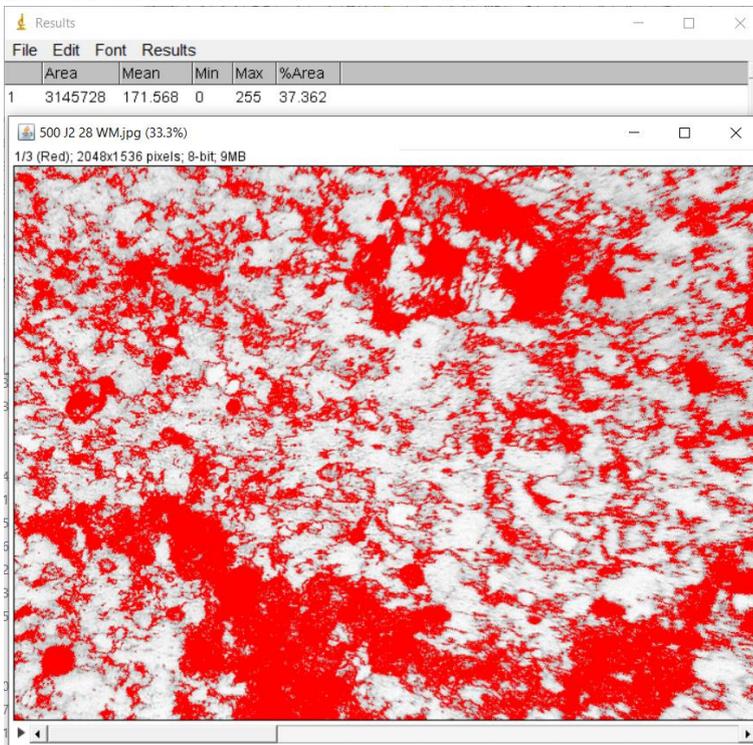
B.12 Hasil Persentase Fasa WM J2 30



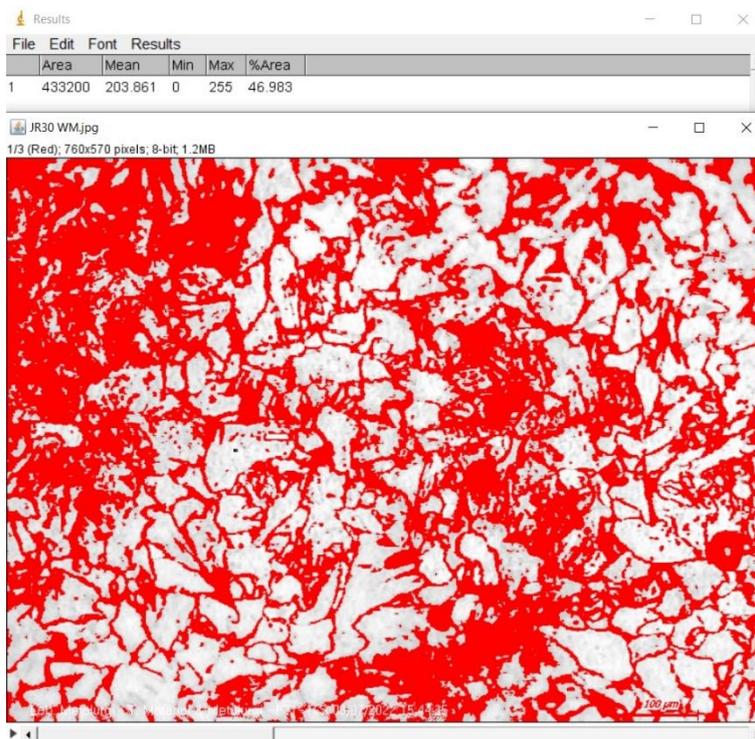
B.13 Hasil Persentase Fasa WM J2 32



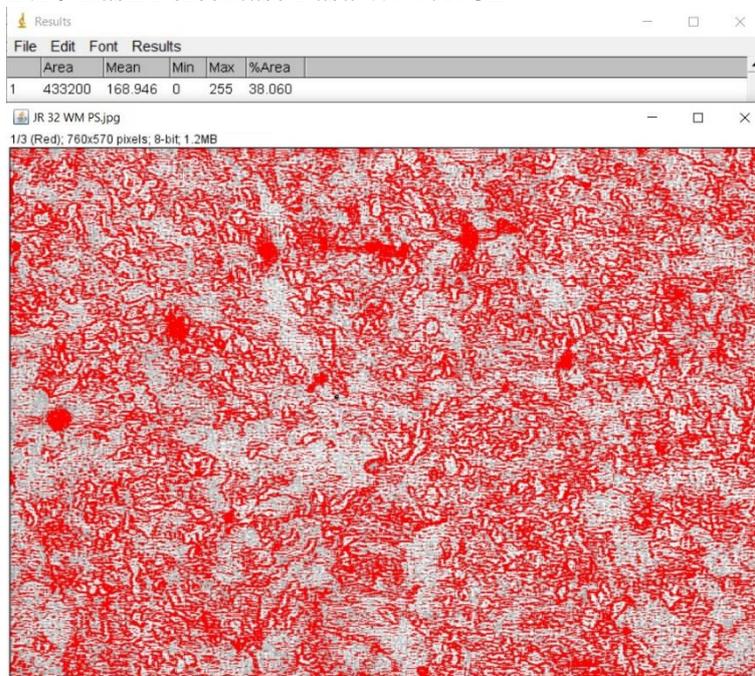
B.14 Hasil Persentase Fasa WM J2 28



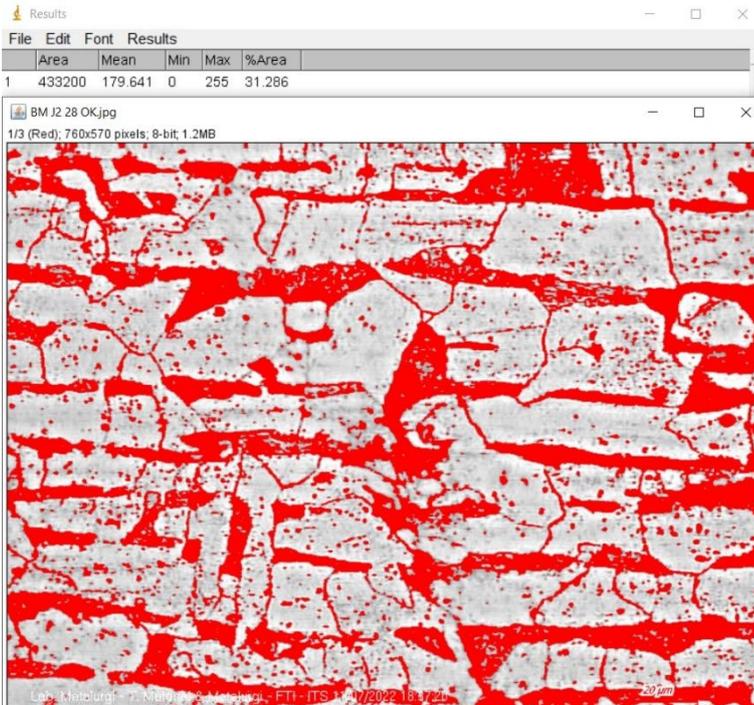
B.15 Hasil Persentase Fasa WM JR 30



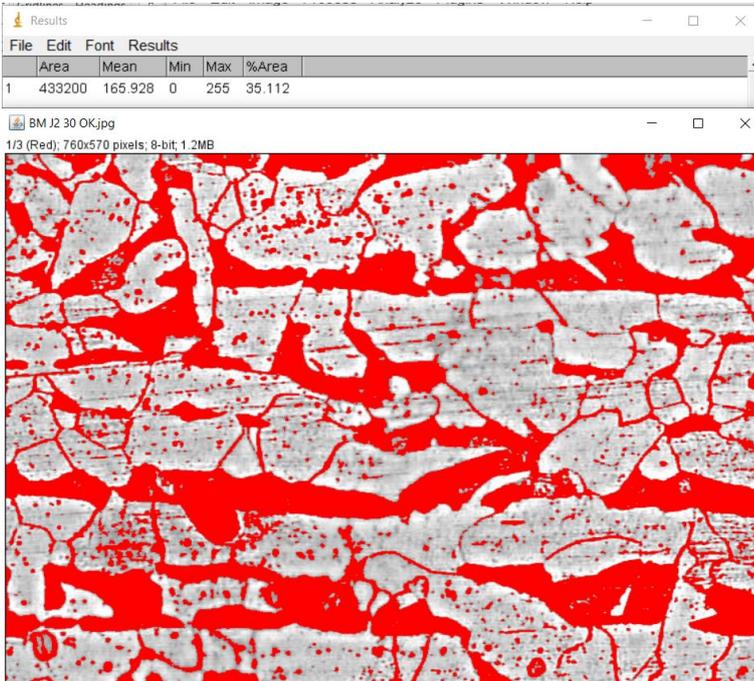
B.16 Hasil Persentase Fasa WM JR 32



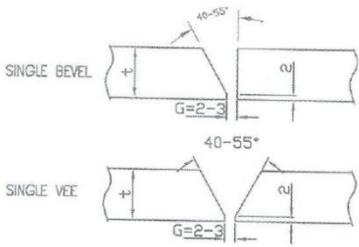
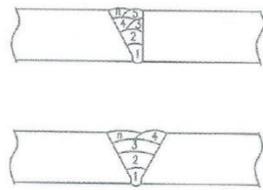
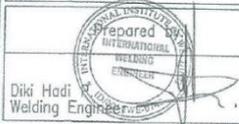
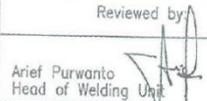
B.17 Hasil Persentase Fasa BM J2 28



B.18 Hasil Persentase Fasa BM J2 30



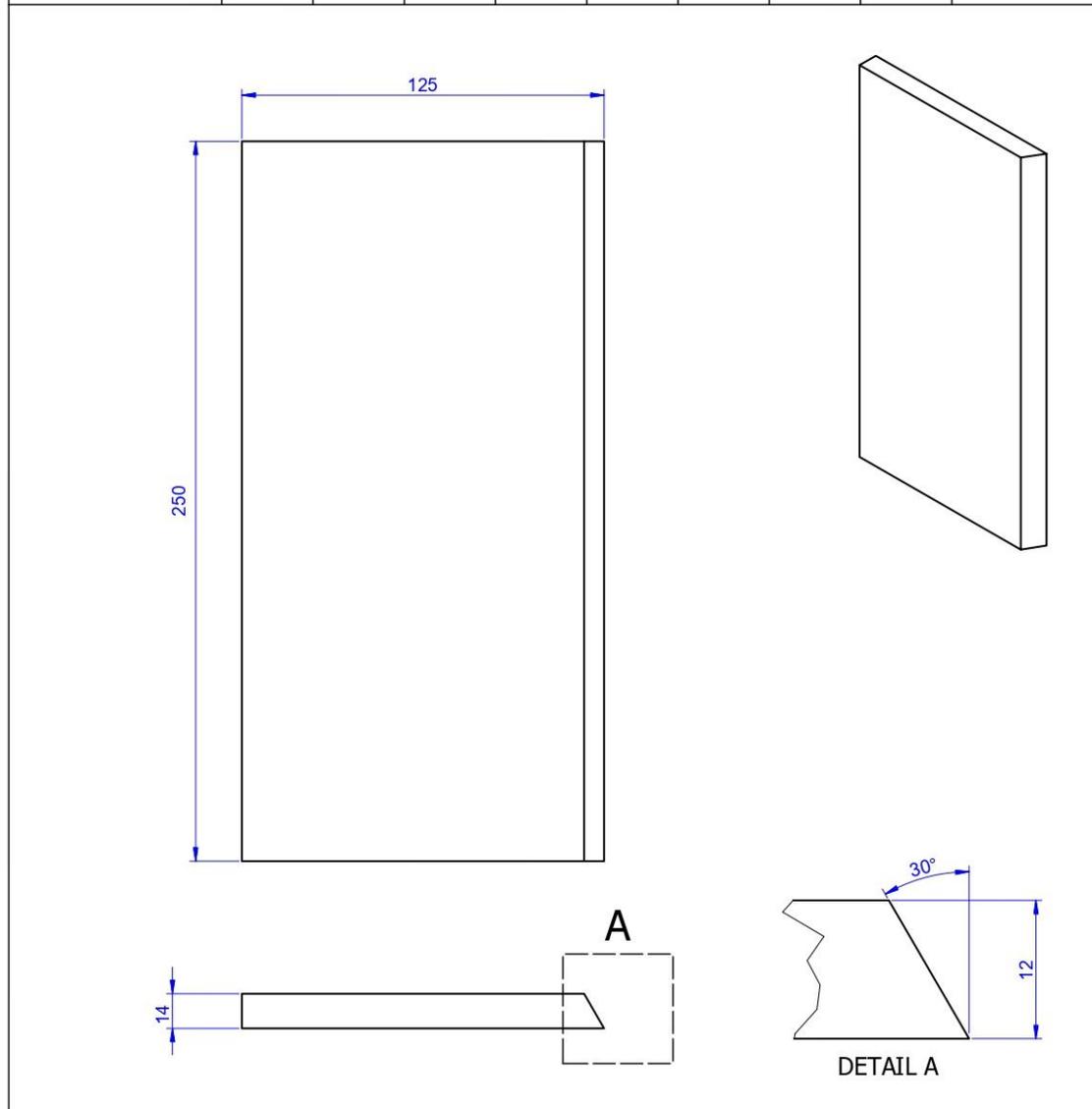
C. Data Welding Procedure Specification

		WELDING PROCEDURE SPECIFICATION		WPS Number : WPS-GM-211-0049 PQR Number : PQR-GM-211-0001 Standard Ref. : EN ISO 15614-1:2017				
 <p>Joint Design</p>		 <p>Welding Sequence</p>						
WELDING PROCESS : SEMIAUTOMATIC (GMAW) (135)		TYPE OF JOINT : BUTT JOINT (CJP)		SIZE OF WELD : 12 mm				
BASIC MATERIAL TYPE : All Group 1 to All Group 1 GROUP : 1 to 1 THICKNESS : 3-20 mm to 3-20 mm OUTSIDE DIAMETER : -		SINGLE PASS/MULTI PASS : MULTI PASS PROGRESSION :		POSITION : ALL POSITION TYPE : UPWARD (3G)				
FILLER METAL TYPE : AWS ER 70S-6 (A5.18) DIA : 1.2 mm		HEAT TREATMENT		PRE HEATING TEMP : - INTERPASS TEMP : - RE HEATING TEMP : - COOLING SPEED : - PWHT : -				
SHIELDING GAS TYPE : CO2 100% FLOW : 15-17 L/min		BACKGOUGING		METHOD : -				
FLUX TYPE : -		BACKING MATERIAL		TYPE : -				
TUNGSTEN ELECTRODE TYPE : - SIZE : -		TRANSFER MODE		TYPE : GLOBULAR (FLAT), SHORT CIRC.				
		CLEANING		METHOD : GRINDING, BRUSHING, CHIPPING				
WELDING DETAILS :								
PASSES	WELDING PROCESS	FILLER		CURRENT		VOLTAGE Volt	TRAVEL SPEED Cm/minute	HEAT INPUT J/cm
		CLASS (AWS)	SIZE (mm)	POLARITY	Amp			
1G (PA) POSITION								
1 (ROOT PASS)	GMAW (135)	ER 70S-6	1.2	DC+	120 - 150	18 - 20	10 - 12	10800 - 18000
2 - n	GMAW (135)	ER 70S-6	1.2	DC+	220 - 250	26 - 30	27 - 32	10725 - 16667
OTHER POSITION								
1 (ROOT PASS)	GMAW (135)	ER 70S-6	1.2	DC+	120 - 150	18 - 20	10 - 12	10800 - 18000
2 - n	GMAW (135)	ER 70S-6	1.2	DC+	150 - 180	20 - 23	27 - 35	5142 - 9700
NOTE :								
 Diki Hadi Welding Engineer		Reviewed by  Arief Purwanto Head of Welding Unit		Verified by:		Rev: 0 Date : 01-06-2021		

D. Gambar Dimensi Spesimen Las

MATERIAL KUALIFIKASI WELDER KKBW & UGL INKA MULTI SOLUSI IMS

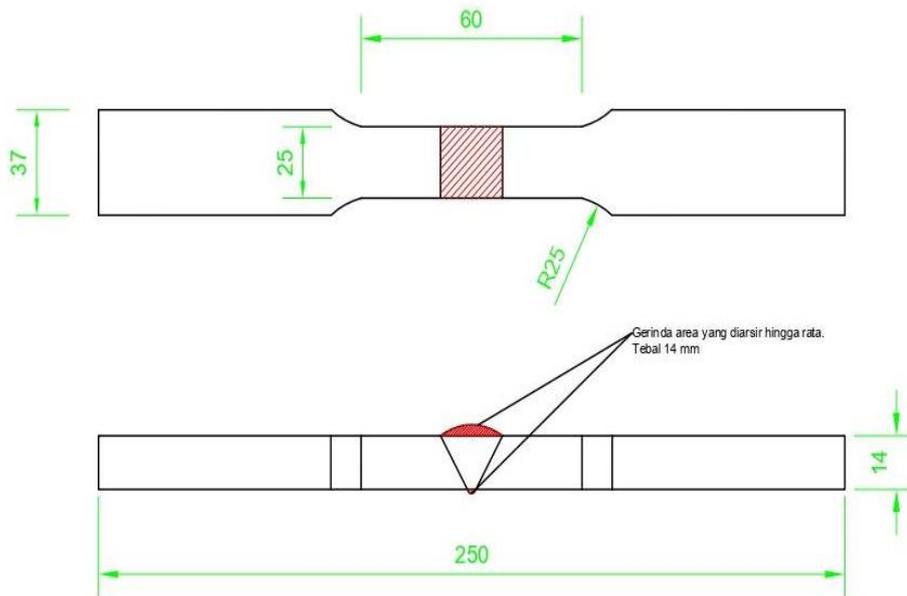
MANUFACTURING DRAWING		ORDER NO.			TYPE KKBW & UGL		PART NO. 2021-023-WP		
TITLE PLATE FOR BUTT JOINT - CHAMFER 30° (250 x 125 x 14)	MASTER PART -		MATERIAL S355JR - TP			CUTTING SIZE 14 x - x 250 x 125			
	DRAWING NO. -					QTY/CAR 12	QTY/LOT	SHOP NAME SW1 MACH 2 - -	
WORKING SEQUENCE	010 GA	020 GR	030 ML	040 -	050 -	060 -	070 -	080 -	DESTINATION SHOP
DATE SCHEDULE									GEDUNG BARU - WELDING CENTER (GSG)
TIME ESTIMATE	0.1 0.1	0.1 0.1	0.1 0.1	- -	- -	- -	- -	- -	
TIME ACTUAL REC.									
DATE FINISHED									



SPECIAL INSTRUCTION		STANDARD	PROJECTION	REV	DATE	PREPARED BY	APPROVED BY
		JIS -	V	A	0	12/01/2022	
		UTC -					
JIG / TEMPLATE NO.	PAINT COLOUR						
-	-						

E. Cutting Specimen untuk Uji Tarik

WING		ORDER NO	TEST PIECE	PART NO	WORKING SEQUENCE										DESTINATION			
2021-0010-WP				2021-0020-WP	010	SW	020	GR	030	ML	040	BF	050	060	070	080	090	WEEDING CENTER (GSG)
MATERIAL	S355 JR	TP	14 x - x 250 x 37	QTY / LOT	0.1	0.1	0.1	0.1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
DATE SCHEDULE					0.05	0.05	0.05	0.05	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
TIME ESTIMATED																		
TIME ACTUAL REC.																		
DATE FINISHED																		



F. Machining Test Coupon Hasil Las Butt Joint (250 x 250 x 14) Untuk Pengujian

Form No. IV/01.046 Rev.A

MACHINING TEST COUPON		ORDER NO.	TEST PIECE	REF. NO.
MANUFACTURING DRAWING			2021-0017-WP	
TITLE		PROJECT NO.	DATE	DATE
CUTTING PLAN BUTT JOINT		2021-0017-0008-WP	12/04/21	12/04/21
SPECIAL INSTRUCTION		STANDARD PROJECTION	REV.	DATE
		1 st ANGLE	0	12/04/21
		2 nd ANGLE		
		3 rd ANGLE		
		4 th ANGLE		
		5 th ANGLE		
		6 th ANGLE		
		7 th ANGLE		
		8 th ANGLE		
		9 th ANGLE		
		10 th ANGLE		
		11 th ANGLE		
		12 th ANGLE		
		13 th ANGLE		
		14 th ANGLE		
		15 th ANGLE		
		16 th ANGLE		
		17 th ANGLE		
		18 th ANGLE		
		19 th ANGLE		
		20 th ANGLE		
		21 th ANGLE		
		22 th ANGLE		
		23 th ANGLE		
		24 th ANGLE		
		25 th ANGLE		
		26 th ANGLE		
		27 th ANGLE		
		28 th ANGLE		
		29 th ANGLE		
		30 th ANGLE		
		31 th ANGLE		
		32 th ANGLE		
		33 th ANGLE		
		34 th ANGLE		
		35 th ANGLE		
		36 th ANGLE		
		37 th ANGLE		
		38 th ANGLE		
		39 th ANGLE		
		40 th ANGLE		
		41 th ANGLE		
		42 th ANGLE		
		43 th ANGLE		
		44 th ANGLE		
		45 th ANGLE		
		46 th ANGLE		
		47 th ANGLE		
		48 th ANGLE		
		49 th ANGLE		
		50 th ANGLE		
		51 th ANGLE		
		52 th ANGLE		
		53 th ANGLE		
		54 th ANGLE		
		55 th ANGLE		
		56 th ANGLE		
		57 th ANGLE		
		58 th ANGLE		
		59 th ANGLE		
		60 th ANGLE		
		61 th ANGLE		
		62 th ANGLE		
		63 th ANGLE		
		64 th ANGLE		
		65 th ANGLE		
		66 th ANGLE		
		67 th ANGLE		
		68 th ANGLE		
		69 th ANGLE		
		70 th ANGLE		
		71 th ANGLE		
		72 th ANGLE		
		73 th ANGLE		
		74 th ANGLE		
		75 th ANGLE		
		76 th ANGLE		
		77 th ANGLE		
		78 th ANGLE		
		79 th ANGLE		
		80 th ANGLE		
		81 th ANGLE		
		82 th ANGLE		
		83 th ANGLE		
		84 th ANGLE		
		85 th ANGLE		
		86 th ANGLE		
		87 th ANGLE		
		88 th ANGLE		
		89 th ANGLE		
		90 th ANGLE		
		91 th ANGLE		
		92 th ANGLE		
		93 th ANGLE		
		94 th ANGLE		
		95 th ANGLE		
		96 th ANGLE		
		97 th ANGLE		
		98 th ANGLE		
		99 th ANGLE		
		100 th ANGLE		
		101 th ANGLE		
		102 th ANGLE		
		103 th ANGLE		
		104 th ANGLE		
		105 th ANGLE		
		106 th ANGLE		
		107 th ANGLE		
		108 th ANGLE		
		109 th ANGLE		
		110 th ANGLE		
		111 th ANGLE		
		112 th ANGLE		
		113 th ANGLE		
		114 th ANGLE		
		115 th ANGLE		
		116 th ANGLE		
		117 th ANGLE		
		118 th ANGLE		
		119 th ANGLE		
		120 th ANGLE		
		121 th ANGLE		
		122 th ANGLE		
		123 th ANGLE		
		124 th ANGLE		
		125 th ANGLE		
		126 th ANGLE		
		127 th ANGLE		
		128 th ANGLE		
		129 th ANGLE		
		130 th ANGLE		
		131 th ANGLE		
		132 th ANGLE		
		133 th ANGLE		
		134 th ANGLE		
		135 th ANGLE		
		136 th ANGLE		
		137 th ANGLE		
		138 th ANGLE		
		139 th ANGLE		
		140 th ANGLE		
		141 th ANGLE		
		142 th ANGLE		
		143 th ANGLE		
		144 th ANGLE		
		145 th ANGLE		
		146 th ANGLE		
		147 th ANGLE		
		148 th ANGLE		
		149 th ANGLE		
		150 th ANGLE		
		151 th ANGLE		
		152 th ANGLE		
		153 th ANGLE		
		154 th ANGLE		
		155 th ANGLE		
		156 th ANGLE		
		157 th ANGLE		
		158 th ANGLE		
		159 th ANGLE		
		160 th ANGLE		
		161 th ANGLE		
		162 th ANGLE		
		163 th ANGLE		
		164 th ANGLE		
		165 th ANGLE		
		166 th ANGLE		
		167 th ANGLE		
		168 th ANGLE		
		169 th ANGLE		
		170 th ANGLE		
		171 th ANGLE		
		172 th ANGLE		
		173 th ANGLE		
		174 th ANGLE		
		175 th ANGLE		
		176 th ANGLE		
		177 th ANGLE		
		178 th ANGLE		
		179 th ANGLE		
		180 th ANGLE		
		181 th ANGLE		
		182 th ANGLE		
		183 th ANGLE		
		184 th ANGLE		
		185 th ANGLE		
		186 th ANGLE		
		187 th ANGLE		
		188 th ANGLE		
		189 th ANGLE		
		190 th ANGLE		
		191 th ANGLE		
		192 th ANGLE		
		193 th ANGLE		
		194 th ANGLE		
		195 th ANGLE		
		196 th ANGLE		
		197 th ANGLE		
		198 th ANGLE		
		199 th ANGLE		
		200 th ANGLE		
		201 th ANGLE		
		202 th ANGLE		
		203 th ANGLE		
		204 th ANGLE		
		205 th ANGLE		
		206 th ANGLE		
		207 th ANGLE		
		208 th ANGLE		
		209 th ANGLE		
		210 th ANGLE		
		211 th ANGLE		
		212 th ANGLE		
		213 th ANGLE		
		214 th ANGLE		
		215 th ANGLE		
		216 th ANGLE		
		217 th ANGLE		
		218 th ANGLE		
		219 th ANGLE		
		220 th ANGLE		
		221 th ANGLE		
		222 th ANGLE		
		223 th ANGLE		
		224 th ANGLE		
		225 th ANGLE		
		226 th ANGLE		
		227 th ANGLE		
		228 th ANGLE		
		229 th ANGLE		
		230 th ANGLE		
		231 th ANGLE		
		232 th ANGLE		
		233 th ANGLE		
		234 th ANGLE		
		235 th ANGLE		
		236 th ANGLE		
		237 th ANGLE		
		238 th ANGLE		
		239 th ANGLE		
		240 th ANGLE		
		241 th ANGLE		
		242 th ANGLE		
		243 th ANGLE		
		244 th ANGLE		
		245 th ANGLE		
		246 th ANGLE		
		247 th ANGLE		
		248 th ANGLE		
		249 th ANGLE		
		250 th ANGLE		
		251 th ANGLE		
		252 th ANGLE		
		253 th ANGLE		
		254 th ANGLE		
		255 th ANGLE		
		256 th ANGLE		
		257 th ANGLE		
		258 th ANGLE		
		259 th ANGLE		
		260 th ANGLE		
		261 th ANGLE		
		262 th ANGLE		
		263 th ANGLE		
		264 th ANGLE		
		265 th ANGLE		
		266 th ANGLE		
		267 th ANGLE		
		268 th ANGLE		
		269 th ANGLE		
		270 th ANGLE		
		271 th ANGLE		
		272 th ANGLE		
		273 th ANGLE		
		274 th ANGLE		
		275 th ANGLE		
		276 th ANGLE		
		277 th ANGLE		

G. Hasil pengujian Tarik

LAPORAN UJI LABORATORIUM TENSILE

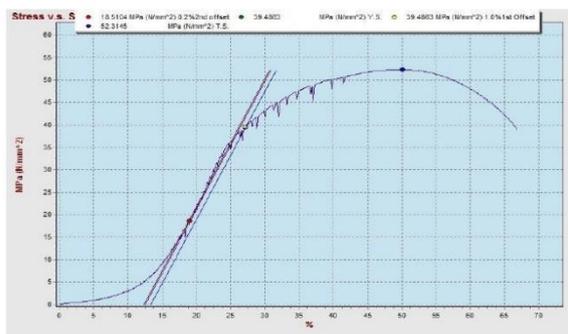
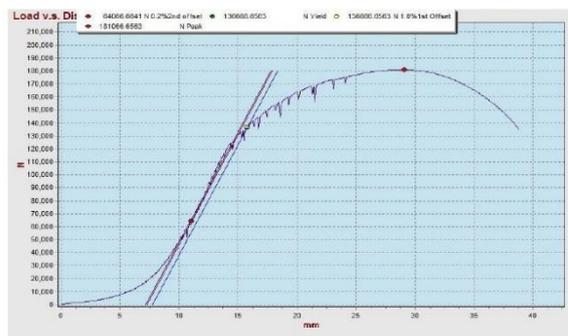
Jenis Pengujian	Uji Tarik
Type of test	
Peralatan	Mesin Uji Universal " Hung Ta " Kapasitas 1000 kN
Equipment	

HASIL PENGUJIAN RESULT

Sample S 355 J2 - 30V

02/07/2022

No.	Area	Yield Load	Peak Load	Yield Strength	Tensile Strength	Elongation
Spec	mm ²	(N)	(N)	(N/mm ²)	(N/mm ²)	%
3	350,07	136933,33	182933,33	390,40	517,23	34,49



LAPORAN UJI LABORATORIUM TENSILE

Jenis Pengujian	Uji Tarik
Type of test	
Peralatan	
Equipment	

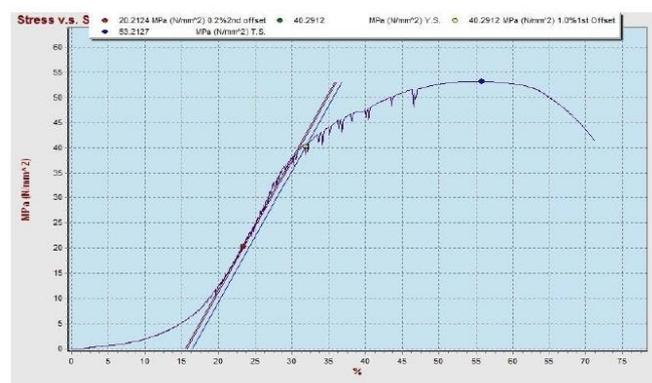
Mesin Uji Universal " Hung Ta " Kapasitas 1000 kN

HASIL PENGUJIAN
RESULT

Sample S 355 JR - 30V

02/07/2022

No.	Area	Yield Load	Peak Load	Yield Strength	Tensile Strength	Elongation
Spec	mm ²	(N)	(N)	(N/mm ²)	(N/mm ²)	%
1	349,3914	140733,33	185866,66	402,80	531,97	30,24



LAPORAN UJI LABORATORIUM TENSILE

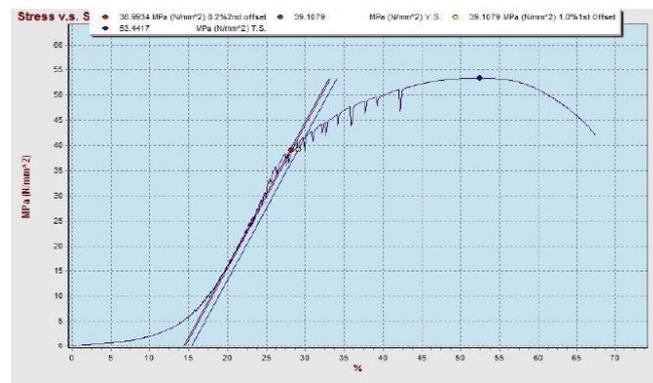
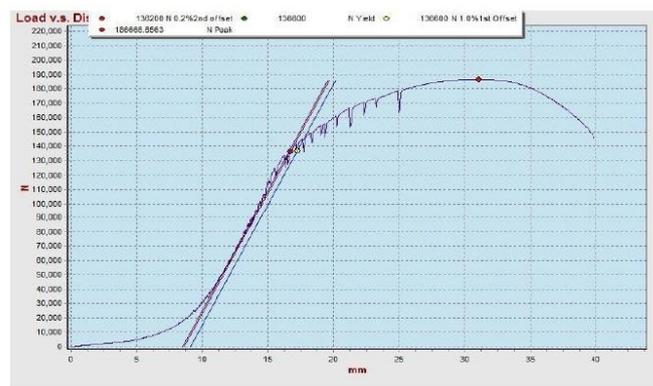
Jenis Pengujian	Uji Tarik
Type of test	
Peralatan	Mesin Uji Universal " Hung Ta " Kapasitas 1000 kN
Equipment	

HASIL PENGUJIAN
RESULT

Sample S 355 JR - 30V

02/07/2022

No.	Area	Yield Load	Peak Load	Yield Strength	Tensile Strength	Elongation
Spec	mm ²	(N)	(N)	(N/mm ²)	(N/mm ²)	%
2	352,4072	136200,00	186666,66	386,48	529,69	33,76



LAPORAN UJI LABORATORIUM TENSILE

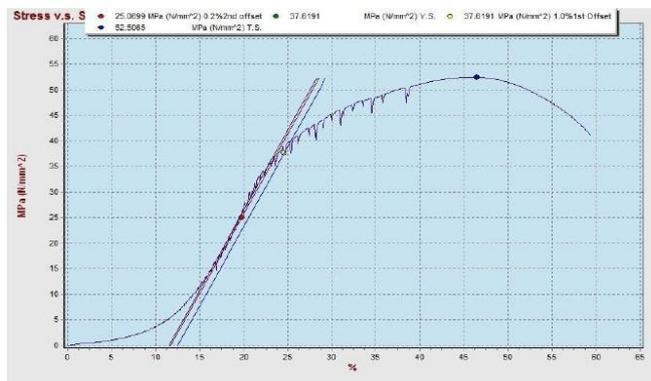
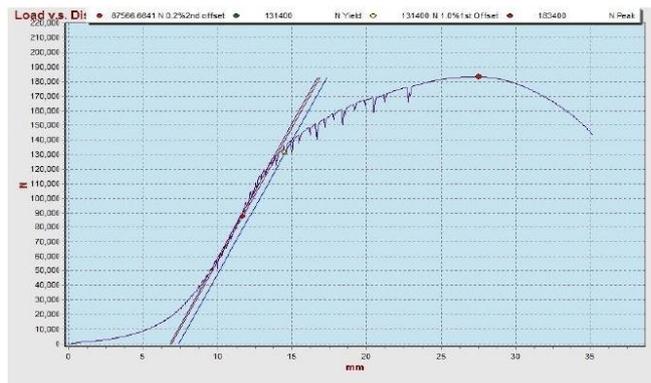
Jenis Pengujian	Uji Tarik
Type of test	
Peralatan	Mesin Uji Universal " Hung Ta " Kapasitas 1000 kN
Equipment	

HASIL PENGUJIAN
RESULT

Sample S 355 JR - 30V

02/07/2022

No.	Area	Yield Load	Peak Load	Yield Strength	Tensile Strength	Elongation
Spec	mm ²	(N)	(N)	(N/mm ²)	(N/mm ²)	%
3	348,8721	131400,00	183400,00	376,64	525,69	29,56



LAPORAN UJI LABORATORIUM TENSILE

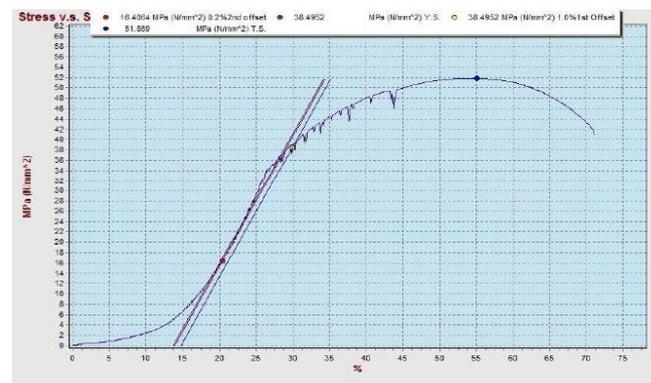
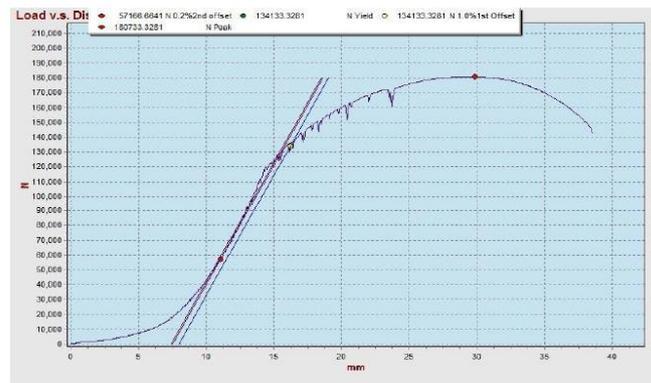
Jenis Pengujian	Uji Tarik
Type of test	
Peralatan	Mesin Uji Universal " Hung Ta " Kapasitas 1000 kN
Equipment	

**HASIL PENGUJIAN
RESULT**

Sample S 355 J2 - 32V

02/07/2022

No.	Area	Yield Load	Peak Load	Yield Strength	Tensile Strength	Elongation
Spec	mm ²	(N)	(N)	(N/mm ²)	(N/mm ²)	%
1	341,6713	131733,33	180466,66	392,58	528,97	28,97



LAPORAN UJI LABORATORIUM TENSILE

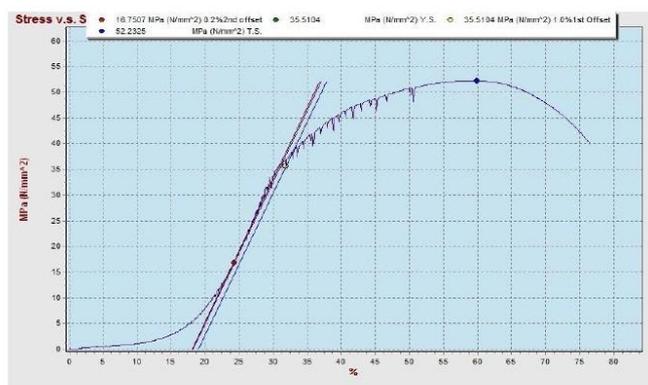
Jenis Pengujian	Uji Tarik
Type of test	
Peralatan	Mesin Uji Universal " Hung Ta " Kapasitas 1000 kN
Equipment	

HASIL PENGUJIAN
RESULT

Sample S 355 J2 - 32V

02/07/2022

No.	Area	Yield Load	Peak Load	Yield Strength	Tensile Strength	Elongation
Spec	mm ²	(N)	(N)	(N/mm ²)	(N/mm ²)	%
2	353,1912	125333,33	181466,66	350,33	515,30	29,28



LAPORAN UJI LABORATORIUM TENSILE

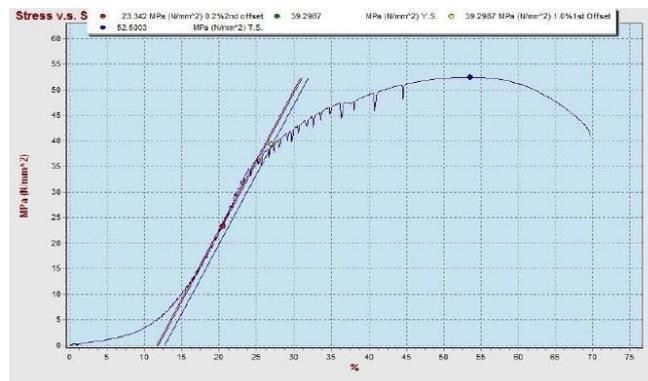
Jenis Pengujian	Uji Tarik
Type of test	
Peralatan	Mesin Uji Universal " Hung Ta " Kapasitas 1000 kN
Equipment	

HASIL PENGUJIAN
RESULT

Sample S 355 J2 - 32V

02/07/2022

No.	Area	Yield Load	Peak Load	Yield Strength	Tensile Strength	Elongation
Spec	mm ²	(N)	(N)	(N/mm ²)	(N/mm ²)	%
3	350,5077	136666,66	181066,66	390,67	521,91	30,97



LAPORAN UJI LABORATORIUM TENSILE

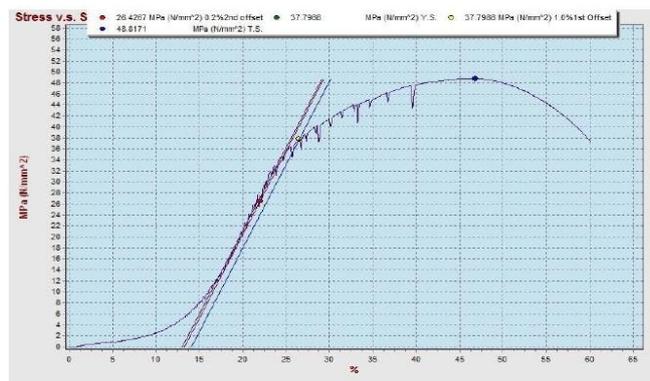
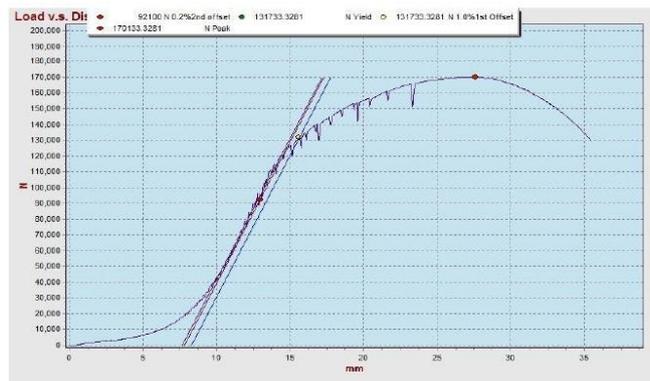
Jenis Pengujian	Uji Tarik
Type of test	
Peralatan	
Equipment	Mesin Uji Universal " Hung Ta " Kapasitas 1000 kN

HASIL PENGUJIAN
RESULT

Sample S 355 JR - 32V

02/07/2022

No.	Area	Yield Load	Peak Load	Yield Strength	Tensile Strength	Elongation
Spec	mm ²	(N)	(N)	(N/mm ²)	(N/mm ²)	%
1	352,9656	131733,33	170133,33	373,22	482,01	28,68



LAPORAN UJI LABORATORIUM TENSILE

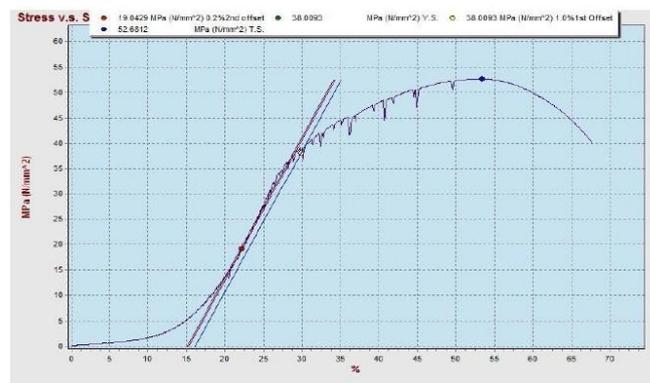
Jenis Pengujian	Uji Tarik
Type of test	
Peralatan	
Equipment	Mesin Uji Universal " Hung Ta " Kapasitas 1000 kN

HASIL PENGUJIAN
RESULT

Sample S 355 JR - 32V

02/07/2022

No.	Area	Yield Load	Peak Load	Yield Strength	Tensile Strength	Elongation
Spec	mm ²	(N)	(N)	(N/mm ²)	(N/mm ²)	%
2	347,8269	132466,66	183600,00	380,84	527,85	30,44



LAPORAN UJI LABORATORIUM TENSILE

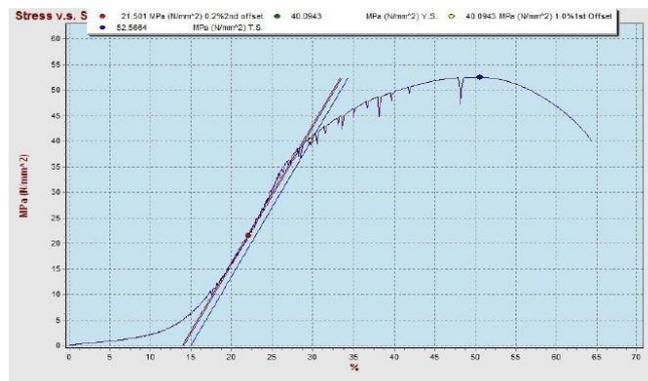
Jenis Pengujian	Uji Tarik
Type of test	
Peralatan	Mesin Uji Universal " Hung Ta " Kapasitas 1000 kN
Equipment	

HASIL PENGUJIAN
RESULT

Sample S 355 JR - 32V

02/07/2022

No.	Area	Yield Load	Peak Load	Yield Strength	Tensile Strength	Elongation
Spec	mm ²	(N)	(N)	(N/mm ²)	(N/mm ²)	%
3	352,2793	139733,33	183200,00	396,65	520,04	29,9



LAPORAN UJI LABORATORIUM TENSILE

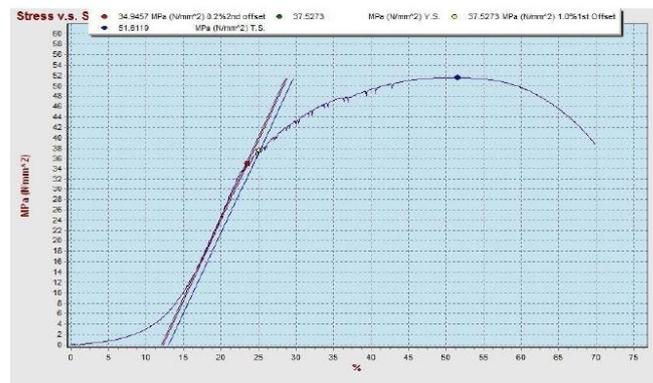
Jenis Pengujian	Uji Tarik
Type of test	
Peralatan	Mesin Uji Universal " Hung Ta " Kapasitas 1000 kN
Equipment	

HASIL PENGUJIAN
RESULT

Sample S 355 J2 - 28V

02/07/2022

No.	Area	Yield Load	Peak Load	Yield Strength	Tensile Strength	Elongation
Spec	mm ²	(N)	(N)	(N/mm ²)	(N/mm ²)	%
1	352,2178	131800,00	181266,66	374,20	514,64	38,12



LAPORAN UJI LABORATORIUM TENSILE

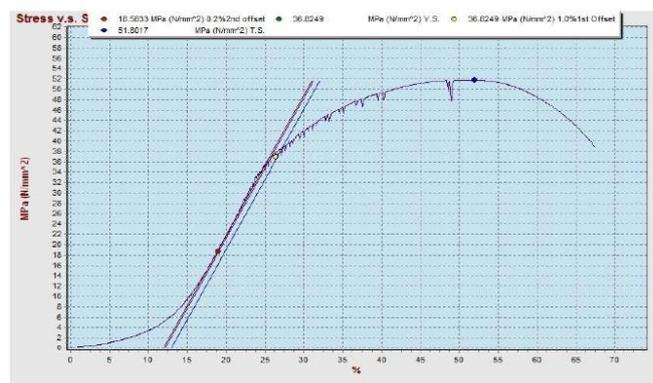
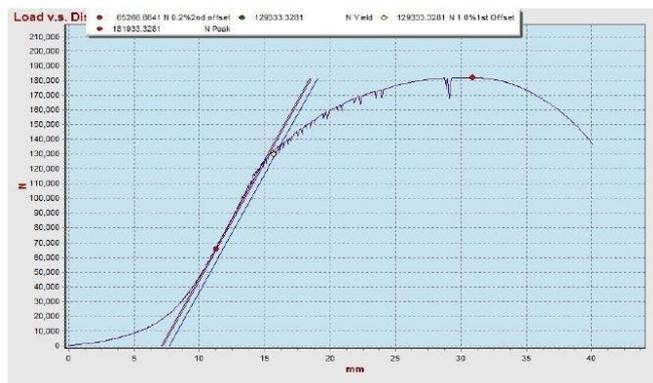
Jenis Pengujian	Uji Tarik
Type of test	
Peralatan	Mesin Uji Universal " Hung Ta " Kapasitas 1000 kN
Equipment	

HASIL PENGUJIAN
RESULT

Sample S 355 J2 - 28V

02/07/2022

No.	Area	Yield Load	Peak Load	Yield Strength	Tensile Strength	Elongation
Spec	mm ²	(N)	(N)	(N/mm ²)	(N/mm ²)	%
2	347,9575	129333,33	181933,33	371,69	522,86	34,56



LAPORAN UJI LABORATORIUM TENSILE

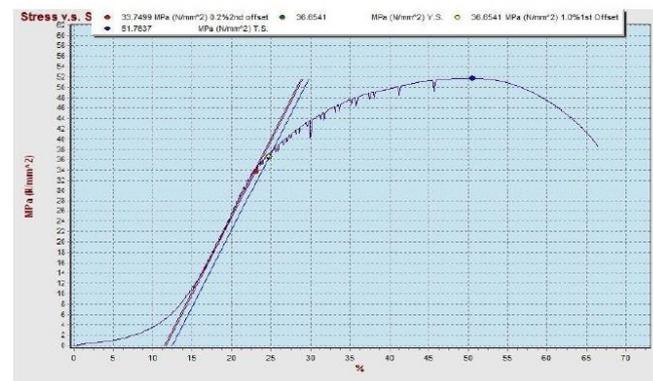
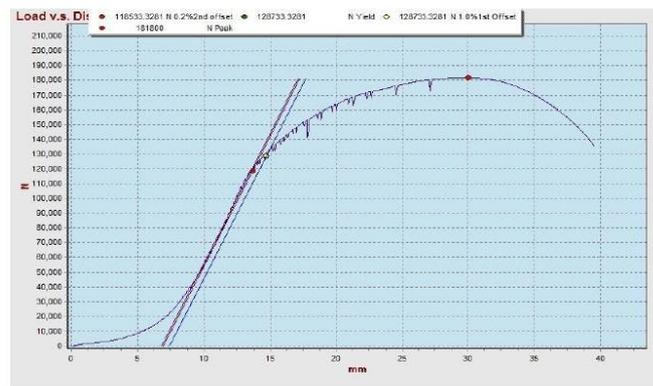
Jenis Pengujian	Uji Tarik
Type of test	
Peralatan	Mesin Uji Universal " Hung Ta " Kapasitas 1000 kN
Equipment	

HASIL PENGUJIAN
RESULT

Sample S 355 J2 - 28V

02/07/2022

No.	Area	Yield Load	Peak Load	Yield Strength	Tensile Strength	Elongation
Spec	mm ²	(N)	(N)	(N/mm ²)	(N/mm ²)	%
3	353,7238	128733,33	181800,00	363,94	513,96	34,36



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 JR - 28V

02/07/2022

No.	Area	Yield Load	Peak Load	Yield Strength	Tensile Strength	Elongation
Spec	mm ²	(N)	(N)	(N/mm ²)	(N/mm ²)	%
1	355,3103	125866,66	171466,66	354,24	482,58	29,28



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 JR - 28V

02/07/2022

No.	Area	Yield Load	Peak Load	Yield Strength	Tensile Strength	Elongation
Spec	mm ²	(N)	(N)	(N/mm ²)	(N/mm ²)	%
2	350,8725	131533,33	184133,33	374,87	524,79	29,16



LAPORAN UJI LABORATORIUM TENSILE

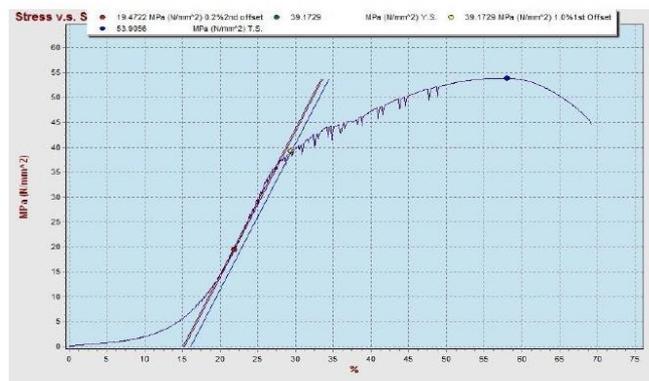
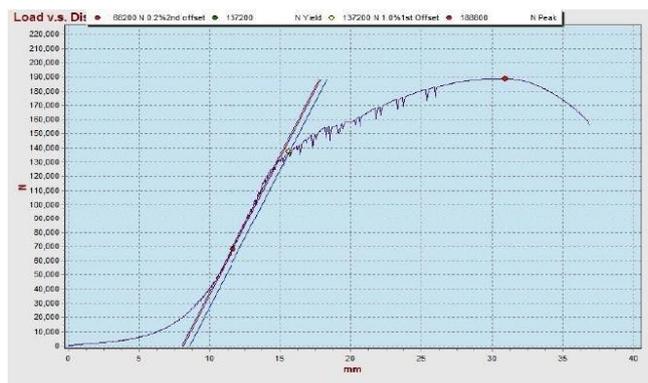
Jenis Pengujian	Uji Tarik
Type of test	
Peralatan	Mesin Uji Universal " Hung Ta " Kapasitas 1000 kN
Equipment	

HASIL PENGUJIAN
RESULT

Sample S 355 JR - 28V

02/07/2022

No.	Area	Yield Load	Peak Load	Yield Strength	Tensile Strength	Elongation
Spec	mm ²	(N)	(N)	(N/mm ²)	(N/mm ²)	%
3	345,0516	137200,00	188800,00	397,62	547,16	25,04



LAPORAN UJI LABORATORIUM TENSILE

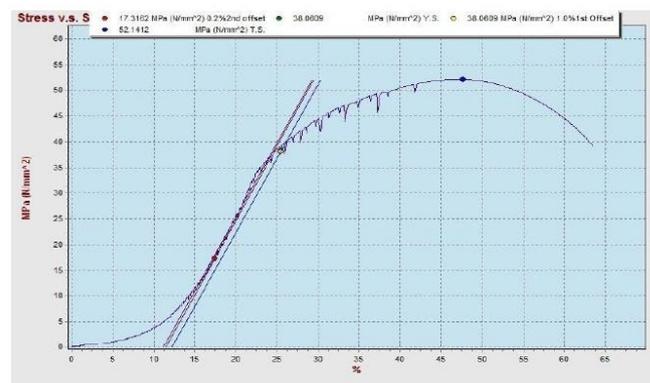
Jenis Pengujian	Uji Tarik
Type of test	
Peralatan	Mesin Uji Universal " Hung Ta " Kapasitas 1000 kN
Equipment	

HASIL PENGUJIAN
RESULT

Sample S 355 J2 - 30V

02/07/2022

No.	Area	Yield Load	Peak Load	Yield Strength	Tensile Strength	Elongation
Spec	mm ²	(N)	(N)	(N/mm ²)	(N/mm ²)	%
1	344,865	136666,66	180733,33	381,99	523,30	35,04



LAPORAN UJI LABORATORIUM TENSILE

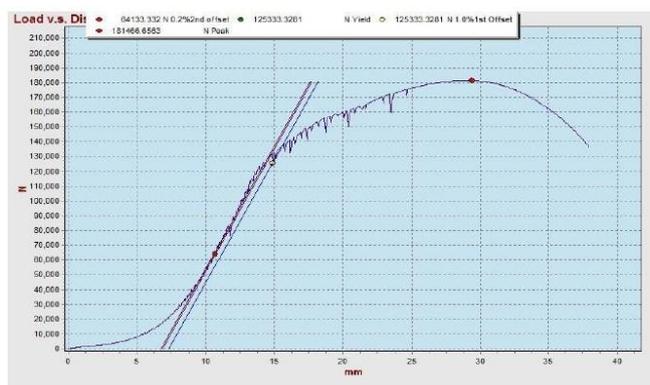
Jenis Pengujian	Uji Tarik
Type of test	
Peralatan	Mesin Uji Universal " Hung Ta " Kapasitas 1000 kN
Equipment	

HASIL PENGUJIAN
RESULT

Sample S 355 J2 - 30V

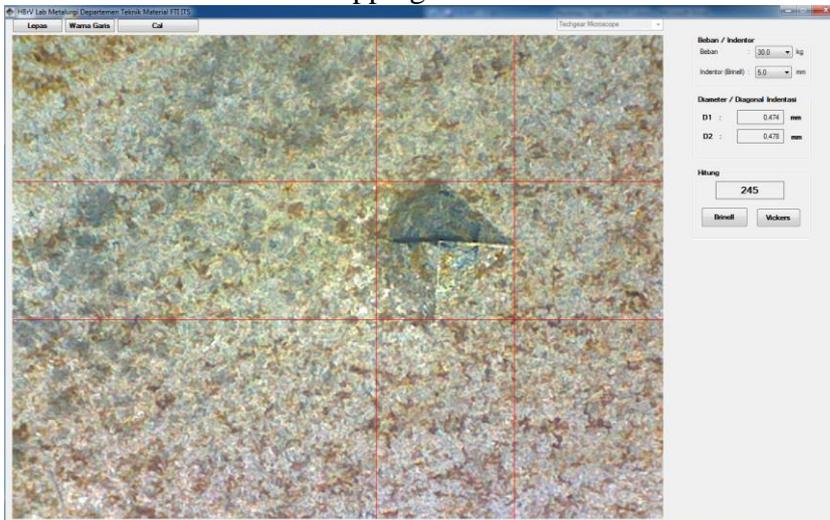
02/07/2022

No.	Area	Yield Load	Peak Load	Yield Strength	Tensile Strength	Elongation
Spec	mm ²	(N)	(N)	(N/mm ²)	(N/mm ²)	%
2	343,9381	134933,33	182000	364,41	527,61	36,75



H. Dokumentasi Hasil Pengujian Kekerasan Vickers

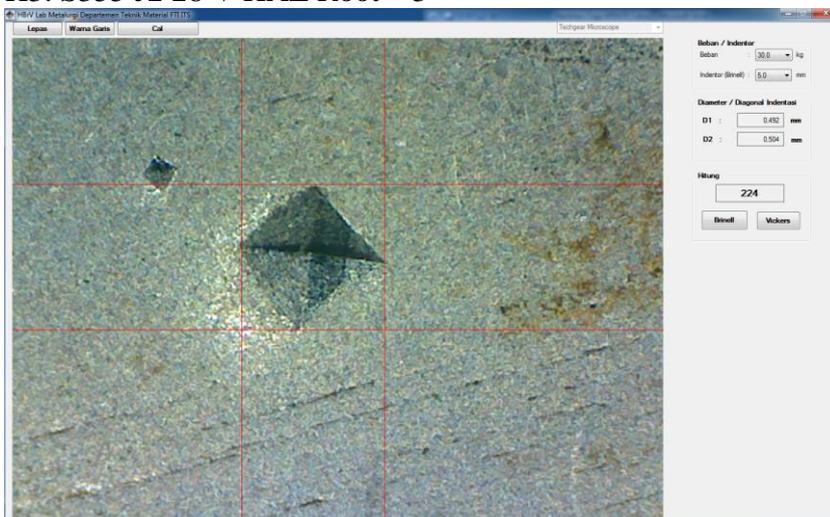
H1. S355 J2 28 V HAZ Capping – 1



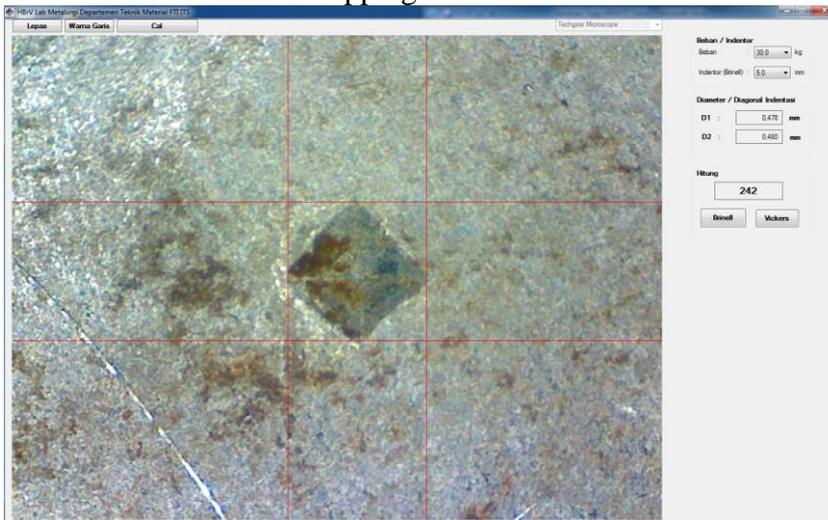
H2. S355 J2 28 V HAZ Middle – 2



H3. S355 J2 28 V HAZ Root – 3



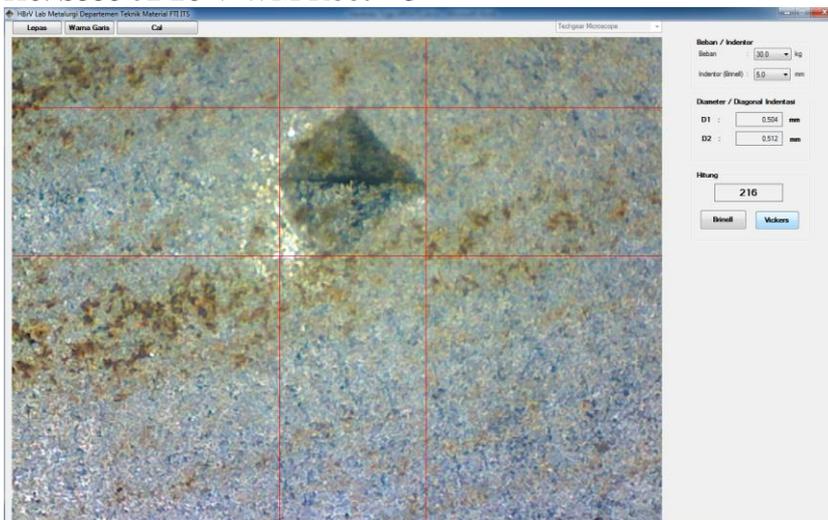
H4. S355 J2 28 V WM Capping – 1



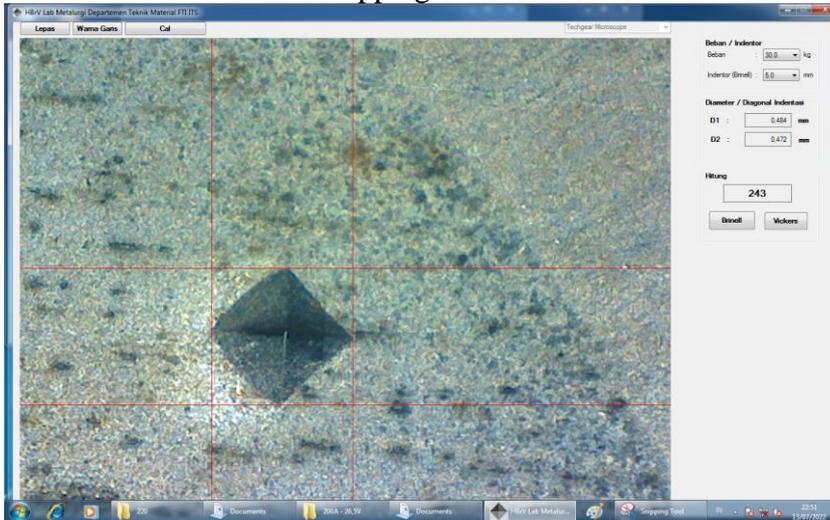
H5. S355 J2 28 V WM Middle – 2



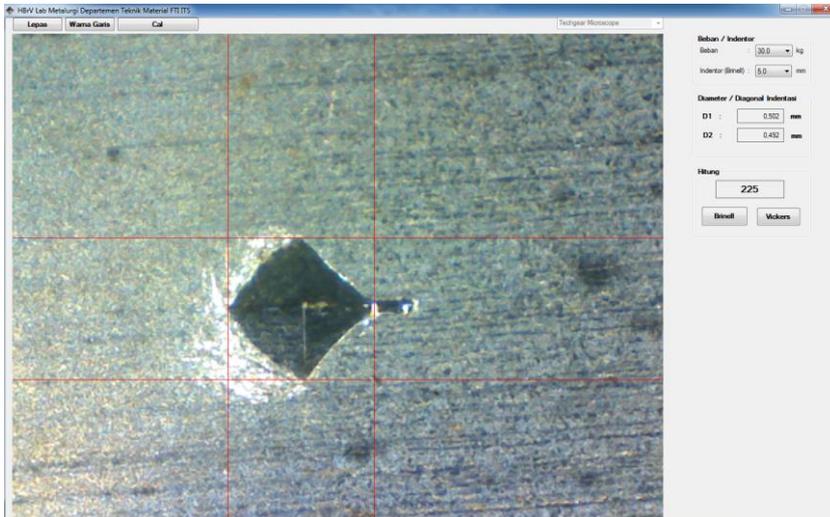
H6. S355 J2 28 V WM Root – 3



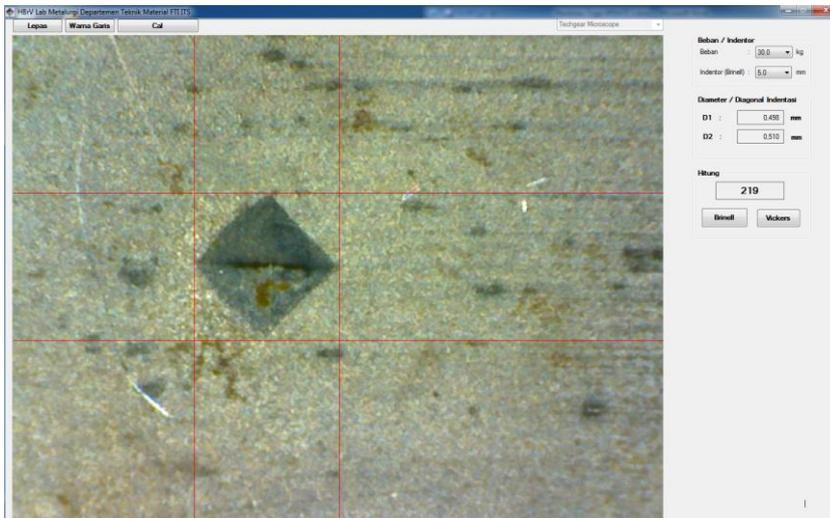
H7. S355 JR 28 V HAZ Capping – 1



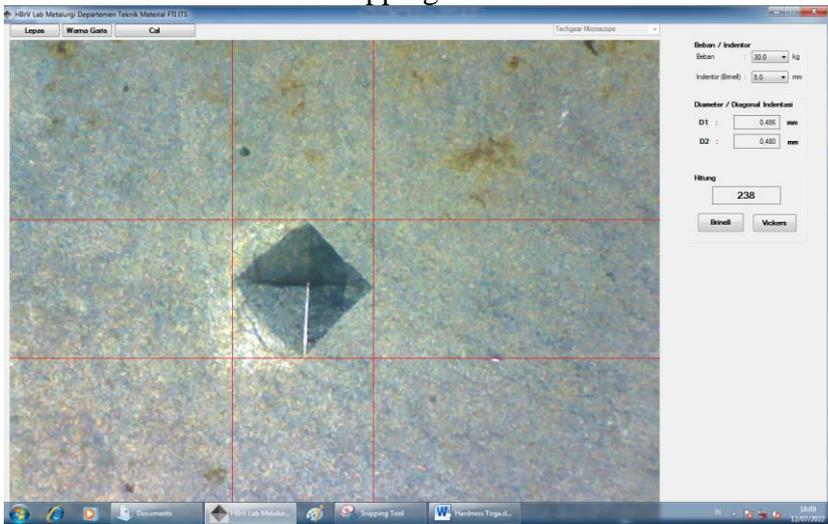
H8. S355 JR 28 HAZ Middle – 2



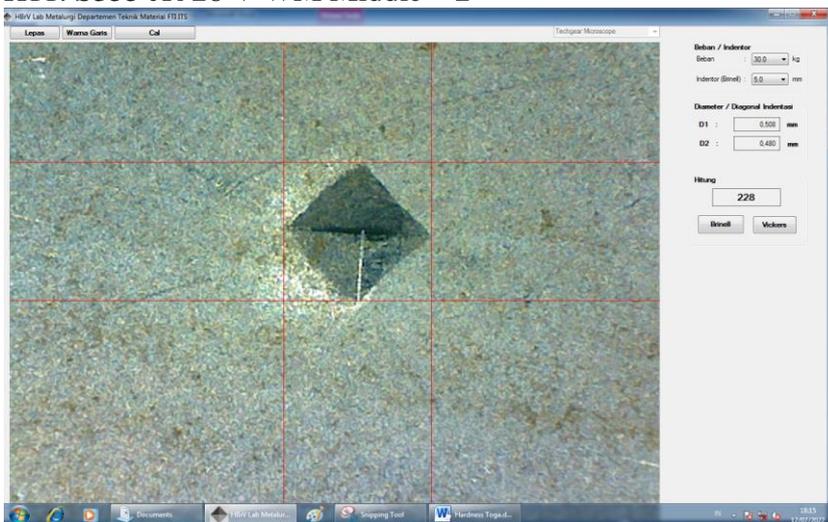
H9. S355 JR 28 HAZ Root – 3



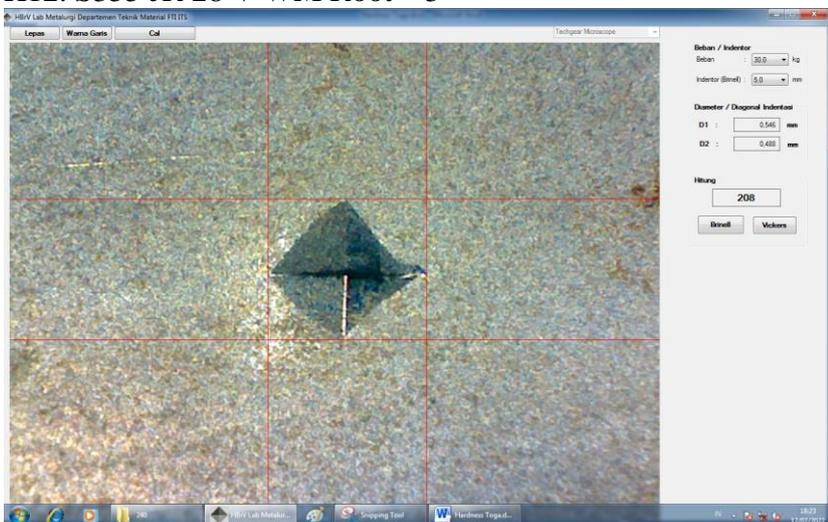
H10. S355 JR 28 V WM Capping – 1



H11. S355 JR 28 V WM Middle – 2



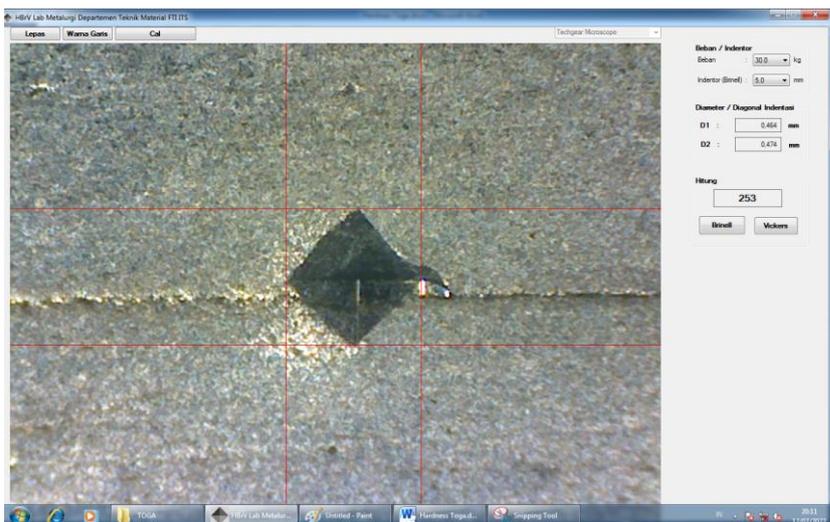
H12. S355 JR 28 V WM Root – 3



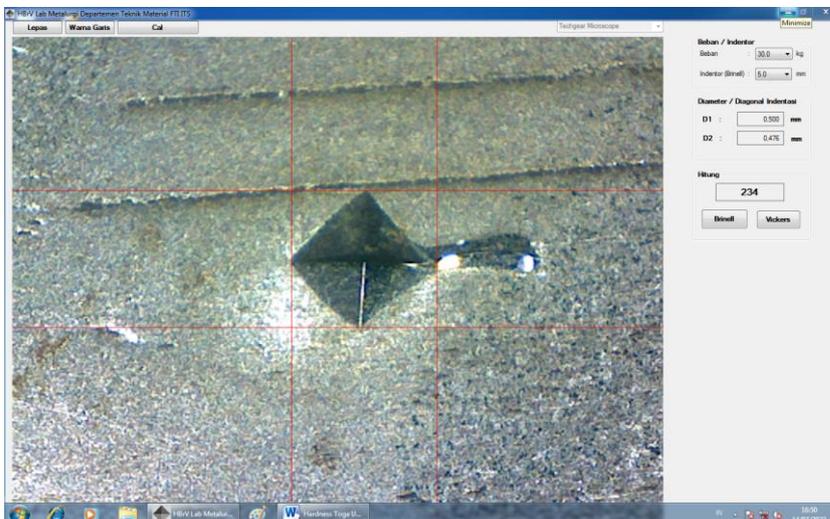
H13. S355 J2 30 V HAZ Capping – 1



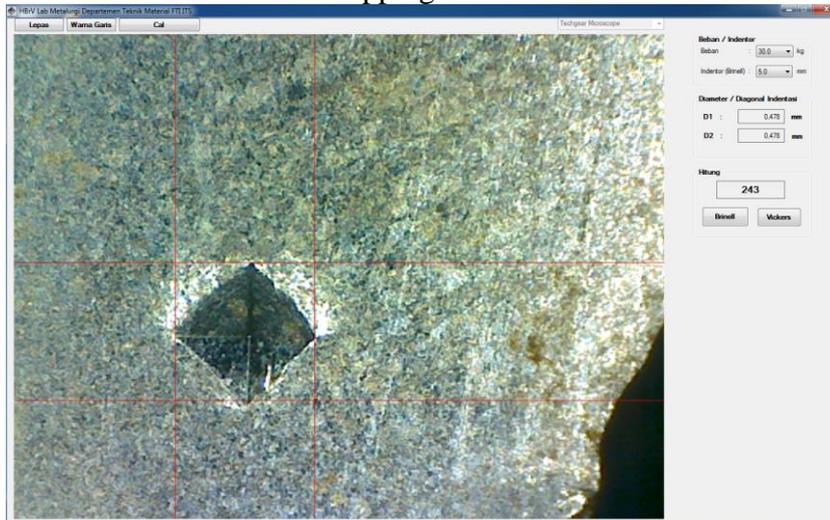
H14. S355 J2 30 V HAZ Middle – 2



H15. S355 J2 30 V HAZ Root – 3



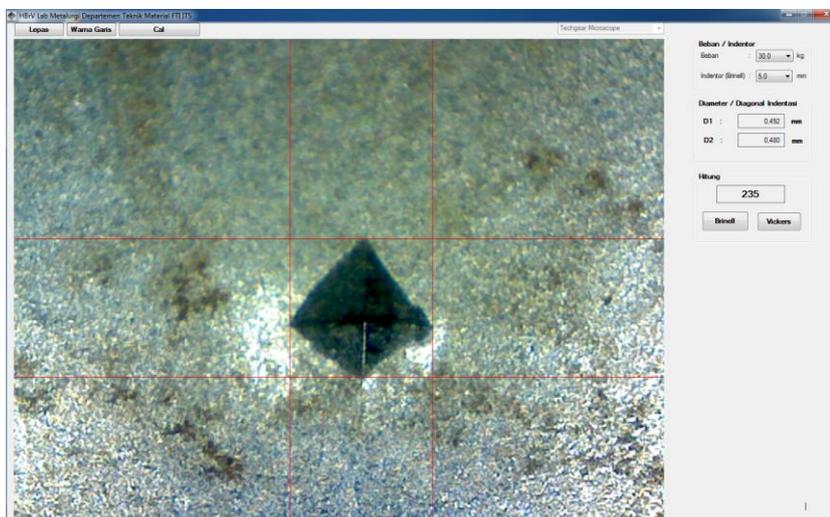
H16. S355 J2 30 V WM Capping-1



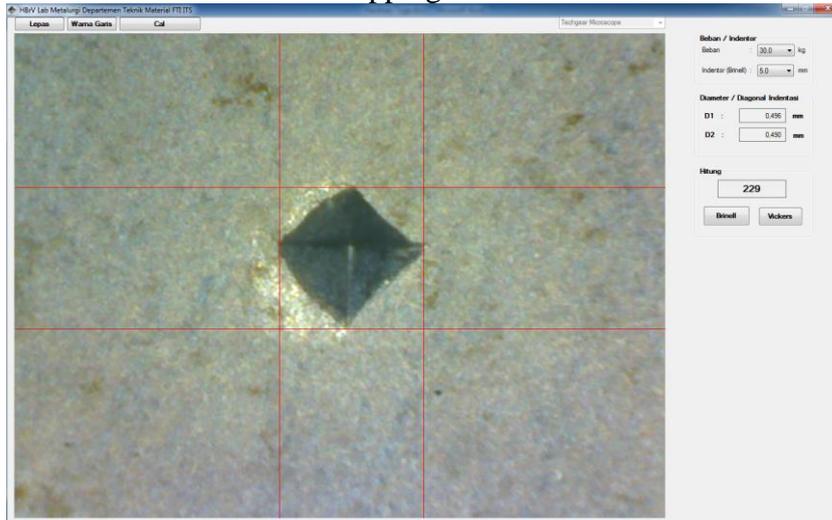
H17. S355 J2 30 V WM Middle – 2



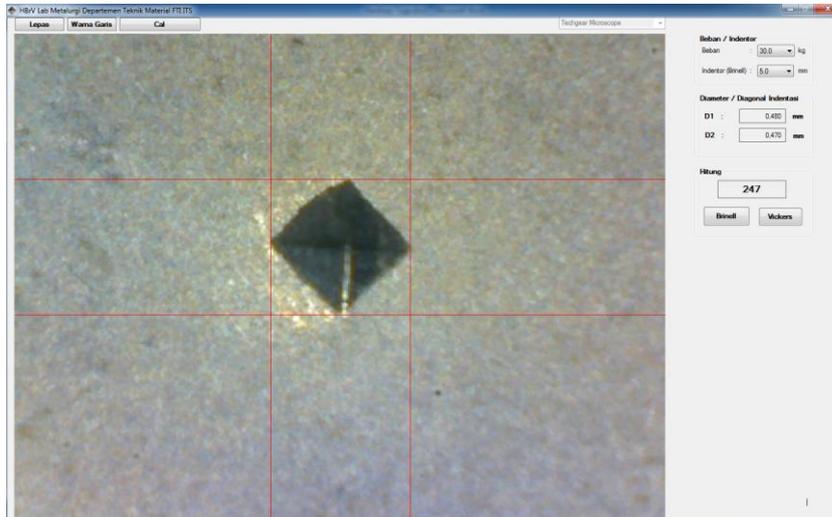
H18. S355 J2 30 V WM Root – 3



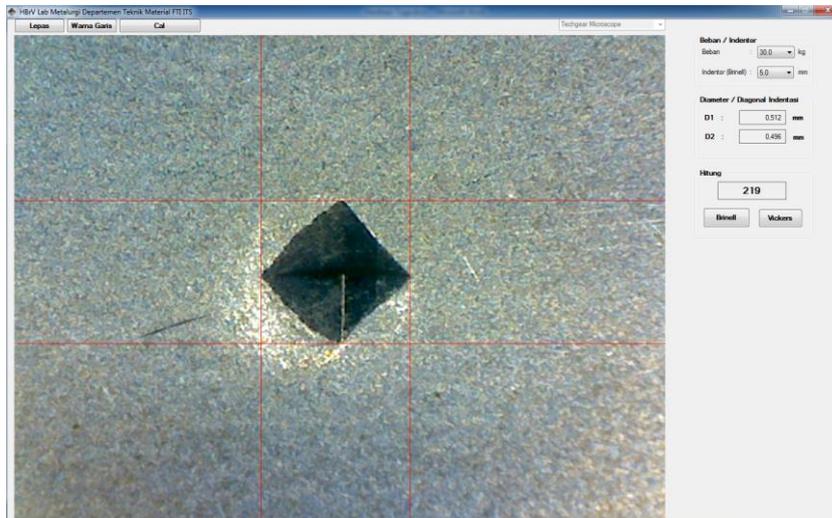
H19. S355 JR 30 V WM Capping – 1



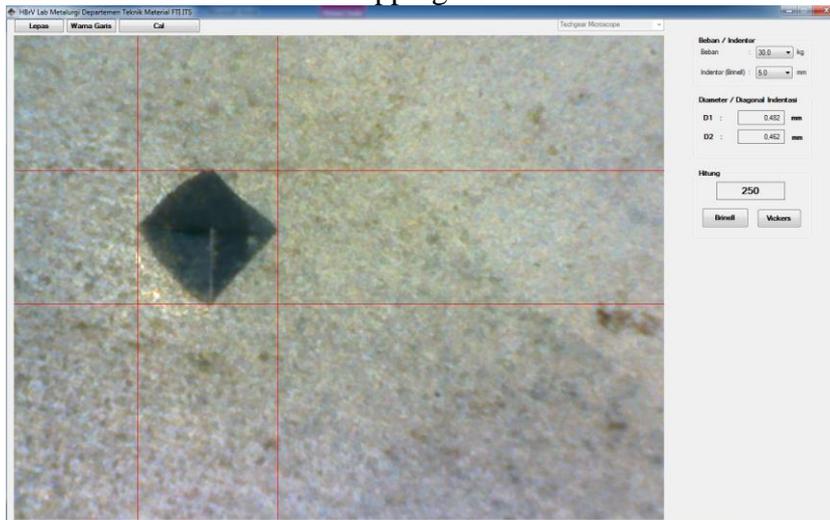
H20. S355 JR 30 V WM Middle– 2



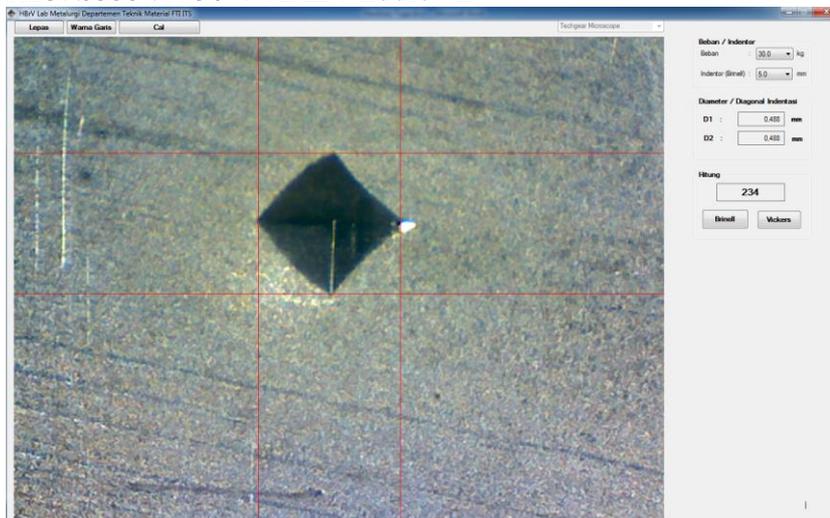
H21.S355 JR 30 V WM Root– 3



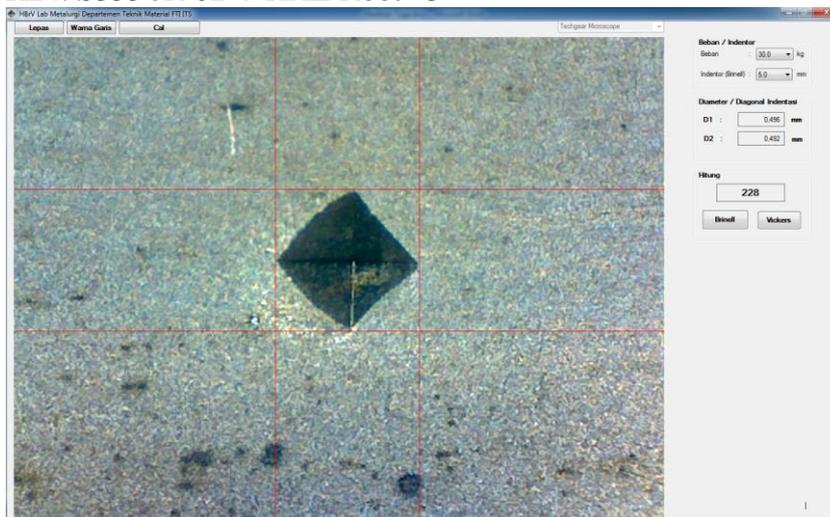
H22. S355 JR 30 V HAZ Capping- 1



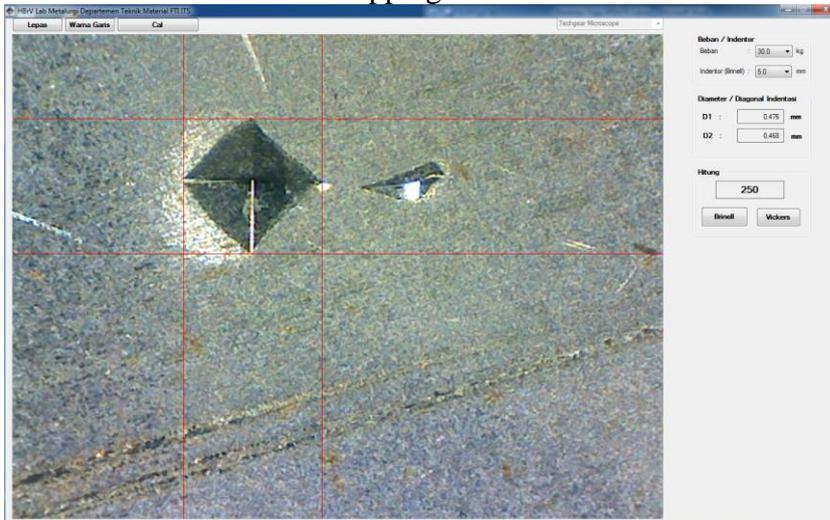
H23. S355 JR 30 V HAZ Middle- 2



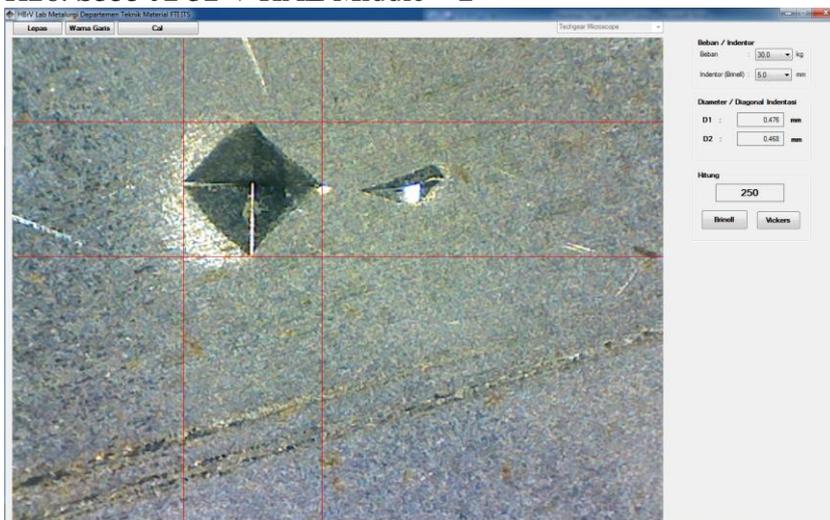
H24. S355 JR 02 V HAZ Root- 3



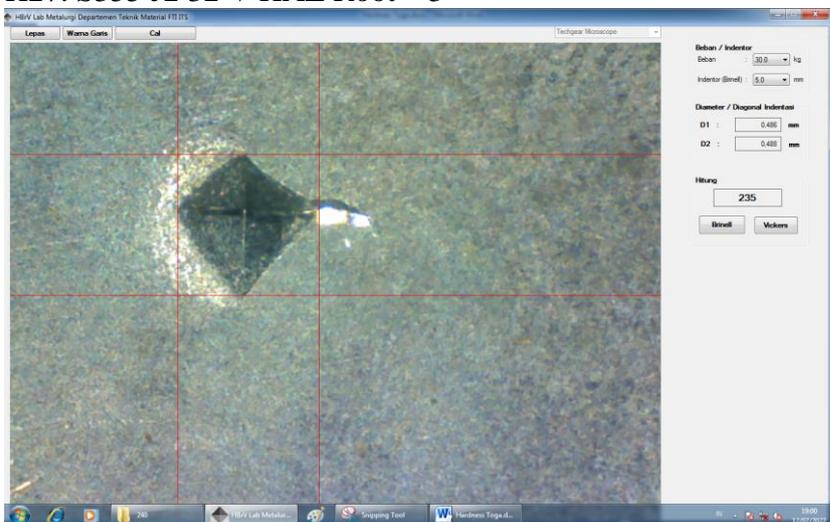
H25. S355 J2 32 V HAZ Capping – 1



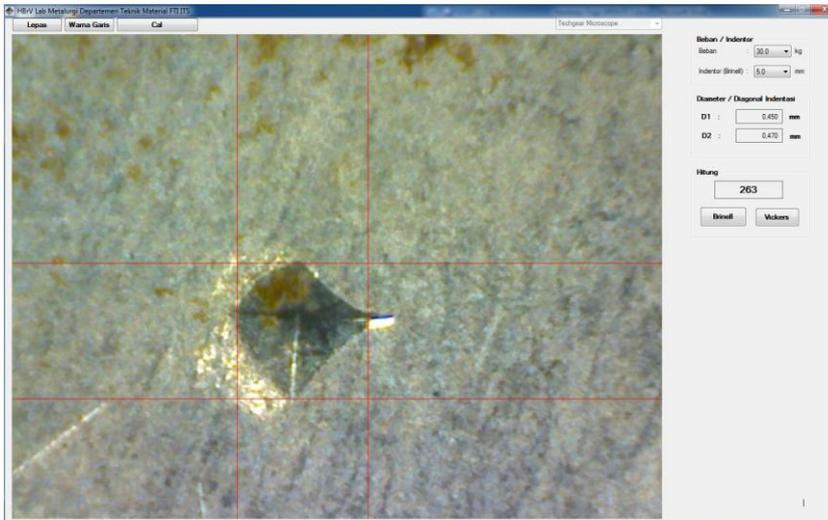
H26. S355 J2 32 V HAZ Middle – 2



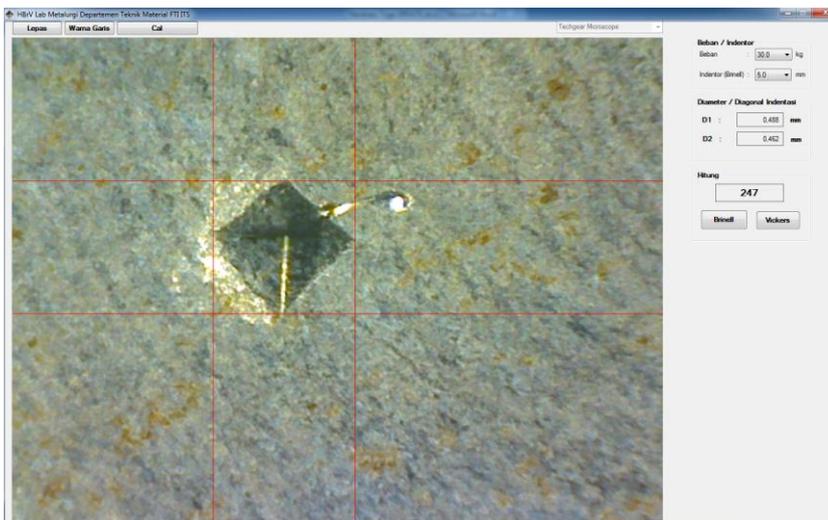
H27. S355 J2 32 V HAZ Root – 3



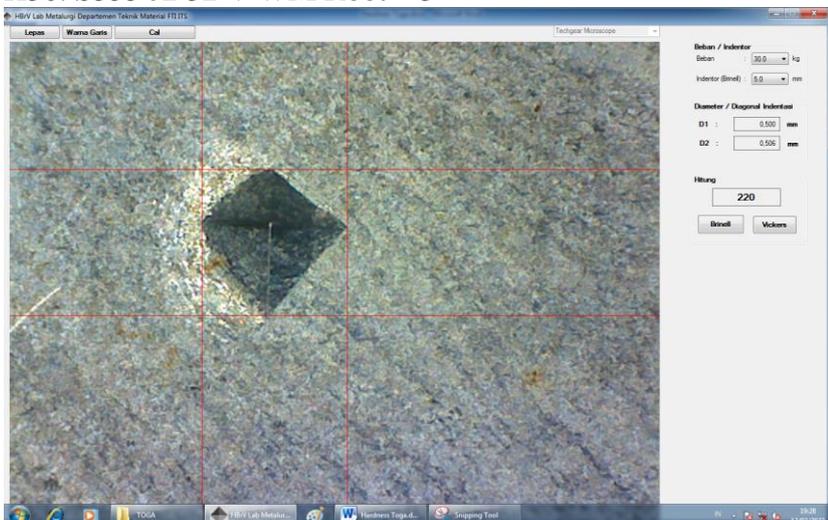
H28. S355 J2 32 V WM Capping – 1



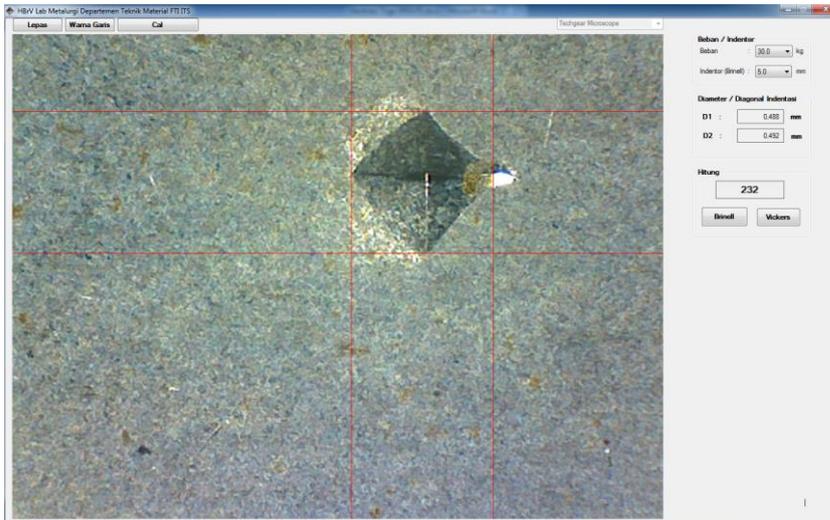
H29. S355 J2 32 V WM Root – 2



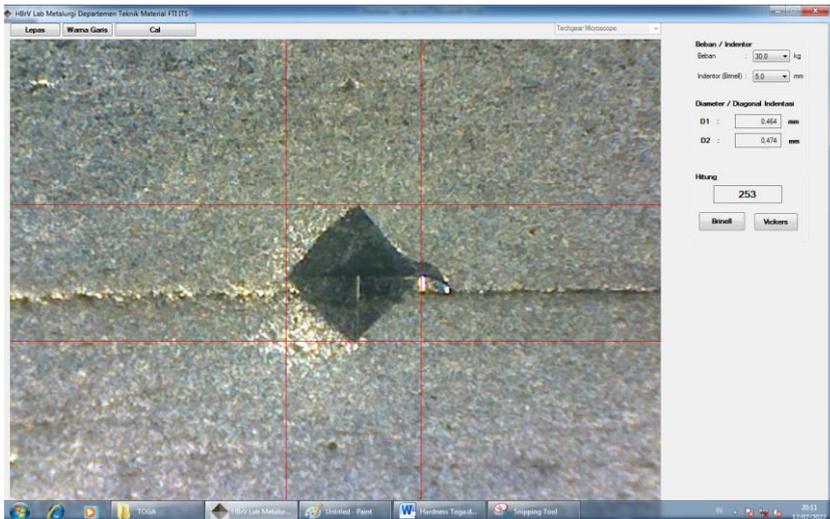
H30. S355 J2 32 V WM Root – 3



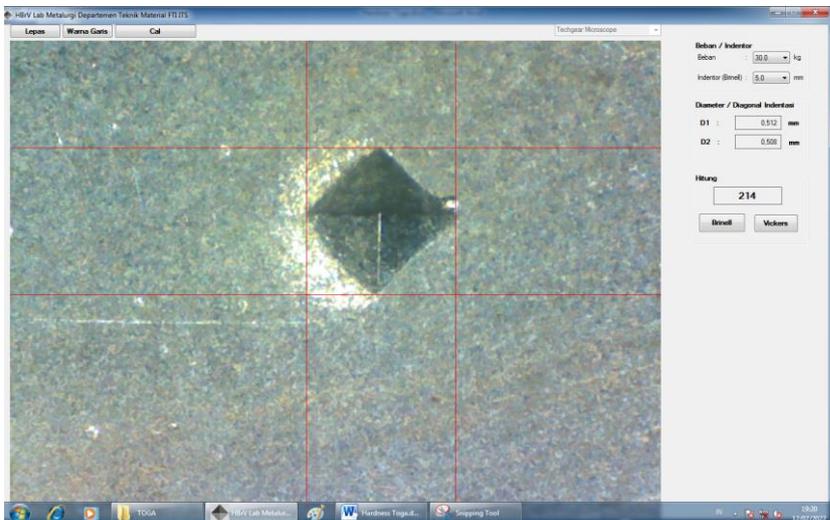
H31. S355 JR 32 V HAZ Capping- 1



H32. S355 JR 32 V HAZ Middle- 2



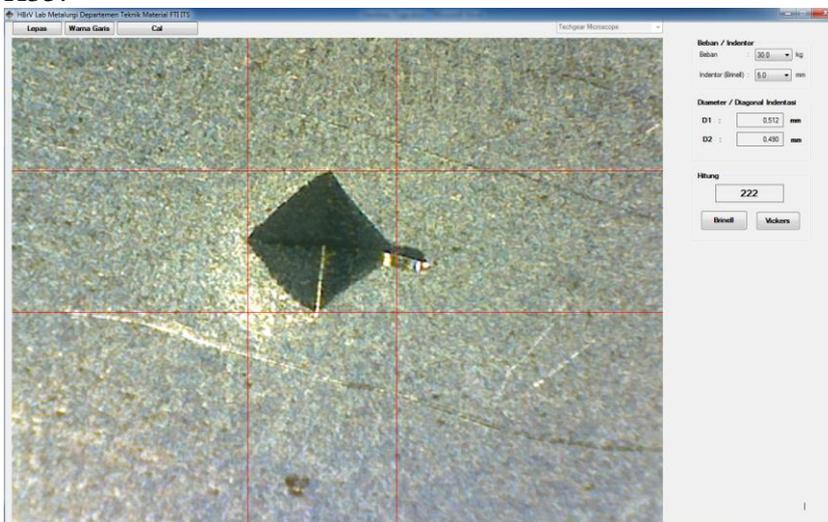
H33. S355 JR 32 V HAZ Root- 3



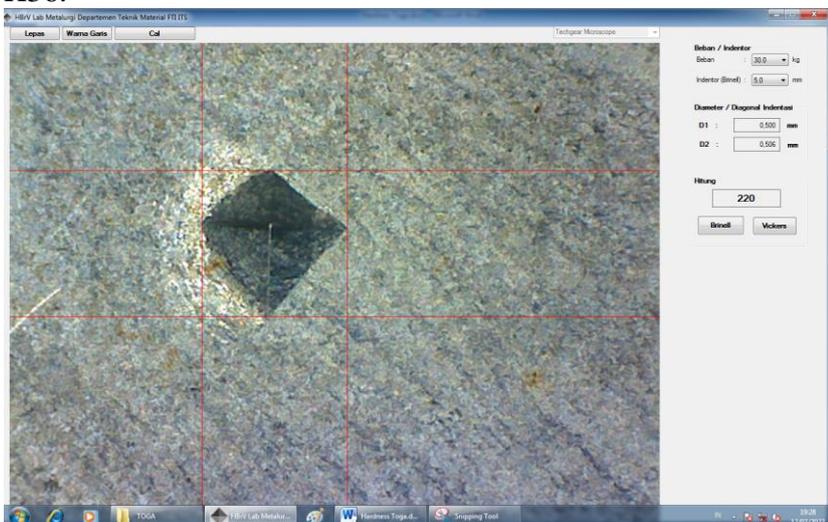
H34.



H35.



H36.



I. Foto Makro Spesimen Uji

II. S355J2 28 V, 30V, dan 32 V secara berurutan



I2. S355JR 28 V, 30V, dan 32 V secara berurutan



(Halaman ini sengaja dikosongkan)

UCAPAN TERIMA KASIH

Puji syukur atas kehadiran Tuhan YME yang melimpahkan segala rahmat serta karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan laporan Tugas Akhir dengan judul “**Analisis Pengaruh Variasi Tegangan Terhadap Struktur Mikro dan Sifat Mekanik Hasil Pengelasan *Butt Joint* Pada Baja S355J2 dan S355JR Menggunakan Metode Las GMAW**”. Adapun laporan Tugas Akhir ini disusun sebagai syarat kelulusan mahasiswa S1 di Departemen Teknik Material dan Metalurgi, Fakultas Teknologi Industri dan Rekayasa Sistem, Institut Teknologi Sepuluh Nopember.

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

1. Kedua orang tua serta keluarga besar penulis yang selalu memberi dukungan, doa, dan motivasi.
2. Bapak Ir. Rochman Rochiem, M.Sc. dan Bapak Budi Agung Kurniawan, S.T, M.Sc, selaku dosen pembimbing Tugas Akhir penulis yang selalu memberikan bimbingan selama masa pengerjaan hingga selesai.
3. Bapak Sigit Sugiarto dan Bapak Suparman dan seluruh pegawai PT. INKA (Persero).
4. Mas Diki Hadi, Mas Mahendra Wisnu, Mas Denies, Mas Pungky, dan seluruh pegawai PT. INKA Multi Solusi.
5. Wikan Jatimurti, S.T, M.Sc., selaku dosen wali penulis yang telah memberi saran dan bimbingan sejak tahun pertama perkuliahan hingga terakhir.
6. Sutarsis, S.T, M.Sc., selaku Kepala Laboratorium Metalurgi, tempat penulis melakukan pengerjaan Tugas Akhir.
7. Seluruh dosen, tenaga pendidik, dan karyawan Departemen Teknik Material dan Metalurgi FTIRS - ITS yang telah memberikan bantuan dan bimbingan kepada penulis.
8. Jeremy Osland M. Sinaga, selaku *partner* yang membantu penulis selama mengerjakan Tugas Akhir di PT. INKA.
9. Rekan – rekan mahasiswa Tugas Akhir bidang pengelasan, Hanif Shabri B, Izzuddin H., Ario Bhismo N., dan Sulthan Naufal A., Fahrizal Fathi, dan Rifki Arga yang senantiasa saling membantu dan memberi ilmu penting kepada penulis.
10. Rekan – rekan mahasiswa MT20 atau Angkatan 2018 yang membantu dan berjuang bersama penulis selama masa kuliah.
11. Rekan – rekan staf dan fungsionaris Departemen BSO Kewirausahaan HMMT SERASI 19/20 dan *SAU-Entrepreneurship* – HMMT KONTRIBUSI 20/21.
12. Toba James Daniel Aritonang dan Gregory Joshua Simanjuntak yang selalu memberi dukungan dan doa.
13. Serta seluruh pihak yang belum bisa dituliskan satu per satu dalam ucapan terima kasih ini.

Penulis berharap laporan Tugas Akhir ini dapat bermanfaat bagi seluruh pihak yang membaca. Penulis juga menyadari masih terdapat banyak kekurangan dalam penulisan laporan

Tugas Akhir ini, sehingga penulis sangat menerima kritik dan saran dari para pembaca yang dapat membangun, demi kesempurnaan laporan Tugas Akhir in

Surabaya, 22 Juli 2022
Penulis,

Toga Jason Timotius
NRP. 02511840000139

BIODATA PENULIS



Penulis bernama Toga Jason Timotius, lahir di Jakarta, 24 Mei pada tahun 2000. Penulis merupakan anak sulung dari empat bersaudara. Pendidikan formal yang telah ditempuh yaitu SD ABC Kids (2006 – 2012), SMP BPK Penabur Sentul City Bogor (2012 – 2015), dan SMAK BPK Penabur Sentul City Bogor (2015 – 2018). Pada tahun 2018 pasca kelulusan SMA, penulis melanjutkan studi sarjana di Departemen Teknik Material dan Metalurgi (DTMM), Fakultas Teknologi Industri dan Rekayasa Sistem (FTIRS), Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS), Surabaya.

Selama perkuliahan di ITS, penulis sempat mengikuti kerja praktik di PT. Krakatau Steel (Persero), bertempat di Cilegon, Banten, selama dua bulan. Dalam kegiatan tersebut, penulis ditempatkan di divisi Hot Strip Mill (HSM). Kegiatan non – akademik penulis selama masa perkuliahan antara lain aktif di berbagai kepanitiaan acara seperti ISOMETRIC dan Silver Parade serta aktif pada organisasi tingkat institut bernama IMAC. Pada tingkat departemen, penulis juga aktif di BSO Kewirausahaan Himpunan Mahasiswa Teknik Material dan Metalurgi (HMMT) FTIRS ITS selama dua periode. Penulis juga menjadi pemateri pada acara pelatihan tingkat fakultas LKMM Pra-TD XVIII dengan membawa tema kewirausahaan. Penulis dapat dihubungi melalui nomor telepon (+62) 81286118625 ataupun melalui email togajta@gmail.com.