

**TUGAS AKHIR – TL184834**

**ANALISIS PENGARUH VARIASI ELEKTRODA PADA HASIL  
PENGELASAN BAJA ASTM A36 DI ATAS AIR DENGAN  
METODE SMAW TERHADAP *WELD DEFECT*,  
KEKERASAN, DAN KEKUATAN TARIK**

**FAHRIZAL FATHI**  
NRP. 02511840000061

Dosen Pembimbing  
**Mavindra Ramadhani, S.T., M.T.**  
NIP. 198805012019031008  
**Ir. Rochman Rochiem, M.Sc.**  
NIP. 195809101986031002

**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 ELEKTRODA PADA HASIL  
PENGELASAN BAJA ASTM A36 DI ATAS AIR DENGAN  
METODE SMAW TERHADAP *WELD DEFECT*,  
KEKERASAN, DAN KEKUATAN TARIK**

**FAHRIZAL FATHI**  
NRP. 0251184000061

Dosen Pembimbing  
**Mavindra Ramadhani, S.T., M.T.**  
NIP. 198805012019031008  
**Ir. Rochman Rochiem, M.Sc.**  
NIP. 195809101986031002

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

*(Halaman ini sengaja dikosongkan)*



**FINAL PROJECT – TL184834**

**ANALYSIS OF THE EFFECT OF ELECTRODE VARIATIONS  
ON ASTM A36 STEEL WATER SURFACE WELDING  
RESULTS WITH SMAW METHOD ON WELD DEFECT,  
HARDNESS, AND TENSILE STRENGTH**

**FAHRIZAL FATHI**  
NRP. 0251184000061

Advisor  
**Mavindra Ramadhani, S.T., M.T.**  
NIP. 198805012019031008  
**Ir. Rochman Rochiem, M.Sc.**  
NIP. 195809101986031002

**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 ELEKTRODA PADA HASIL PENGELASAN BAJA ASTM A36 DI ATAS AIR DENGAN METODE SMAW TERHADAP *WELD* *DEFECT*, KEKERASAN, DAN KEKUATAN TARIK

#### 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 : **FAHRIZAL FATHI**  
NRP. 0251184000061

Disetujui oleh Tim Penguji Tugas Akhir :

1. Mavindra Ramadhani, S.T., M.T.
2. Ir. Rochman Rochiem, M.Sc.
3. Dian Mughni Fellicia, S.T., M.Sc.
4. Dr. Eng. Hosta Ardhyanta, S.T., M.Sc.

Pembimbing

Ko-Pembimbing

Penguji

Penguji



*(Halaman ini sengaja dikosongkan)*



## APPROVAL SHEET

### ANALYSIS OF THE EFFECT OF ELECTRODE VARIATIONS ON ASTM A36 STEEL WATER SURFACE WELDING WITH SMAW METHOD ON WELD DEFECT, HARDNESS, AND TENSILE STRENGTH

#### 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 : **FAHRIZAL FATHI**  
NRP. 0251184000061

Approved by Final Project Examiner Team :

1. Mavindra Ramadhani, S.T., M.T.
2. Ir. Rochman Rochiem, M.Sc.
3. Dian Mughni Fellicia, S.T., M.Sc.
4. Dr. Eng. Hosta Ardhyanta, S.T., M.Sc.

Advisor

Co-Advisor

Examiner

Examiner



*(This page is intentionally blank)*

## PERNYATAAN ORISINALITAS

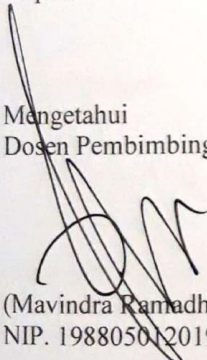
Yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama mahasiswa/NRP : Fahrizal Fathi/02511840000061  
Departemen : Teknik Material dan Metalurgi  
Dosen Pembimbing/NIP : Mavindra Ramadhani, S.T., M.T./198805012019031008

Dengan ini menyatakan bahwa Tugas Akhir dengan judul "ANALISIS PENGARUH VARIASI ELEKTRODA PADA HASIL PENGELASAN BAJA ASTM A36 DI ATAS AIR DENGAN METODE SMAW TERHADAP *WELD DEFECT*, KEKERASAN, DAN KEKUATAN TARIK" 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.

Mengetahui  
Dosen Pembimbing

  
(Mavindra Ramadhani, S.T., M.T.)  
NIP. 198805012019031008

Surabaya, 7 Juli 2022

Mahasiswa

  
(Fahrizal Fathi)  
NRP. 02511840000061

*(Halaman ini sengaja dikosongkan)*

## STATEMENT OF ORIGINALITY

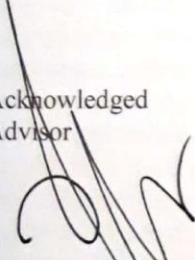
The undersigned below:

Name of student/NRP : Fahrizal Fathi/02511840000061  
Departement : Materials and Metallurgicals Engineering  
Advisor/NIP : Mavindra Ramadhani, S.T., M.T./198805012019031008

Hereby declare that the Final Project with the title of "ANALYSIS OF THE EFFECT OF ELECTRODE VARIATIONS ON ASTM A36 STEEL WATER SURFACE WELDING WITH SMAW METHOD ON WELD DEFECT, HARDNESS, AND TENSILE STRENGTH" 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.

Acknowledged  
Advisor

  
(Mavindra Ramadhani, S.T., M.T.)  
NIP. 198805012019031008

Surabaya, July 7<sup>th</sup> 2022

Student

  
(Fahrizal Fathi)  
NRP. 02511840000061

*(This page is intentionally blank)*

**ANALISIS PENGARUH VARIASI ELEKTRODA PADA HASIL PENGELASAN  
BAJA ASTM A36 DI ATAS AIR DENGAN METODE SMAW TERHADAP *WELD  
DEFECT*, KEKERASAN, DAN KEKUATAN TARIK**

**Nama Mahasiswa / NRP : Fahrizal Fathi / 02511840000061**  
**Departemen : Teknik Material dan Metalurgi ITS**  
**Pembimbing : Mavindra Ramadhani, S.T., M.T.**  
**Ko-Pembimbing : Ir. Rochman Rochiem, M.Sc.**

**Abstrak**

Penelitian ini dilakukan dengan tujuan untuk menganalisis bagaimana pengaruh variasi elektroda terhadap hasil pengelasan di atas air terhadap indikasi *weld defect*, kekerasan, dan kekuatan tarik. Di atas air pada penelitian ini diasumsikan sebagai air yang menempel pada dinding tangki. Adapun variasi elektroda yang digunakan adalah E6013, E6019, dan E7016. Pengelasan yang digunakan adalah metode SMAW. Skema eksperimen akan melibatkan bak sebagai wadah air tawar. Bak tersebut akan diisi hingga permukaan air menyentuh kampuh material, kemudian dilakukan pengelasan. Setelah eksperimen pengelasan, dilanjutkan dengan pengujian penetrasi, tarik, kekerasan, dan metalografi. Hasil dari pengujian penetrasi menunjukkan pengelasan di atas air dengan elektroda E6013 memunculkan *rounded indications* sebesar 5x4 mm. Kedua, pengelasan di atas air dengan elektroda E6019 memunculkan *rounded indications* sebesar 5x5, 3x3, dan 5x3 mm. Ketiga, pengelasan di atas air menggunakan elektroda E7016 tidak memunculkan adanya indikasi *weld defect*. Selanjutnya, hasil dari pengujian tarik menunjukkan bahwa pengelasan di atas air menurunkan nilai *Ultimate Tensile Strength* (UTS), *yield strength*, dan *elongation*. Penurunan tertinggi UTS terjadi pada pengelasan dengan elektroda E7016 sebesar 4,85%. Penurunan tertinggi elongasi terjadi pada pengelasan dengan elektroda E7016 juga sebesar 79,2%. Sedangkan penurunan *yield strength* tertinggi terjadi pada pengelasan dengan elektroda E6013 sebesar 38,1%. Terakhir, hasil dari pengujian metode Vickers menunjukkan pengelasan di atas air meningkatkan nilai kekerasan pada daerah *weld metal* dan *Heat Affected Zone* (HAZ). Kenaikan nilai tertinggi di daerah *weld metal* terjadi pada pengelasan dengan elektroda E7016 sebesar 8,73%. Sedangkan kenaikan nilai tertinggi di daerah HAZ terjadi pada pengelasan dengan elektroda E6013 sebesar 12,96%.

**Kata Kunci : *Pengelasan, Repair, SMAW***

*(Halaman ini sengaja dikosongkan)*



**ANALYSIS OF THE EFFECT OF ELECTRODE VARIATIONS ON ASTM A36  
STEEL WATER SURFACE WELDING WITH SMAW METHOD ON WELD  
DEFECT, HARDNESS, AND TENSILE STRENGTH**

**Student Name / NRP** : Fahrizal Fathi / 02511840000061  
**Departement** : Materials and Metallurgicals Engineering ITS  
**Advisor** : Mavindra Ramadhani, S.T., M.T.  
**Co-Advisor** : Ir. Rochman Rochiem, M.Sc.

**Abstract**

This study was conducted with the aim to analyze how the effect of electrode variations on the results of water surface welding on indications of weld defect, hardness, and tensile strength. Water surface welding in this study is assumed to be water attached to the tank wall. The variations of the electrodes used are E6013, E6019, and E7016. Welding method used is SMAW. The experimental scheme will involve a tub as a container of fresh water. The tub will be filled until the surface of the water touches the groove of the material, then welding is carried out. After the welding experiment, it was continued with penetrant, tensile, hardness, and metallographic testing. The results of the penetrant test show that water surface welding with the E6013 electrode shows rounded indication of 5x4 mm. Second, water surface welding with the E6019 electrode shows rounded indications of 5x5, 3x3, and 5x3 mm. Third, water surface welding using the E7016 electrode did not show any indication of a weld defect. Furthermore, the results of the tensile test showed that welding on water reduced the values of Ultimate Tensile Strength (UTS), yield strength, and elongation. The highest decrease in UTS occurred in welding with the E7016 electrode of 4.85%. The highest decrease in elongation occurred in welding with 7016 electrodes as well as 79.2%. Meanwhile, the highest decrease in yield strength occurred in welding with the E6013 electrode of 38.1%. Finally, the results of the Vickers method test show that welding on water increases the hardness value in the weld metal and Heat Affected Zone (HAZ) areas. The highest increase in the value in the weld metal area occurred in welding with the E7016 electrode of 8.73%. Meanwhile, the highest value increase in the HAZ area occurred in welding with the E6013 electrode of 12.96%.

**Keywords** : *Repair, SMAW, Welding*

*(This page is intentionally blank)*

## KATA PENGANTAR

Puji syukur selalu kita curahkan kepada Allah SWT. yang senantiasa melimpahkan rahmat-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan laporan Tugas Akhir dengan judul **“ANALISIS PENGARUH VARIASI ELEKTRODA PADA HASIL PENGELASAN BAJA ASTM A36 DENGAN METODE SMAW TERHADAP WELD DEFECT, KEKUATAN TARIK, DAN KEKERASAN”** sebagai syarat kelulusan di Departemen Teknik Material dan Metalurgi, Fakultas Teknologi Industri dan Rekayasa Sistem, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya.

Penulis ingin mengucapkan rasa terima kasih sebesar – besarnya kepada berbagai pihak yang membantu serta membimbing selama masa pengerjaan Tugas Akhir hingga selesai, diantaranya:

1. Mavindra Ramadhani S.T., M.T., selaku dosen pembimbing pertama penulis.
2. Ir. Rochman Rochiem, M.Sc., selaku dosen pembimbing kedua penulis.
3. Wikan Jatimurti, S.T., M.Sc., selaku dosen wali penulis.
4. Sigit Tri Wicaksono, S.Si, M.Si., Ph.D., selaku Kepala Departemen Teknik Material dan Metalurgi, Fakultas Teknologi Industri dan Rekayasa Sistem, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya.

Penulis berharap laporan Tugas Akhir ini dapat memberi banyak manfaat untuk semua pihak. Penulis juga menyadari masih banyaknya kekurangan dalam penyusunan serta pengerjaan Tugas Akhir ini. Sangat diharapkan apabila ada kritik dan saran yang membangun dari berbagai pihak.

Surabaya, 7 Juli 2022

Penulis,



Fahrizal Fathi

*(Halaman ini sengaja dikosongkan)*

## DAFTAR ISI

<b>HALAMAN JUDUL</b> .....	<b>i</b>
<b>COVER PAGE</b> .....	<b>iii</b>
<b>ABSTRAK</b> .....	<b>xiii</b>
<b>ABSTRACT</b> .....	<b>xv</b>
<b>KATA PENGANTAR</b> .....	<b>xvii</b>
<b>DAFTAR ISI</b> .....	<b>xix</b>
<b>DAFTAR GAMBAR</b> .....	<b>xxi</b>
<b>DAFTAR TABEL</b> .....	<b>xxv</b>
<b>BAB I PENDAHULUAN</b> .....	<b>1</b>
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Perumusan Masalah.....	1
1.3 Batasan Masalah .....	2
1.4 Tujuan Penelitian.....	2
1.5 Manfaat Penelitian.....	2
<b>BAB II TINJAUAN PUSTAKA</b> .....	<b>3</b>
2.1 Pengelasan .....	3
2.1.1 <i>Shielding Metal Arc Welding</i> .....	3
2.1.2 Posisi Pengelasan Pelat.....	3
2.1.3 Sambungan Pengelasan .....	5
2.1.4 Elektroda Pengelasan.....	6
2.1.5 <i>Heat Input</i> .....	9
2.2 Baja.....	9
2.1.1 Baja ASTM A36.....	9
2.3 <i>Heat Affected Zone</i> .....	10
2.4 Cacat Pada Pengelasan .....	10
2.5 Kode atau Standar Acuan .....	13
2.6 <i>Welding Procedure Specifications dan Procedure Qualification Record</i> .....	13
2.7 Pengujian Spesimen.....	13
2.7.1 Pengujian Tarik .....	13
2.7.2 Pengujian Kekerasan .....	15
2.7.3 Pengujian Penetran .....	16
2.7.4 Pengujian Metalografi .....	17
2.8 Sifat Mekanik .....	17
2.8.1 Kekuatan Tarik ( <i>Tensile Strength</i> ) .....	17
2.8.2 Kekerasan ( <i>Hardness</i> ) .....	17
2.8.3 Keuletan ( <i>Ductility</i> ) .....	17
2.8.4 Ketangguhan ( <i>Toughness</i> ) .....	18
2.9 Penelitian Terdahulu.....	18
<b>BAB III METODOLOGI PENELITIAN</b> .....	<b>21</b>
3.1 Diagram Alir.....	21
3.2 Alat dan Bahan Penelitian .....	22
3.2.1 Alat .....	22
3.2.2 Bahan .....	22
3.3 Metode Penelitian .....	23
3.4 Prosedur Penelitian.....	23
3.4.1 Prosedur Pengelasan .....	23
3.4.2 Prosedur Pengujian .....	25

3.5 Rancangan Penelitian .....	27
<b>BAB IV ANALISIS DATA DAN PEMBAHASAN.....</b>	<b>29</b>
4.1 Hasil Pengujian Penetran .....	29
4.2 Hasil Pengujian Tarik.....	32
4.3 Hasil Pengujian Kekerasan .....	35
4.4 Data Pengujian Metalografi .....	37
4.4.1 Spesimen ID-13 Pengelasan Kondisi Ideal dengan Elektroda E6013 .....	37
4.4.2 Spesimen ID-19 Pengelasan Kondisi Ideal dengan Elektroda E6019 .....	38
4.4.3 Spesimen ID-16 Pengelasan Kondisi Ideal dengan Elektroda E7016 .....	40
4.4.4 Spesimen AA-13 Pengelasan Di Atas Air dengan Elektroda E6013.....	41
4.4.5 Spesimen AA-19 Pengelasan Di Atas Air dengan Elektroda E6019.....	44
4.4.6 Spesimen AA-16 Pengelasan Di Atas Air dengan Elektroda E7016.....	46
4.4.7 Perbandingan Persentase Fasa .....	48
<b>BAB V KESIMPULAN DAN SARAN .....</b>	<b>51</b>
5.1 Kesimpulan .....	51
5.2 Saran.....	51
<b>DAFTAR PUSTAKA .....</b>	<b>53</b>

## DAFTAR GAMBAR

<b>Gambar 2. 1</b> Mekanisme SMAW.....	3
<b>Gambar 2. 2</b> Posisi Pengelasan Bawah Tangan (1G) .....	3
<b>Gambar 2. 3</b> Posisi Pengelasan Mendatar (2G) .....	4
<b>Gambar 2. 4</b> Posisi Pengelasan Tegak (3G).....	4
<b>Gambar 2. 5</b> Posisi Pengelasan Atas Kepala (4G).....	4
<b>Gambar 2. 6</b> Contoh <i>Butt Joint</i> .....	5
<b>Gambar 2. 7</b> Contoh <i>T Joint</i> .....	5
<b>Gambar 2. 8</b> Contoh <i>Lap Joint</i> .....	5
<b>Gambar 2. 9</b> Contoh Urutan Pengisian <i>Filler</i> atau Elektroda dalam Pengelasan <i>Multi-Pass</i> .....	6
<b>Gambar 2. 10</b> Contoh Oven untuk Rekondisi Elektroda Pengelasan .....	9
<b>Gambar 2. 11</b> Daerah Lasan yang Terdiri dari <i>Weld Metal</i> (1), <i>Fusion Line</i> (2), <i>Heat Affected Zone</i> (3), dan <i>Base Material</i> (4) .....	10
<b>Gambar 2. 12</b> Porositas Pada Pengelasan .....	11
<b>Gambar 2. 13</b> <i>Slag Inclusion</i> Pada Pengelasan .....	11
<b>Gambar 2. 14</b> <i>Incomplete Fusion</i> Pada Pengelasan .....	12
<b>Gambar 2. 15</b> <i>Undercut</i> Pada Pengelasan.....	12
<b>Gambar 2. 16</b> <i>Incomplete Penetration</i> Pada Pengelasan .....	12
<b>Gambar 2. 17</b> Patahan Getas Hasil Uji Tarik.....	14
<b>Gambar 2. 18</b> Patahan Ulet Hasil Uji Tarik.....	14
<b>Gambar 2. 19</b> Kurva Tegangan – Regangan.....	14
<b>Gambar 2. 20</b> Standar Penerimaan Uji Tarik ASME IX QW – 153.....	15
<b>Gambar 2. 21</b> Grup <i>Base Metal</i> Pelengkap ASME IX QW – 153.....	15
<b>Gambar 2. 22</b> Standar Penerimaan Uji Penetran ASME IX QW – 195.2.....	16
<b>Gambar 2. 23</b> Cacat <i>Undercut</i> dan <i>Stop Start</i> pada Hasil <i>Visual Test</i> Baja ASTM A36 dengan Pengelasan SMAW .....	20
<b>Gambar 2. 24</b> Cacat <i>Discontinuity Linier</i> pada Hasil Uji Penetran Baja ASTM A36 dengan Pengelasan SMAW .....	20
<b>Gambar 3. 1</b> Diagram Alir Penelitian .....	21
<b>Gambar 3. 2</b> <i>Test Piece</i> Baja ASTM A36.....	24
<b>Gambar 3. 3</b> Skema Proses Pengelasan Di Atas Air Menggunakan Bak .....	24
<b>Gambar 3. 4</b> Tiga Jenis <i>Spray</i> untuk Pengujian Penetran .....	25
<b>Gambar 3. 5</b> Mesin Uji Tarik GOTECH.....	25
<b>Gambar 3. 6</b> Preparasi Spesimen Pengujian Tarik Standar ASME IX QW-462.1(a).....	26
<b>Gambar 3. 7</b> Titik Indentasi Pengujian Vickers .....	26
<b>Gambar 3. 8</b> Mesin <i>Universal Hardness Tester</i> .....	26
<b>Gambar 3. 9</b> Mikroskop Optik OLYMPUS BX51M.....	27
<b>Gambar 4. 1</b> <i>Rounded Indication</i> Pada <i>Test Piece</i> AA-13.....	29
<b>Gambar 4. 2</b> <i>Rounded Indications</i> dengan ukuran 3 x 3 mm (kiri), 5 x 5 mm (kanan), dan 5x3 mm (bawah) Pada <i>Test Piece</i> AA-19.....	29
<b>Gambar 4. 3</b> <i>Rounded Indications</i> dengan ukuran 11 x 12 mm Pada <i>Test Piece</i> AA-16 .....	30
<b>Gambar 4. 4</b> Hasil Pengujian Penetran Pada <i>Test Piece</i> ID-13 .....	30
<b>Gambar 4. 5</b> Hasil Pengujian Penetran Pada <i>Test Piece</i> ID-19 .....	31
<b>Gambar 4. 6</b> Hasil Pengujian Penetran Pada <i>Test Piece</i> ID-16 .....	31
<b>Gambar 4. 7</b> Grafik Perbandingan Rata – Rata <i>Ultimate Tensile Strength</i> (UTS) Tiap Variasi Elektroda (N/mm <sup>2</sup> ).....	34
<b>Gambar 4. 8</b> Grafik Perbandingan Rata – Rata <i>Elongation</i> Tiap Variasi Elektroda (%) .....	34

<b>Gambar 4. 9</b>	Grafik Perbandingan Rata – Rata <i>Yield Strength</i> Tiap Variasi Elektroda (N/mm <sup>2</sup> ) .....	34
<b>Gambar 4. 10</b>	Grafik Perbandingan Hasil Pengujian Kekerasan Pada Spesimen Pengelasan Kondisi Ideal dan Di Atas Air Menggunakan Elektroda E6013 .....	36
<b>Gambar 4. 11</b>	Grafik Perbandingan Hasil Pengujian Kekerasan Pada Spesimen Pengelasan Kondisi Ideal dan Di Atas Air Menggunakan Elektroda E6019 .....	36
<b>Gambar 4. 12</b>	Grafik Perbandingan Hasil Pengujian Kekerasan Pada Spesimen Pengelasan Kondisi Ideal dan Di Atas Air Menggunakan Elektroda E7016 .....	36
<b>Gambar 4. 13</b>	Metalografi <i>Weld Metal</i> Spesimen ID-13 Perbesaran 500x dengan Etsa Nital.....	37
<b>Gambar 4. 14</b>	Metalografi HAZ Spesimen ID-13 Perbesaran 500x dengan Etsa Nital .....	38
<b>Gambar 4. 15</b>	Metalografi <i>Base Metal</i> Spesimen ID-13 Perbesaran 500x dengan Etsa Nital.....	38
<b>Gambar 4. 16</b>	Metalografi <i>Weld Metal</i> Spesimen ID-19 Perbesaran 500x dengan Etsa Nital.....	39
<b>Gambar 4. 17</b>	Metalografi HAZ Spesimen ID-19 Perbesaran 500x dengan Etsa Nital .....	39
<b>Gambar 4. 18</b>	Metalografi <i>Base Metal</i> Spesimen ID-19 Perbesaran 500x dengan Etsa Nital.....	40
<b>Gambar 4. 19</b>	Metalografi <i>Weld Metal</i> Spesimen ID-16 Perbesaran 500x dengan Etsa Nital.....	40
<b>Gambar 4. 20</b>	Metalografi HAZ Spesimen ID-16 Perbesaran 500x dengan Etsa Nital .....	41
<b>Gambar 4. 21</b>	Metalografi <i>Base Metal</i> Spesimen ID-16 Perbesaran 500x dengan Etsa Nital.....	41
<b>Gambar 4. 22</b>	Metalografi <i>Weld Metal</i> Spesimen AA-13 Bagian <i>Capping</i> Perbesaran 500x dengan Etsa Nital .....	42
<b>Gambar 4. 23</b>	Metalografi <i>Weld Metal</i> Spesimen AA-13 Bagian <i>Root</i> Perbesaran 500x dengan Etsa Nital .....	42
<b>Gambar 4. 24</b>	Metalografi HAZ Spesimen AA-13 Bagian <i>Capping</i> Perbesaran 500x dengan Etsa Nital .....	43
<b>Gambar 4. 25</b>	Metalografi HAZ Spesimen AA-13 Bagian <i>Root</i> Perbesaran 500x dengan Etsa Nital .....	43
<b>Gambar 4. 26</b>	Metalografi <i>Base Metal</i> Spesimen AA-13 Perbesaran 500x dengan Etsa Nital.....	43
<b>Gambar 4. 27</b>	Metalografi <i>Weld Metal</i> Spesimen AA-19 Bagian <i>Capping</i> Perbesaran 500x dengan Etsa Nital .....	44
<b>Gambar 4. 28</b>	Metalografi <i>Weld Metal</i> Spesimen AA-19 Bagian <i>Root</i> Perbesaran 500x dengan Etsa Nital .....	44
<b>Gambar 4. 29</b>	Metalografi HAZ Spesimen AA-19 Bagian <i>Capping</i> Perbesaran 500x dengan Etsa Nital .....	45
<b>Gambar 4. 30</b>	Metalografi HAZ Spesimen AA-19 Bagian <i>Root</i> Perbesaran 500x dengan Etsa Nital .....	45
<b>Gambar 4. 31</b>	Metalografi <i>Base Metal</i> Spesimen AA-19.....	46
<b>Gambar 4. 32</b>	Metalografi <i>Weld Metal</i> Spesimen AA-16 Bagian <i>Capping</i> Perbesaran 500x dengan Etsa Nital .....	46
<b>Gambar 4. 33</b>	Metalografi <i>Weld Metal</i> Spesimen AA-16 Bagian <i>Root</i> Perbesaran 500x dengan Etsa Nital .....	47



<b>Gambar 4. 34</b> Metalografi HAZ Spesimen AA-16 Bagian <i>Capping</i> Perbesaran 500x dengan Etsa Nital.....	47
<b>Gambar 4. 35</b> Metalografi HAZ Spesimen AA-16 Bagian <i>Root</i> Perbesaran 500x dengan Etsa Nital.....	48
<b>Gambar 4. 36</b> Metalografi <i>Base Metal</i> Spesimen AA-16 Perbesaran 500x dengan Etsa Nital .....	48

*(Halaman ini sengaja dikosongkan)*

## DAFTAR TABEL

<b>Tabel 2. 1</b> Kode Elektroda Pengelasan SMAW Berdasarkan Aturan <i>American Welding Society</i> (AWS) .....	6
<b>Tabel 2. 2</b> Klasifikasi Elektroda SMAW Berdasarkan AWS A5.1 – 69 .....	6
<b>Tabel 2. 3</b> <i>Mechanical Properties</i> Elektroda E7010.....	7
<b>Tabel 2. 4</b> <i>Chemical Compositions</i> Elektroda E7010 .....	7
<b>Tabel 2. 5</b> <i>Mechanical Properties</i> Elektroda E6013.....	7
<b>Tabel 2. 6</b> <i>Chemical Compositions</i> Elektroda E6013 (%) .....	7
<b>Tabel 2. 7</b> <i>Mechanical Properties</i> Elektroda E7016 (%).....	8
<b>Tabel 2. 8</b> <i>Chemical Compositions</i> Elektroda E7016 (%) .....	8
<b>Tabel 2. 9</b> <i>Mechanical Properties</i> Elektroda E6019.....	8
<b>Tabel 2. 10</b> <i>Chemical Compositions</i> Elektroda E6019 (%) .....	8
<b>Tabel 2. 11</b> Perbandingan Baja Berdasarkan Kadar Karbon .....	9
<b>Tabel 2. 12</b> <i>Chemical Composition</i> dari Baja ASTM A36 (%) .....	10
<b>Tabel 2. 13</b> <i>Mechanical Properties</i> dari Baja ASTM A36).....	10
<b>Tabel 2. 14</b> Perbedaan Indenter pada Tiga Metode <i>Hardness Test</i> .....	15
<b>Tabel 2. 15</b> Kelebihan dan Kekurangan Tiga Metode Pengujian Kekerasan .....	16
<b>Tabel 2. 16</b> Urutan Pengujian Penetran .....	16
<b>Tabel 2. 17</b> Tahap Preparasi Uji Metalografi.....	17
<b>Tabel 2. 18</b> Pengaruh Variasi Elektroda Terhadap Hasil Pengelasan Baja ASTM A36 dengan Metode SMAW .....	18
<b>Tabel 3. 1</b> Alat Penelitian .....	22
<b>Tabel 3. 2</b> Bahan Penelitian .....	22
<b>Tabel 3. 3</b> Parameter Pengelasan .....	23
<b>Tabel 3. 4</b> Rancangan Lokasi Pengujian.....	27
<b>Tabel 3. 5</b> Rancangan Kode Spesimen .....	27
<b>Tabel 3. 6</b> Rancangan Jadwal Penelitian.....	28
<b>Tabel 4. 1</b> Perbandingan Hasil Pengujian Penetran .....	32
<b>Tabel 4. 2</b> Hasil Pengujian Tarik Spesimen Pengelasan Kondisi Ideal .....	32
<b>Tabel 4. 3</b> Hasil Pengujian Tarik Spesimen Pengelasan Di Atas Air .....	33
<b>Tabel 4. 4</b> Perbandingan Rata – Rata <i>Ultimate Tensile Strength</i> (N/mm <sup>2</sup> ) .....	33
<b>Tabel 4. 5</b> Perbandingan Rata – Rata <i>Elongation</i> (%) .....	33
<b>Tabel 4. 6</b> Perbandingan Rata – Rata <i>Yield Strength</i> (N/mm <sup>2</sup> ).....	33
<b>Tabel 4. 7</b> Rata-Rata Hasil Pengujian Kekerasan (HV).....	35
<b>Tabel 4. 8</b> Perbandingan Rata – Rata Hasil Pengujian Kekerasan pada Spesimen Pengelasan dengan Elektroda E6013.....	35
<b>Tabel 4. 9</b> Perbandingan Rata – Rata Hasil Pengujian Kekerasan pada Spesimen Pengelasan dengan Elektroda E6019.....	35
<b>Tabel 4. 10</b> Perbandingan Rata – Rata Hasil Pengujian Kekerasan pada Spesimen Pengelasan dengan Elektroda 7016 .....	35
<b>Tabel 4. 11</b> Perbandingan Persentase Fasa Pada Spesimen Pengelasan Kondisi Ideal .....	49
<b>Tabel 4. 12</b> Perbandingan Persentase Fasa Pada Spesimen Pengelasan Di Atas Air .....	49

*(Halaman ini sengaja dikosongkan)*

## BAB I PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Berdasarkan situs resmi Kementerian Investasi atau Badan Koordinasi Penanaman Modal (BKPM), Indonesia telah menjadi basis industri manufaktur terbesar se-ASEAN dengan kontribusi sebesar 20,27% pada perekonomian skala nasional. Industri manufaktur di Indonesia pun berkembang dari *commodity based* menjadi *manufacture based*. Sebagai negara maritim, tidak kalah penting, industri perkapalan juga mempunyai peran vital dan strategis bagi pemasukan negara.

Manufaktur sendiri didefinisikan sebagai proses produksi bahan mentah menjadi barang yang dapat digunakan oleh manusia dengan menggunakan tangan atau mesin. Adapun proses yang umum digunakan pada industri adalah pengecoran, perlakuan panas, permesinan, dan pengelasan. Salah satu perusahaan yang bergerak di industri manufaktur adalah PT. Penataran Angkatan Laut (PAL) yang berlokasi di Surabaya, Jawa Timur. Kegiatan utama dari PT. PAL sendiri adalah manufaktur yang dalam prosesnya menggunakan pengelasan untuk menggabungkan beberapa material seperti pada tangki air bersih (*fresh water tank*) di dalam kapal. Pengelasan tersebut diawali dengan penyusunan *Welding Procedure Specifications* (WPS) yang kemudian dilengkapi dengan *Destructive Test* (DT) atau *Non-Destructive Test* (NDT) seperti *Penetrant Test* (PT), *Radiographic test* (RT), dan sebagainya untuk keperluan *quality control*.

Dalam salah satu kasus pada proses manufaktur di PT. PAL, sering kali ditemui material pada tangki yang telah dilas dan diinspeksi, tiba-tiba terdapat rembesan air setelah diisi. Mengatasi hal tersebut, *welder* seringkali langsung melakukan pengelasan *repair* tanpa menguras terlebih dahulu air di dalamnya. Hal tersebut tentunya menyalahi aturan pengelasan, di mana *base material* harus diusahakan sebersih mungkin dari kontaminan untuk mencegah terjadinya *weld defect*. Namun hal tersebut tetap sering dilakukan untuk menghemat waktu dan biaya. Adapun material yang umum digunakan PT. PAL untuk manufaktur tangki air bersih adalah baja karbon rendah ASTM A36. Sedangkan untuk pengelasan yang sering digunakan adalah *Shielding Metal Arc Welding* (SMAW).

Beberapa penelitian sebelumnya terkait pengelasan metode SMAW dengan variasi elektroda menghasilkan beberapa kesimpulan berbeda. Rizki Wahyudi, dkk. (2019), menyimpulkan bahwa Setelah dilakukan *penetrant test* didapati bahwa muncul *rounded indication* pada material yang dilas menggunakan elektroda E7016, namun masih dalam batas penerimaan ASME *Section IX* karena panjang cacat kurang dari 5 mm. Aljufri, dkk. (2018), menyimpulkan bahwa hasil pengelasan SMAW terhadap material AISI 1050 didapati adanya porositas yang terjadi akibat proses terjebaknya udara atau terkontaminasinya material induk serta pengaruh kelembaban elektroda yang digunakan. Sedangkan, Perdana, dkk. (2017), menyimpulkan bahwa pada pengujian visual ditemukan cacat *undercut* dan *stop start*. Sedangkan pada uji penetran ditemukan *discontinuity linier*. Karena kurangnya referensi sebelumnya, diperlukan penelitian lebih lanjut mengenai pengaruh pengelasan yang dilakukan tanpa menguras isi tangki.

### 1.2 Perumusan Masalah

Adapun permasalahan pada penelitian ini adalah :

1. Bagaimana pengaruh variasi elektroda terhadap hasil pengelasan baja ASTM A36 di atas air terhadap *weld defect*?
2. Bagaimana pengaruh variasi elektroda terhadap hasil pengelasan baja ASTM A36 di atas air terhadap kekerasan dan kekuatan tarik?

### 1.3 Batasan Masalah

Adapun batasan masalah pada penelitian ini adalah :

1. *Base material* yang diasumsikan bebas cacat.
2. Proses pengelasan diasumsikan tidak terpengaruh oleh kondisi lingkungan.
3. Proses pengelasan dilakukan sesuai *Welding Procedure Specification* (WPS).
4. *Non-Destructive Test* (NDT) yang digunakan adalah pengujian penetran, sehingga indikasi *weld defect* hanya teruji  $\pm 3$  mm dari permukaan *test piece*.

### 1.4 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan dari penelitian ini adalah :

1. Untuk menganalisis pengaruh variasi elektroda terhadap hasil pengelasan baja ASTM A36 di atas air terhadap *weld defect*.
2. Untuk menganalisis pengaruh variasi elektroda terhadap hasil pengelasan baja ASTM A36 di atas air terhadap kekerasan dan kekuatan tarik.

### 1.5 Manfaat Penelitian

Adapun manfaat dari penelitian ini adalah :

1. Memperbanyak pengetahuan tentang bidang keilmuan teknik material dan metalurgi bagi mahasiswa, masyarakat umum, dan PT. PAL.
2. Menjadi tinjauan dan rekomendasi untuk PT. PAL tentang pengaruh adanya air tawar terhadap hasil pengelasan SMAW pada tangki yang dibuat dari material ASTM A36.
3. Menjadi referensi untuk penelitian selanjutnya.

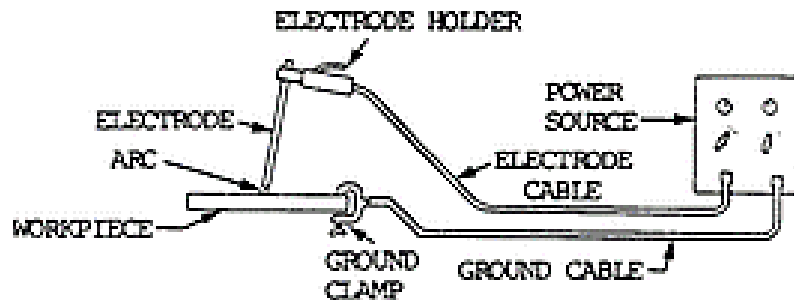
## BAB II TINJAUAN PUSTAKA

### 2.1 Pengelasan

Salah satu teknik dalam dunia manufaktur yang bertujuan untuk menyambung dua logam adalah pengelasan. Penyambungan tersebut dilakukan dengan cara mencairkan logam pengisi (*filler*) tanpa harus mencairkan logam induk (*base material*). Adapun teknik lain untuk penyambungan adalah *brazing* dan *soldering*. Perbedaan antara kedua metode tersebut ada pada titik leleh logamnya. *Brazing* berkisar  $450^{\circ}\text{C}$  -  $900^{\circ}\text{C}$ , sedangkan untuk *soldering*, titik leleh logamnya kurang dari  $450^{\circ}\text{C}$  (Fahrizal, 2016).

#### 2.1.1 *Shielding Metal Arc Welding*

*Shielding Metal Arc Welding* (SMAW) merupakan proses pengelasan busur listrik, di mana panas dihasilkan dari kontak antara elektroda dengan benda kerja. SMAW membutuhkan kawat *filler* dalam prosesnya. Adapun mekanisme dari SMAW disajikan pada Gambar 2.1. (Fahrizal, 2016)



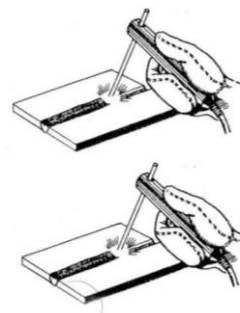
Gambar 2. 1 Mekanisme SMAW (Fahrizal, 2016)

#### 2.1.2 Posisi Pengelasan Pelat

Terdapat empat posisi pengelasan pelat yang umum digunakan oleh *welder*, yaitu bawah tangan (*down hand*), mendatar (*horizontal*), tegak (*vertical*), dan atas kepala (*overhead*) (Tarkono & Sugiyanto, 2010).

##### 1. Posisi Bawah Tangan

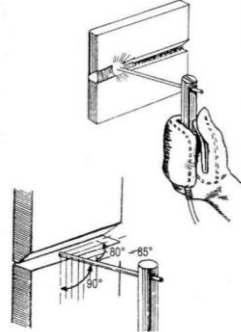
Disebut juga posisi 1G. Apabila ditinjau dari segi kemudahan, posisi bawah tangan merupakan paling mudah dan umumnya menghasilkan lasan yang baik. Pada posisi ini, benda kerja berada di bawah elektroda. Adapun posisi pengelasan bawah tangan disajikan pada Gambar 2.2 (Fahrizal, 2016).



Gambar 2. 2 Posisi Pengelasan Bawah Tangan (1G) (Fahrizal, 2016)

## 2. Posisi Mendatar

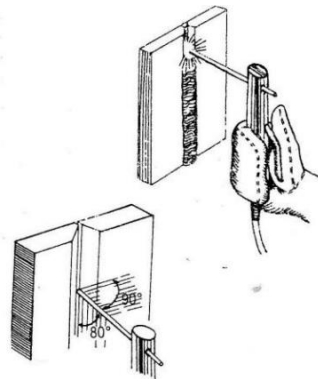
Disebut juga posisi 2G. Pada posisi ini, kemiringan dan ayunan las ke arah horizontal sangat mempengaruhi kualitas hasil lasan. Umumnya benda kerja berada pada posisi tegak. Adapun posisi pengelasan mendatar disajikan pada Gambar 2.3 (Fahrizal, 2016).



**Gambar 2. 3** Posisi Pengelasan Mendatar (2G) (Fahrizal, 2016)

## 3. Posisi Tegak

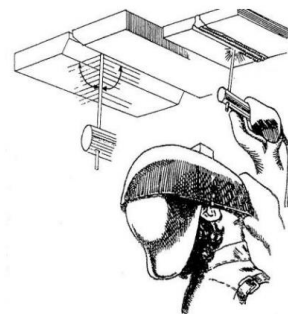
Disebut juga posisi 3G. Sama halnya dengan posisi mendatar, benda kerja juga berada pada posisi tegak. Perbedaannya, kemiringan dan ayunan las mengarah tegak atau vertikal. Adapun posisi pengelasan tegak disajikan pada Gambar 2.4 (Fahrizal, 2016).



**Gambar 2. 4** Posisi Pengelasan Tegak (3G) (Fahrizal, 2016)

## 4. Posisi Atas Kepala

Disebut juga posisi 4G. Posisi ini merupakan yang paling sulit dibanding dengan yang lainnya, karena benda kerja berada di atas kepala *welder* dan elektroda ada di bawah benda kerja. Adapun posisi pengelasan atas kepala disajikan pada Gambar 2.5 (Fahrizal, 2016).



**Gambar 2. 5** Posisi Pengelasan Atas Kepala (4G) (Fahrizal, 2016)



### 2.1.3 Sambungan Pengelasan

Pengelasan adalah penyambungan dua buah logam yang sama atau berbeda. Dalam prosesnya, terdapat beberapa tipe sambungan yang berbeda. Adapun celah antara dua logam yang akan disambung sering disebut dengan kampuh las (Aji, 2019).

#### 1. *Butt Joint*

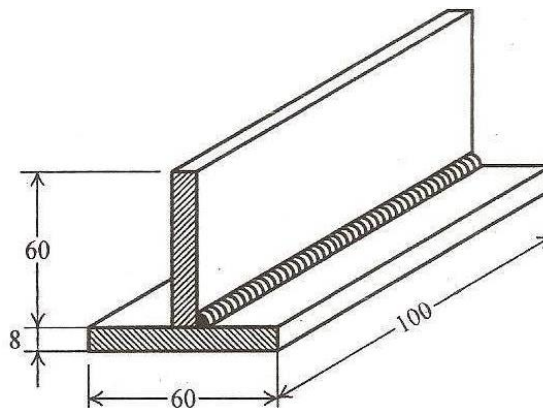
Dapat disebut juga sebagai sambungan sebidang, *butt joint* memiliki berbagai jenis kampuh yang digunakan dalam industri manufaktur seperti *V Groove*, *Double V Groove*, dan sebagainya. Adapun besaran sudut V pada *butt joint* juga harus direncanakan dengan baik agar mendapat hasil lasan yang optimal. Contoh *butt joint* disajikan pada Gambar 2.6 (Utomo, 2019).



**Gambar 2. 6** Contoh *Butt Joint* (Utomo, 2019)

#### 2. *T Joint*

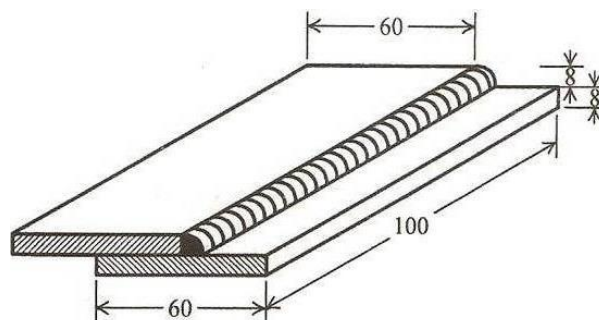
Sambungan ini juga sering disebut dengan *fillet joint*. Bentuknya seperti huruf T dan umumnya diaplikasikan pada konveyor, konstruksi atap, dan sebagainya. *T joint* juga memiliki beberapa tipe berbeda. Contoh *T joint* disajikan pada Gambar 2.7 (Aji, 2019).



**Gambar 2. 7** Contoh *T Joint* (Aji, 2019)

#### 3. *Lap Joint*

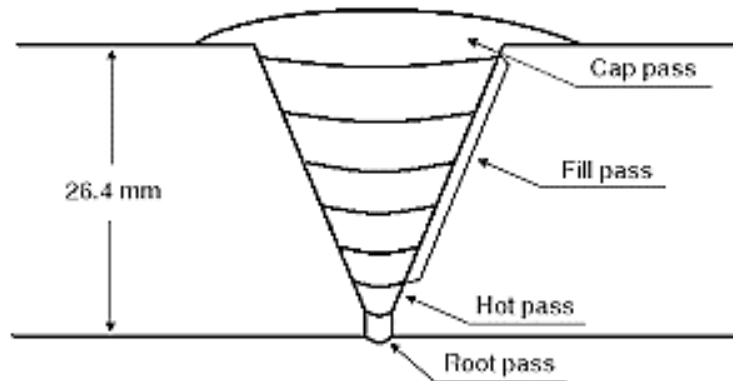
Dapat disebut juga sebagai sambungan lewatan, tipe ini seringkali digunakan pada pengelasan *seam* atau *spot*. Dua logam akan ditumpuk sebelum dilas. *Lap joint* sering ditemukan dalam konstruksi bangunan. Contoh *lap joint* disajikan pada Gambar 2.8 (Aji, 2019).



**Gambar 2. 8** Contoh *Lap Joint* (Aji, 2019)

### 2.1.4 Elektroda Pengelasan

Elektroda pengelasan umumnya berbentuk kawat dengan bagian berlapis *flux* dan tidak berlapis. *Flux* berfungsi sebagai gas pelindung untuk logam cair dari lingkungan sekitar. Adapun elektroda harus memiliki sifat yang sama dengan *base material*. Contoh rangkaian elektroda pengisi disajikan pada Gambar 2.9 (Warman, 2017).



**Gambar 2. 9** Contoh Urutan Pengisian *Filler* atau Elektroda dalam Pengelasan *Multi-Pass* (Warman, 2017)

Penulisan kode elektroda diatur dengan “E XX A B” dengan keterangan masing – masing. Adapun aturan kode elektroda pengelasan disajikan pada Tabel 2.1, sedangkan klasifikasi elektroda berdasarkan salutan pada Tabel 2.2. Sebagai contoh E6010, yang berarti elektroda tersebut memiliki kekuatan tarik 60 ksi (angka 60), untuk semua posisi pengelasan (angka 1), dan memiliki tipe salutan *cellulose* (angka 10) (Kurniawan, 2017).

**Tabel 2. 1** Kode Elektroda Pengelasan SMAW Berdasarkan Aturan *American Welding Society* (AWS) (Kurniawan, 2017)

Urutan Kode	Keterangan
E	Menyatakan elektroda untuk pengelasan busur listrik.
XX	Dua angka setelah E menyatakan kekuatan tarik deposit las (satuan ksi).
A	Satu angka setelah XX menyatakan posisi pengelasan.
B	Satu angka setelah A menyatakan jenis <i>flux</i> dan arus listrik.

**Tabel 2. 2** Klasifikasi Elektroda SMAW Berdasarkan AWS A5.1 – 69 (Winarto, 2016)

Kode	Tipe Salutan
EXX10	<i>Cellulose</i>
EXX11	<i>Cellulose</i>
EXX12	<i>Rutile</i>
EXX13	<i>Rutile</i>
EXX14	<i>Rutile, Iron Powder</i> (mencapai 30%)
EXX15	<i>Low Hydrogen</i>
EXX16	<i>Low Hydrogen</i>
EXX18	<i>Low Hydrogen, Iron Powder</i> (mencapai 25%)
EXX19	<i>Ilmenite</i>
EXX24	<i>Rutile, Iron Powder</i> (mencapai 50%)
EXX28	<i>Low Hydrogen, Iron Powder</i> (mencapai 50%)

1. *Cellulose*

Karakteristik elektroda ini cepat mencair dan membeku serta menghasilkan terak tipis yang mudah dibersihkan. Elektroda tipe ini tidak perlu dimasukkan ke dalam oven terlebih dahulu cukup ditempatkan pada udara terbuka. Salah satu contoh elektroda yang termasuk *cellulose* adalah E7010. Adapun *chemical compositions* dan *mechanical properties* elektroda E7010 disajikan pada Tabel 2.3 dan 2.4 (Wahyu, 2007).

**Tabel 2. 3** *Mechanical Properties* Elektroda E7010 (Elektriska Svetsnings-Aktiebolaget (ESAB), 2016)

<i>Ultimate Tensile Strength</i>	<i>Elongation</i>
570 MPa 82 ksi	22%

**Tabel 2. 4** *Chemical Compositions* Elektroda E7010 (Elektriska Svetsnings-Aktiebolaget (ESAB), 2016)

Unsur	Komposisi (%)
Karbon (C)	0,9
Mangan (Mn)	0,46
Nikel (Ni)	0,34
Silikon (Si)	0,12
Molybdenum (Mo)	0,24

2. *Rutile*

Elektroda ini memiliki fluks  $TiO_2$  dengan persentasi yang tinggi, di mana umum digunakan dalam pengerjaan sambungan pada baja struktural. Untuk mencegah *porosity* pada hasil lasan, diperlukan pengeringan untuk elektroda tipe ini menggunakan oven pada temperatur antara  $70^\circ C$  sampai dengan  $170^\circ C$  selama  $\pm 30$  menit. Contoh dari oven khusus elektroda pengelasan disajikan pada Gambar 2.10. Salah satu contoh elektroda yang termasuk *rutile* adalah E6013. Kelebihan dari elektroda tipe *rutile* adalah sangat cocok untuk pengelasan pelat, meminimalisir munculnya cacat *spatter*, dapat digunakan pada segala posisi pengelasan, dan terak hasil pengelasan tidak susah untuk dibersihkan. Adapun *chemical compositions* dan *mechanical properties* elektroda E6013 disajikan pada Tabel 2.5 dan 2.6 (Wahyu, 2007).

**Tabel 2. 5** *Mechanical Properties* Elektroda E6013 (Elektriska Svetsnings-Aktiebolaget (ESAB), 2016)

<i>Ultimate Tensile Strength</i>	<i>Elongation</i>
510 MPa 73,96 ksi	28%

**Tabel 2. 6** *Chemical Compositions* Elektroda E6013 (%) (Elektriska Svetsnings-Aktiebolaget (ESAB), 2016)

Unsur	Komposisi (%)
Karbon (C)	0,07
Mangan (Mn)	0,39
Silikon (Si)	0,44

### 3. *Low Hydrogen*

Elektroda ini memiliki fluks dengan persentase hidrogen yang sangat rendah, di mana umum digunakan untuk pengelasan baja karbon sedang dan paduan. Elektroda tipe ini harus digunakan dalam keadaan kering, sehingga jika lembab maka harus direkondisi pada temperatur antara 300 - 350°C selama satu jam. Rekondisi ini tidak boleh melebihi temperatur maksimal, hal ini akan mengakibatkan berubahnya sifat mekanik. Salah satu contoh elektroda yang termasuk *low hydrogen* adalah E7016. Kelebihan dari elektroda tipe *low hydrogen* adalah dapat digunakan pada segala posisi pengelasan, ketahanan crack yang sangat tinggi, meminimalisir terjadinya difusi hidrogen pada *weld pool*, dan memiliki *tensile strength* yang tinggi. Adapun *chemical compositions* dan *mechanical properties* elektroda E7016 disajikan pada Tabel 2.7 dan 2.8 (Wahyu, 2007).

**Tabel 2. 7** *Mechanical Properties* Elektroda E7016 (%) (Elektriska Svetsnings-Aktiebolaget (ESAB), 2016)

<i>Ultimate Tensile Strength</i>	<i>Elongation</i>
520 – 570 MPa 75 – 82 ksi	31 - 33%

**Tabel 2. 8** *Chemical Compositions* Elektroda E7016 (%) (Elektriska Svetsnings-Aktiebolaget (ESAB), 2016)

Unsur	Komposisi (%)
Karbon (C)	0,08
Mangan (Mn)	0,94
Sulfur (S)	0,006
Silikon (Si)	0,6
Fosfor (P)	0,011

### 4. *Ilmenite*

Elektroda ini memiliki fluks kombinasi  $Fe_2O_3$  dan  $TiO_2$ , dapat digunakan pada posisi pengelasan apapun. Penetrasi yang dalam serta tidak menimbulkan *slag inclusion* merupakan karakteristik dari elektroda *ilmenite*. Salah satu contoh elektroda yang termasuk *ilmenite* adalah E6019. Kelebihan lainnya dari elektroda tipe ini adalah cocok digunakan untuk pengelasan pelat baja dengan ketebalan sampai dengan 20 mm, cocok untuk pengelasan baja struktural, dan memiliki penetrasi yang dalam. Adapun *chemical compositions* dan *mechanical properties* elektroda E6019 disajikan pada Tabel 2.9 dan 2.10 (Winarto, 2016).

**Tabel 2. 9** *Mechanical Properties* Elektroda E6019 (Elektriska Svetsnings-Aktiebolaget (ESAB), 2016)

<i>Ultimate Tensile Strength</i>	<i>Elongation</i>
450 MPa 65,2 ksi	30%

**Tabel 2. 10** *Chemical Compositions* Elektroda E6019 (%) (Elektriska Svetsnings-Aktiebolaget (ESAB), 2016)

Unsur	Komposisi (%)
Karbon (C)	0,08
Mangan (Mn)	0,41
Silikon (Si)	0,14



**Gambar 2. 10** Contoh Oven untuk Rekondisi Elektroda Pengelasan (Winarto, 2016)

### 2.1.5 Heat Input

Besarnya energi tiap satuan panjang las ketika sumber panas (busur listrik) bergerak disebut dengan *heat input*. Penentuan *heat input* harus diperhatikan karena akan menentukan seberapa besar logam pengisi dan *base material* mencair. Adapun *heat input* dapat dihitung menggunakan Persamaan 2.1 berikut :

$$HI = \frac{EI}{V} \dots\dots\dots (2.1)$$

Keterangan : HI = *Heat Input* (J/mm)

I = Arus (Ampere)

E = Tegangan (Volt)

V = *Travel Speed* (mm/s) (Fahrizal, 2016).

## 2.2 Baja

Baja terdiri dari besi (Fe) dan karbon (C). Ditinjau dari persentase kadar karbonnya, baja dibagi menjadi tiga macam yaitu baja karbon rendah, menengah, dan tinggi. Adapun perbandingan baja berdasarkan kadar karbon disajikan pada tabel 2.11.

**Tabel 2. 11** Perbandingan Baja Berdasarkan Kadar Karbon(Fahrizal, 2016)

Jenis Baja	Kadar Karbon	Sifat
Rendah	0,1 – 0,25%	Keuletan tinggi, <i>machinability</i> dan <i>weldability</i> baik, namun kekerasan rendah.
Menengah	0,25 – 0,55%	Lebih keras daripada baja karbon rendah, namun sulit untuk dibengkokkan, dilas, dan dipotong.
Tinggi	0,55 – 0,7%	Getas, kuat, dan sangat keras, namun <i>machinability</i> rendah.

Setiap jenis baja karbon memiliki kelebihan dan kekurangannya masing – masing. Hal tersebut dapat dimanfaatkan tergantung dari spesifikasi yang dibutuhkan.(Fahrizal, 2016)

### 2.1.1 Baja ASTM A36

ASTM A36 termasuk baja karbon rendah yang dapat berbetuk pelat, *bar*, maupun *seamless pipe*. Kelebihan dari baja ini adalah memiliki *machinability* dan *weldability* yang baik.

Adapun komposisi kimia dan sifat mekanik dari baja ASTM A36 disajikan pada Tabel 2.12 dan 2.13.

**Tabel 2. 12** *Chemical Composition* dari Baja ASTM A36 (%) (Limbong, 2016)

Unsur	Komposisi (%)
Karbon (C)	0,25
Tembaga (Cu)	0,2
Silikon (Ni)	0,04
Sulfur (S)	0,05
Fosfor (P)	0,04
Besi (Fe)	<i>Balanced</i>

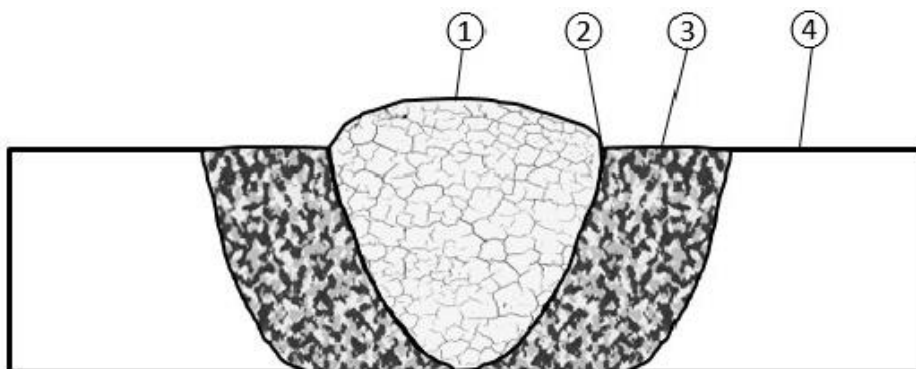
**Tabel 2. 13** *Mechanical Properties* dari Baja ASTM A36 (Limbong, 2016)

<i>Ultimate Tensile Strength</i>	<i>Yield Strength</i>	<i>Elongation</i>	<i>Hardness</i>
400 – 500 MPa	250 MPa	23%	120 HB
55 – 80 ksi	36 ksi		

Pelapisan seperti *galvanizing* dan *painting* dapat ditambahkan pada baja ini untuk meningkatkan sifat tahan korosi. Adapun beberapa aplikasi dari baja ASTM 36 adalah untuk konstruksi bangunan, tangki, dan pipa (Suprayogi & Tjahjanti, 2017).

### 2.3 Heat Affected Zone

Setelah proses pengelasan dilakukan, akan terbentuk tiga daerah berbeda, yaitu *weld metal zone*, *heat affected zone (HAZ)*, *fusion line*, dan *base material* yang tidak terpengaruh panas. *Weld metal zone* terdiri dari campuran *filler*, *base material*, dan *flux* (khusus untuk pengelasan busur listrik). Daerah terpengaruh panas atau HAZ terbentuk selama proses pengelasan dengan perubahan struktur mikro akibat dari pemanasan dan pendinginan. Adapun contoh dari HAZ disajikan pada Gambar 2.11 (Ristyanto et al., 2014).



**Gambar 2. 11** Daerah Lasan yang Terdiri dari *Weld Metal* (1), *Fusion Line* (2), *Heat Affected Zone* (3), dan *Base Material* (4) (Kurniawan, 2017)

### 2.4 Cacat Pada Pengelasan

Hasil lasan yang tidak sesuai dengan syarat penerimaan standar atau kode internasional dapat disebut dengan *defect* atau cacat.

#### 1. Porositas

Adanya gas yang terperangkap pada daerah lasan dengan jumlah berlebih dapat menyebabkan porositas. Pengelasan pada kampuh logam yang terkontaminasi dengan cat,

minyak, atau air dapat memungkinkan terjadinya porositas. Umumnya, gas yang terperangkap dalam *weld pool* adalah nitrogen, oksigen, dan hidrogen. Contoh dari porositas disajikan pada Gambar 2.12 (Sahlan, 2015).



**Gambar 2. 12** Porositas Pada Pengelasan (Sahlan, 2015)

### 2. *Slag Inclusion*

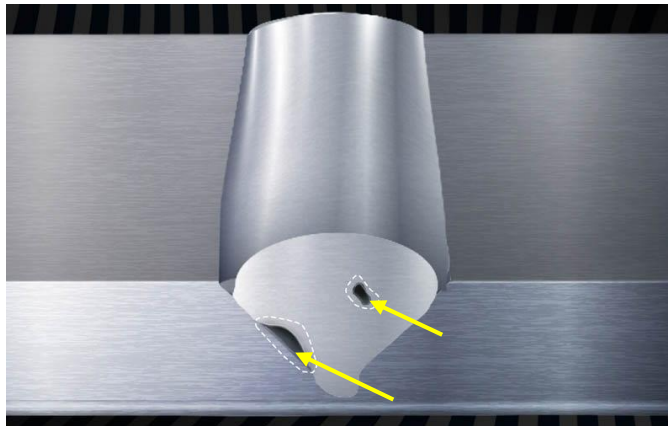
Cacat ini terjadi karena adanya terak (*slag*) setelah pengelasan. Adanya terak ini bisa jadi karena *welder* malas membersihkan ataupun kurangnya alat pembersih yang memadai. Cacat ini tidak tampak kecuali muncul di permukaan logam. Contoh dari *slag inclusion* disajikan pada Gambar 2.13 (Warman, 2017).



**Gambar 2. 13** *Slag Inclusion* Pada Pengelasan (Warman, 2017)

### 3. *Incomplete Fusion*

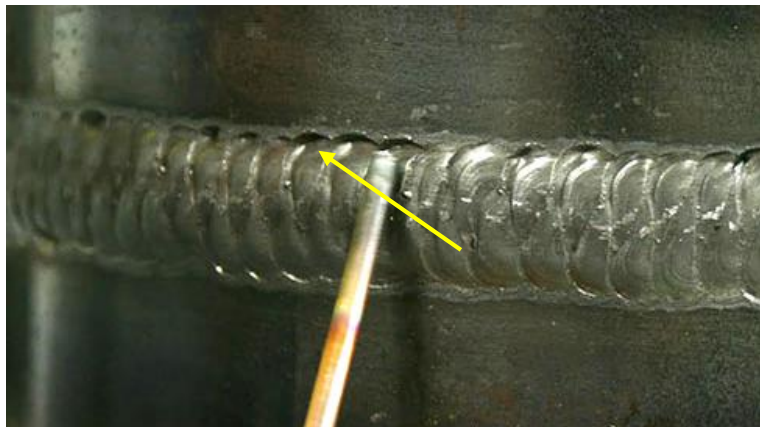
Sama seperti cacat lainnya, *incomplete fusion* juga umum terjadi karena *human error* dalam perencanaan maupun pengerjaan. Besaran arus dan kecepatan pengelasan yang tidak sesuai dapat menyebabkan terjadinya cacat ini. Contoh dari *incomplete fusion* disajikan pada Gambar 2.14 (Sahlan, 2015).



**Gambar 2. 14** *Incomplete Fusion* Pada Pengelasan (Sahlan, 2015)

#### 4. *Undercut*

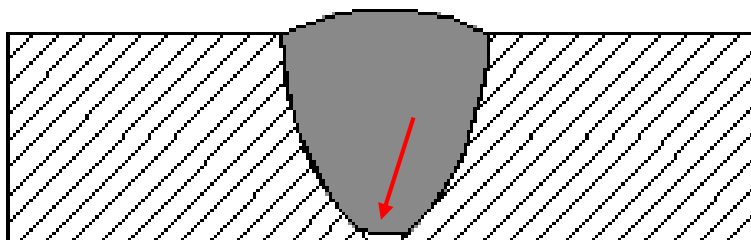
Cacat ini dapat disebabkan oleh pengaturan tegangan listrik dan kecepatan gerakan las yang tidak sesuai. Ukuran elektroda yang terlalu besar juga dapat menyebabkan terjadinya cacat ini. Akibat utama dari cacat ini adalah *base material* seperti terkeruk atau termakan. Contoh dari *undercut* disajikan pada Gambar 2.15 (Sahlan, 2015).



**Gambar 2. 15** *Undercut* Pada Pengelasan

#### 5. *Incomplete Penetration*

Merupakan cacat yang disebabkan ketidaksempurnaan pengisian atau las pada bagian *root*. Adapun penyebab cacat ini adalah *travel speed* terlalu tinggi dan jarak gap terlalu lebar. Contoh *incomplete penetration* pada bagian *root* disajikan pada Gambar 2.16 (Pujo M. & J.S, 2008).



**Gambar 2. 16** *Incomplete Penetration* Pada Pengelasan (Pujo M. & J.S, 2008)



---

## 2.5 Kode atau Standar Acuan

Pada proses pengelasan, diperlukan acuan dalam pelaksanaan prosesnya. Acuan tersebut berisi informasi yang telah disusun secara rinci sesuai spesifikasi yang ditentukan. Adapun standar yang lazim digunakan di Indonesia keluaran dari *American Society of Mechanical Engineers* (ASME), *American Welding Society* (AWS), dan *American Petroleum Institute* (API). Standar lain yang biasa ditemui adalah *British Standard* (BS), *Deutsches Institut für Normung* (DIN), dan *Japanese Industrial Standards* (JIS) (Warman, 2017).

## 2.6 *Welding Procedure Specifications* dan *Procedure Qualification Record*

Sebelum melakukan proses pengelasan diperlukan perancangan prosedur secara rinci yang mengacu pada kode atau standar. Prosedur tersebut disebut dengan *welding procedure specification* (WPS). Adapun standar yang umum digunakan untuk pengelasan adalah ASME *Section IV* (untuk pengelasan *pressure vessel*, *boiler*, *heat exchanger*, dan *storage tank*), AWS D1 (untuk pengelasan struktural), serta API 1104 (untuk pengelasan *pipeline*).

Tahap paling awal adalah persiapan untuk *preliminary welding procedure specification* (pWPS). Setelah perancangan pWPS selesai bukan berarti dapat langsung digunakan. Diperlukan pengujian spesimen (dapat juga disebut *test piece* atau *test coupon*) terlebih dahulu secara merusak maupun tidak merusak. Adapun jenis pengujian dan pembuatan spesimen mengacu pada kode atau standar yang ada. Hasil dari pengujian tersebut kemudian dituliskan pada dokumen yang disebut *procedure qualification record* (PQR). WPS kemudian disusun berdasarkan data dari PQR dan pWPS, kemudian dapat digunakan pada proyek sesungguhnya (Warman, 2017).

## 2.7 Pengujian Spesimen

Sebuah material memiliki sifat mekanik yaitu kemampuan untuk menerima beban secara dinamis maupun statis tanpa mengalami kegagalan atau deformasi. Beberapa contoh dari sifat mekanik adalah kekuatan, kekerasan, dan keuletan. Oleh sebab itu sebelum diaplikasikan pada proyek atau produk, diperlukan pengujian spesimen terlebih dahulu agar sesuai dengan penerimaan kode atau standar acuan (Rahmatika et al., 2021).

### 2.7.1 Pengujian Tarik

Disebut juga *tensile test*, pengujian merusak ini bertujuan untuk mengetahui kekuatan tarik dari sebuah material. Adapun deformasi yang dialami material dapat ditinjau dari kurva tegangan – regangan, seperti pada Gambar 2.19. Pada kurva tersebut juga dapat ditinjau *ultimate tensile strength* (UTS) material terkait. Adapun definisi dari UTS adalah kemampuan maksimal material menerima pembebanan tarik sebelum patah (Rahmatika et al., 2021).

Secara umum, patahan yang terjadi setelah dilakukan pengujian tarik adalah patah getas dan ulet. Dua jenis patahan tersebut beda berdasarkan kemampuan material menerima deformasi plastis sebelum patah. Pada patah getas, umumnya *crack* menjalar dengan sangat cepat tanpa meninggalkan bekas deformasi plastis. Sedangkan pada patah ulet, *crack* menjalar secara bertahap, dimulai dari pembentukan *cavity* kecil yang kemudian membesar. Adapun perbedaan hasil patah ulet dan getas dapat dilihat pada Gambar 2.17 dan 2.18. (Pratama, 2017)

Meningkatnya temperatur akan menurunkan nilai kekuatan tarik dari sebuah material secara konstan. Karena dengan meningkatnya temperatur maka membuat ukuran butir menjadi lebih besar dan meningkatkan *softness* (Gholami et al., 2020).

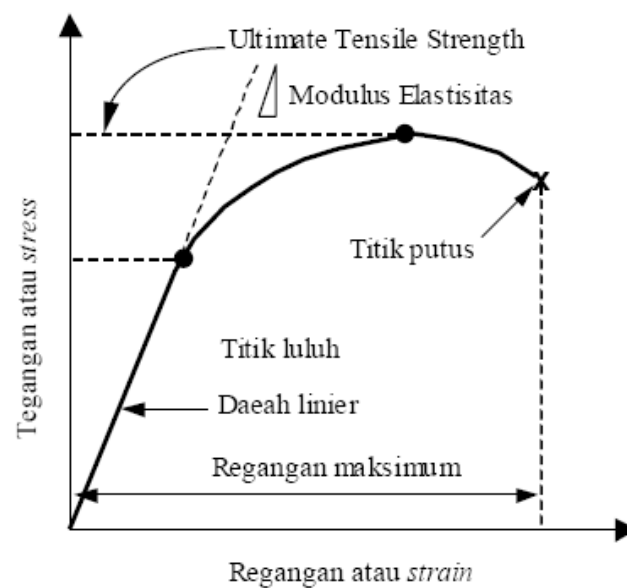
Untuk *acceptance criteria* pengujian tarik mengacu pada ASME disajikan pada Gambar 2.20, kemudian dilengkapi dengan Gambar 2.21 (ASME Section IX, 2015).



**Gambar 2. 17** Patahan Getas Hasil Uji Tarik (Pratama, 2017)



**Gambar 2. 18** Patahan Ulet Hasil Uji Tarik (Pratama, 2017)



**Gambar 2. 19** Kurva Tegangan – Regangan (Pratama, 2017)

**QW-153 ACCEPTANCE CRITERIA — TENSION TESTS**

**QW-153.1 Tensile Strength.** Minimum values for procedure qualification are provided under the column heading “Minimum Specified Tensile, ksi” of **Table QW/QB-422**. In order to pass the tension test, the specimen shall have a tensile strength that is not less than

(a) the minimum specified tensile strength of the base metal; or

(b) the minimum specified tensile strength of the weaker of the two, if base metals of different minimum tensile strengths are used; or

(c) the minimum specified tensile strength of the weld metal when the applicable Section provides for the use of weld metal having lower room temperature strength than the base metal;

(d) if the specimen breaks in the base metal outside of the weld or weld interface, the test shall be accepted as meeting the requirements, provided the strength is not more than 5% below the minimum specified tensile strength of the base metal.

(e) the specified minimum tensile strength is for full thickness specimens including cladding for Aluminum Alclad materials (P-No. 21 through P-No. 23) less than 1/2 in. (13 mm). For Aluminum Alclad materials 1/2 in. (13 mm) and greater, the specified minimum tensile strength is for both full thickness specimens that include cladding and specimens taken from the core.

**Gambar 2. 20** Standar Penerimaan Uji Tarik ASME IX QW – 153 (ASME Section IX, 2015)

Spec. No.	Designation, Type, or Grade	UNS No.	Minimum Specified Tensile, ksi (MPa)	Welding		Brazing		Nominal Composition	Typical Product Form	
				P-No.	Group No.	P-No.	AWS B2.2 BM			ISO 15608 Group
<b>ferrous</b>										
A/SA-36	...	...	58 (400)	1	1	101	100	11.1	C-Mn-Si	Plate, bar & shapes
A/SA-53	E, A	K02504	48 (330)	1	1	101	100	1.1	C	Resistance welded pipe
A/SA-53	S, A	K02504	48 (330)	1	1	101	100	1.1	C	Smls. pipe
A/SA-53	E, B	K03005	60 (415)	1	1	101	100	11.1	C-Mn	Resistance welded pipe
A/SA-53	F	K03005	48 (330)	1	1	101	100	11.1	C	Furnace welded pipe
A/SA-53	S, B	K03005	60 (415)	1	1	101	100	11.1	C-Mn	Smls. pipe
A/SA-105	...	K03504	70 (485)	1	2	101	100	11.1	C	Flanges & fittings

**Gambar 2. 21** Grup Base Metal Pelengkap ASME IX QW – 153 (ASME Section IX, 2015)

### 2.7.2 Pengujian Kekerasan

Disebut juga *hardness test*, pengujian merusak ini bertujuan untuk mengetahui ketahanan penetrasi atau indentasi dari sebuah material. Beberapa metode yang sering digunakan pada *hardness test* adalah *Rockwell*, *Vickers*, dan *Brinell*. Adapun perbedaan indenter pada *hardness test* disajikan pada Tabel 2.14, sedangkan kelebihan dan kekurangan disajikan pada Tabel 2.15 (Setiawan, 2012).

**Tabel 2. 14** Perbedaan Indenter pada Tiga Metode *Hardness Test* (Setiawan, 2012)

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

**Tabel 2. 15** Kelebihan dan Kekurangan Tiga Metode Pengujian Kekerasan (Widyastuti et al., 2019)

Indikator	Brinell	Rockwell	Vickers
Kelebihan	Pengujian ini sudah lama digunakan dalam dunia industri serta tidak memerlukan permukaan yang sangat halus	Bekas indentasi sangat kecil dan dapat diterapkan pada material cor.	Dapat diterapkan pada material yang keras maupun lunak. Akurasi Vickers lebih tinggi daripada Rockwell dan Brinell
Kekurangan	Bekas indentasi Brinell cukup besar. Alat uji juga cukup berat sehingga tidak cocok untuk penggunaan lapangan.	Alat uji relatif mahal serta tidak cocok untuk penggunaan lapangan.	Permukaan spesimen harus dihaluskan terlebih dahulu.

### 2.7.3 Pengujian Penetran

Disebut juga *penetrant test* (PT), pengujian ini bertujuan untuk mengetahui cacat permukaan pada *weld metal* tanpa harus merusak spesimen menggunakan tiga *spray* utama yaitu *cleaner*, *penetrant*, dan *developer*. Adapun urutan pengujian penetran disajikan pada Tabel 2.16, sedangkan untuk *acceptance criteria* berdasarkan ASME disajikan pada Gambar 2.22 (Fahrizal, 2016).

**Tabel 2. 16** Urutan Pengujian Penetran (Fahrizal, 2016)

Urutan	Langkah
1	Pembersihan permukaan spesimen dengan sikat baja, kemudian dilanjutkan dengan <i>cleaner spray</i> .
2	Setelah pembersihan, dilakukan penyemprotan <i>penetrant spray</i> . Pengaplikasian <i>penetrant spray</i> dapat dilakukan dengan penyemprotan atau dioles dengan kuas. Biarkan selama 5 menit ( <i>dwell time</i> ) agar <i>penetrant spray</i> masuk ke dalam spesimen.
3	Bersihkan <i>penetrant spray</i> , lalu semprotkan <i>developer spray</i> . Tunggu selama 5-10 menit.
4	Pengamatan adanya indikasi.
5	Pembersihan sisa <i>spray</i> pada spesimen dengan sikat baja.

QW-195.2 Liquid Penetrant Acceptance Criteria.	
QW-195.2.1 Terminology.	
<i>relevant indications</i> :	indications with major dimensions greater than $\frac{1}{16}$ in. (1.5 mm)
<i>linear indications</i> :	an indication having a length greater than three times the width.
<i>rounded indications</i> :	an indication of circular or elliptical shape with the length equal to or less than three times the width.
QW-195.2.2 Acceptance Standards. Procedure and performance tests examined by liquid penetrant techniques shall be judged unacceptable when the examination exhibits any indication in excess of the limits specified in the following:	
(a)	relevant linear indications
(b)	relevant rounded indications greater than $\frac{3}{16}$ in. (5 mm)
(c)	four or more relevant rounded indications in a line separated by $\frac{1}{16}$ in. (1.5 mm) or less (edge-to-edge)

**Gambar 2. 22** Standar Penerimaan Uji Penetran ASME IX QW – 195.2 (ASME Section IX, 2015)

### 2.7.4 Pengujian Metalografi

Pengujian ini dilakukan untuk menganalisis struktur mikro dari spesimen. Dilakukan preparasi terlebih dahulu sebelum masuk ke analisis menggunakan mikroskop optik. Selanjutnya yang akan terlihat pada mikroskop adalah bentuk fasa dari material tersebut. Sebagai contoh seperti *ferrite* (memiliki sifat ulet dan lunak), *pearlite* (memiliki sifat keras dan kuat), dan sebagainya. Adapun urutan tahap preparasi disajikan pada Tabel 2.17 (Juliaptini, 2010).

**Tabel 2. 17** Tahap Preparasi Uji Metalografi (Juliaptini, 2010)

Urutan	Tahap	Tujuan	Alat atau Bahan
1	<i>Cutting</i>	Memotong spesimen menjadi ukuran kecil sebagai representatif keseluruhan material.	Gerinda
2	<i>Mounting</i>	Penempatan spesimen yang telah terpotong pada suatu media agar memudahkan proses selanjutnya.	Resin
3	<i>Grinding</i>	Meratakan permukaan spesimen yang kasar untuk mempermudah pengamatan struktur.	Kertas ampelas dan air
4	<i>Polishing</i>	Pemolesan permukaan yang telah diampelas agar bebas dari goresan.	<i>Metal polish</i>
5	<i>Etching</i>	Proses pengikisan batas butir spesimen agar terlihat jelas ketika diamati pada mikroskop.	Larutan etsa, air, alkohol, dan pengering

## 2.8 Sifat Mekanik

Dari berbagai pengujian spesimen yang dilakukan, kemudian dapat diketahui apa saja sifat mekanik dari sebuah material, adapun contohnya sebagai berikut :

### 2.8.1 Kekuatan Tarik (*Tensile Strength*)

Kekuatan tarik dapat dilihat melalui pengujian *tensile*. Secara definisi, sifat mekanik ini merupakan kemampuan sebuah material untuk menerima beban tarik hingga mengalami patah atau fraktur. Jenis patahan dari pengujian tarik ada dua, yaitu patahan getas dan ulet (William D. Callister & Rethwisch, 2013).

### 2.8.2 Kekerasan (*Hardness*)

Kekerasan dapat dilihat melalui pengujian dengan beberapa metode berbeda, seperti Vickers, Brinell, dan Rockwell. Secara definisi, kekerasan merupakan kemampuan material untuk menerima beban indentasi, abrasi, maupun goresan (William D. Callister & Rethwisch, 2013).

### 2.8.3 Keuletan (*Ductility*)

Keuletan juga dapat dilihat melalui pengujian *tensile*. Adapun besaran dari keuletan juga disebut dengan elongasi. Keuletan secara definisi merupakan kemampuan material untuk berdeformasi plastis sebelum patah atau fraktur (William D. Callister & Rethwisch, 2013).

### 2.8.4 Ketangguhan (*Toughness*)

Ketangguhan umumnya dapat dilihat melalui pengujian impak. Secara definisi, ketangguhan merupakan kemampuan sebuah material untuk menyerap energi hingga mengalami patah atau fraktur (William D. Callister & Rethwisch, 2013).

### 2.9 Penelitian Terdahulu

Adapun penelitian terdahulu terkait pengaruh variasi elektroda terhadap hasil pengelasan baja ASTM A36 dengan metode SMAW disajikan pada Tabel 2.18. Sedangkan dokumentasi hasil dari beberapa penelitian disajikan pada Gambar 2.23 dan 2.24.

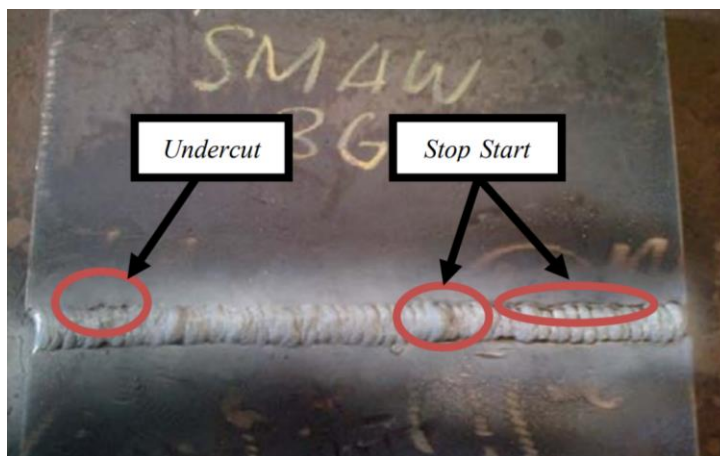
**Tabel 2. 18** Pengaruh Variasi Elektroda Terhadap Hasil Pengelasan Baja ASTM A36 dengan Metode SMAW

Penulis	Material	Elektroda	Hasil
(Wahyudi et al., 2019)	Pelat Baja ASTM A36 tebal 12 mm	1. AWS E7016 2. AWS E7018 3. AWS E7016 + E7018	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Setelah dilakukan <i>penetrant test</i> didapati bahwa muncul <i>rounded indication</i> pada material yang dilas menggunakan elektroda E7016, namun masih dalam batas penerimaan ASME <i>Section IX</i> karena panjang cacat kurang dari 5 mm.</li> <li>2. Penggunaan elektroda <i>low hydrogen</i> E7016 juga dapat meminimalisir munculnya indikasi <i>weld defect</i>.</li> <li>3. Tegangan tarik tertinggi dimiliki oleh material dengan elektroda kombinasi E7016 + E7018 sebesar 55,06 kgf/mm<sup>2</sup>.</li> <li>4. Tegangan tarik terendah dimiliki oleh material dengan elektroda E7018 dengan nilai 51,81 kgf/mm<sup>2</sup>.</li> <li>5. Tegangan tarik material dengan elektroda E7016 sebesar 54,29 kgf/mm<sup>2</sup>.</li> <li>6. Ketiga spesimen patah mendekati sambungan las.</li> </ol>
(Azdkar et al., 2019)	Pelat Baja ASTM A36 tebal 6 mm	1. AWS E6010 2. AWS E6013 3. AWS E6019	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. <i>Weld metal</i> dengan kekerasan tertinggi dimiliki oleh material dengan elektroda E6013 bernilai 164 VHN.</li> <li>2. HAZ dengan kekerasan tertinggi dimiliki oleh material dengan elektroda</li> </ol>

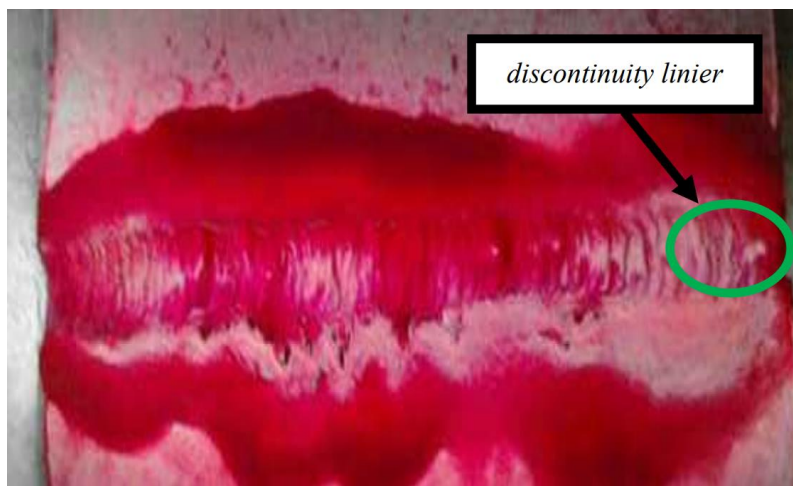
			E6019 bernilai 157,43 VHN.
			3. <i>Base metal</i> dengan kekerasan tertinggi dimiliki oleh material dengan elektroda E6019 bernilai 150,19 VHN.
			4. Setelah dilakukan pengujian radiografi didapati adanya cacat porositas berdiameter 0,55 mm pada material dengan elektroda E6013, namun masih dalam batas penerimaan ASME <i>Section IX</i> .
(Aljufri & Putra, 2018)	Pelat Baja AISI 1050 tebal 5 mm	1. AWS E7016	1. Hasil pengelasan SMAW terhadap material AISI 1050 terdapat porositas yang terjadi akibat proses terjebaknya udara atau terkontaminasinya material induk serta pengaruh kelembaban elektroda yang digunakan sehingga dapat menimbulkan pori – pori.
			2. Pada pengelasan baja, porositas tidak begitu bermasalah, dibandingkan dengan retak yang terjadi karena kelebihan hidrogen berdifusi ke HAZ, di mana struktur mikro cenderung berubah dan dapat dapat menyebabkan kerapuhan pada daerah lasan.
			1. Pada pengujian visual ditemukan cacat <i>undercut</i> dan <i>stop start</i> . Sedangkan pada uji penetran ditemukan <i>discontinuity linier</i> .
(Perdana & Syarif, 2017)	Pelat Baja ASTM A36 tebal 10 mm	1. AWS E7016	2. Nilai UTS sebesar 33,3 N/mm <sup>2</sup> , <i>yield strength</i> sebesar 18,8 N/mm <sup>2</sup> , dan regangan maksimum sebesar 14,28%.
			3. Nilai kekerasan <i>weld metal</i> sebesar 276 VHN, HAZ sebesar 228 VHN, dan <i>base metal</i> sebesar 153 VHN.

(Juliaptini, 2010) Slab Baja tebal  
200 mm

1. Menurunnya elongasi juga disertai turunnya persentase dari fasa *ferrite*, yang memiliki sifat ulet dan lunak.
2. Peningkatan nilai kekerasan pada spesimen dipengaruhi oleh meningkatnya persentase *pearlite*. Fasa *pearlite* sendiri memiliki sifat keras dan kuat (karena pengaruh adanya *cementite* atau karbida besi).



**Gambar 2. 23** Cacat *Undercut* dan *Stop Start* pada Hasil *Visual Test* Baja ASTM A36 dengan Pengelasan SMAW (Perdana & Syarif, 2017)



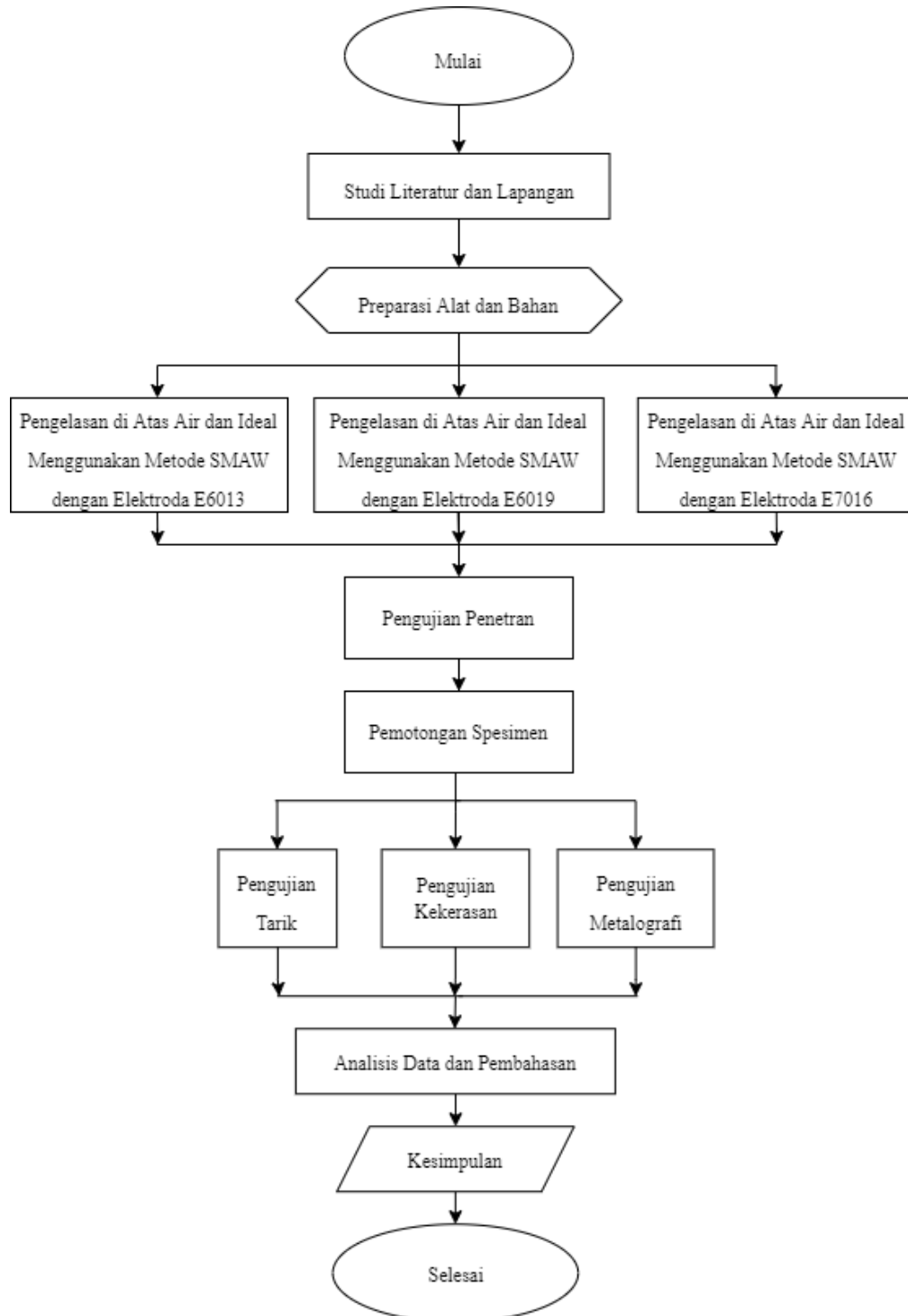
**Gambar 2. 24** Cacat *Discontinuity Linier* pada Hasil Uji Penetrasi Baja ASTM A36 dengan Pengelasan SMAW (Perdana & Syarif, 2017)



### BAB III METODOLOGI PENELITIAN

#### 3.1 Diagram Alir

Adapun diagram alir penelitian disajikan pada Gambar 3.1 di bawah ini.



Gambar 3. 1 Diagram Alir Penelitian

### 3.2 Alat dan Bahan Penelitian

Adapun alat dan bahan pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

#### 3.2.1 Alat

Disajikan pada tabel 3.1 merupakan alat yang digunakan dalam penelitian ini:

**Tabel 3. 1** Alat Penelitian

No.	Alat	Jumlah
1	Mesin Las <i>Shielding Metal Arc Welding</i> (SMAW) DYNA MIG 5600M	1 buah
2	Mesin Pengujian Tarik FUJI SEIKI FTA – 50 dan GOTECH	1 buah
3	Mesin Pengujian Kekerasan	1 buah
4	<i>Penetrant Spray</i>	1 buah
5	<i>Cleaner Spray</i>	1 buah
6	<i>Developer Spray</i>	1 buah
7	Gerinda	1 buah
8	Bak Air	1 buah
9	Sikat Baja	1 buah
10	Mesin <i>Polish</i>	1 buah
11	Mikroskop Optik	1 buah
12	Cawan Petri	1 buah
13	<i>Glass Beaker</i>	1 buah
14	Pipet	1 buah
15	Kertas Ampelas <i>Grade</i> 80, 100, 240, 400, 600, 800, 1000, 1200, 1500, dan 2000	Masing – masing 1 lembar tiap <i>grinding</i>
16	Kain Bludru	1 lembar tiap <i>polishing</i>

#### 3.2.2 Bahan

Disajikan pada tabel 3.2 merupakan bahan yang digunakan dalam penelitian ini :

**Tabel 3. 2** Bahan Penelitian

No.	Alat	Jumlah
1	Pelat Baja ASTM A36 dengan tebal 10 mm	12 buah
2	Kawat Las AWS E6013 Ø 3,2 mm	2 buah
3	Kawat Las AWS E6019 Ø 3,2 mm	2 buah
4	Kawat Las AWS E7016 Ø 3,2 mm	2 buah
5	Larutan Etsa Nital	Campuran 2,5 ml HNO <sub>3</sub> dan 4,75 ml Etanol
6	Pasta <i>Metal Polish</i> (Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> )	1 buah

### 3.3 Metode Penelitian

Adapun metode penelitian yang digunakan adalah sebagai berikut:

#### 1. Studi Lapangan

Pada tahapan paling awal ini, dilakukan kunjungan ke PT. Penataran Angkatan Laut (PAL), Surabaya, untuk mencari permasalahan yang dapat diangkat menjadi topik tugas akhir. Adapun studi lapangan juga didiskusikan dengan *engineer* di Divisi *Quality Assurance*.

#### 2. Studi Literatur

Tahapan studi literatur dilakukan dengan mencari jurnal, artikel ilmiah, atau buku luaran nasional maupun internasional yang membahas tentang pengelasan serta hal-hal berkaitan lainnya sehingga dapat dijadikan tinjauan pustaka dan referensi.

#### 3. Diskusi

Tahapan diskusi dilakukan bersamaan dengan studi lapangan dalam rangka untuk *brainstorming* dan memperluas wawasan terkait bidang pengelasan. Adapun beberapa orang yang terlibat pada tahapan ini adalah bapak Sigit Budi Raharjo, S.T. dan Wahyu Hidayat Nurdiansyah, S.T., dan *engineer* lainnya apabila kebetulan berada di tempat diskusi.

#### 4. Eksperimental

Pada tahap eksperimental, dilakukan pengelasan sesuai *Welding Procedure Specifications* (WPS), kemudian dilanjutkan dengan pengujian spesimen. Hasil dari pengujian tersebut kemudian dianalisis terlebih dahulu sebelum menjadi kesimpulan dan saran.

### 3.4 Prosedur Penelitian

Adapun prosedur penelitian yang dilakukan adalah sebagai berikut :

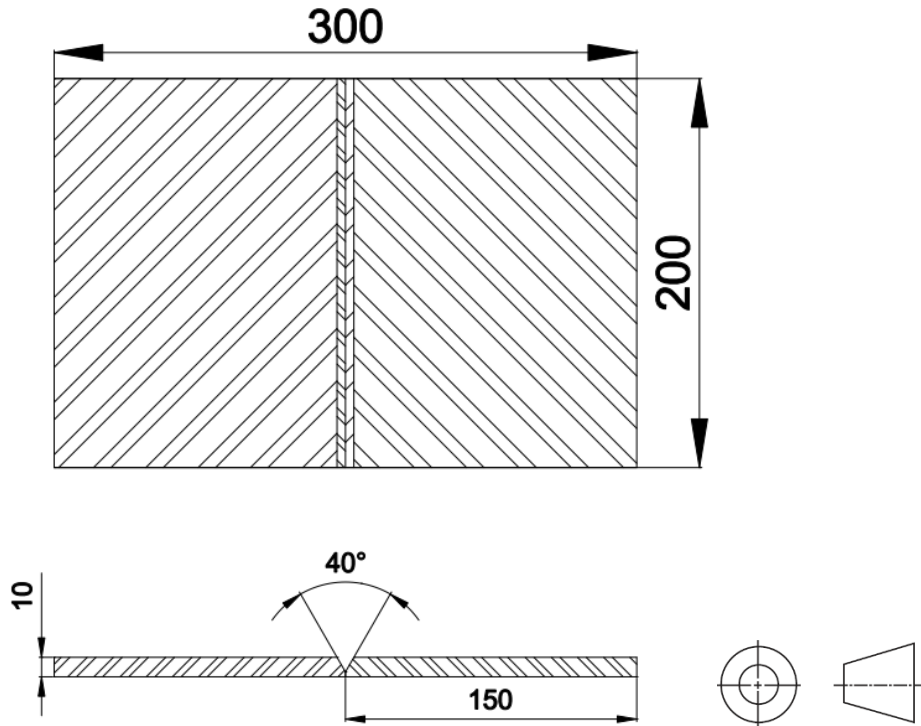
#### 3.4.1 Prosedur Pengelasan

Prosedur pengelasan yang dilakukan pada penelitian ini adalah sebagai berikut :

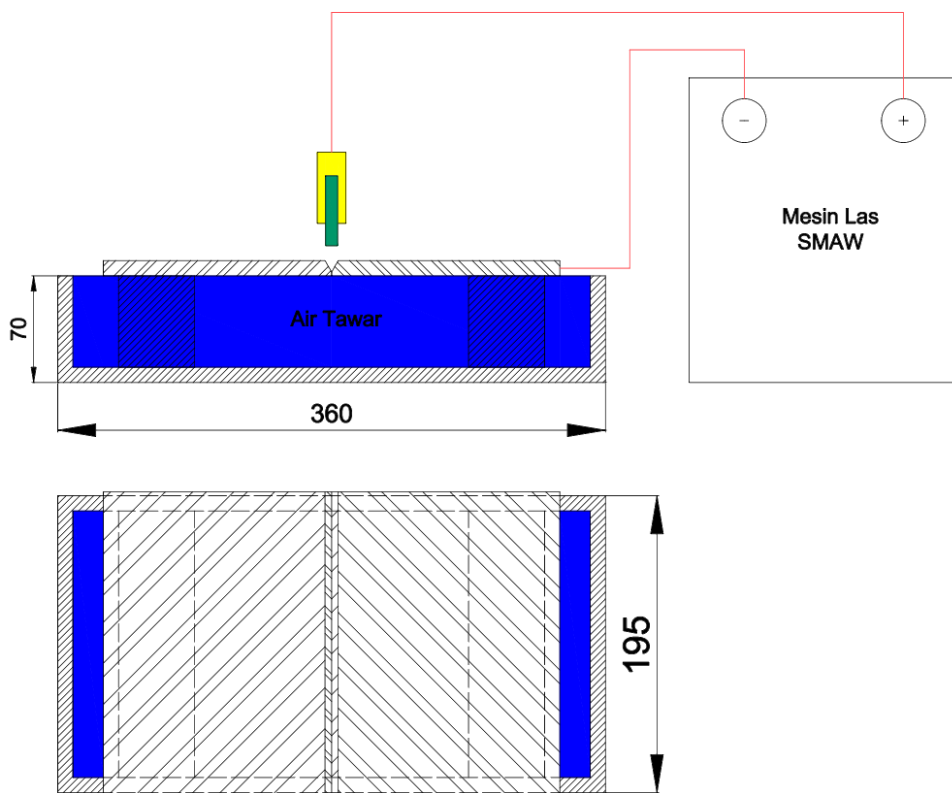
1. Penyiapan baja ASTM A36 dengan ukuran 400 x 150 x 10 mm sejumlah enam buah yang telah dipatri pada alur lasnya. Dengan rincian tiga pasang baja untuk pengelasan di atas air dan sisanya pengelasan kondisi ideal.
2. Pemeriksaan kelurusan material, *root opening*, *root face dimension* sesuai dengan parameter pengelasan.
3. Persiapan wadah bak kemudian diisi penuh dengan air tawar.
4. Persiapan mesin las SMAW dengan elektroda E6013, E7016, dan E6019. Parameter lainnya disesuaikan dengan WPS.
5. Pengelasan SMAW dilakukan untuk bagian *root pass*, *hot pass*, dan *capping* dengan variasi elektroda E6013, E7016, dan E6019.
6. Melakukan pembersihan terak dengan sikat baja.

**Tabel 3. 3** Parameter Pengelasan

<i>Process</i>	<i>Position</i>	<i>Type &amp; Polarity</i>	<i>Amps (A)</i>	<i>Volts (V)</i>	<i>Travel Speed (kJ/mm)</i>
SMAW	1G Flat	DCEP	80 ~ 160	23 ~ 30	85 ~ 160



**Gambar 3. 2** *Test Piece* Baja ASTM A36



**Gambar 3. 3** Skema Proses Pengelasan Di Atas Air Menggunakan Bak

Bentuk dari *test piece* baja ASTM A36 disajikan pada Gambar 3.2, sedangkan skema pengelasan di atas air yang menggunakan bak disajikan pada Gambar 3.3. Selanjutnya terkait *range* parameter pengelasan disajikan pada Tabel 3.3.

### 3.4.2 Prosedur Pengujian

Setelah pembuatan *test piece* selesai, maka dilanjutkan dengan pengujian untuk mengetahui sifat mekanik dan *weld defect* pada hasil lasan. Adapun pengujian yang dilakukan adalah sebagai berikut :

#### 1. Pengujian Penetran

Pengujian ini termasuk *Non-Destructive Test* (NDT), di mana area permukaan *test piece* akan disemprot dengan *spray* (*cleaner*, *penetrant*, dan *developer*), disajikan pada Gambar 3.4. Penetrasi *spray* tadi kurang lebih sedalam 3 mm dari permukaan. Hasil dari pengujian ini menunjukkan adanya indikasi *weld defect*. Adapun pengujian ini dilakukan di Divisi *Quality Assurance – General Engineering*, PT. PAL, Surabaya.



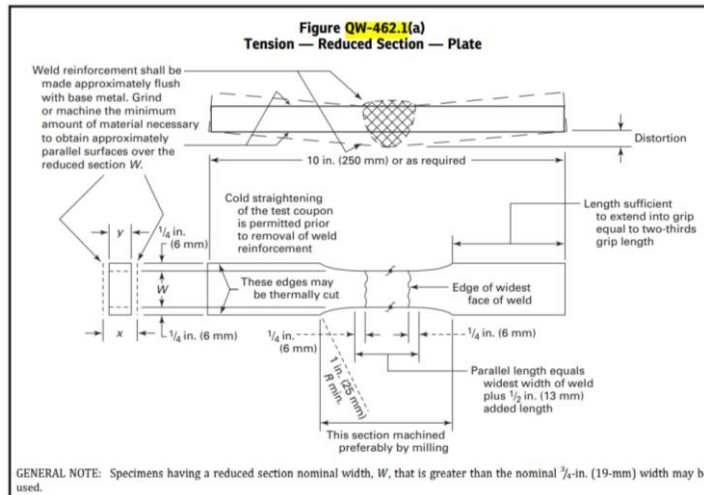
Gambar 3. 4 Tiga Jenis *Spray* untuk Pengujian Penetran

#### 2. Pengujian Tarik

Pengujian tarik atau *tensile test* merupakan *Destructive Test* (DT) yang dilakukan untuk mengetahui kekuatan material dalam menerima pembebanan statis hingga patah. Hasil dari pengujian ini berupa kurva beban versus pertambahan panjang, yang kemudian diplot kembali menjadi kurva *stress – strain* yang di dalamnya juga memuat informasi terkait *Ultimate Tensile Strength* (UTS), dan *elongation*. Pengujian ini menggunakan standar ASME *Section IX* dan dilaksanakan di dua tempat, *Laboratorium Destructive Test*, PT. PAL, dan *Laboratorium Metalurgi*, Departemen Teknik Material dan Metalurgi, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya. Mesin uji tarik disajikan pada Gambar 3.5, sedangkan preparasi spesimen berdasarkan ASME IX disajikan pada Gambar 3.6.



Gambar 3. 5 Mesin Uji Tarik GOTECH



**Gambar 3. 6** Preparasi Spesimen Pengujian Tarik Standar ASME IX QW-462.1(a)

### 3. Pengujian Kekerasan

Pengujian kekerasan atau *hardness test* merupakan *Destructive Test* (DT) yang dilakukan untuk mengetahui ketahanan material dalam menerima beban indentasi. Uji kekerasan dilakukan pada bagian *weld metal*, *Heat Affected Zone* (HAZ), dan *base material* dengan masing – masing tiga titik indentasi seperti pada Gambar 3.7. Pengujian ini menggunakan metode Vickers sesuai standar ASTM E92 – 17. Adapun mesin pengujianya disajikan pada Gambar 3.8. Pengujian ini dilaksanakan di Laboratorium Metalurgi, Departemen Teknik Material dan Metalurgi, Institut Teknologi Sepuluh Nopember.



**Gambar 3. 7** Titik Indentasi Pengujian Vickers



**Gambar 3. 8** Mesin *Universal Hardness Tester*

### 4. Pengujian Metalografi

Pengujian metalografi juga merupakan *Destructive Test* (DT) yang dilakukan untuk mengetahui struktur mikro dari material. Uji metalografi harus melalui tahap preparasi terlebih dahulu secara berurutan. Adapun tahapan preparasi uji metalografi disajikan pada Tabel 2.17. Spesimen yang telah dipreparasi kemudian direndam pada larutan Nital selama lima detik, lalu

diamati di bawah mikroskop optik. Untuk metalografi pada spesimen pengelasan kondisi ideal, dilakukan pada tiga daerah yaitu *weld metal*, HAZ, dan *base metal*. Sedangkan untuk pengelasan di atas air, metalografi dilakukan pada lima daerah yaitu *weld metal cap*, *weld metal root*, HAZ *cap*, HAZ *root*, dan *base metal*. Pengujian ini menggunakan standar ASTM E3 serta ASTM E407 - 07 dan dilakukan di Laboratorium Metalurgi, Departemen Teknik Material dan Metalurgi, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya. Gambar mikroskop disajikan pada Gambar 3.9.



**Gambar 3. 9** Mikroskop Optik OLYMPUS BX51M

### 3.5 Rancangan Penelitian

Adapun rancangan lokasi pengujian spesimen disajikan pada Tabel 3.4, untuk rancangan kode spesimen disajikan pada Tabel 3.5, sedangkan rancangan jadwal penelitian disajikan pada Tabel 3.6 sebagai berikut :

**Tabel 3. 4** Rancangan Lokasi Pengujian

No.	Pengujian	Lokasi
1	Penetran	Divisi <i>Quality Assurance – General Engineering</i> , PT. PAL, Surabaya
2	Tarik	Laboratorium <i>Destructive Test</i> , PT. PAL dan Laboratorium Metalurgi, Departemen Teknik Material & Metalurgi FTI-RS, ITS, Surabaya
3	Kekerasan	Laboratorium Metalurgi, Departemen Teknik Material & Metalurgi FTI-RS, ITS, Surabaya
4	Metalografi	Laboratorium Metalurgi, Departemen Teknik Material & Metalurgi FTI-RS, ITS, Surabaya

**Tabel 3. 5** Rancangan Kode Spesimen

Kode	Keterangan	Kondisi
ID-13	Pengelasan dua sisi dengan kawat AWS E6013	Normal
ID-19	Pengelasan dua sisi dengan kawat AWS E6019	Normal
ID-16	Pengelasan dua sisi dengan kawat AWS E7016	Normal
AA-13	Pengelasan satu sisi dengan kawat AWS E6013	Di atas air
AA-19	Pengelasan satu sisi dengan kawat AWS E6019	Di atas air
AA-16	Pengelasan satu sisi dengan kawat AWS E7016	Di atas air

**Tabel 3. 6** Rancangan Jadwal Penelitian

Kegiatan	Maret				April				Mei				Juni			
	Minggu Ke-															
	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
Studi Literatur	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
Penyusunan Proposal	■	■														
Asistensi	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
Persiapan Alat dan Bahan	■	■	■	■												
Proses Pengelasan					■	■										
Proses Pengujian							■	■	■	■	■	■	■	■		
Penyusunan Laporan Akhir													■	■	■	■



## BAB IV ANALISIS DATA DAN PEMBAHASAN

### 4.1 Hasil Pengujian Penetran

Pengujian penetran dilakukan di Divisi *Quality Assurance – General Engineering*, PT. PAL, Surabaya. Dari pengujian tersebut didapatkan hasil sebagai berikut :

1. Pengaruh Elektroda E6013 Terhadap *Weld Defect* pada Pengelasan di Atas Air  
*Test piece* AA-13 dilas di atas air dengan kawat AWS E6013. Dari pengujian penetran yang dilakukan pada *test piece* AA-13 ditemukan adanya *rounded indication* dengan ukuran 5 x 4 mm, disajikan pada Gambar 4.1



**Gambar 4. 1** *Rounded Indication* Pada *Test Piece* AA-13

2. Pengaruh Elektroda E6019 Terhadap *Weld Defect* pada Pengelasan di Atas Air  
*Test piece* AA-19 dilas di atas air dengan kawat AWS E6019. Dari pengujian penetran yang dilakukan, ditemukan adanya tiga *rounded indication* dengan ukuran 5 x 5 mm, 3 x 3 mm, dan 5 x 3 mm, disajikan pada Gambar 4.2.



**Gambar 4. 2** *Rounded Indications* dengan ukuran 3 x 3 mm (kiri), 5 x 5 mm (kanan), dan 5x3 mm (bawah) Pada *Test Piece* AA-19

3. Pengaruh Elektroda E7016 Terhadap *Weld Defect* pada Pengelasan di Atas Air  
Pengelasan *test piece* AA-16 dilas di atas air dengan kawat AWS E7016. Adapun hasil pengujian penetranya disajikan pada Gambar 4.3 sebagai berikut :



**Gambar 4. 3** *Rounded Indications* dengan ukuran 11 x 12 mm Pada *Test Piece* AA-16

Dari pengujian penetran yang dilakukan pada *test piece* AA-16 tidak ditemukan adanya indikasi cacat las.

4. Pengaruh Elektroda E6013 Terhadap *Weld Defect* pada Pengelasan Kondisi Normal  
Pengelasan *test piece* ID-13 dilakukan pada kondisi normal dengan kawat AWS E6013. Adapun hasil pengujian penetranya disajikan pada Gambar 4.4 sebagai berikut :



**Gambar 4. 4** Hasil Pengujian Penetran Pada *Test Piece* ID-13

Dari pengujian penetrasi yang dilakukan pada *test piece* ID-13 tidak ditemukan adanya indikasi cacat las.

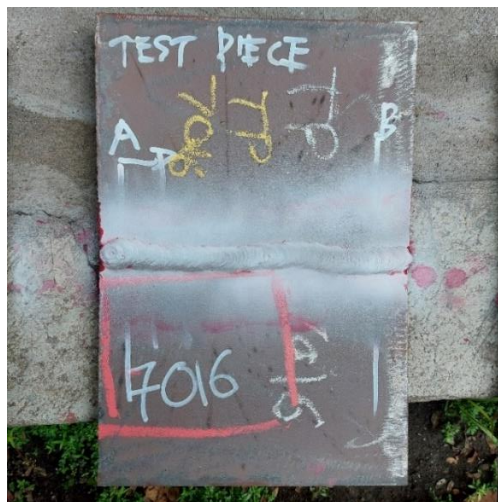
5. Pengaruh Elektroda E6019 Terhadap *Weld Defect* pada Pengelasan Kondisi Normal  
Pengelasan *test piece* ID-19 dilakukan pada kondisi normal dengan kawat AWS E6019. Adapun hasil pengujian penetrasinya disajikan pada Gambar 4.5 sebagai berikut :



**Gambar 4. 5** Hasil Pengujian Penetrasi Pada *Test Piece* ID-19

Dari pengujian penetrasi yang dilakukan pada *test piece* ID-19 tidak ditemukan adanya indikasi cacat las.

6. Pengaruh Elektroda E7016 Terhadap *Weld Defect* pada Pengelasan Kondisi Normal  
Pengelasan *test piece* ID-16 dilakukan pada kondisi normal dengan kawat AWS E7016. Adapun hasil pengujian penetrasinya disajikan pada Gambar 4.6 sebagai berikut :



**Gambar 4. 6** Hasil Pengujian Penetrasi Pada *Test Piece* ID-16

Dari pengujian penetrasi yang dilakukan pada *test piece* ID-16 tidak ditemukan adanya indikasi cacat las.

Setelah dilakukan pengamatan dan pengukuran indikasi *weld defect* pada seluruh *test piece*, maka perbandingannya dapat dilihat pada Tabel 4.1 berikut :

**Tabel 4. 1** Perbandingan Hasil Pengujian Penetran

Elektroda	Pengelasan Di Atas Air	Pengelasan Kondisi Ideal
E6013	Ditemukan <i>rounded indication</i> pada dengan ukuran 5x4 mm.	Tidak ditemukan adanya indikasi <i>weld defect</i>
E6019	Ditemukan tiga indikasi yaitu <i>rounded indications</i> berukuran 5x5 mm, 3x3 mm, dan 5x3 mm.	Tidak ditemukan adanya indikasi <i>weld defect</i>
E7016	Tidak ditemukan adanya indikasi <i>weld defect</i>	Tidak ditemukan adanya indikasi <i>weld defect</i>

Indikasi *weld defect* konsisten terjadi pada *test piece* pengelasan di atas air. Dari total empat indikasi yang ditemukan, semuanya menunjukkan *rounded indications* dengan ukuran paling besar adalah 5 x 5 mm. Diperkirakan indikasi *defect* yang terjadi adalah porositas. Sesuai dengan penelitian sebelumnya, porositas terjadi akibat terjebaknya gas atau terkontaminasinya material induk, serta pengaruh kelembaban elektroda yang digunakan. Pengaruh kelembaban yang dimaksud bisa dari adanya air di tempat pengelasan (Aljufri & Putra, 2018).

Penggunaan elektroda *low hydrogen* E7016 juga dapat meminimalisir munculnya indikasi *weld defect*. Hal ini sejalan dengan penelitian sebelumnya, pengelasan dengan elektroda E7016 dapat memunculkan *rounded indications*, namun masih dalam standar penerimaan ASME IX QW – 195.2 (Wahyudi et al., 2019).

Apabila ditinjau dari *acceptance criteria* ASME IX QW – 195.2 yang disajikan pada Gambar 2.22, walaupun terdapat beberapa *rounded indications*, namun semua indikasi tersebut tidak melebihi ukuran 5 mm. Sehingga ditinjau dari ASME IX QW – 195.2.2, maka hasil pengujian penetran telah memenuhi syarat penerimaan (ASME Section IX, 2015).

## 4.2 Hasil Pengujian Tarik

Setiap variasi elektroda pengelasan dilakukan pengujian masing – masing tiga kali, diberi kode berurutan dari huruf A, B, dan C. Dari pengujian tersebut hasilnya sebagai berikut :

### 1. Pengelasan Kondisi Ideal

Pengujian tarik pada spesimen pengelasan kondisi ideal disajikan Tabel 4.2 berikut :

**Tabel 4. 2** Hasil Pengujian Tarik Spesimen Pengelasan Kondisi Ideal

Kode	<i>Ultimate Tensile Strength</i> (N/mm <sup>2</sup> )	<i>Avg. Ultimate Tensile Strength</i> (N/mm <sup>2</sup> )	<i>Elongation</i> (%)	<i>Avg. Elongation</i> (%)	<i>Yield Strength</i> (N/mm <sup>2</sup> )	<i>Avg. Yield Strength</i> (N/mm <sup>2</sup> )
ID-13A	580.7		11.6		447,65	
ID-13B	593.5	599.9	13.9	17.2	462,73	442,79
ID-13C	625.4		26.3		418	
ID-19A	602.5		9.48		406,8	
ID-19B	617.5	609	9.83	12.09	212,25	347,68
ID-19C	607.1		16.96		424	
ID-16A	622.8		24.1		415,33	
ID-16B	612.6	619.1	19.3	23.04	403,65	414,66
ID-16C	622		25.6		425	

## 2. Pengelasan Di Atas Air

Pengujian tarik spesimen hasil pengelasan kondisi ideal disajikan Tabel 4.3 berikut :

**Tabel 4.3** Hasil Pengujian Tarik Spesimen Pengelasan Di Atas Air

Kode	<i>Ultimate Tensile Strength</i> (N/mm <sup>2</sup> )	<i>Avg. Ultimate Tensile Strength</i> (N/mm <sup>2</sup> )	<i>Elongation</i> (%)	<i>Avg. Elongation</i> (%)	<i>Yield Strength</i> (N/mm <sup>2</sup> )	<i>Avg. Yield Strength</i> (N/mm <sup>2</sup> )
AA-13A	433.4		6.03		224	
AA-13B	479.1	587.7	0.46	4.83	254,3	274,10
AA-13C	850.5		8.002		344	
AA-19A	709.1		6.009		401	
AA-19B	583.9	605.3	9.23	6.03	359	319,33
AA-19C	523		2.86		198	
AA-16A	655.5		0.83		348	
AA-16B	603.5	589.1	7.4	4.77	498,28	363,76
AA-16C	508.1		6.1		245	

Kemudian, didapatkan nilai rata – rata UTS, *elongation* dan *yield strength* dari tiap spesimen. Perbandingan berdasarkan kondisi pengelasan ideal dan di atas air, maka disajikan pada Tabel 4.4, Tabel 4.5, serta Tabel 4.6 sebagai berikut :

**Tabel 4.4** Perbandingan Rata – Rata *Ultimate Tensile Strength* (N/mm<sup>2</sup>)

Elektroda	Rata - Rata UTS Ideal	Rata – Rata UTS Di Atas Air	Tren
E6013	599,9	587,7	Turun 2,03%
E6019	609	605,3	Turun 0,6%
E7016	619,1	589,1	Turun 4,85%

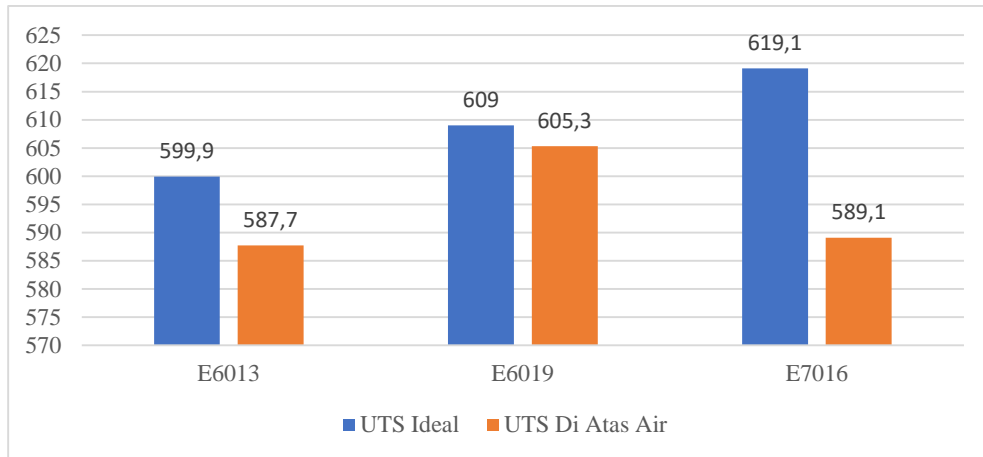
**Tabel 4.5** Perbandingan Rata – Rata *Elongation* (%)

Elektroda	Rata – Rata <i>Elongation</i> Ideal	Rata – Rata <i>Elongation</i> Di Atas Air	Tren
E6013	17,2	4,83	Turun 72%
E6019	12,09	6,03	Turun 50,1%
E7016	23,04	4,77	Turun 79,2%

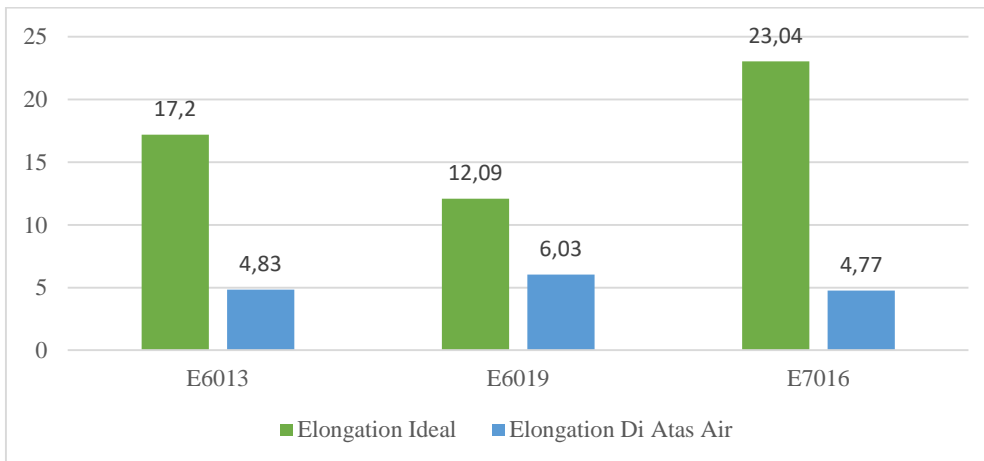
**Tabel 4.6** Perbandingan Rata – Rata *Yield Strength* (N/mm<sup>2</sup>)

Elektroda	Rata – Rata <i>Yield Strength</i> Ideal	Rata – Rata <i>Yield Strength</i> Di Atas Air	Tren
E6013	442,79	274,10	Turun 38,1%
E6019	347,68	319,33	Turun 8,15%
E7016	414,46	363,76	Turun 12,2%

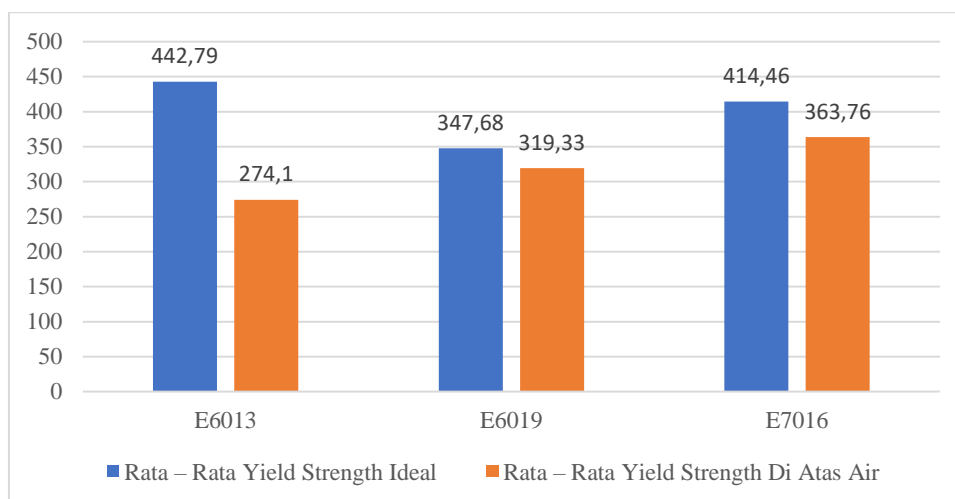
Untuk perbandingan rata – rata UTS, elongasi, dan *yield strength* berdasarkan variasi elektroda dan kondisi pengelasan dapat dilihat pada Gambar 4.7, Gambar 4.8, dan Gambar 4.9.



**Gambar 4. 7** Grafik Perbandingan Rata – Rata *Ultimate Tensile Strength* (UTS) Tiap Variasi Elektroda (N/mm<sup>2</sup>)



**Gambar 4. 8** Grafik Perbandingan Rata – Rata *Elongation* Tiap Variasi Elektroda (%)



**Gambar 4. 9** Grafik Perbandingan Rata – Rata *Yield Strength* Tiap Variasi Elektroda (N/mm<sup>2</sup>)

Ditinjau dari Tabel 4.4, 4.5, dan 4.6, ketiganya sama – sama menunjukkan bahwa pengelasan yang dilakukan di atas air akan mengakibatkan penurunan nilai *Ultimate Tensile Strength* (UTS), *elongation*, dan *yield strength*. Adapun penurunan UTS tertinggi ada pada

pengelasan di atas air dengan elektroda E7016 sebesar 4,85%. Penurunan *elongation* tertinggi juga ada pada pengelasan di atas air dengan elektroda E7016 sebesar 79,2%. Sedangkan penurunan *yield strength* tertinggi ada pada pengelasan di atas air dengan elektroda E6013 sebesar 38,1%.

Dibandingkan dengan spesimen pengelasan kondisi ideal, persentase elongasi dari spesimen pengelasan di atas air cenderung menurun. Hal tersebut juga dapat ditinjau dari Tabel 4.7 dan 4.8, di mana terlihat turunnya persentase dari fasa *ferrite* ketika dilakukan pengelasan di atas air. *Ferrite* sendiri memiliki sifat ulet dan lunak (Juliaptini, 2010).

Apabila ditinjau dari *acceptance criteria* ASME IX QW – 153 yang disajikan pada Gambar 2.20 dan 2.21, walaupun nilai UTS mengalami penurunan, namun masih lebih tinggi dari *minimum specified tensile* baja ASTM A36 sebesar 400 N/mm<sup>2</sup> (ASME Section IX, 2015).

### 4.3 Hasil Pengujian Kekerasan

Pengujian kekerasan dilakukan dengan metode Vickers dan standar ASTM E92 - 17. Setiap daerah yaitu, *weld*, *Heat Affected Zone* (HAZ), dan *base metal*, dilakukan pengujian masing – masing tiga titik. Dari pengujian tersebut didapatkan hasil yang disajikan pada Tabel 4.7, 4.8, 4.9, dan 4.10 sebagai berikut :

**Tabel 4. 7** Rata-Rata Hasil Pengujian Kekerasan (HV)

Kode	<i>Weld Metal</i>	HAZ	<i>Base Metal</i>
ID-13	179	218,3	
AA-13	187	246,6	
ID-19	183,3	212	169,6
AA-19	192,3	228,3	
ID-16	213	243,6	
AA-16	231,6	269	

**Tabel 4. 8** Perbandingan Rata – Rata Hasil Pengujian Kekerasan pada Spesimen Pengelasan dengan Elektroda E6013

Kode	<i>Weld Metal</i>	HAZ
ID-13	179	218,3
AA-13	187	246,6
Tren	Naik 4,46%	Naik 12,96%

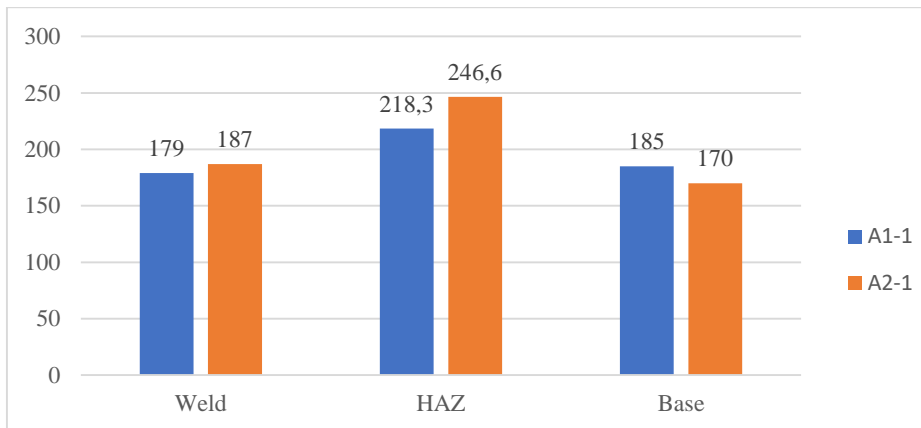
**Tabel 4. 9** Perbandingan Rata – Rata Hasil Pengujian Kekerasan pada Spesimen Pengelasan dengan Elektroda E6019

Kode	<i>Weld Metal</i>	HAZ
ID-19	183,3	212
AA-19	192,3	228,3
Tren	Naik 4,9%	Naik 7,68%

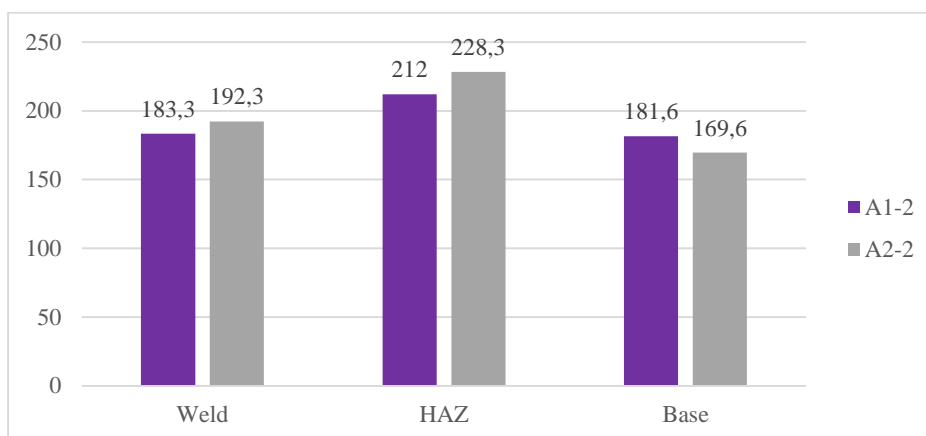
**Tabel 4. 10** Perbandingan Rata – Rata Hasil Pengujian Kekerasan pada Spesimen Pengelasan dengan Elektroda 7016

Kode	<i>Weld Metal</i>	HAZ
ID-16	213	243,6
AA-16	231,6	269
Tren	Naik 8,73%	Naik 10,42%

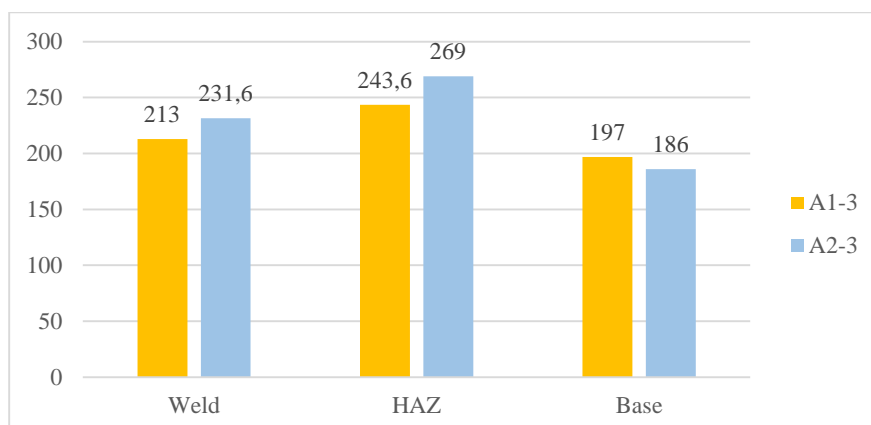
Pembahasan ketiga adalah hasil pengujian kekerasan. Dari rata – rata hasil pengujian pada tiga daerah berbeda tiap spesimen, didapatkan grafik yang disajikan pada Gambar 4.10, 4.11, dan 4.12 sebagai berikut :



**Gambar 4. 10** Grafik Perbandingan Hasil Pengujian Kekerasan Pada Spesimen Pengelasan Kondisi Ideal (■) dan Di Atas Air (■) Menggunakan Elektroda E6013



**Gambar 4. 11** Grafik Perbandingan Hasil Pengujian Kekerasan Pada Spesimen Pengelasan Kondisi Ideal (■) dan Di Atas Air (■) Menggunakan Elektroda E6019



**Gambar 4. 12** Grafik Perbandingan Hasil Pengujian Kekerasan Pada Spesimen Pengelasan Kondisi Ideal (■) dan Di Atas Air (■) Menggunakan Elektroda E7016



Ditinjau dari Tabel 4.6, kekerasan tertinggi dari keseluruhan ada pada spesimen AA-16 (pengelasan di atas air dengan elektroda E7016) dengan nilai 231,6 HV untuk *weld metal* dan 269 HV untuk HAZ. Selain itu, ketiga grafik perbandingan konsisten menunjukkan adanya peningkatan kekerasan pada spesimen pengelasan di atas air dibandingkan dengan kondisi ideal. Ditinjau dari persentase, kenaikan tertinggi *weld metal* terjadi pada pengelasan di atas air dengan elektroda E7016 sebesar 8,73%. Sedangkan persentase kenaikan tertinggi pada HAZ terjadi pada pengelasan di atas air dengan elektroda E6013 sebesar 12,96%.

Peningkatan nilai kekerasan *weld metal* dan HAZ pada spesimen pengelasan di atas air juga dipengaruhi oleh meningkatnya persentase *pearlite*. Fasa *pearlite* sendiri memiliki sifat keras dan kuat (karena pengaruh adanya *cementite* atau karbida besi) (Juliaptini, 2010).

#### 4.4 Data Pengujian Metalografi

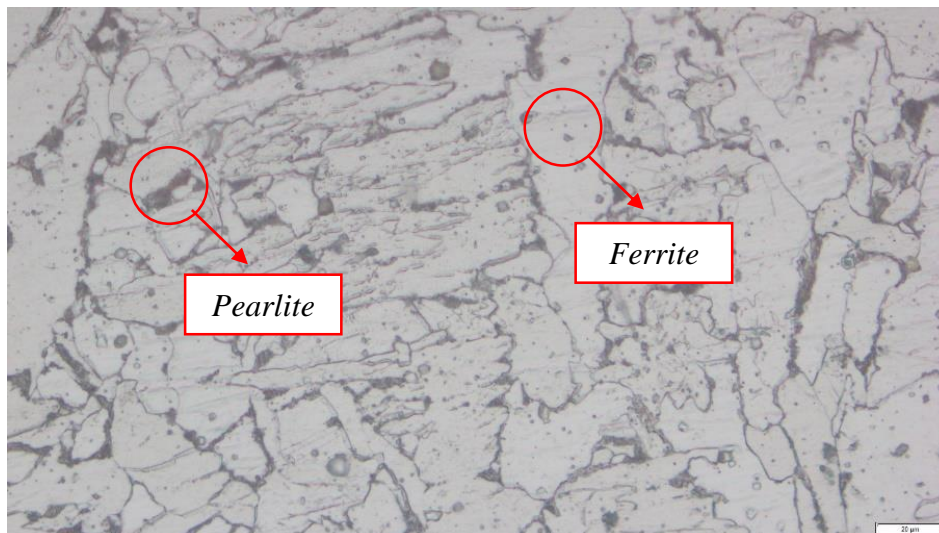
Pengujian metalografi dilakukan menggunakan larutan etsa Nital dengan standar ASTM E3. Setelah didapatkan gambar dari mikroskop, dilanjutkan dengan perhitungan persentase fasa menggunakan aplikasi ImageJ buatan *National Institutes of Health* (NIH), Amerika Serikat. Dari pengujian tersebut didapatkan hasil sebagai berikut :

##### 4.4.1 Spesimen ID-13 Pengelasan Kondisi Ideal dengan Elektroda E6013

Berikut merupakan perbandingan hasil metalografi pada tiga daerah berbeda dengan perbesaran mikroskop 500X :

1. Daerah *Weld Metal*

Pada Gambar 4.13 disajikan hasil metalografi bagian *weld metal*.

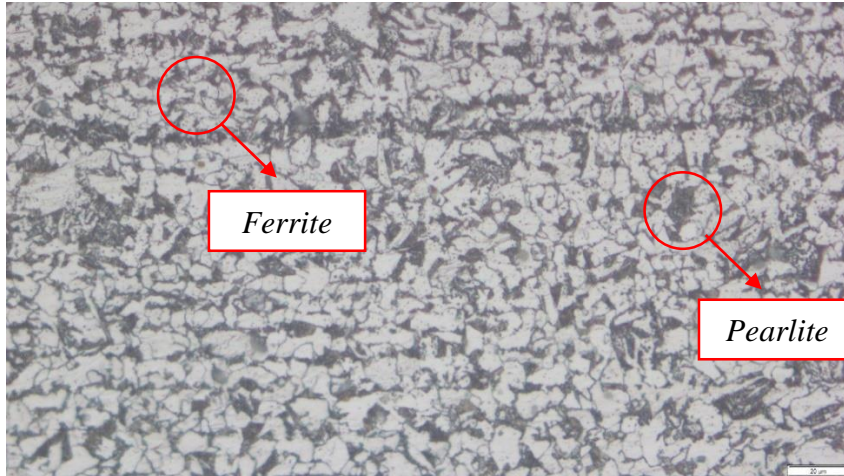


**Gambar 4. 13** Metalografi *Weld Metal* Spesimen ID-13 Perbesaran 500x dengan Etsa Nital

Ditinjau dari Gambar 4.13, terlihat bahwa ada dua fasa yaitu *ferrite* (berwarna putih) dan *pearlite* (berwarna hitam). Selanjutnya, dari pemrosesan menggunakan aplikasi ImageJ didapatkan persentase *ferrite* sebesar 78,90%, sedangkan *pearlite* sebesar 20,20%.

2. Daerah HAZ

Pada Gambar 4.14 disajikan hasil metalografi bagian HAZ..

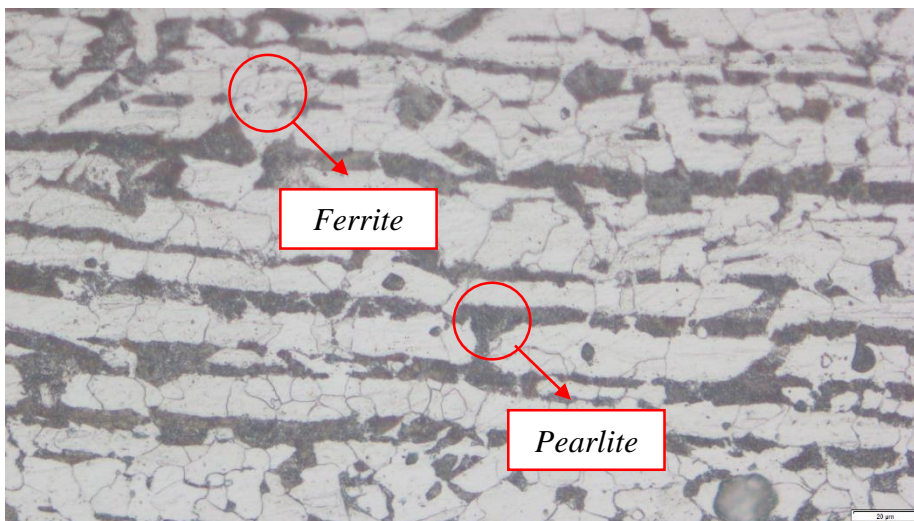


**Gambar 4. 14** Metalografi HAZ Spesimen ID-13 Perbesaran 500x dengan Etsa Nital

Ditinjau dari Gambar 4.14, terlihat bahwa ada dua fasa yaitu *ferrite* (berwarna putih) dan *pearlite* (berwarna hitam) pada daerah HAZ. Selanjutnya, dari pemrosesan menggunakan aplikasi ImageJ, didapatkan persentase *ferrite* sebesar 70,75%, sedangkan *pearlite* sebesar 29,87%.

3. *Base Metal*

Pada Gambar 4.15 disajikan hasil metalografi bagian *base metal*.



**Gambar 4. 15** Metalografi *Base Metal* Spesimen ID-13 Perbesaran 500x dengan Etsa Nital

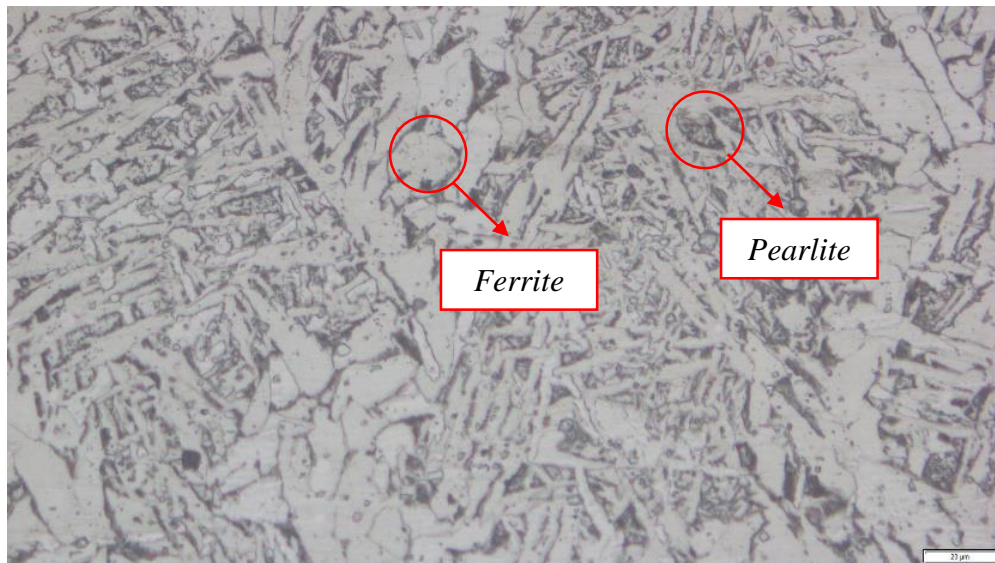
Ditinjau dari Gambar 4.15, terlihat bahwa ada dua fasa yaitu *ferrite* (berwarna putih) dan *pearlite* (berwarna hitam) pada daerah *base metal*. Selanjutnya, dari pemrosesan menggunakan aplikasi ImageJ, didapatkan persentase *ferrite* sebesar 78,09%, sedangkan *pearlite* sebesar 21,78%.

#### 4.1.2 Spesimen ID-19 Pengelasan Kondisi Ideal dengan Elektroda E6019

Berikut merupakan perbandingan hasil metalografi pada tiga daerah berbeda dengan perbesaran mikroskop 500X :

1. Daerah *Weld Metal*

Pada Gambar 4.16 disajikan hasil metalografi bagian *weld metal*.

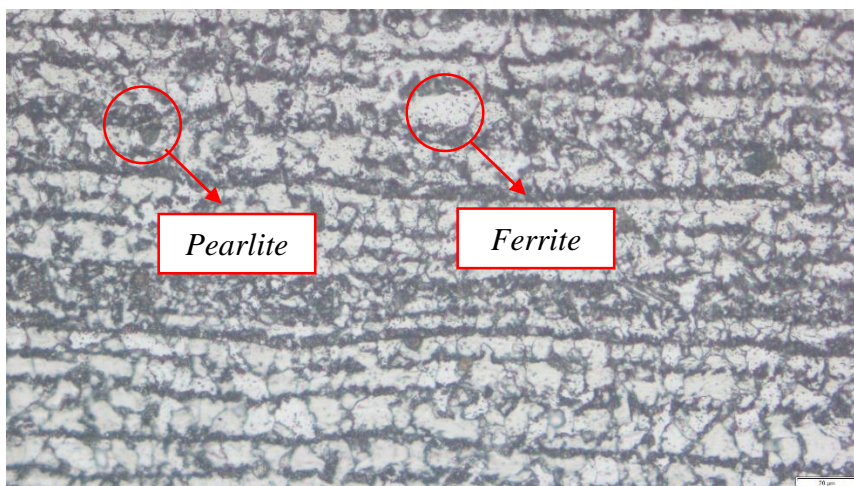


**Gambar 4. 16** Metalografi *Weld Metal* Spesimen ID-19 Perbesaran 500x dengan Etsa Nital

Ditinjau dari Gambar 4.16, terlihat bahwa ada dua fasa yaitu *ferrite* (berwarna putih) dan *pearlite* (berwarna hitam). Selanjutnya, dari pemrosesan menggunakan aplikasi ImageJ, didapatkan persentase *ferrite* sebesar 80,16%, sedangkan *pearlite* sebesar 19,60%.

## 2. HAZ

Pada Gambar 4.17 disajikan hasil metalografi bagian *weld metal*. Selanjutnya, hasil perhitungan persentase masing – masing fasa disajikan pada Gambar 4.25 dan 4.26.

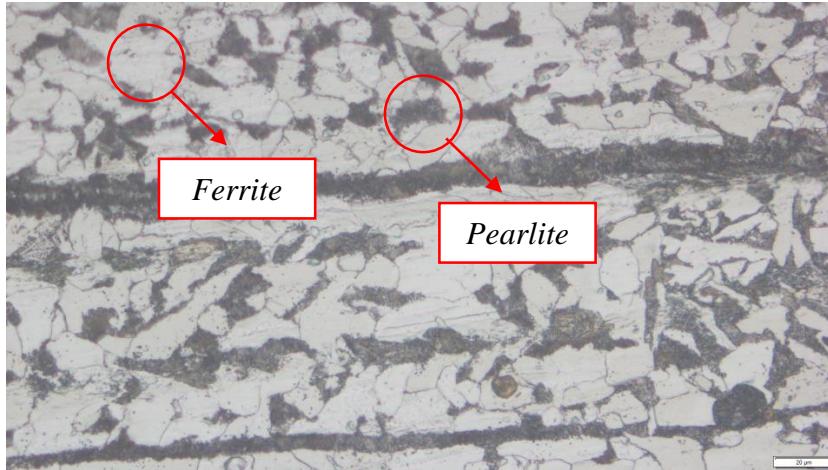


**Gambar 4. 17** Metalografi HAZ Spesimen ID-19 Perbesaran 500x dengan Etsa Nital

Ditinjau dari Gambar 4.17, terlihat bahwa ada dua fasa yaitu *ferrite* (berwarna putih) dan *pearlite* (berwarna hitam). Selanjutnya, dapat dilihat dari pemrosesan menggunakan aplikasi ImageJ pada Gambar 4.25 dan 4.26, didapatkan persentase *ferrite* sebesar 68,10%, sedangkan *pearlite* sebesar 30,90%.

## 3. Base Metal

Pada Gambar 4.18 disajikan hasil metalografi bagian *base metal*.



**Gambar 4. 18** Metalografi *Base Metal* Spesimen ID-19 Perbesaran 500x dengan Etsa Nital

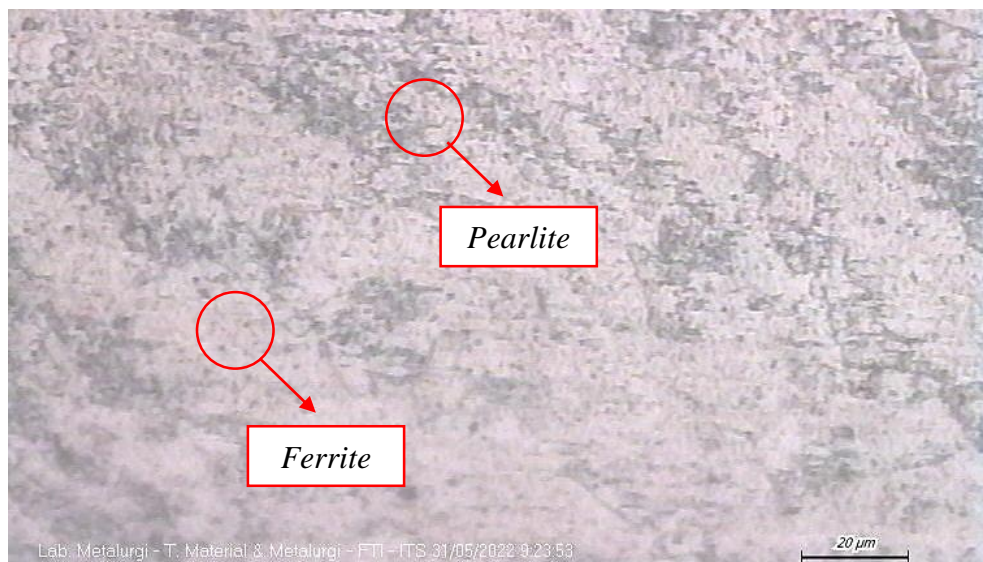
Ditinjau dari Gambar 4.18, terlihat bahwa ada dua fasa yaitu *ferrite* (berwarna putih) dan *pearlite* (berwarna hitam). Selanjutnya, dari pemrosesan menggunakan aplikasi ImageJ, didapatkan persentase *ferrite* sebesar 77,83%, sedangkan *pearlite* sebesar 22,03%.

#### 4.1.3 Spesimen ID-16 Pengelasan Kondisi Ideal dengan Elektroda E7016

Berikut merupakan perbandingan hasil metalografi pada tiga daerah berbeda dengan perbesaran mikroskop 500X :

1. Daerah *Weld Metal*

Pada Gambar 4.19 disajikan hasil metalografi bagian *weld metal*.

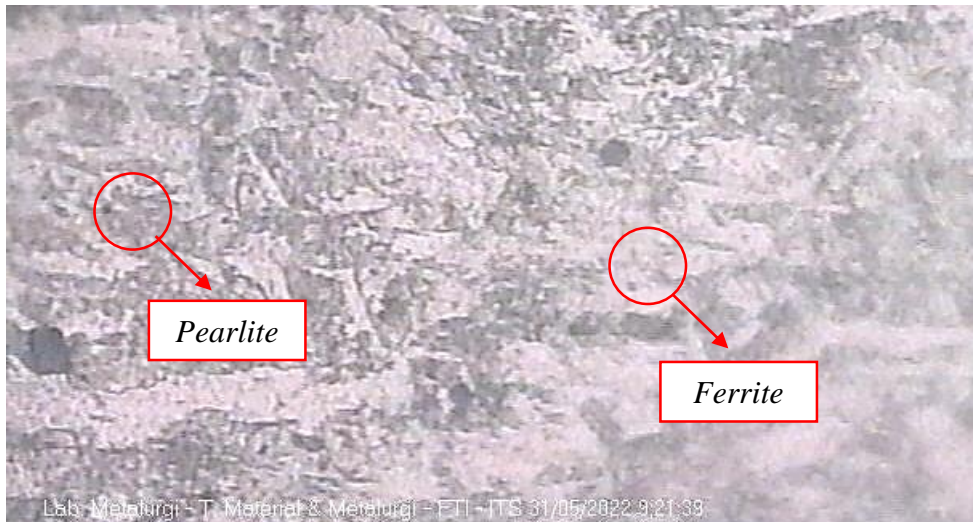


**Gambar 4. 19** Metalografi *Weld Metal* Spesimen ID-16 Perbesaran 500x dengan Etsa Nital

Ditinjau dari Gambar 4.19, terlihat bahwa ada dua fasa yaitu *ferrite* (berwarna putih) dan *pearlite* (berwarna hitam). Selanjutnya, dari pemrosesan menggunakan aplikasi ImageJ, didapatkan persentase *ferrite* sebesar 82,12%, sedangkan *pearlite* sebesar 17,88%.

2. HAZ

Pada Gambar 4.20 disajikan hasil metalografi bagian HAZ.

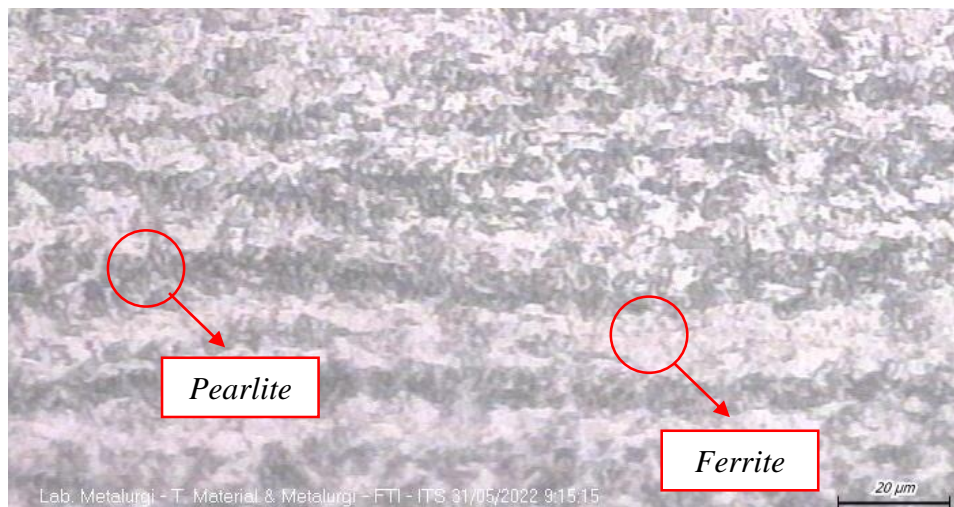


**Gambar 4. 20** Metalografi HAZ Spesimen ID-16 Perbesaran 500x dengan Etsa Nital

Ditinjau dari Gambar 4.20, terlihat bahwa ada dua fasa yaitu *ferrite* (berwarna putih) dan *pearlite* (berwarna hitam). Selanjutnya, dari pemrosesan menggunakan aplikasi ImageJ, didapatkan persentase *ferrite* sebesar 65,76%, sedangkan *pearlite* sebesar 34,24%.

### 3. *Base Metal*

Pada Gambar 4.21 disajikan hasil metalografi bagian *base metal*.



**Gambar 4. 21** Metalografi *Base Metal* Spesimen ID-16 Perbesaran 500x dengan Etsa Nital

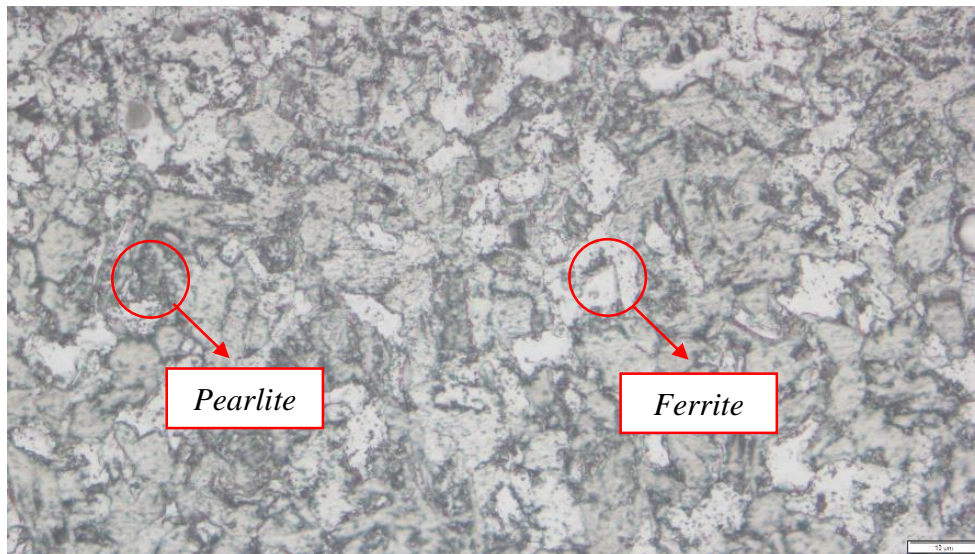
Ditinjau dari Gambar 4.21, terlihat bahwa ada dua fasa yaitu *ferrite* (berwarna putih) dan *pearlite* (berwarna hitam). Selanjutnya, dari pemrosesan menggunakan aplikasi ImageJ, didapatkan persentase *ferrite* sebesar 77,12%, sedangkan *pearlite* sebesar 22,88%.

#### 4.1.4 Spesimen AA-13 Pengelasan Di Atas Air dengan Elektroda E6013

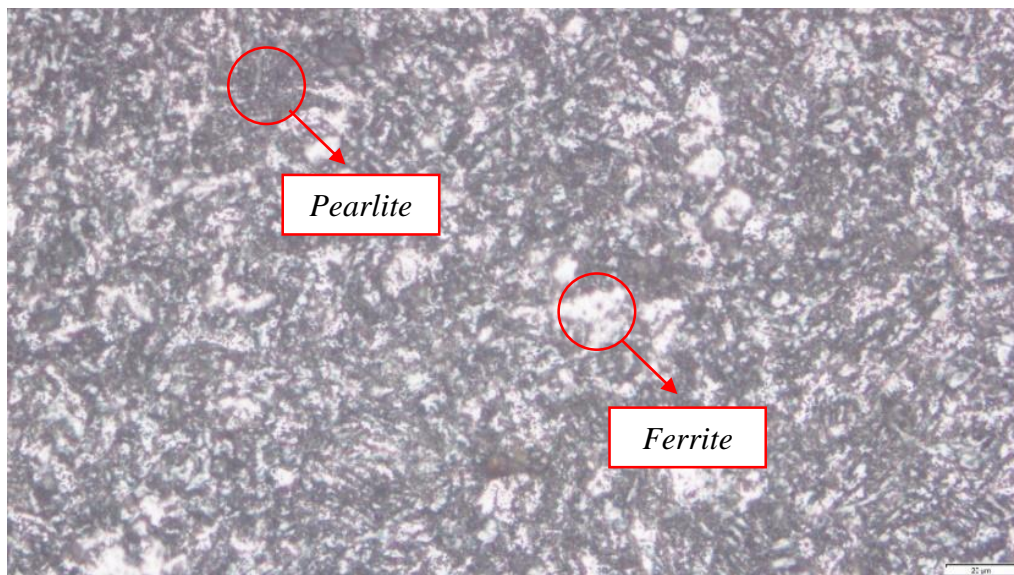
Berikut merupakan perbandingan hasil metalografi pada tiga daerah berbeda dengan perbesaran mikroskop 500X :

##### 1. Daerah *Weld Metal*

Pada Gambar 4.22 dan 4.23 disajikan hasil metalografi *weld metal* bagian *capping* dan *root*.



**Gambar 4. 22** Metalografi *Weld Metal* Spesimen AA-13 Bagian *Capping* Perbesaran 500x dengan Etsa Nital

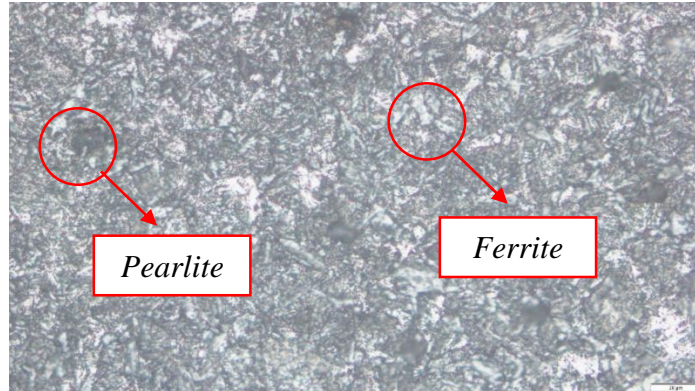


**Gambar 4. 23** Metalografi *Weld Metal* Spesimen AA-13 Bagian *Root* Perbesaran 500x dengan Etsa Nital

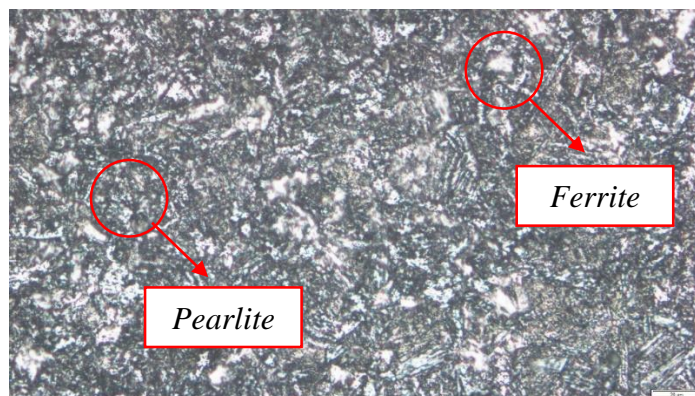
Ditinjau dari Gambar 4.22 dan 4.23, terlihat bahwa ada dua fasa yaitu *ferrite* (berwarna putih) dan *pearlite* (berwarna hitam). Selanjutnya, dari pemrosesan menggunakan aplikasi ImageJ, didapatkan persentase *ferrite* sebesar 76,37%, serta *pearlite* sebesar 23,46% pada bagian *capping*. Sedangkan pada bagian *root*, didapatkan persentase *ferrite* sebesar 21,65%, serta *pearlite* sebesar 78,29%.

## 2. HAZ

Pada Gambar 4.24 dan 4.25 disajikan hasil metalografi bagian *capping* dan *root*.



**Gambar 4. 24** Metalografi HAZ Spesimen AA-13 Bagian *Capping* Perbesaran 500x dengan Etsa Nital

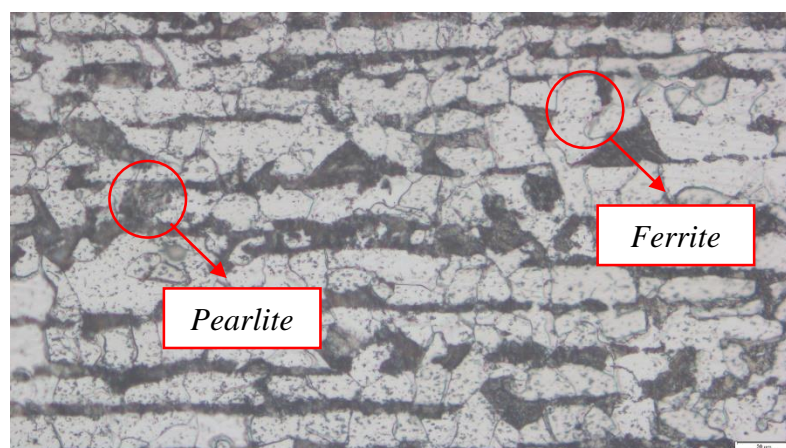


**Gambar 4. 25** Metalografi HAZ Spesimen AA-13 Bagian *Root* Perbesaran 500x dengan Etsa Nital

Ditinjau dari Gambar 4.24 dan 4.25, terlihat bahwa ada dua fasa yaitu *ferrite* (berwarna putih) dan *pearlite* (berwarna hitam). Selanjutnya, dapat dilihat dari pemrosesan menggunakan aplikasi ImageJ, didapatkan persentase *ferrite* sebesar 23,26%, serta *pearlite* sebesar 76,69% pada bagian *capping*. Sedangkan pada bagian *root*, didapatkan persentase *ferrite* sebesar 23,47%, serta *pearlite* sebesar 76,13%.

### 3. *Base Metal*

Pada Gambar 4.26 disajikan hasil metalografi bagian *base metal*.



**Gambar 4. 26** Metalografi *Base Metal* Spesimen AA-13 Perbesaran 500x dengan Etsa Nital

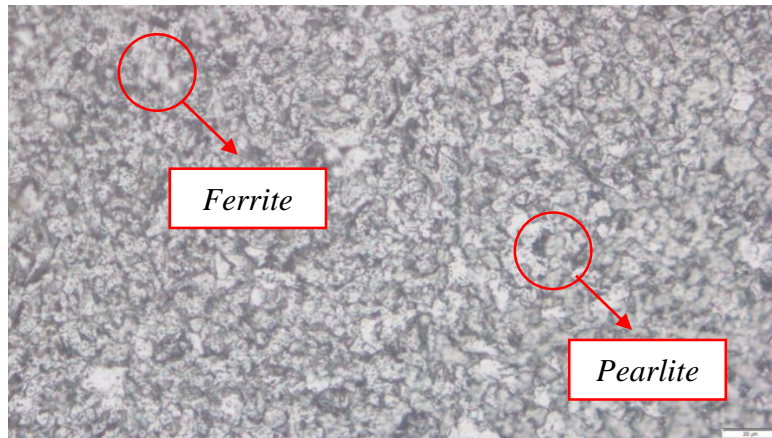
Ditinjau dari Gambar 4.26, terlihat bahwa ada dua fasa yaitu *ferrite* (berwarna putih) dan *pearlite* (berwarna hitam). Selanjutnya, dari pemrosesan menggunakan aplikasi ImageJ, didapatkan persentase *ferrite* sebesar 77,44%, serta *pearlite* sebesar 22,43%.

#### 4.1.5 Spesimen AA-19 Pengelasan Di Atas Air dengan Elektroda E6019

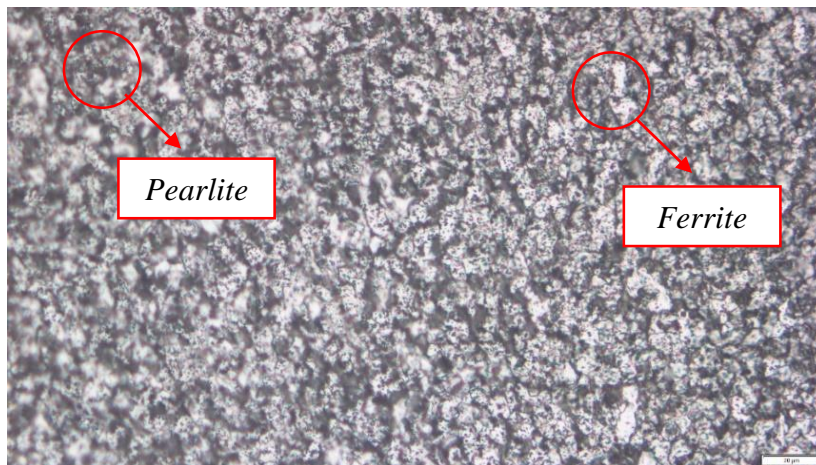
Berikut merupakan perbandingan hasil metalografi pada tiga daerah berbeda dengan perbesaran mikroskop 500X :

1. Daerah *Weld Metal*

Pada Gambar 4.27 dan 4.28 disajikan hasil metalografi bagian *capping* dan *root*.



**Gambar 4. 27** Metalografi *Weld Metal* Spesimen AA-19 Bagian *Capping* Perbesaran 500x dengan Etsa Nital



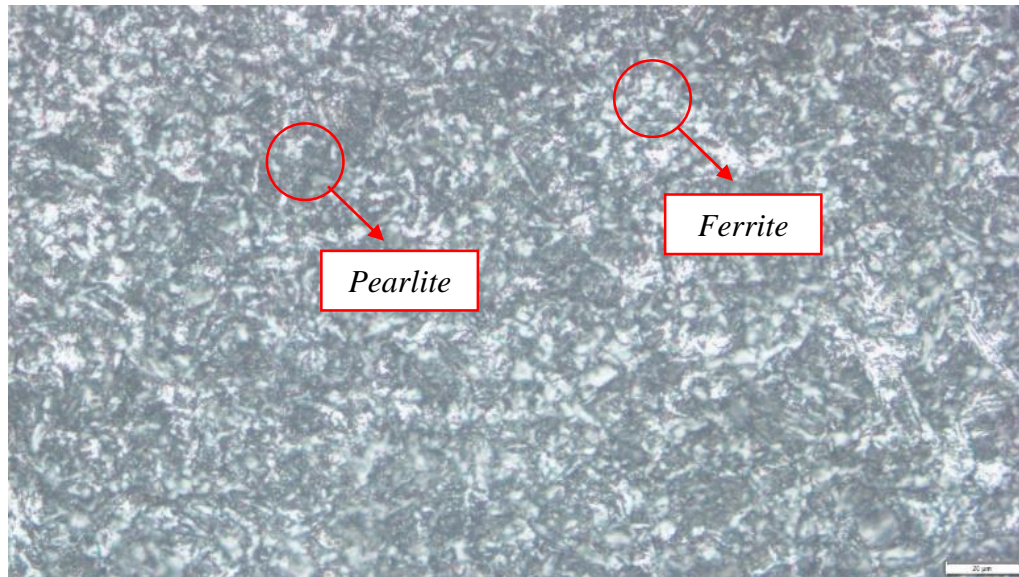
**Gambar 4. 28** Metalografi *Weld Metal* Spesimen AA-19 Bagian *Root* Perbesaran 500x dengan Etsa Nital

Ditinjau dari Gambar 4.27 dan 4.28, terlihat bahwa ada dua fasa yaitu *ferrite* (berwarna putih) dan *pearlite* (berwarna hitam). Selanjutnya, dapat dilihat dari pemrosesan menggunakan aplikasi ImageJ, didapatkan persentase *ferrite* sebesar 78,14%, serta *pearlite* sebesar 21,66% pada bagian *capping*. Sedangkan pada bagian *root*, didapatkan persentase *ferrite* sebesar 23,81%, serta *pearlite* sebesar 76,16%.

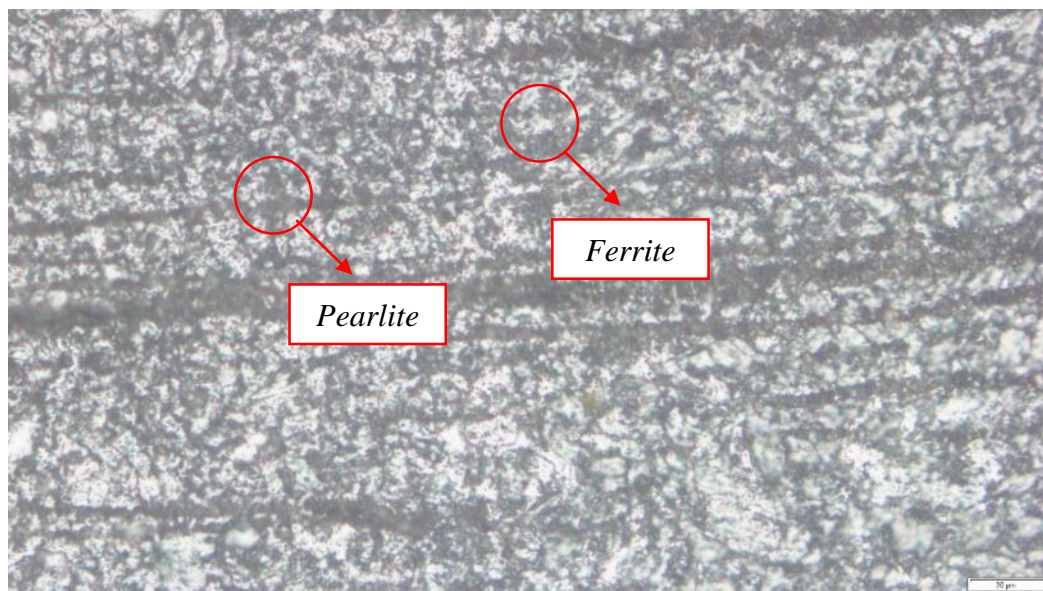
2. HAZ

Pada Gambar 4.29 dan 4.30 disajikan hasil metalografi bagian *capping* dan *root*.





**Gambar 4. 29** Metalografi HAZ Spesimen AA-19 Bagian *Capping* Perbesaran 500x dengan Etsa Nital

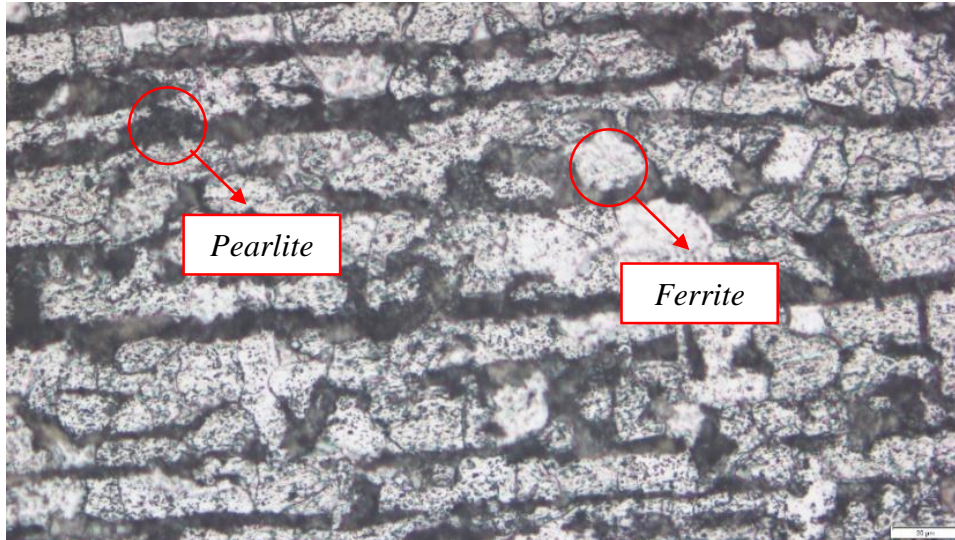


**Gambar 4. 30** Metalografi HAZ Spesimen AA-19 Bagian *Root* Perbesaran 500x dengan Etsa Nital

Ditinjau dari Gambar 4.29 dan 4.30, terlihat bahwa ada dua fasa yaitu *ferrite* (berwarna putih) dan *pearlite* (berwarna hitam). Selanjutnya, dari pemrosesan menggunakan aplikasi ImageJ, didapatkan persentase *ferrite* sebesar 28,07%, serta *pearlite* sebesar 71,79% pada bagian *capping*. Sedangkan pada bagian *root*, didapatkan persentase *ferrite* sebesar 26,68%, serta *pearlite* sebesar 72,60%.

### 3. *Base Metal*

Pada Gambar 4.31 disajikan hasil metalografi bagian *base metal*.



**Gambar 4. 31** Metalografi *Base Metal* Spesimen AA-19

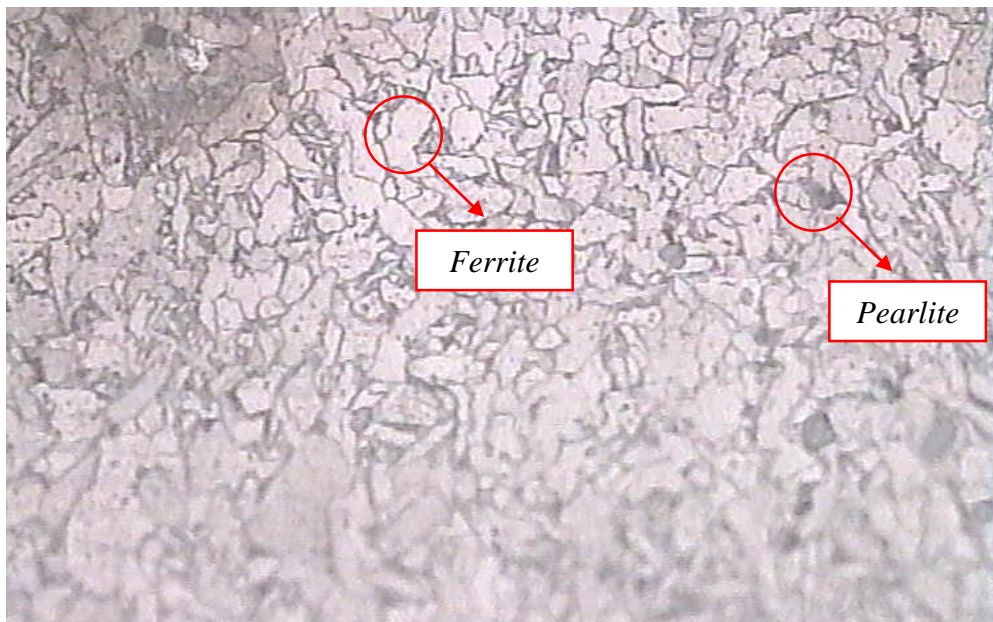
Ditinjau dari Gambar 4.31, terlihat bahwa ada dua fasa yaitu *ferrite* (berwarna putih) dan *pearlite* (berwarna hitam). Selanjutnya, dari pemrosesan menggunakan aplikasi ImageJ, didapatkan persentase *ferrite* sebesar 77,77%, serta *pearlite* sebesar 22,23%.

#### 4.1.6 Spesimen AA-16 Pengelasan Di Atas Air dengan Elektroda E7016

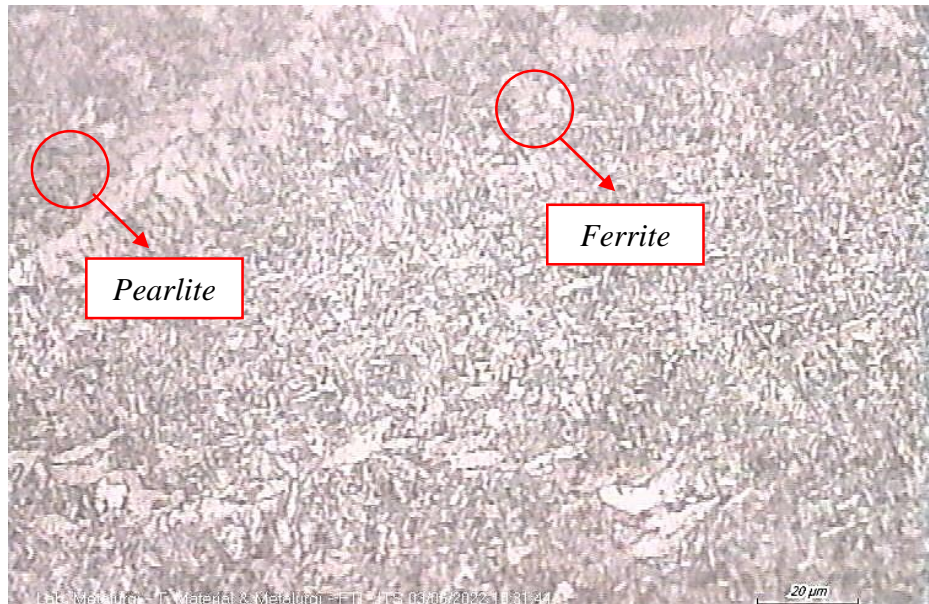
Berikut merupakan perbandingan hasil metalografi pada tiga daerah berbeda dengan perbesaran mikroskop 500X :

1. Daerah *Weld Metal*

Pada Gambar 4.32 dan 4.33 disajikan hasil metalografi bagian *capping* dan *root*.



**Gambar 4. 32** Metalografi *Weld Metal* Spesimen AA-16 Bagian *Capping* Perbesaran 500x dengan Etsa Nital

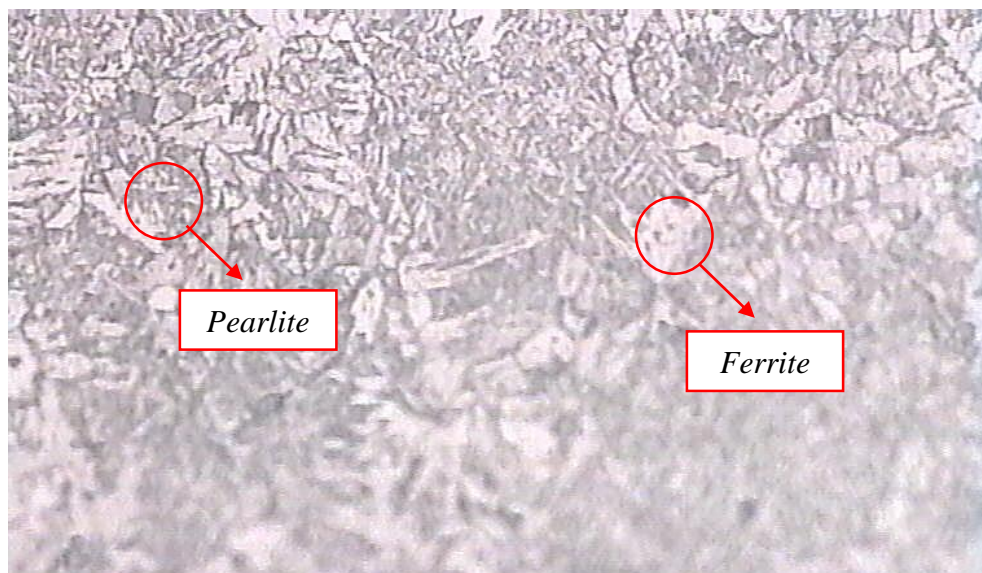


**Gambar 4. 33** Metalografi *Weld Metal* Spesimen AA-16 Bagian *Root* Perbesaran 500x dengan Etsa Nital

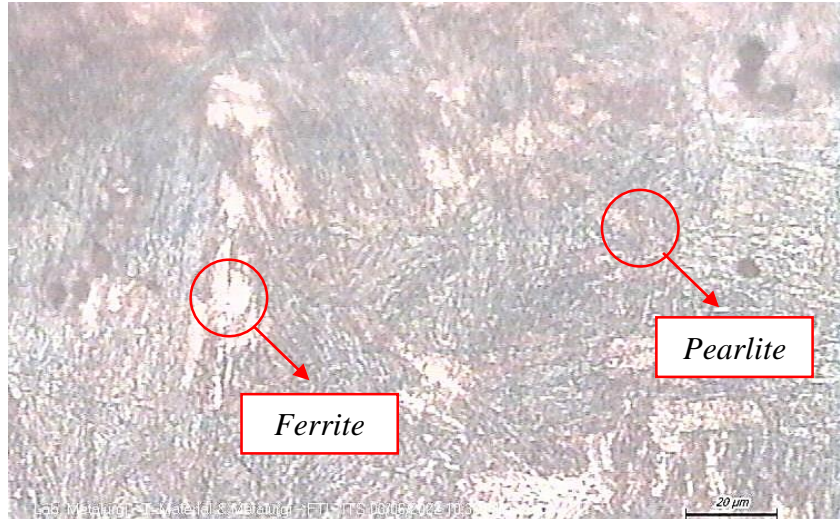
Ditinjau dari Gambar 4.32 dan 4.33, terlihat bahwa ada dua fasa yaitu *ferrite* (berwarna putih) dan *pearlite* (berwarna hitam). Selanjutnya, dari pemrosesan menggunakan aplikasi ImageJ, didapatkan persentase *ferrite* sebesar 73,23%, serta *pearlite* sebesar 26,66% pada bagian *capping*. Sedangkan pada bagian *root*, didapatkan persentase *ferrite* sebesar 25,18%, serta *pearlite* sebesar 74,75%.

## 2. HAZ

Pada Gambar 4.34 dan 4.35 disajikan hasil metalografi bagian *capping* dan *root*.



**Gambar 4. 34** Metalografi HAZ Spesimen AA-16 Bagian *Capping* Perbesaran 500x dengan Etsa Nital

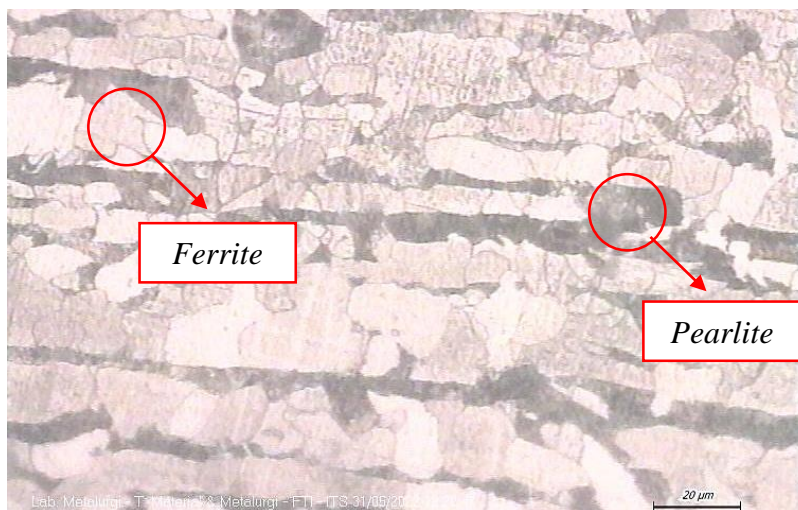


**Gambar 4. 35** Metalografi HAZ Spesimen AA-16 Bagian *Root* Perbesaran 500x dengan Etsa Nital

Ditinjau dari Gambar 4.34 dan 4.35, terlihat bahwa ada dua fasa yaitu *ferrite* (berwarna putih) dan *pearlite* (berwarna hitam). Selanjutnya, dari pemrosesan menggunakan aplikasi ImageJ, didapatkan persentase *ferrite* sebesar 23,76%, serta *pearlite* sebesar 76,24% pada bagian *capping*. Sedangkan pada bagian *root*, didapatkan persentase *ferrite* sebesar 22,94%, serta *pearlite* sebesar 76,59%.

### 3. *Base Metal*

Pada Gambar 4.36 disajikan hasil metalografi bagian *base metal*.



**Gambar 4. 36** Metalografi *Base Metal* Spesimen AA-16 Perbesaran 500x dengan Etsa Nital

Ditinjau dari Gambar 4.36 terlihat bahwa ada dua fasa yaitu *ferrite* (berwarna putih) dan *pearlite* (berwarna hitam). Selanjutnya, dari pemrosesan menggunakan aplikasi ImageJ, didapatkan persentase *ferrite* sebesar 77,29%, serta *pearlite* sebesar 22,03%.

#### 4.1.7 Perbandingan Persentase Fasa

Setelah dilakukan pemrosesan menggunakan aplikasi ImageJ secara keseluruhan, maka perbandingan persentase fasa dapat dilihat pada Tabel 4.11 dan 4.12 sebagai berikut :

**Tabel 4. 11** Perbandingan Persentase Fasa Pada Spesimen Pengelasan Kondisi Ideal

Kode	Persentase Fasa (%)					
	<i>Weld</i>		HAZ		<i>Base</i>	
	<i>Ferrite</i>	<i>Pearlite</i>	<i>Ferrite</i>	<i>Pearlite</i>	<i>Ferrite</i>	<i>Pearlite</i>
ID-13	78,9	20,2	70,75	29,87	78,09	21,78
ID-19	80,16	19,6	68,1	30,9	77,83	22,03
ID-16	82,12	17,88	65,76	34,24	77,12	22,88

**Tabel 4. 12** Perbandingan Persentase Fasa Pada Spesimen Pengelasan Di Atas Air

Kode	Persentase Fasa (%)									
	<i>Weld Cap</i>		<i>Weld Root</i>		HAZ <i>Cap</i>		HAZ <i>Root</i>		<i>Base</i>	
	F	P	F	P	F	P	F	P	F	P
AA-13	76,37	23,5	21,65	78,3	23,26	76,7	23,5	76	77	22
AA-19	78,14	21,7	23,81	76,2	28,07	71,8	26,7	73	78	22
AA-16	73,23	26,7	25,18	74,8	23,76	76,2	22,9	77	77	22

Ditinjau dari Tabel 4.11, terlihat fasa yang dominan pada daerah *weld metal* dan HAZ spesimen pengelasan kondisi ideal merupakan *ferrite*, dengan persentase tertinggi 82,12% untuk *weld metal* spesimen ID-16, serta 70,75% untuk HAZ spesimen ID-13.

Selanjutnya, untuk Tabel 4.12, pemrosesan metalografi sedikit berbeda dengan spesimen pengelasan kondisi ideal. Untuk daerah *weld metal* bagian *cap*, fasa yang dominan adalah *ferrite* (disimbolkan F), namun sebaliknya di bagian *root*, *pearlite* (disimbolkan P) lebih dominan. Untuk daerah HAZ, baik bagian *cap* maupun *root* sama sama didominasi oleh *pearlite*.

*(Halaman ini sengaja dikosongkan)*

## BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

### 5.1 Kesimpulan

Setelah dilakukan analisis data dan pembahasan serta *cross – reference* dengan teori yang ada, maka kesimpulan yang dapat diambil adalah :

1. Pengelasan di atas air dapat menyebabkan munculnya indikasi *weld defect*. Setelah dilakukan pengujian penetrasi pada semua *test piece*, pengelasan kondisi ideal tidak menunjukkan adanya indikasi *weld defect*. Pengelasan di atas air dengan elektroda E6013 memunculkan *rounded indications* sebesar 5x4 mm. Pengelasan di atas air dengan elektroda E6019 memunculkan *rounded indications* sebesar 5x5, 3x3, dan 5x3 mm. Pengelasan di atas air menggunakan elektroda E7016 tidak memunculkan adanya indikasi *weld defect*. Terlepas dari munculnya *rounded indications* pada pengelasan di atas air dengan elektroda E6013 dan E6019, indikasi tersebut berukuran tidak lebih dari 5 mm, sehingga masih memenuhi *acceptance criteria* ASME IX QW – 195.2.
2. Pengelasan di atas air menyebabkan meningkatnya kekerasan pada daerah *weld metal* dan *Heat Affected Zone* (HAZ). Kenaikan nilai tertinggi di daerah *weld metal* terjadi pada pengelasan dengan elektroda E7016 sebesar 8,73%. Sedangkan kenaikan nilai tertinggi di daerah HAZ terjadi pada pengelasan dengan elektroda E6013 sebesar 12,96%. Untuk kekuatan tarik, pengelasan di atas air menyebabkan penurunan nilai *Ultimate Tensile Strength* (UTS), *yield strength*, dan elongasi. Penurunan tertinggi UTS terjadi pada pengelasan dengan elektroda E7016 sebesar 4,85%. Penurunan tertinggi elongasi terjadi pada pengelasan dengan elektroda 7016 juga sebesar 79,2%. Sedangkan penurunan *yield strength* tertinggi terjadi pada pengelasan dengan elektroda E6013 sebesar 38,1%. Terkait *acceptance criteria* ASME IX QW – 153, walaupun terjadi penurunan nilai UTS, namun memenuhi syarat karena keseluruhan nilainya masih di atas *minimum specified tensile strength* dari *base material* itu sendiri yaitu ASTM A36 sebesar 400 N/mm<sup>2</sup>.

### 5.2 Saran

Adapun saran yang dapat diberikan terkait Tugas Akhir ini adalah :

1. Apabila pengelasan di atas air harus dilakukan di lapangan, maka elektroda jenis *low hydrogen* E7016 merupakan pilihan terbaik karena tidak menunjukkan adanya indikasi *weld defect* setelah dilakukan pengujian penetrasi.
2. Apabila pengelasan di atas air harus dilakukan atas dasar pertimbangan biaya elektroda, ditinjau dari beberapa *online marketplace*, E6013 merupakan elektroda dengan harga paling murah dibandingkan E6019 dan E7016, yaitu ± Rp. 500.000/kardus. E6019 dan E7016 ada pada kisaran ± Rp. 700.000 – 800.000/kardus.
3. Melakukan uji *X-Ray Diffraction* (XRD) untuk mengetahui ada atau tidaknya *residual stress* pada *base material*, sehingga kemudian dapat dilakukan pengamatan apakah mempengaruhi secara signifikan hasil pengelasan di atas air.
4. Melakukan *grinding* dan *polishing* spesimen dengan cermat agar didapatkan hasil visual yang jelas ketika metalografi.
5. Melakukan *magnetic*, *ultrasonic*, atau *radiographic test* untuk mendapatkan hasil pengujian *Non-Destructive Test* (NDT) yang menyeluruh.
6. Menyusun *Welding Procedure Specifications* (WPS) khusus untuk pengelasan perbaikan *tank* tanpa menguras isinya agar didapatkan hasil yang layak berdasarkan standar penerimaan.

*(Halaman ini sengaja dikosongkan)*



---

---

**DAFTAR PUSTAKA**

- Aji, M. N. (2019). Pengelasan SMAW Pada Sambungan Pengelasan Logam Baja JIS G3131 SPHC dengan Baja AISI 201 terhadap Sifat Mekanik. *Teknik Mesin*, 2(1), 23–29.
- Aljufri, & Putra, R. (2018). *Pengaruh Porositas Las Terhadap Kekuatan Tarik Pada Material Aisi 1050 Yang Menggunakan Kampuh Las V 90 °*. 1–7.
- ASME Section IX. (2015). ASME Section IX. *The American Society of Mechanical Engineers*, 433–455.
- Azdkar, M. S., Pratikno, H., & Titah, H. S. (2019). Analisis Pengelasan SMAW pada Baja ASTM A36 dengan Variasi Elektroda Terhadap Sifat Mekanik dan Ketahanan Biokorosi di Lingkungan Laut. *Jurnal Teknik ITS*, 7(2). <https://doi.org/10.12962/j23373539.v7i2.32118>
- Elektriska Svetsnings-Aktiebolaget (ESAB). (2016). *Handbook Filler Metal Welding Asia Pacific*.
- Fahrizal, M. (2016). *Analisa Hasil Sambungan Las Metode Pengelasan SMAW Menggunakan Material SA 36 yang Sebelumnya Terbakar dengan Suhu 700°C dan 900°C Selama 4 Jam*.
- Gholami, M. D., Hashemi, R., & Sedighi, M. (2020). The effect of temperature on the mechanical properties and forming limit diagram of aluminum strips fabricated by accumulative roll bonding process. *Journal of Materials Research and Technology*, 9(2), 1831–1846. <https://doi.org/10.1016/j.jmrt.2019.12.016>
- Juliaptini, D. (2010). Analisis Sifat Mekanik dan Metalografi Baja Karbon Rendah untuk Aplikasi Tabung Gas 3 Kg. *Skripsi*, 1–90.
- Kurniawan, D. R. (2017). Analisa Hasil Pengelasan SMAW Dengan Arus 200A Pada Material Plat ST 37 Menggunakan Elektroda E7018 Yang Di Rendam Air Dengan Pengujian Radiografi Dan Makro Etsa. *Skripsi*. <http://repository.its.ac.id/id/eprint/47007>
- Limbong, S. R. (2016). *Analisa Material ASTM A36 Akibat Pengaruh Suhu dan Quenching terhadap Nilai Ketangguhannya*.
- Perdana, D., & Syarif, A. B. (2017). Analisa Pengaruh Jenis Pengelasan SMAW dan FCAW Terhadap Sifat Mekanis Baja ASTM A36 pada Konstruksi Landside Upper Leg. *ReTII*, 1–9.
- Pratama, A. (2017). *Analisis Kegagalan Water Injection pada Vertical Roller Mill di Finish Mill PT. Holcim Tuban Plant Indonesia*.
- Pujo M., I., & J.S, S. (2008). Analisis Kekuatan Sambungan Las SMAW ( Shielded Metal Arc Welding ) Pada Marine Plate ST 42 Akibat Faktor Cacat Porositas Dan Incomplete Penetration. *Teknik Perkapalan*, 5(2), 102-113–113. <https://doi.org/10.12777/kpl.5.2.102-113>
- Rahmatika, A., Sutarto, E., & Arifin, A. C. (2021). Pengujian Merusak Pada Kualifikasi Prosedur Las Plat Baja Karbon SA-36 dengan Proses Pengelasan SMAW Berdasarkan Standar ASME Section IX. *Jurnal Vokasi Teknologi Industri (Jvti)*, 3(1), 24–30. <https://doi.org/10.36870/jvti.v3i1.218>
- Ristyanto, A., Dwi Haryadi, G., & Umardani, Y. (2014). Pengaruh Proses Normalizing Terhadap Nilai Kekerasan Dan Struktur Mikro Pada Sambungan Las Thermite Simillar Baja UIC-54 (Union Internasionale Des Chemins De Fer -54). *Jurnal Teknik Mesin*, 2(2), 36–45.
- Sahlan, S. (2015). Analisis Cacat Las Incomplete Fusion dan Retak Memanjang Pada Waterwall Tube Boiler PLTU Paiton Unit 1. *Ilmiah Semesta Teknika*, 18(1), 10–20.
- Setiawan, H. (2012). *Pengaruh Proses Heat Treatment Pada Kekerasan Material Special K (K100)*. 1(1).

- Suprayogi, A., & Tjahjanti, P. H. (2017). Analisa Surface Preparation pada Plat Baja ASTM A36. *Seminar Nasional Dan Gelar Produk*, 188–197.
- Tarkono, & Sugiyanto, A. (2010). Studi Kekuatan Sambungan Las Baja AISI 1045 dengan Berbagai Metode Posisi Pengelasan. *Jurnal Mechanical*, 1(1), 43–53.
- Utomo, Y. B. (2019). Studi Struktur Mikro dan Sifat Mekanik Sambungan Butt Joint Pada Material Baja Karbon Dengan Las Listrik. *Teknik Mesin*, 1, 1–476.
- Wahyu, R. E. (2007). Definisi, Klasifikasi, dan Pengkodean Elektroda. *Jurnal Politeknik Kediri*, 1, 1–9.
- Wahyudi, R., Nurdin, N., & Saifuddin, S. (2019). Analisa Pengaruh Jenis Elektroda Pada Pengelasan SMAW Penyambungan Baja Karbon Rendah Dengan Baja Karbon Sedang Terhadap Tensile Strength. *Journal of Welding Technology*, 1(2), 43–47.
- Warman, S. P. P. (2017). Analisis Faktor Penyebab Cacat Pengelasan pada Pipa ( Study Kasus Pada Pipa Distribusi PDAM Kabupaten Kutai Barat ). *Mekanikal*, 8(2), 730–736.
- Widyastuti, Ardhyananta, H., Purwaningsih, H., & Quluq, R. M. (2019). *Karakterisasi Material Bagian 1 : Komposisi, Topografi, dan Sifat Mekanik* (1st ed.). ITS Press.
- William D. Callister, J., & Rethwisch, D. G. (2013). Phase Transformations: Development of Microstructure and Alternation of Mechanical Properties. In *Materias Science and Engineering: An Introduction*.
- Winarto. (2016). *Kawat Las*. 1–13.

---

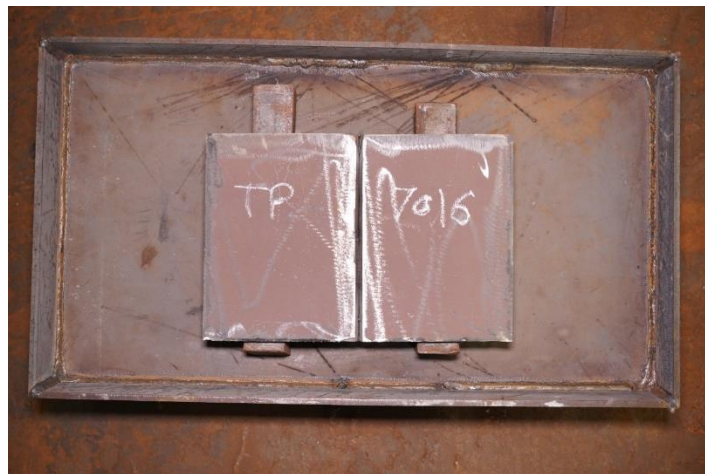
LAMPIRAN

**A. Dokumentasi Preparasi Pengelasan**

A1. Pembersihan Sisa Proses *Cutting*



A2. Penempatan *Test Piece* ke Dalam Bak Berisi Air Tawar



A3. Pengaturan Besar Voltase dan Ampere Pada Mesin Las SMAW



## B. Dokumentasi Proses Pengelasan

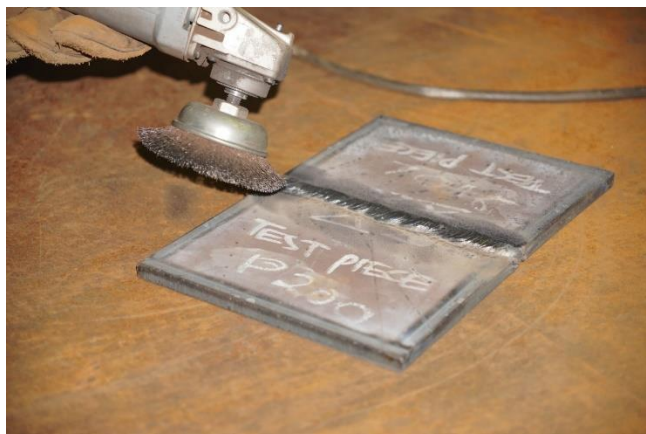
### B1. Proses Pengelasan Di Atas Air



### B2. Proses Pembersihan Terak atau *Slag* Antar *Pass* Pengelasan



### B3. Proses Pembersihan Terak atau *Slag* Final Setelah Pengelasan Selesai



---

## C. Dokumentasi Pengujian Penetran

### C1. Proses Penyemprotan *Cleaner Spray*



### C2. Proses Penyemprotan *Penetrant Spray*



### C3. Proses Penyemprotan *Developer Spray*



## D. Dokumentasi Pengujian Tarik

### D1. Pengukuran Spesimen Pengujian Tarik



### D2. Penyiapan Mesin Pengujian Tarik



D3. Hasil Pengujian Tarik Spesimen ID-13C

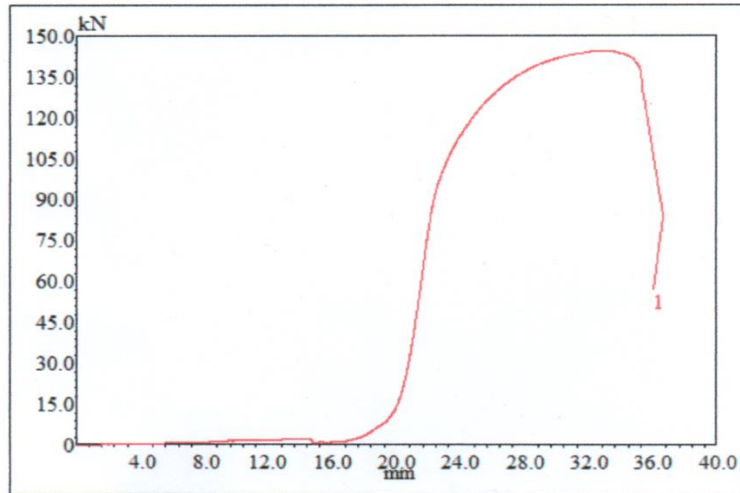


Laboratorium Metalurgi Manufaktur

Departemen Teknik Material dan Metalurgi  
Fakultas Teknologi Industri dan Rekayasa Sistem  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember - Surabaya

Test Date : 23-05-2022

Test Result



D4. Hasil Pengujian Tarik Spesimen ID-19C

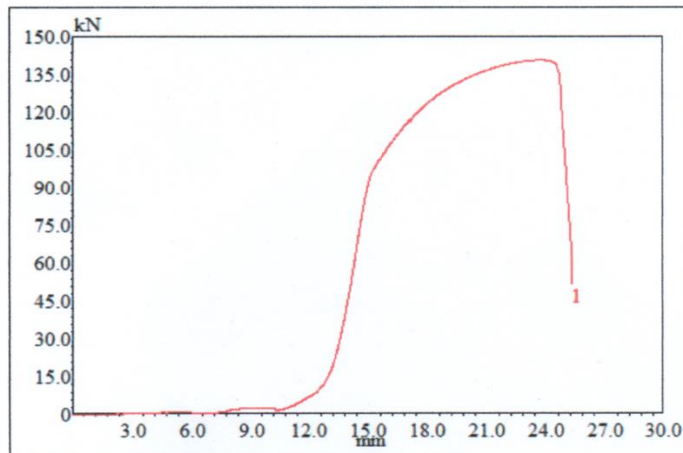


Laboratorium Metalurgi Manufaktur

Departemen Teknik Material dan Metalurgi  
Fakultas Teknologi Industri dan Rekayasa Sistem  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember - Surabaya

Test Date : 23-05-2022

Test Result



D5. Hasil Pengujian Tarik Spesimen ID-16C

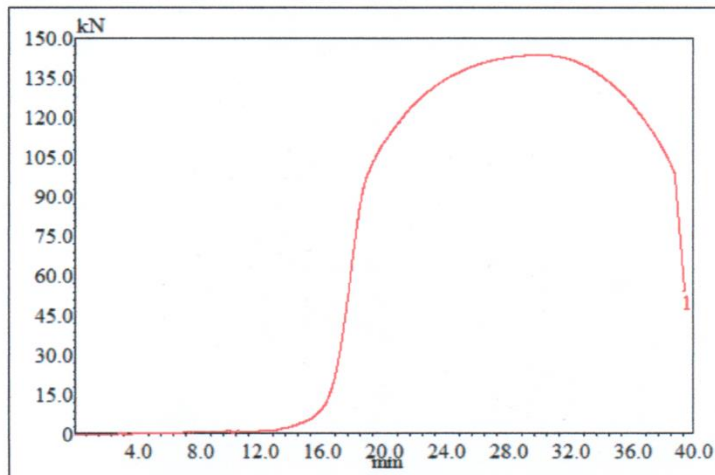


Laboratorium Metalurgi Manufaktur

Departemen Teknik Material dan Metalurgi  
Fakultas Teknologi Industri dan Rekayasa Sistem  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember - Surabaya

Test Date : 23-05-2022

Test Result



D6. Hasil Pengujian Spesimen AA-13A

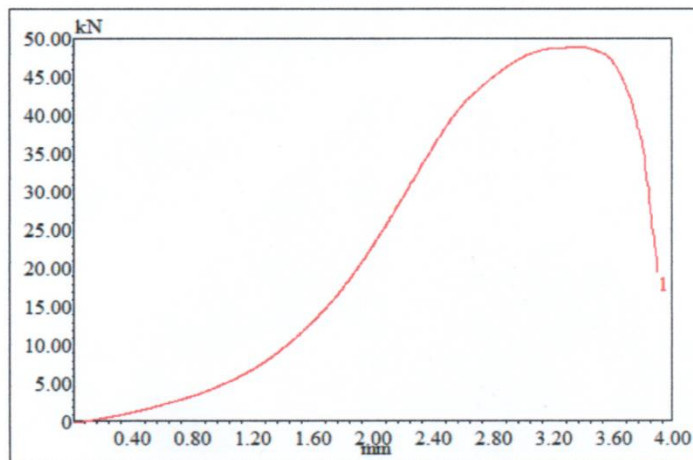


Laboratorium Metalurgi Manufaktur

Departemen Teknik Material dan Metalurgi  
Fakultas Teknologi Industri dan Rekayasa Sistem  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember - Surabaya

Test Date : 23-05-2022

Test Result





D7. Hasil Pengujian Spesimen AA-13C

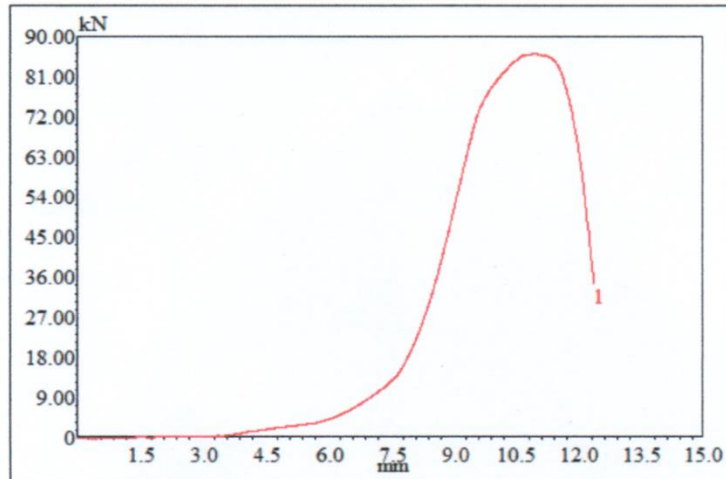


Laboratorium Metalurgi Manufaktur

Departemen Teknik Material dan Metalurgi  
Fakultas Teknologi Industri dan Rekayasa Sistem  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember - Surabaya

Test Date : 23-05-2022

Test Result



D8. Hasil Pengujian Tarik AA-19A

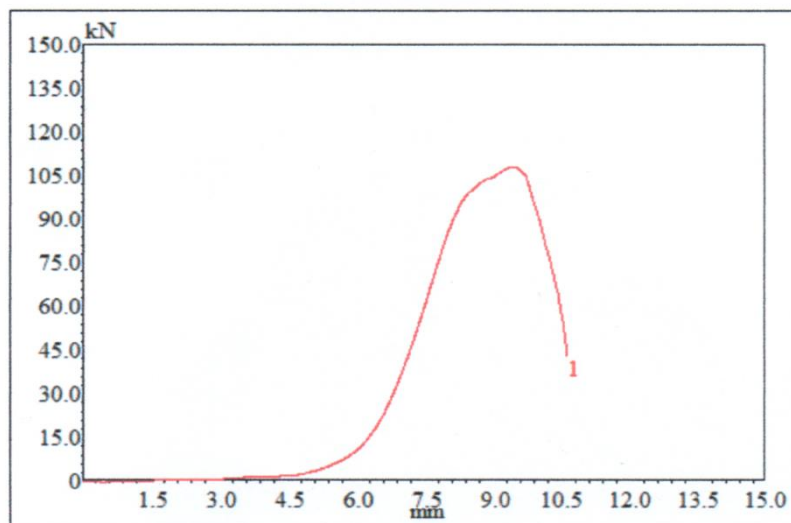


Laboratorium Metalurgi Manufaktur

Departemen Teknik Material dan Metalurgi  
Fakultas Teknologi Industri dan Rekayasa Sistem  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember - Surabaya

Test Date : 23-05-2022

Test Result



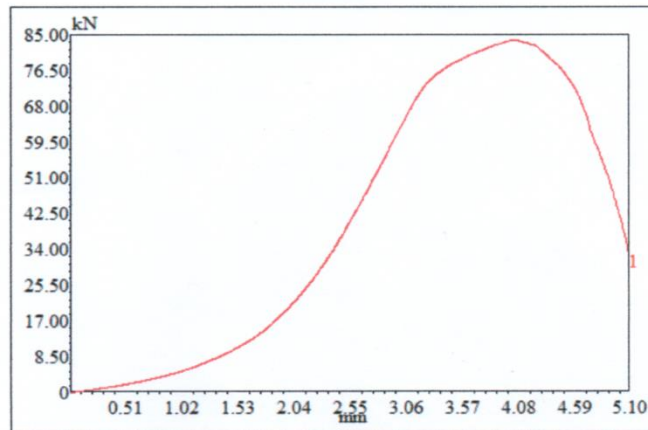
D9. Hasil Pengujian Tarik Spesimen AA-19B



Laboratorium Metalurgi Manufaktur  
Departemen Teknik Material dan Metalurgi  
Fakultas Teknologi Industri dan Rekayasa Sistem  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember - Surabaya

Test Date : 23-05-2022

Test Result



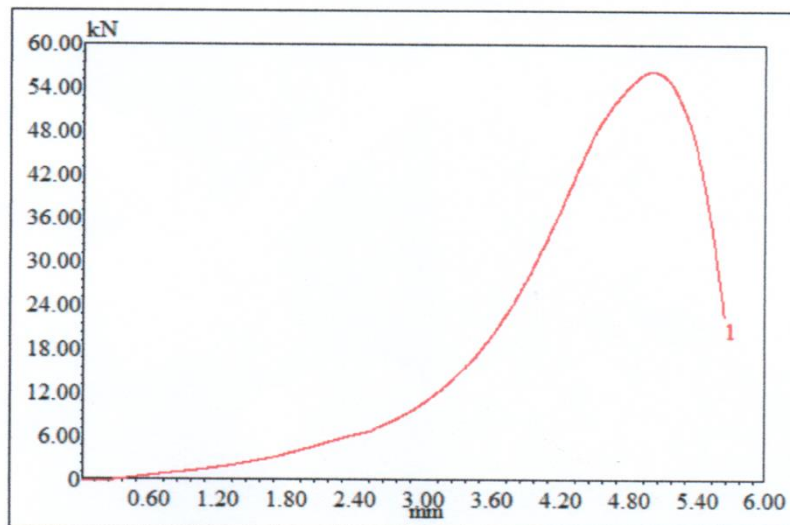
D10. Hasil Pengujian Tarik Spesimen AA-19C



Laboratorium Metalurgi Manufaktur  
Departemen Teknik Material dan Metalurgi  
Fakultas Teknologi Industri dan Rekayasa Sistem  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember - Surabaya

Test Date : 23-05-2022

Test Result



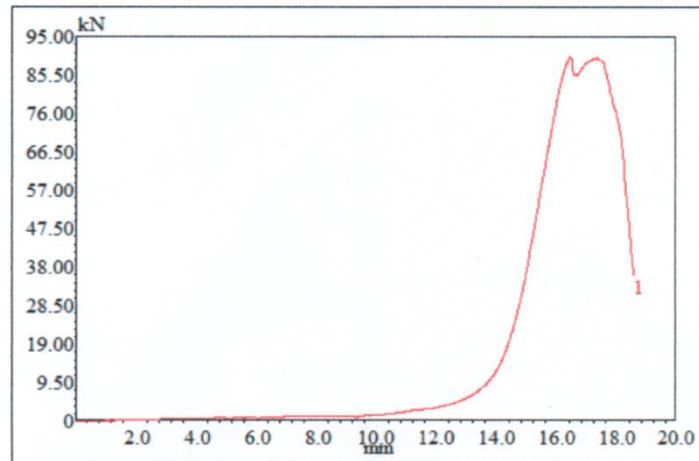
D11. Hasil Pengujian Tarik Spesimen AA-16A



Laboratorium Metalurgi Manufaktur  
Departemen Teknik Material dan Metalurgi  
Fakultas Teknologi Industri dan Rekayasa Sistem  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember - Surabaya

Test Date : 23-05-2022

Test Result



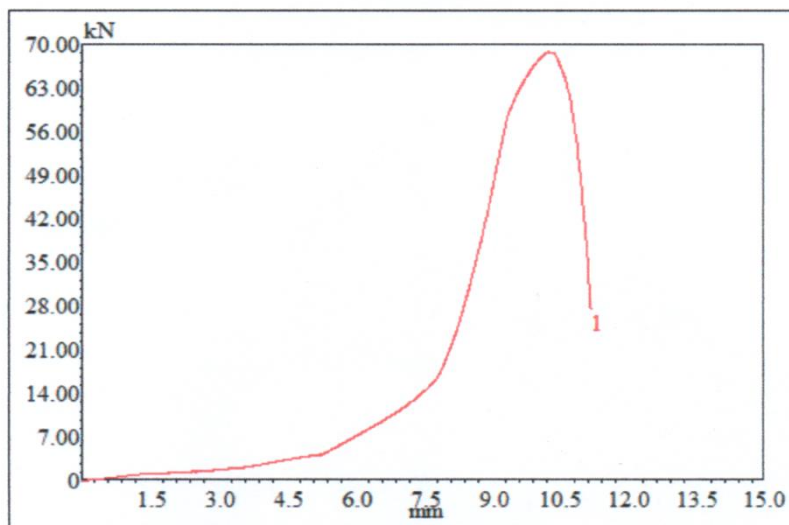
D12. Hasil Pengujian Tarik Spesimen AA-16C



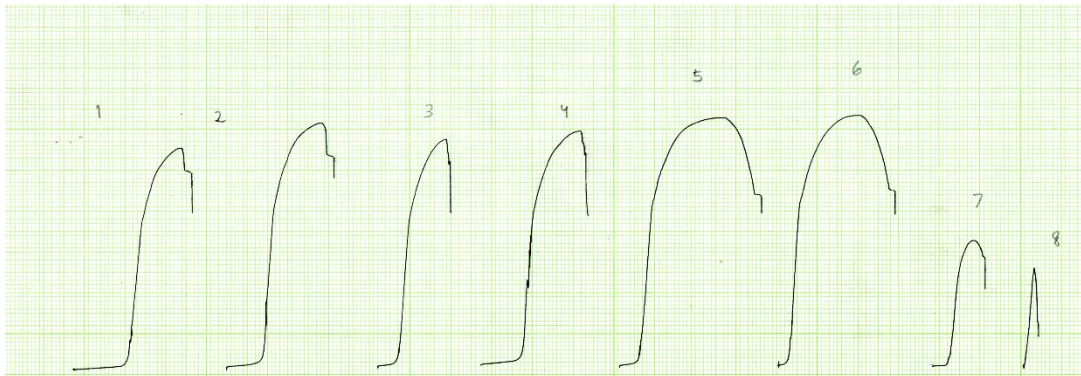
Laboratorium Metalurgi Manufaktur  
Departemen Teknik Material dan Metalurgi  
Fakultas Teknologi Industri dan Rekayasa Sistem  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember - Surabaya

Test Date : 23-05-2022

Test Result



D13. Hasil Pengujian Tarik Secara Berurutan dari Kiri : ID-13A, ID-13B, ID-19A, ID-19B, ID-16A, ID-16B, AA-13B, dan AA-16B.



D13. Tabel Spesimen Pengujian Tarik

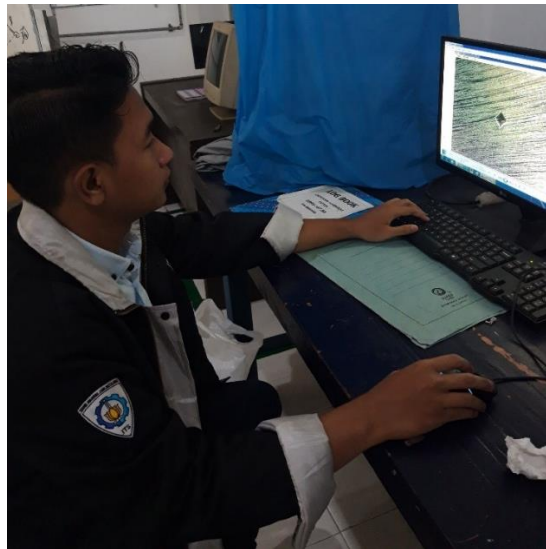
Kode	Gauge Length Awal (mm)	Gauge Length Akhir (mm)	Luas (mm <sup>2</sup> )	Titik Yield (kN)	Beban Maksimum (kN)
ID-13A	70	78.14	230	102,96	133,57
ID-13B	70	79.76	249	115,22	147,79
ID-13C	67	84.64	231	96,66	144,49
ID-19A	80	87.59	229	93,16	137,99
ID-19B	80	87.87	231	49,03	142,64
ID-19C	65,49	76,6	231,8	98,34	140,73
ID-16A	80	99,35	242	100,51	150,73
ID-16B	80	95,44	249	100,51	152,54
ID-16C	76,09	95,6	231,2	98,16	143,81
AA-13A	78,27	82,99	112,87	48,92	48,93
AA-13B	80	80,37	125,32	31,87	60,04
AA-13C	76,85	83	101,35	85,73	86,2
AA-19A	80,7	85,55	152,44	104,03	108,1
AA-19B	78,2	85,42	143,29	83,61	83,67
AA-19C	74,7	76,84	107,8	48,41	56,39
AA-16A	82,75	83,44	137,29	87,43	90,01
AA-16B	70	75,18	127,92	63,74	77,2
AA-16C	75,2	79,79	135,40	60,02	68,81

## E. Dokumentasi Pengujian Kekerasan

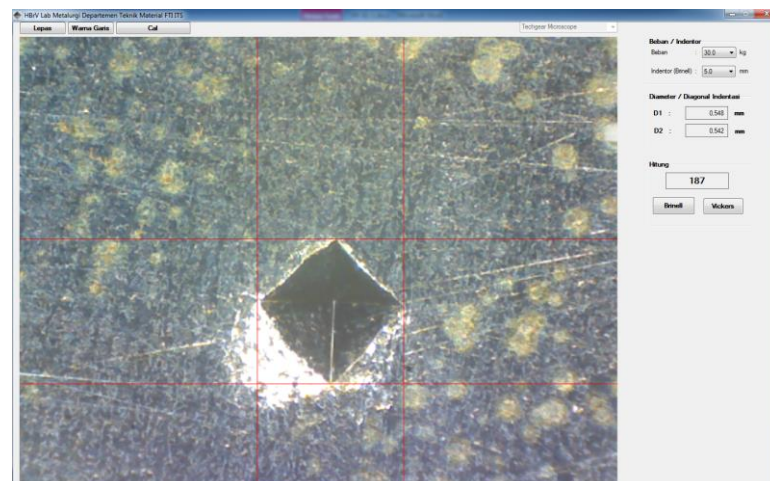
### E1. Proses Pengaturan Besar Pembebanan dan Lama Waktu Indentasi



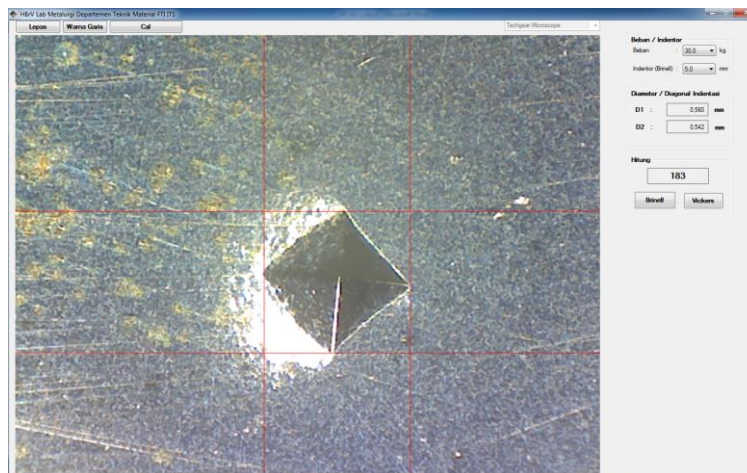
### E2. Proses Pengukuran Diagonal Indentasi



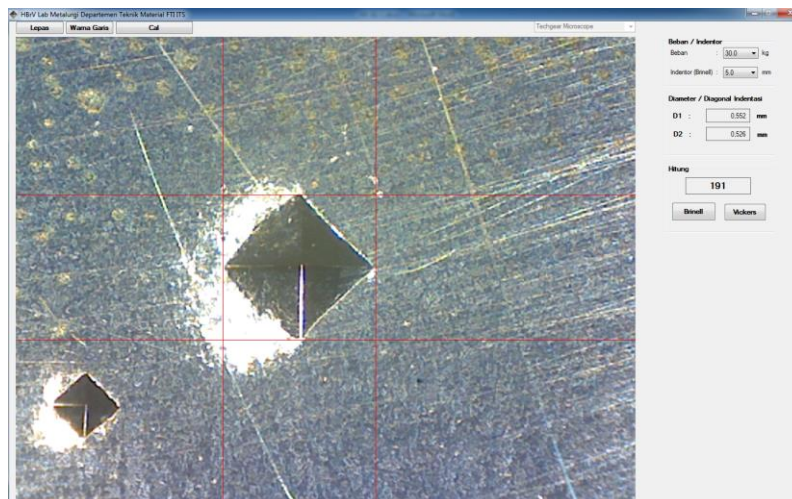
### E3. Uji *Weld Metal* ID-13 Pertama



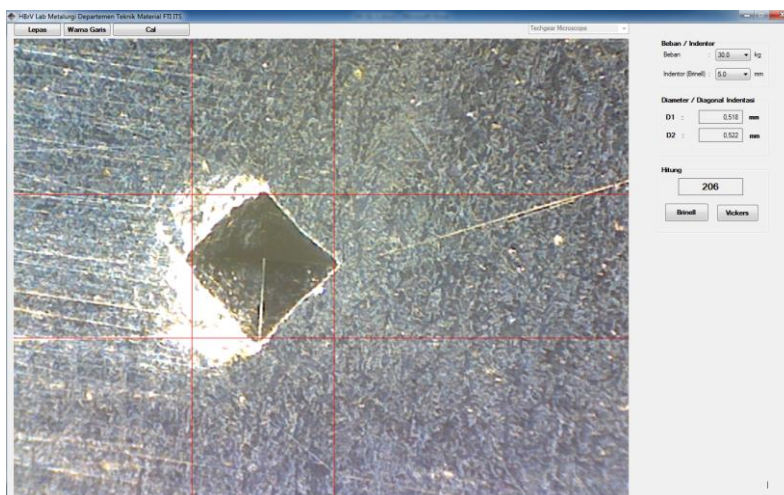
E4. Uji *Weld Metal* ID-13 Kedua



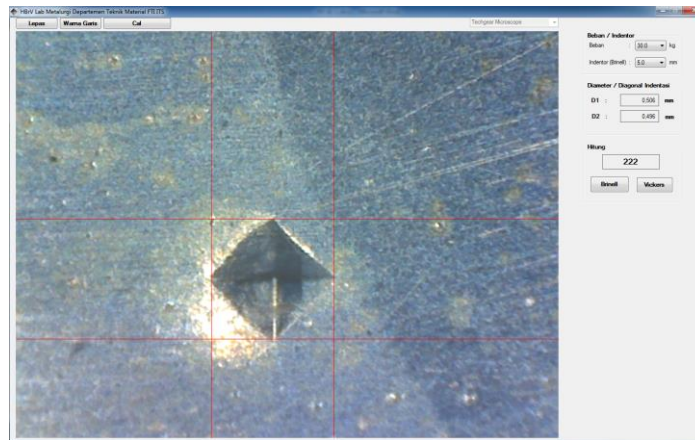
E5. Uji *Weld Metal* ID-13 Ketiga



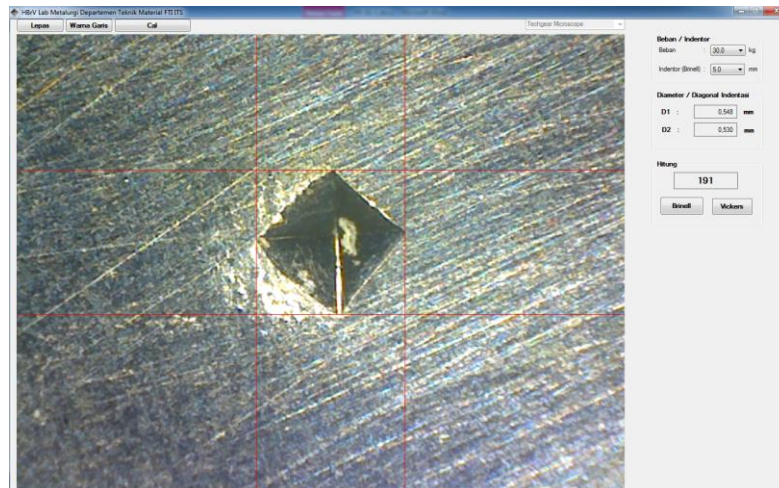
E6. Uji HAZ ID-13 Pertama



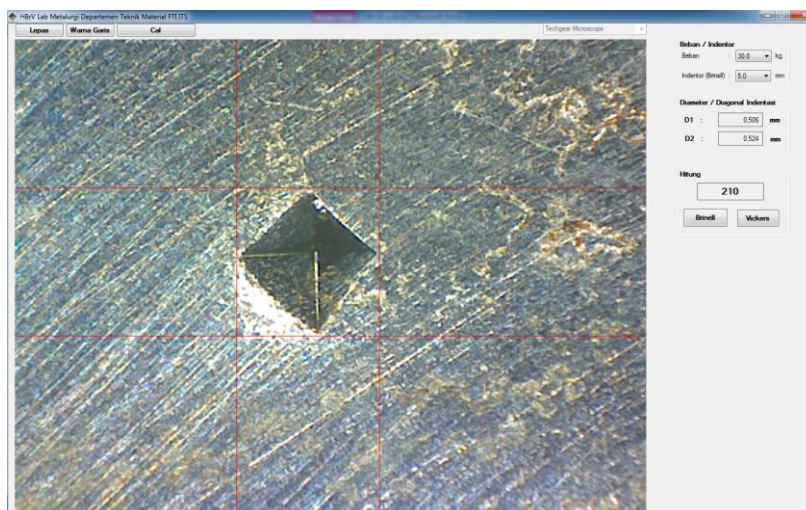
E7. Uji HAZ ID-13 Kedua



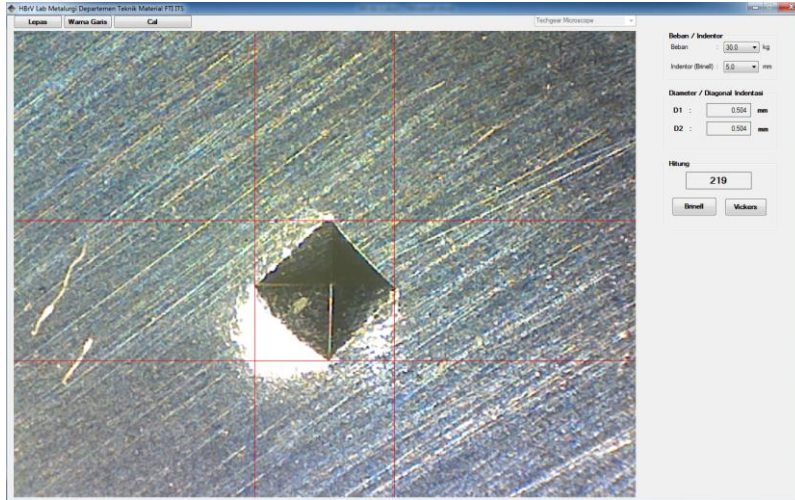
E8. Uji Base Metal ID-13 Pertama



E9. Uji Base Metal ID-13 Kedua



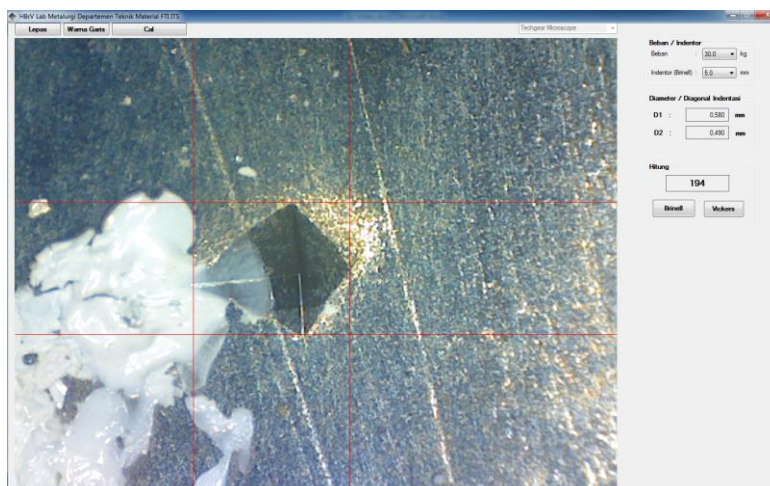
E10. Uji *Base Metal* ID-13 Ketiga



E11. Uji *Weld Metal* ID-19 Pertama

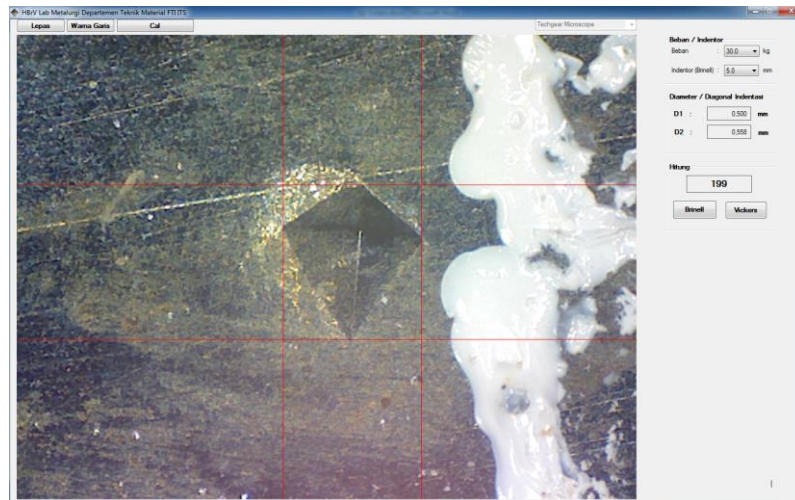


E12. Uji *Weld Metal* ID-19 Kedua

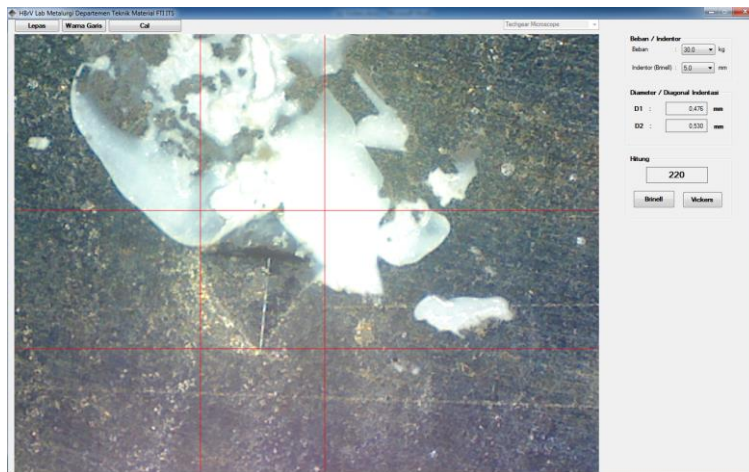




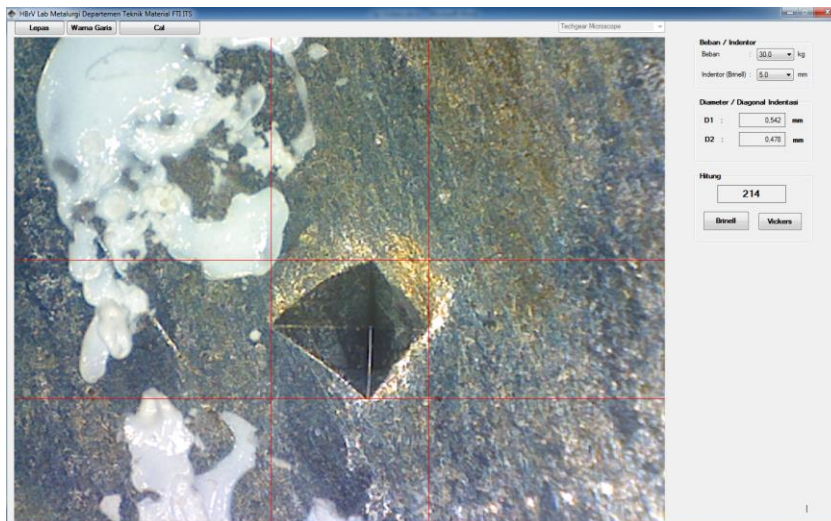
E13. Uji *Weld Metal* ID-19 Ketiga



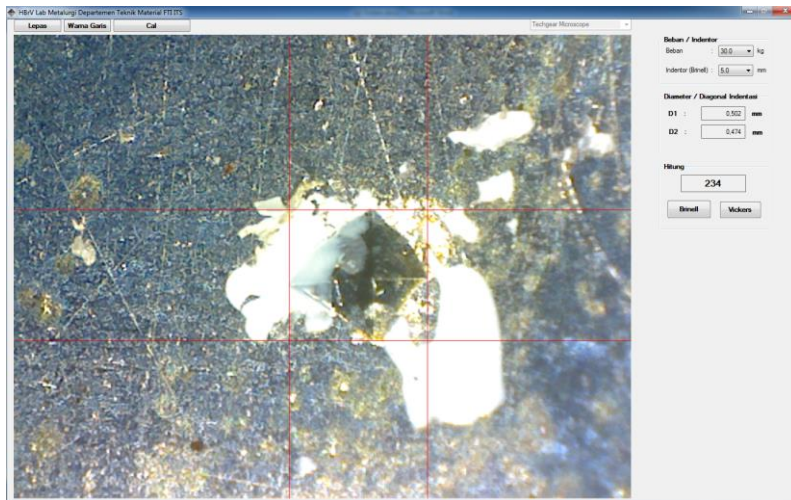
E14. Uji HAZ ID-19 Pertama



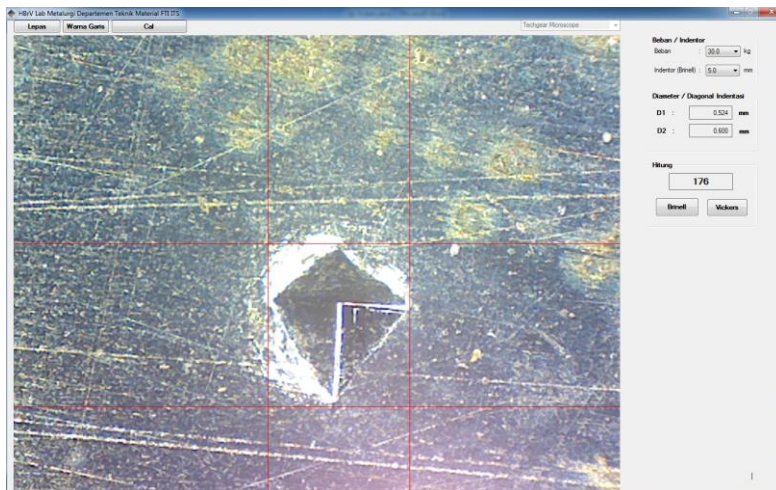
E15. Uji HAZ ID-19 Kedua



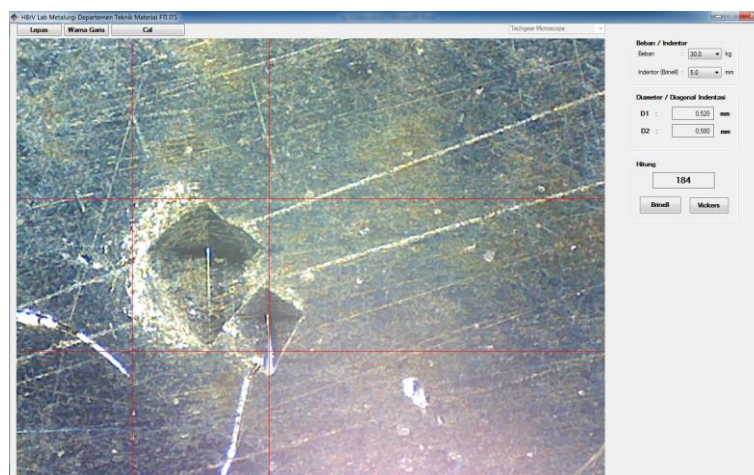
E16. Uji HAZ ID-19 Ketiga



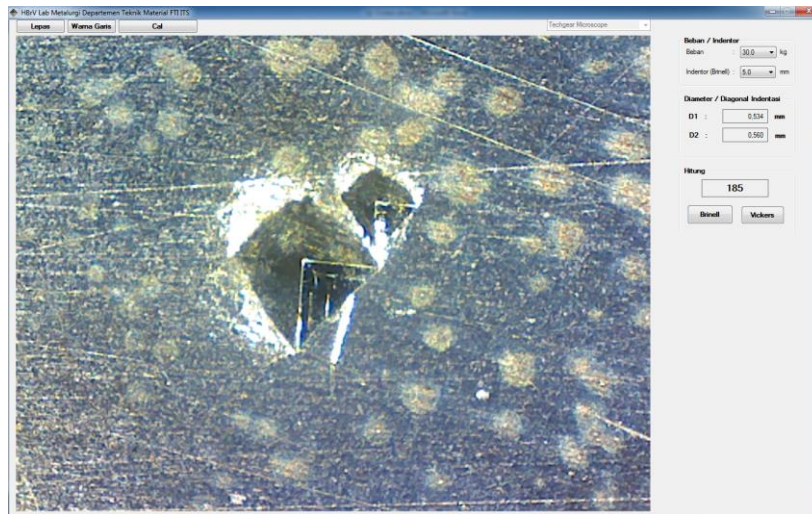
E17. Uji Base Metal ID-19 Pertama



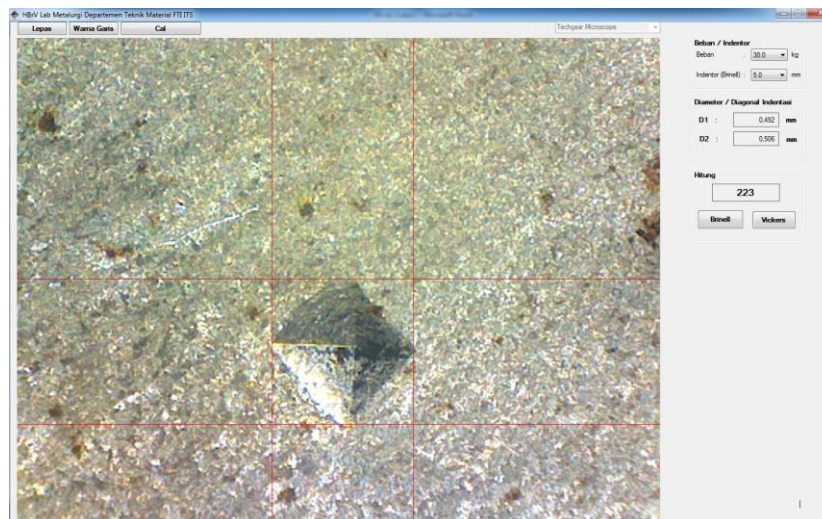
E18. Uji Base Metal ID-19 Kedua



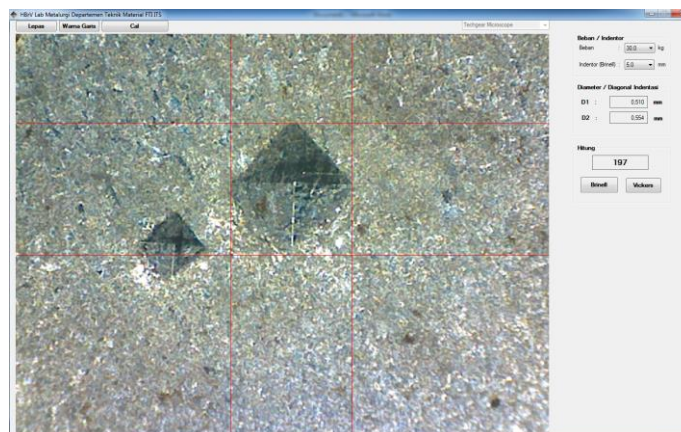
E19. Uji *Base Metal* ID-19 Ketiga



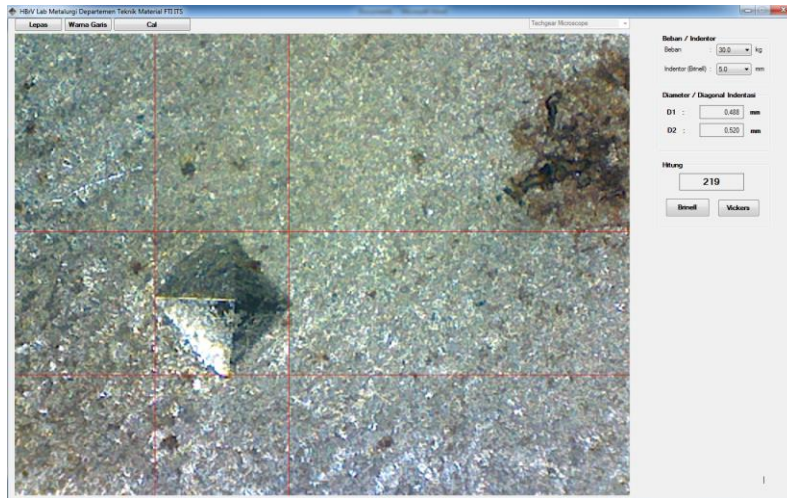
E20. Uji *Weld Metal* ID-16 Pertama



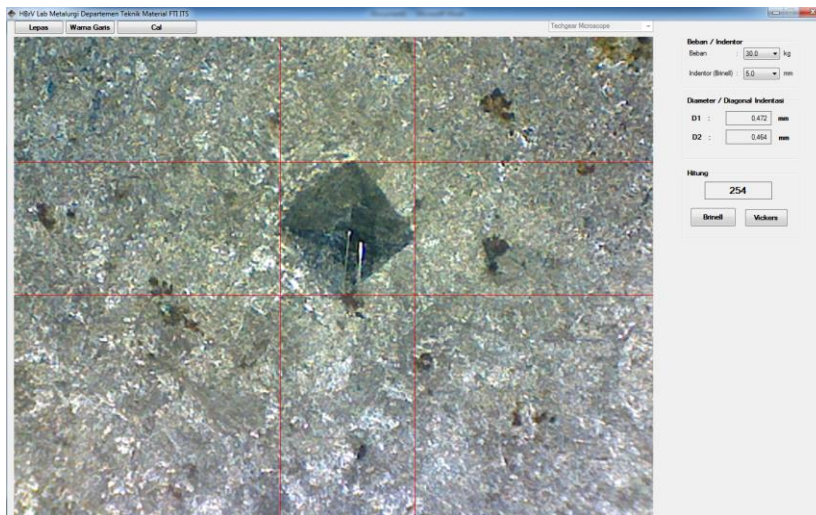
E21. Uji *Weld Metal* ID-16 Kedua



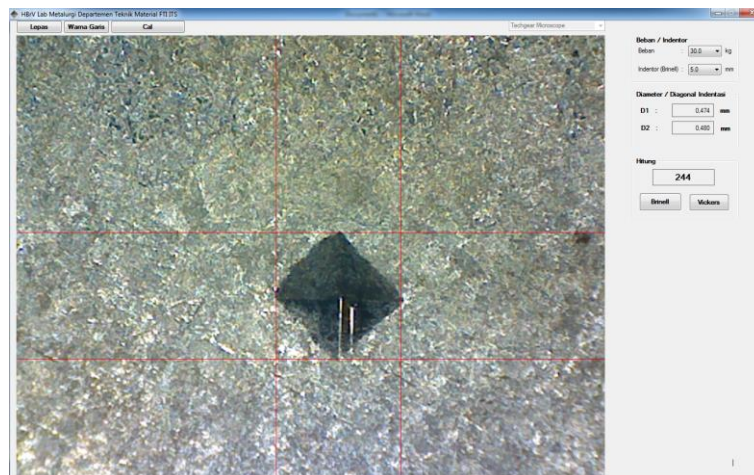
E22. Uji *Weld Metal* ID-16 Ketiga



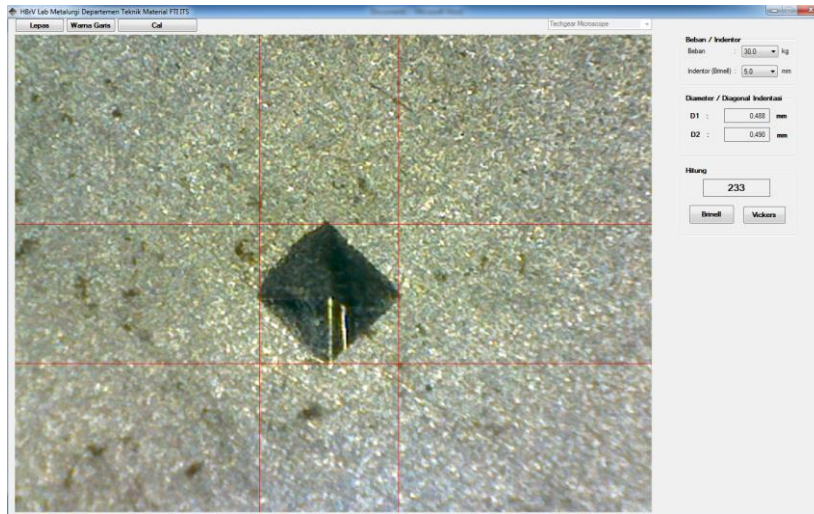
E23. Uji HAZ ID-16 Pertama



E24. Uji HAZ ID-16 Kedua



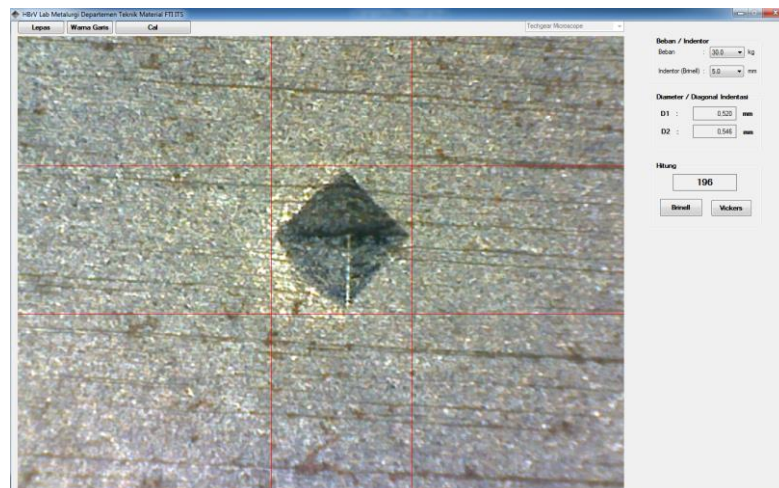
E25. Uji HAZ ID-16 Ketiga



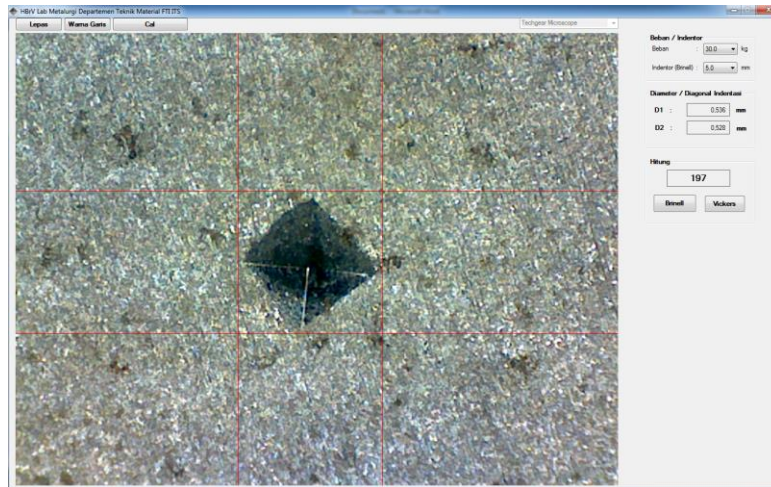
E26. Uji *Base Metal* ID-16 Pertama



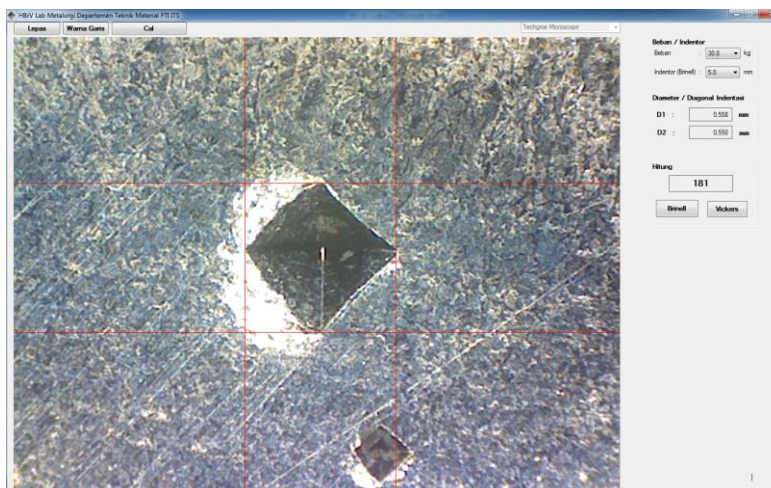
E27. Uji *Base Metal* ID-16 Kedua



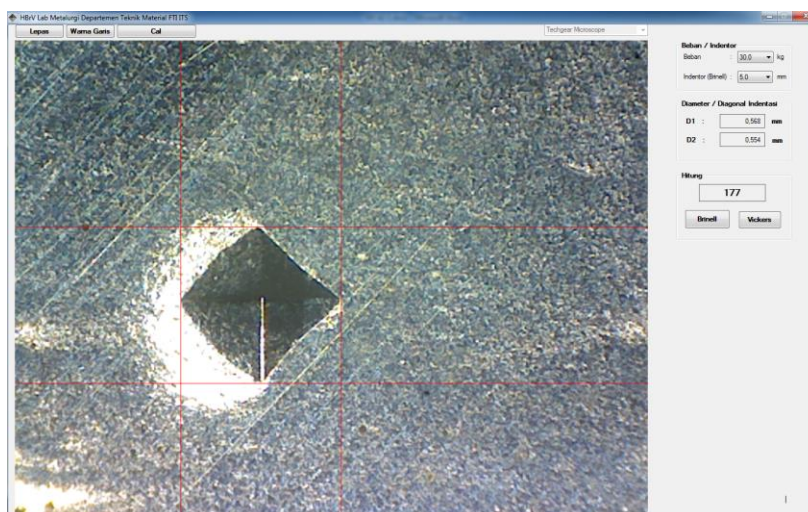
E28. Uji *Base Metal ID-16* Ketiga



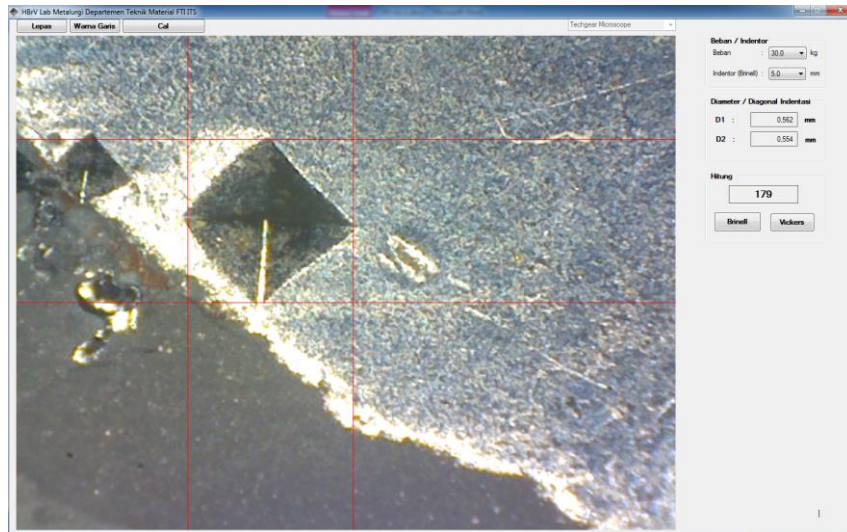
E29. Uji *Weld Metal AA-13* Pertama



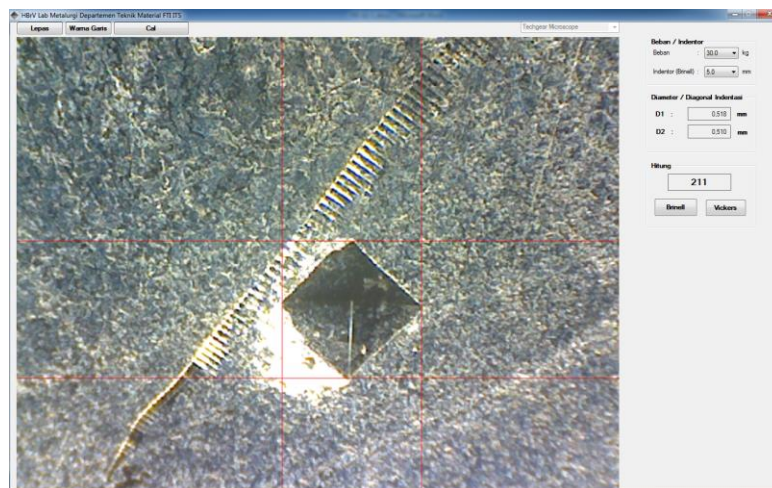
E30. Uji *Weld Metal AA-13* Kedua



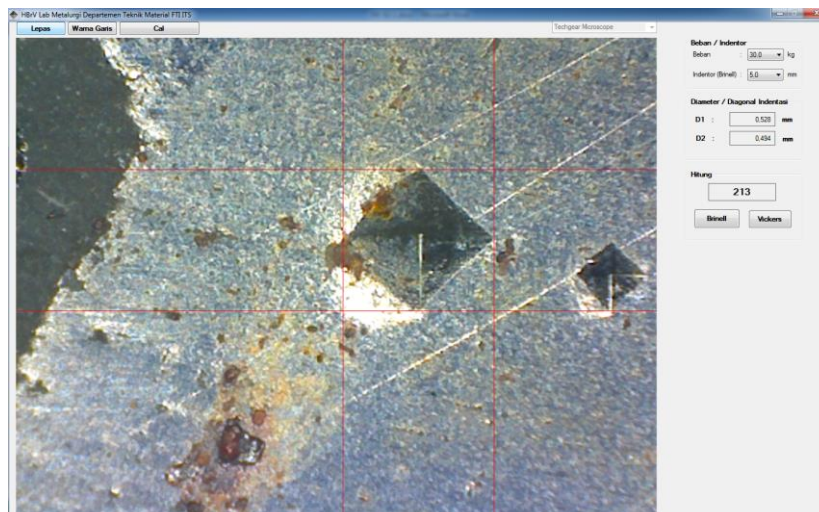
E31. Uji Weld Metal AA-13 Ketiga



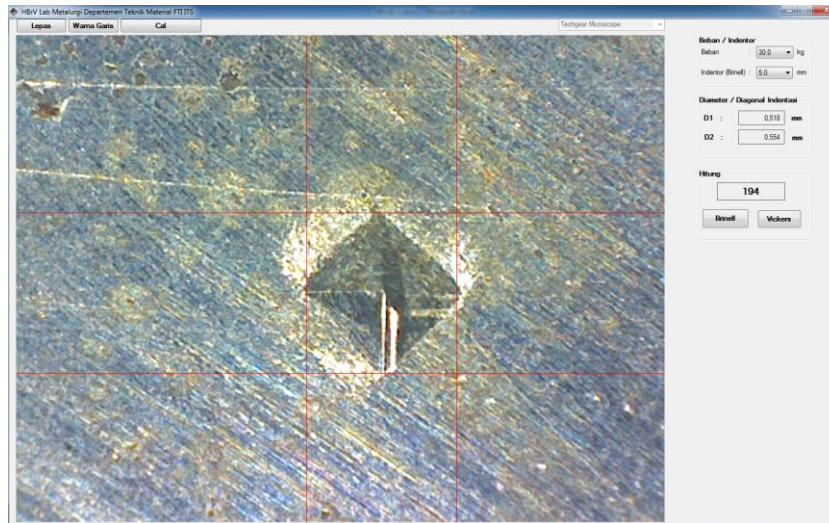
E32. Uji HAZ AA-13 Pertama



E33. Uji HAZ AA-13 Kedua



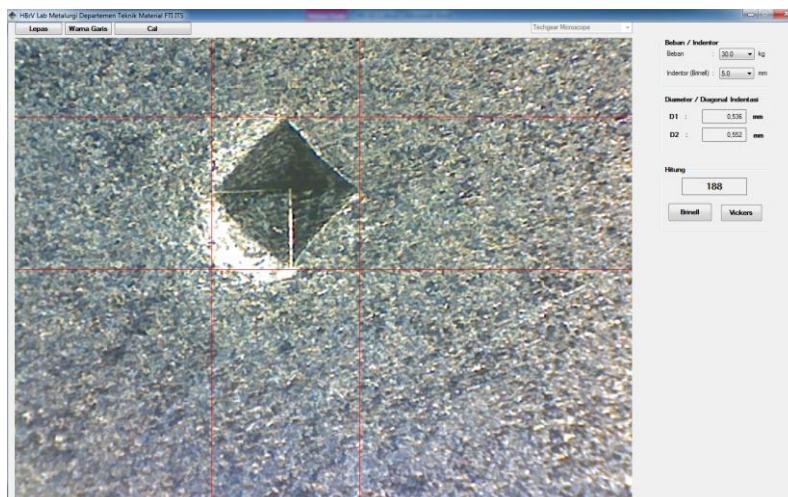
E34. Uji HAZ AA-13 Ketiga



E35. Uji Base Metal AA-13 Pertama

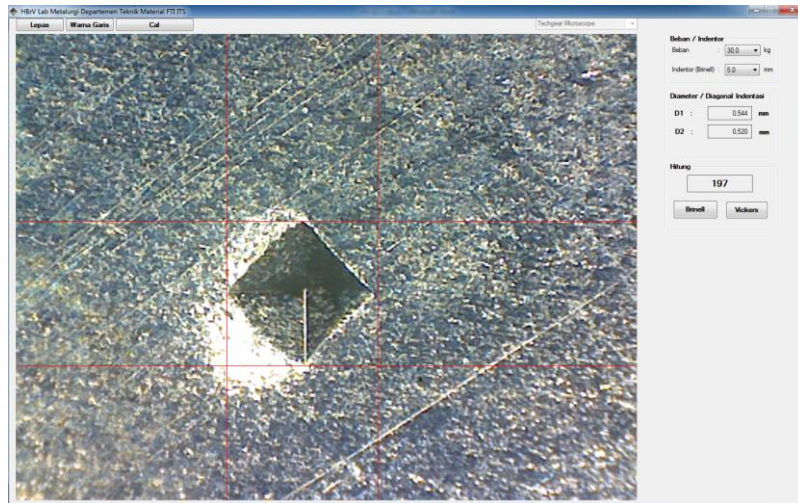


E36. Uji Base Metal AA-13 Kedua

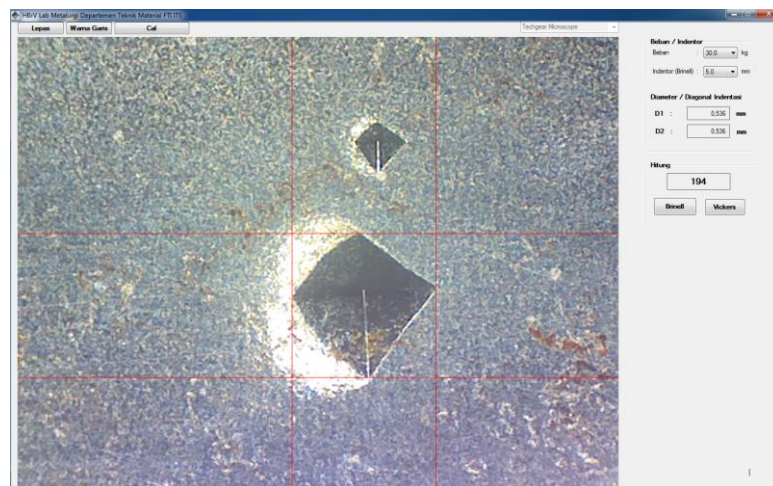




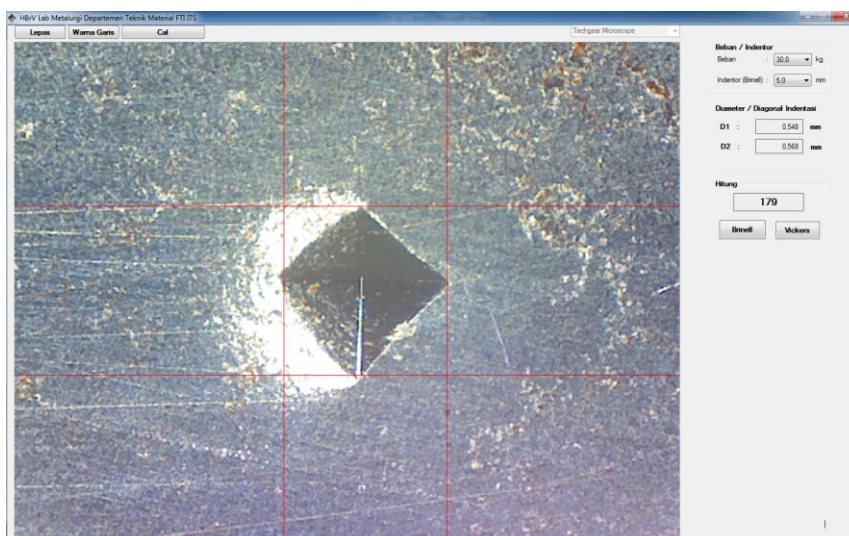
E37. Uji *Base Metal AA-13 Ketiga*



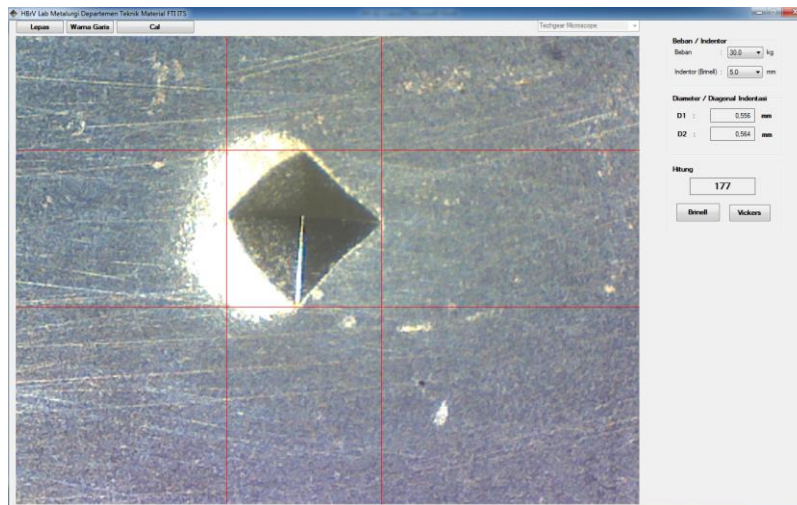
E38. Uji *Weld Metal AA-19 Pertama*



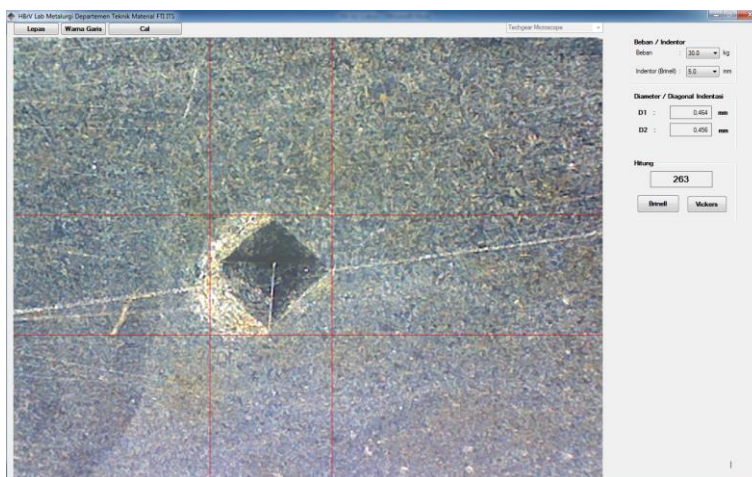
E39. Uji *Weld Metal AA-19 Kedua*



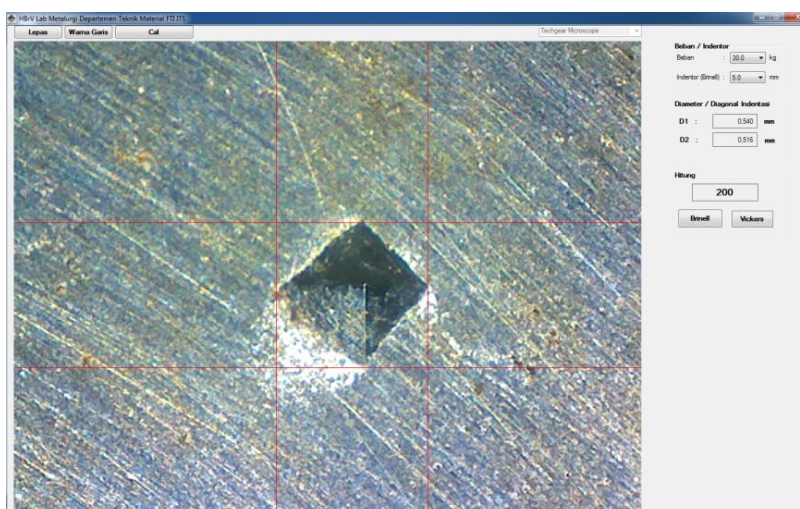
## E40. Uji *Weld Metal* AA-19 Ketiga



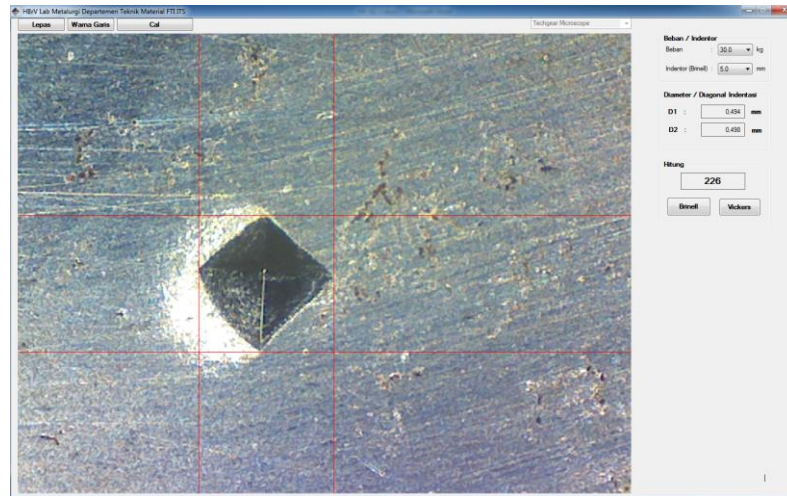
## E41. Uji HAZ AA-19 Pertama



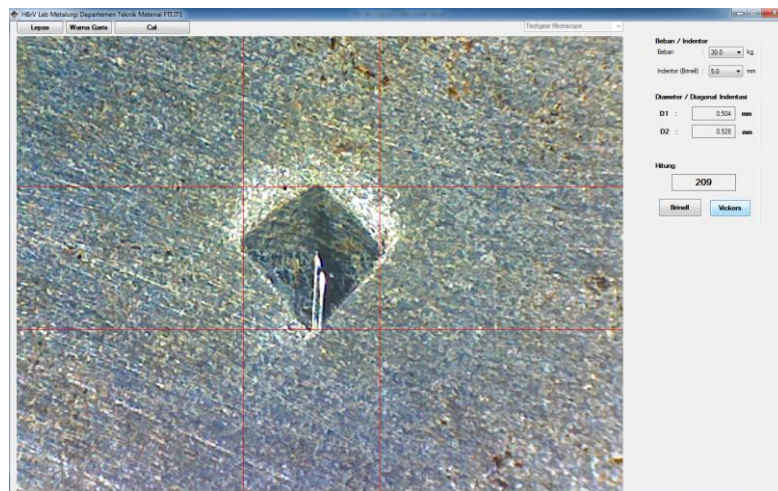
## E42. Uji HAZ AA-19 Kedua



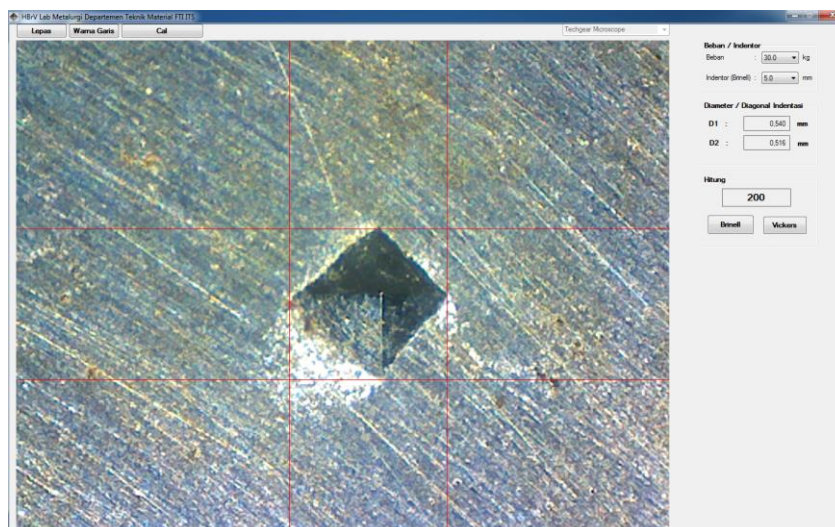
E43. Uji HAZ AA-19 Ketiga



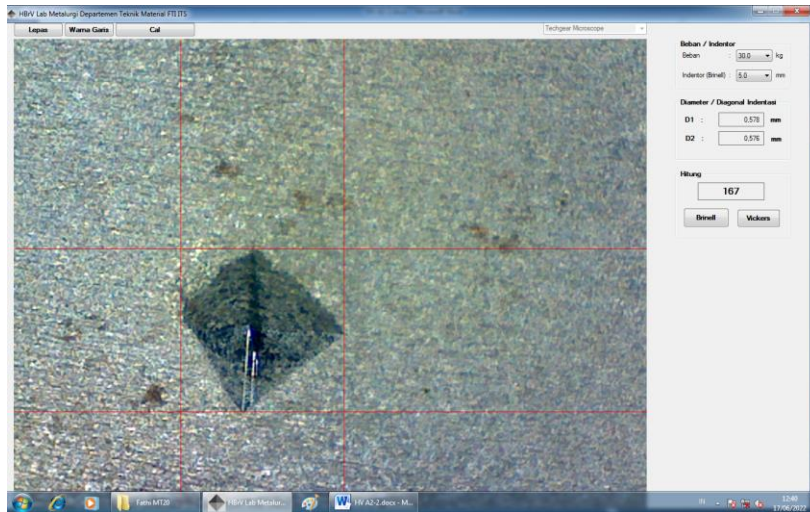
E44. Uji *Base Metal* AA-19 Pertama



E45. Uji *Base Metal* AA-19 Kedua



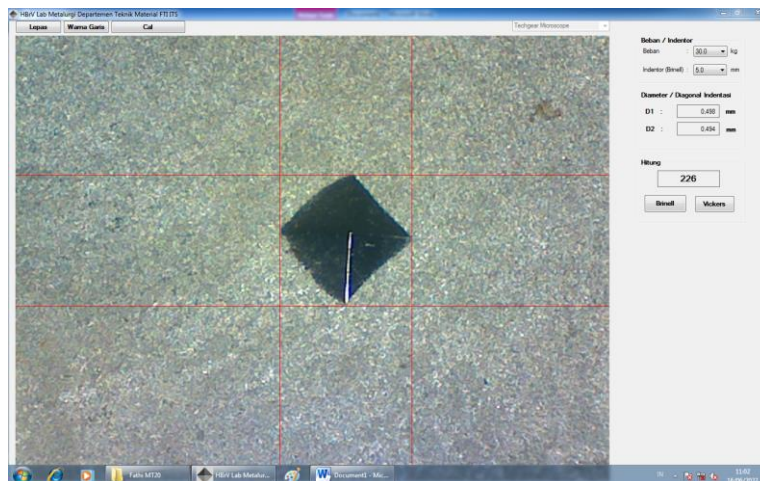
E46. Uji *Base Metal AA-19* Ketiga



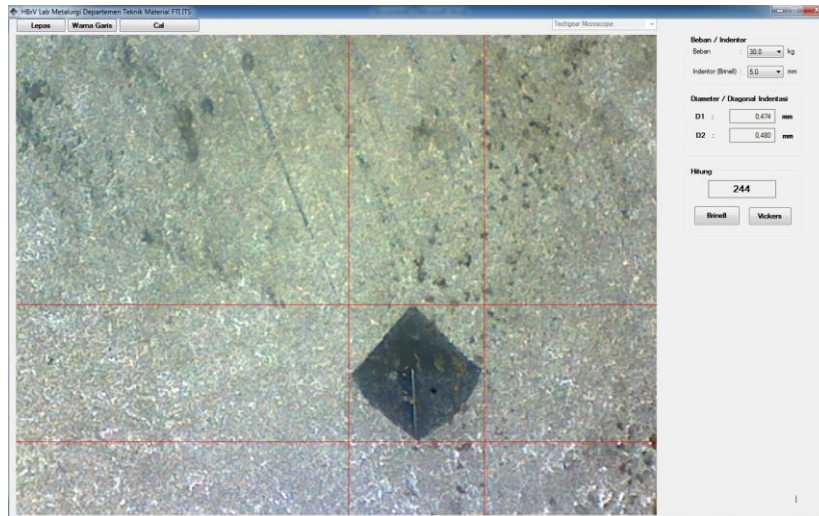
E47. Uji *Weld Metal AA-16* Pertama



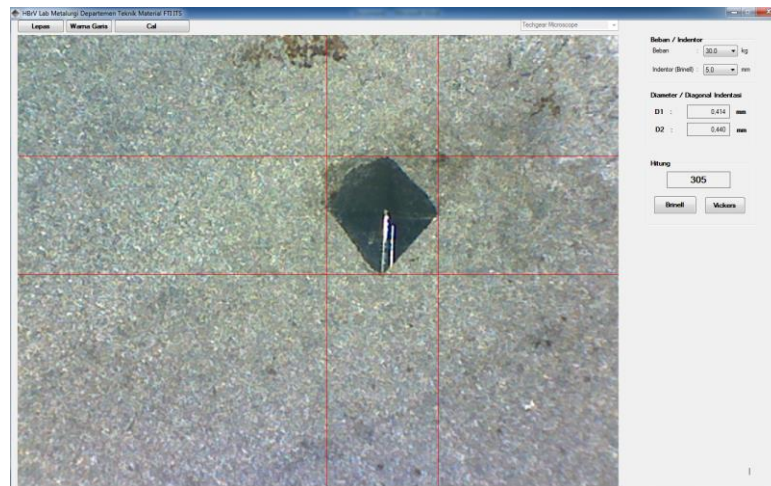
E48. Uji *Weld Metal AA-16* Kedua



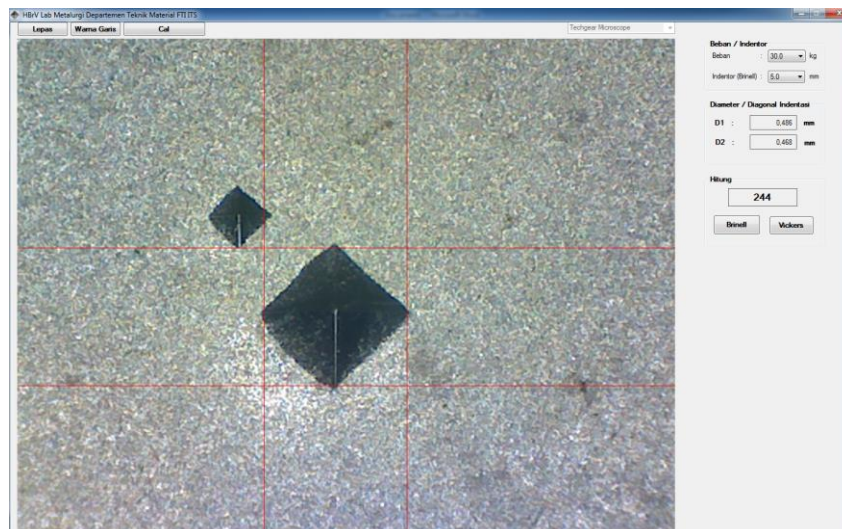
E49. Uji *Weld Metal* AA-16 Ketiga



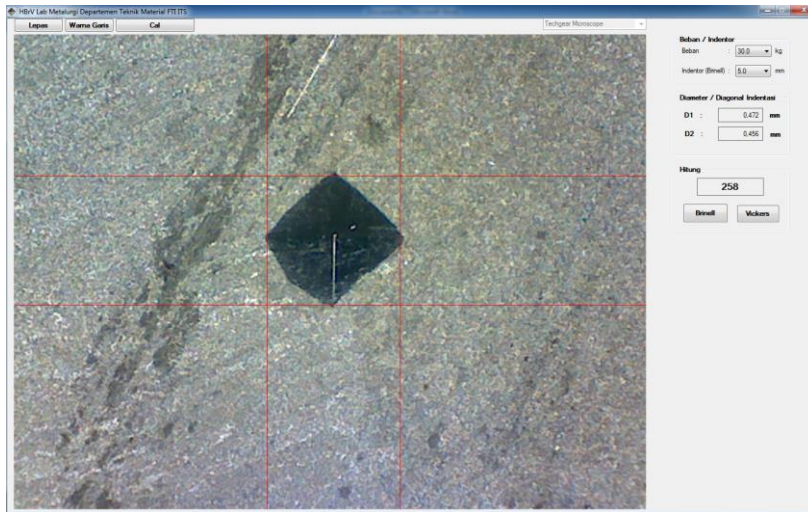
E50. Uji HAZ AA-16 Pertama



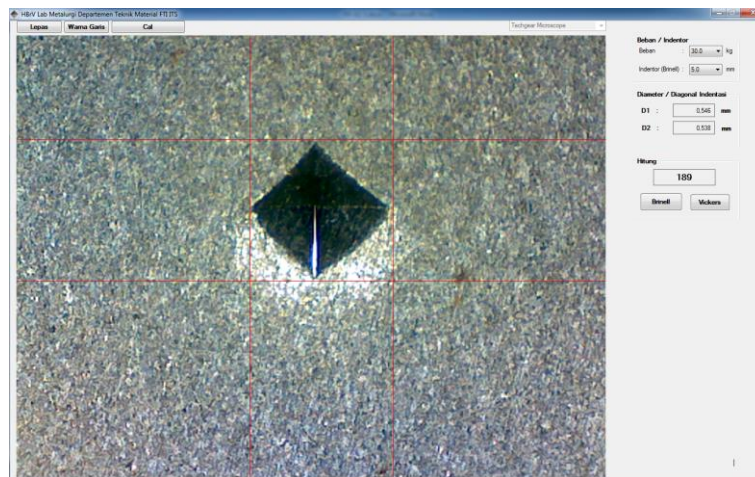
E51. Uji HAZ AA-16 Kedua



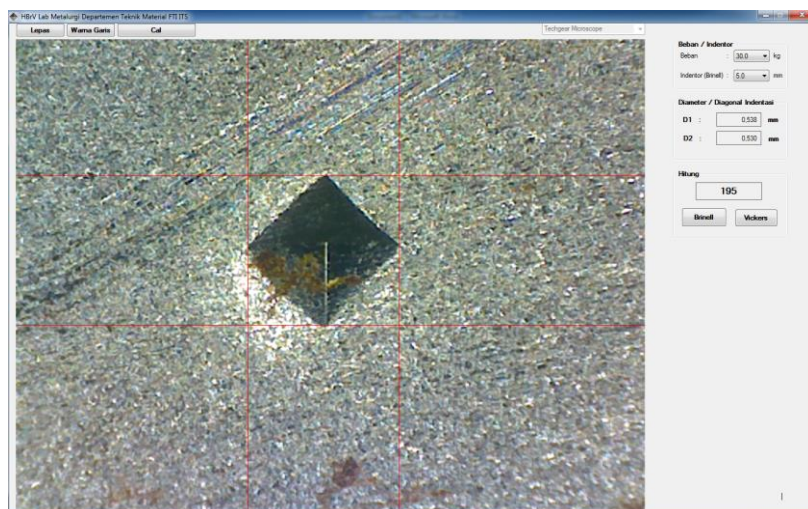
E52. Uji HAZ AA-16 Ketiga



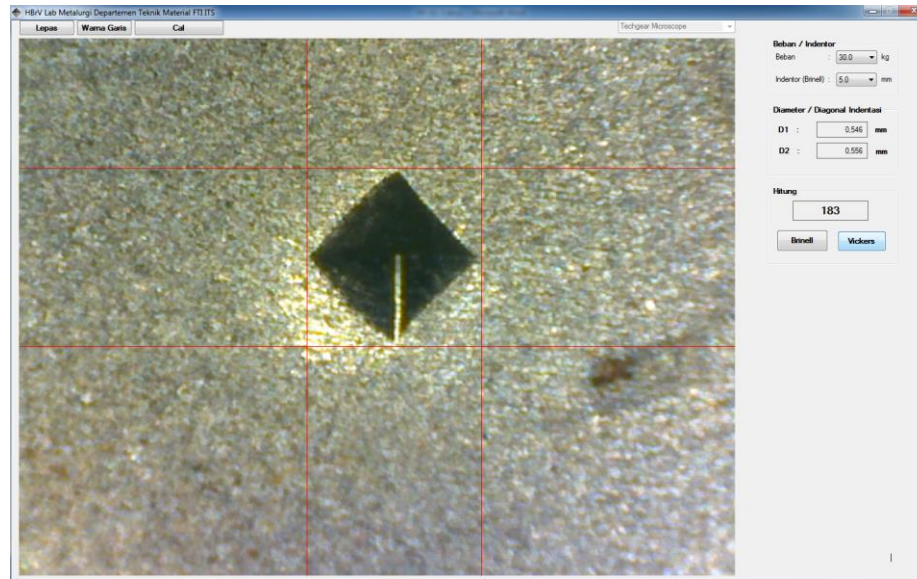
E53. Uji Base Metal AA-16 Pertama



E54. Uji Base Metal AA-16 Kedua



E55. Uji *Base Metal* AA-16 Ketiga



E56. Tabel Spesimen Pengujian Kekerasan Metode Vickers (HV)

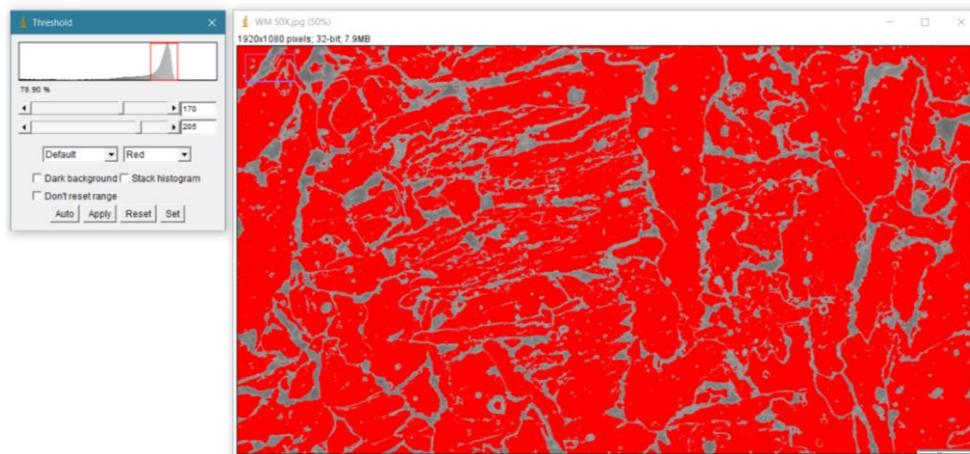
Kode	<i>Weld Metal</i>	<i>Heat Affected Zone (HAZ)</i>	<i>Base Metal</i>
ID-13	181	206	191
	177	222	178
	179	227	186
ID-19	194	220	176
	179	214	184
	177	234	185
ID-16	223	254	190
	197	244	196
	219	233	197
AA-13	187	304	175
	183	231	161
	191	205	174
AA-19	184	263	179
	194	226	163
	199	196	167
AA-16	225	305	189
	226	244	195
	244	258	183

## F. Dokumentasi Pengujian Metalografi

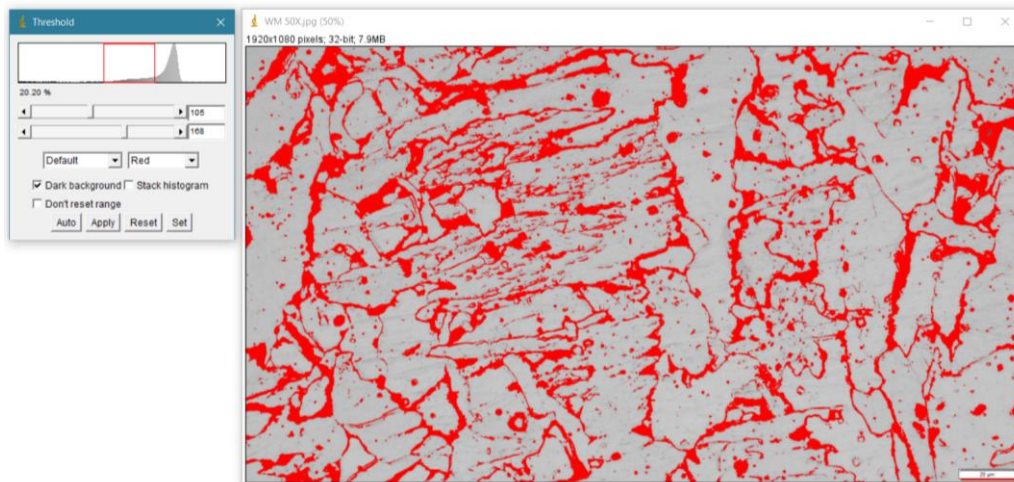
### F1. Proses Metalografi Dengan Mikroskop Optik



### F2. Hasil Persentase Fasa *Ferrite* Pada *Weld Metal* Spesimen ID-13



### F3. Hasil Persentase Fasa *Pearlite* Pada *Weld Metal* Spesimen ID-13





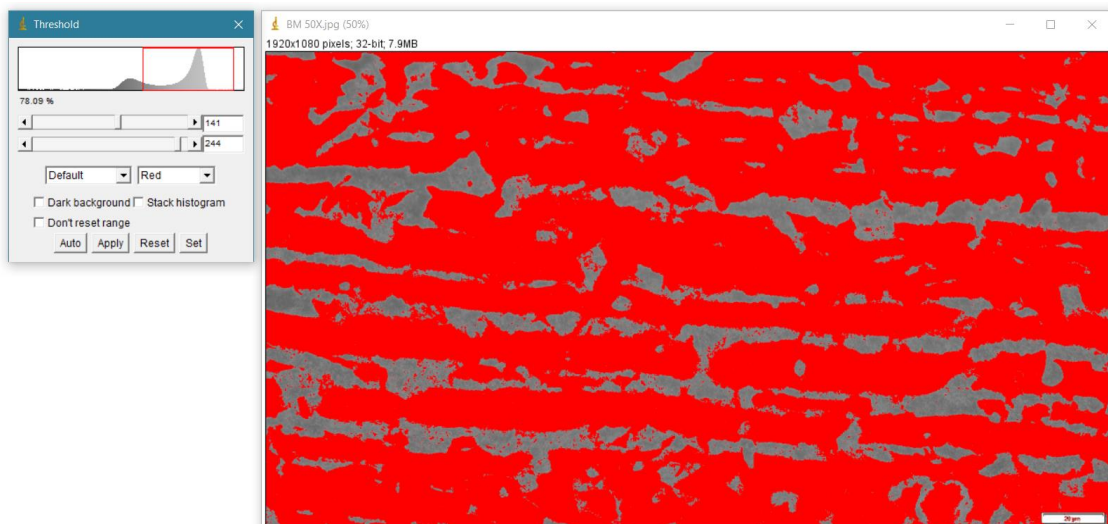
F4. Hasil Persentase Fasa *Ferrite* Pada HAZ Spesimen ID-13



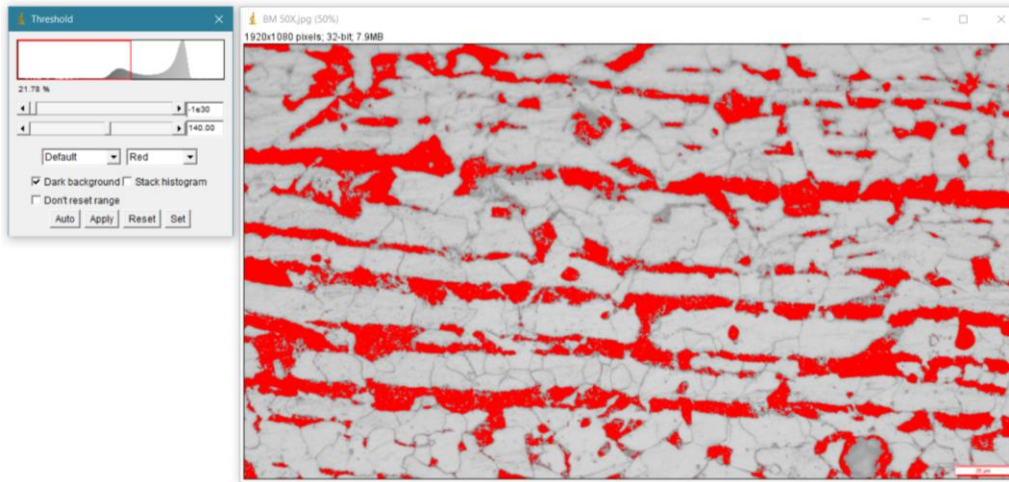
F5. Hasil Persentase Fasa *Pearlite* Pada HAZ Spesimen ID-13



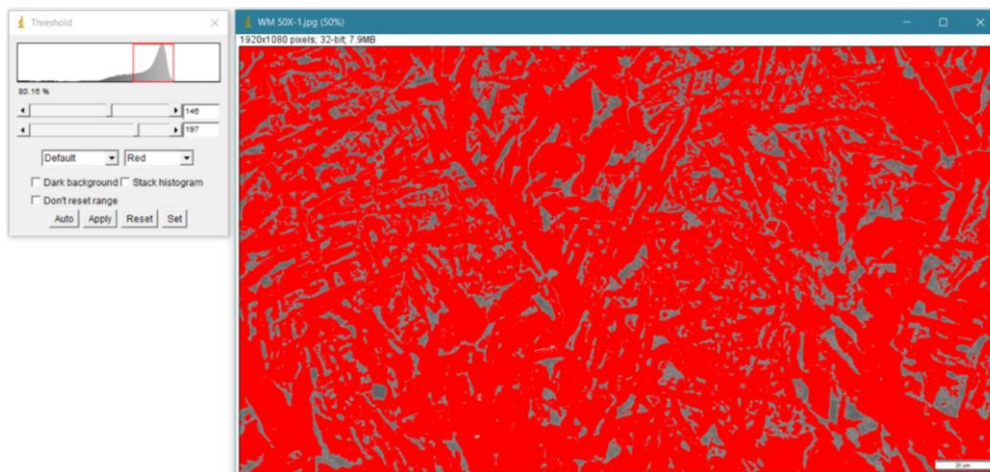
F6. Hasil Persentase Fasa *Ferrite* Pada *Base Metal* Spesimen ID-13



F7. Hasil Persentase Fasa *Pearlite* Pada *Base Metal* Spesimen ID-13



F8. Hasil Persentase Fasa *Ferrite* Pada *Weld Metal* Spesimen ID-19



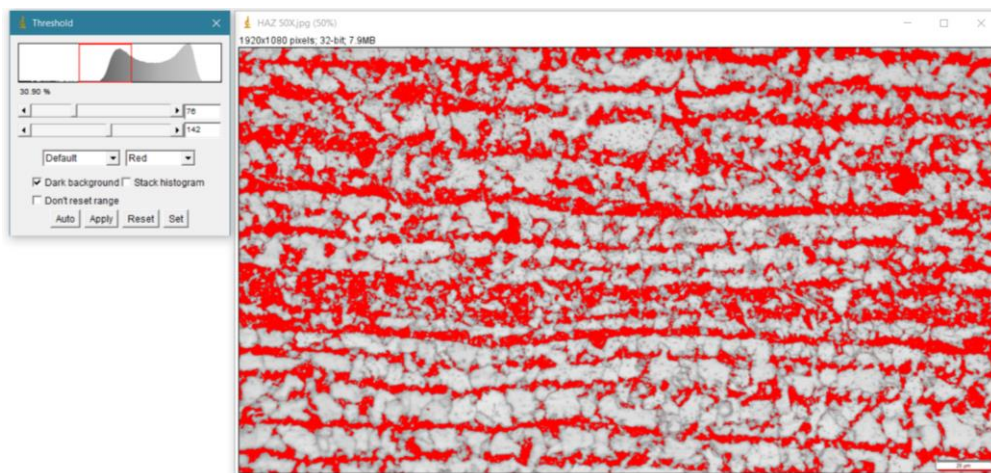
F9. Hasil Persentase Fasa *Pearlite* Pada *Weld Metal* Spesimen ID-19



F10. Hasil Persentase Fasa *Ferrite* Pada HAZ Spesimen ID-19



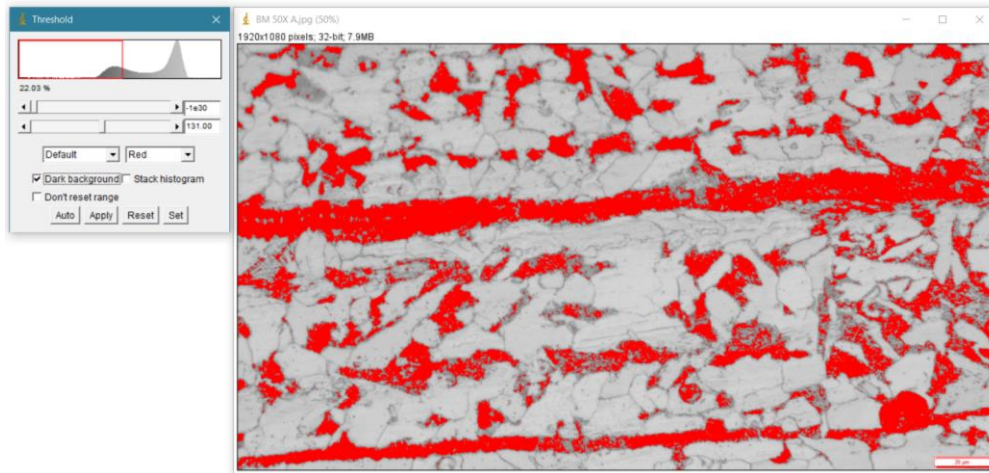
F11. Hasil Persentase Fasa *Pearlite* Pada HAZ Spesimen ID-19



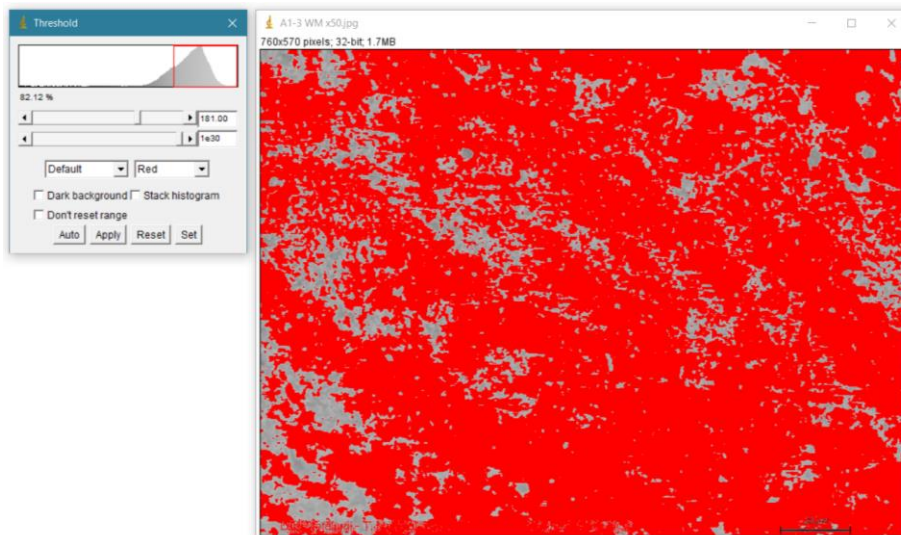
F12. Hasil Persentase Fasa *Ferrite* Pada *Base Metal* Spesimen ID-19



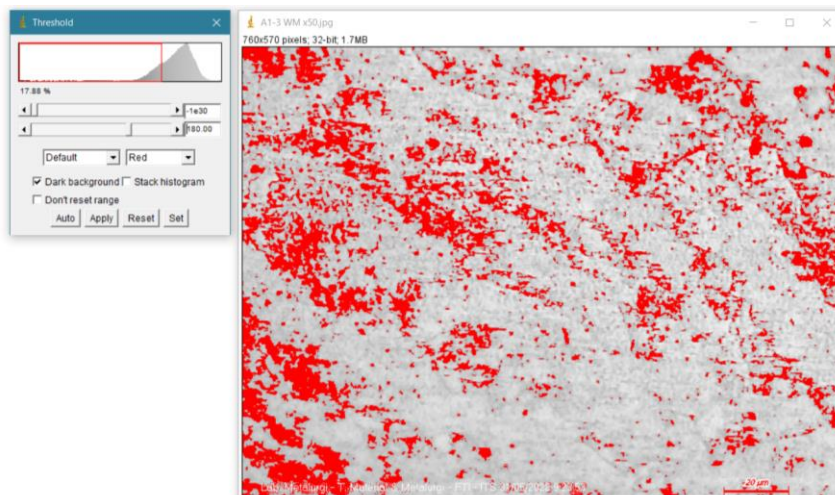
F13. Hasil Persentase Fasa *Pearlite* Pada *Base Metal* Spesimen ID-19



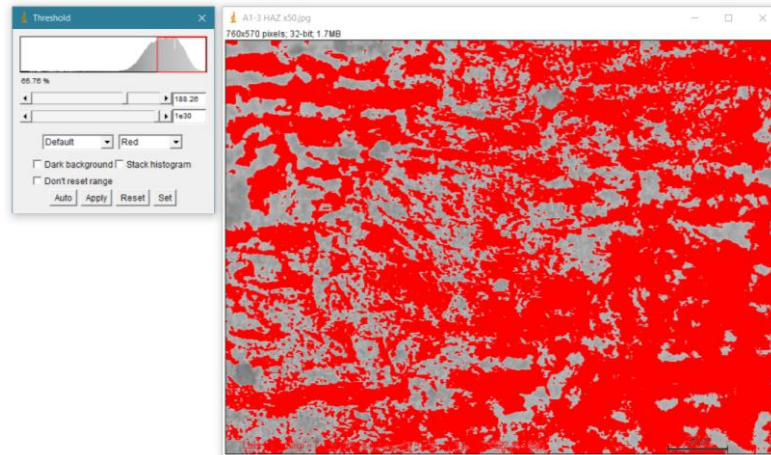
F14. Hasil Persentase Fasa *Ferrite* Pada *Weld Metal* Spesimen ID-16



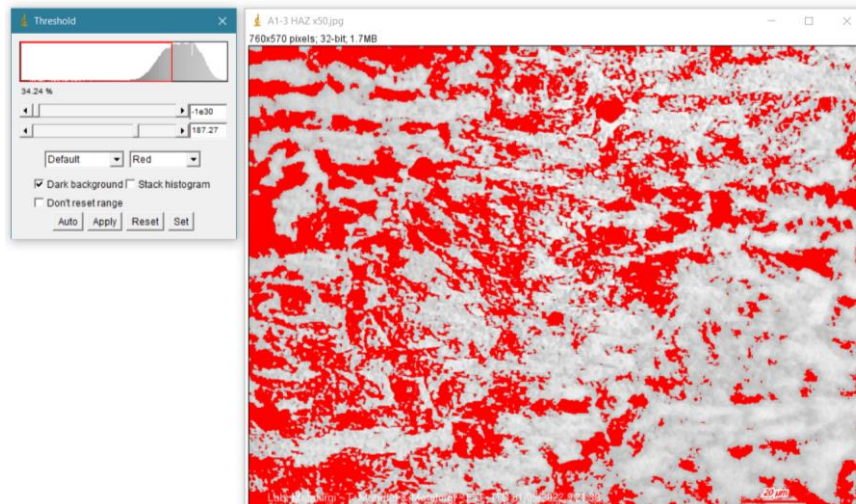
F15. Hasil Persentase Fasa *Pearlite* Pada *Weld Metal* Spesimen ID-16



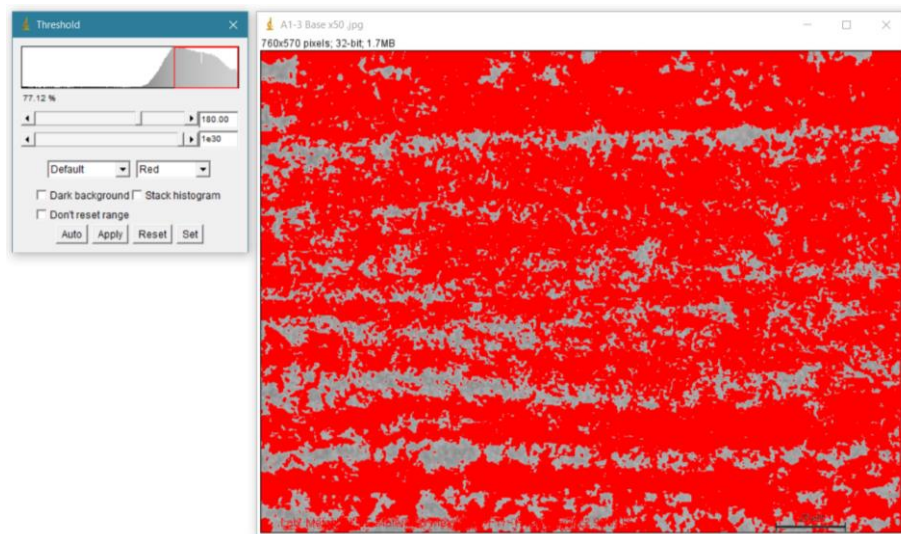
F16. Hasil Persentase Fasa *Ferrite* Pada HAZ Spesimen ID-16



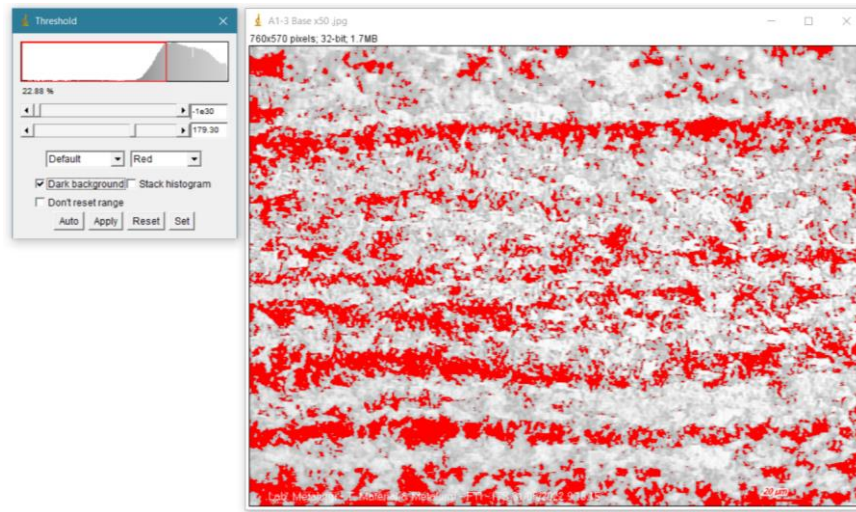
F17. Hasil Persentase Fasa *Pearlite* Pada HAZ Spesimen ID-16



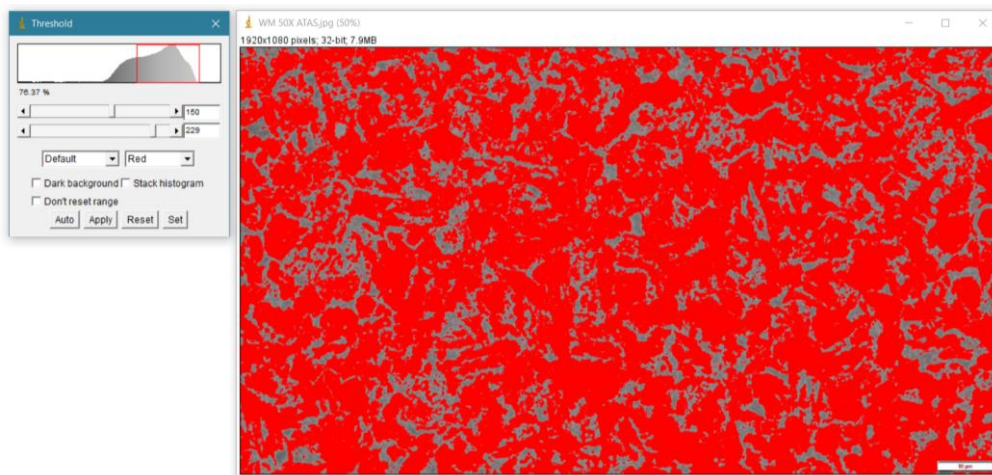
F18. Hasil Persentase Fasa *Ferrite* Pada *Base Metal* Spesimen ID-16



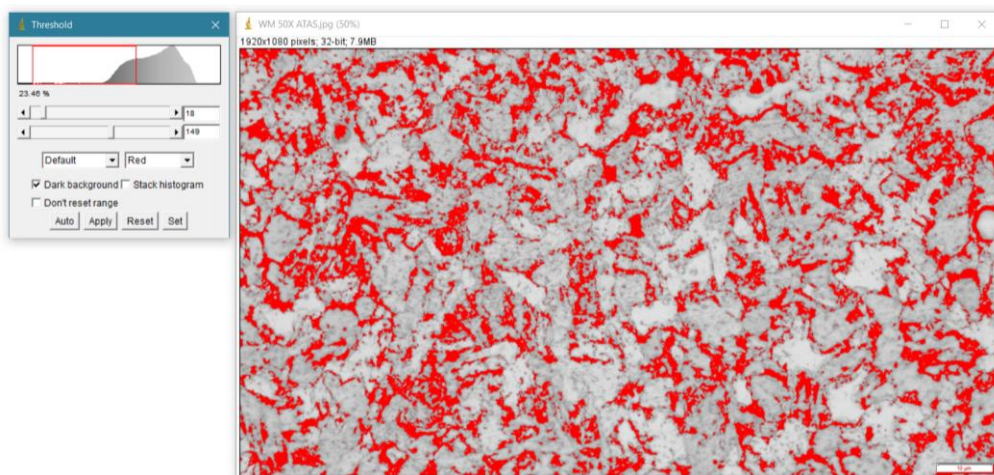
F19. Hasil Persentase Fasa *Pearlite* Pada *Base Metal* Spesimen ID-16



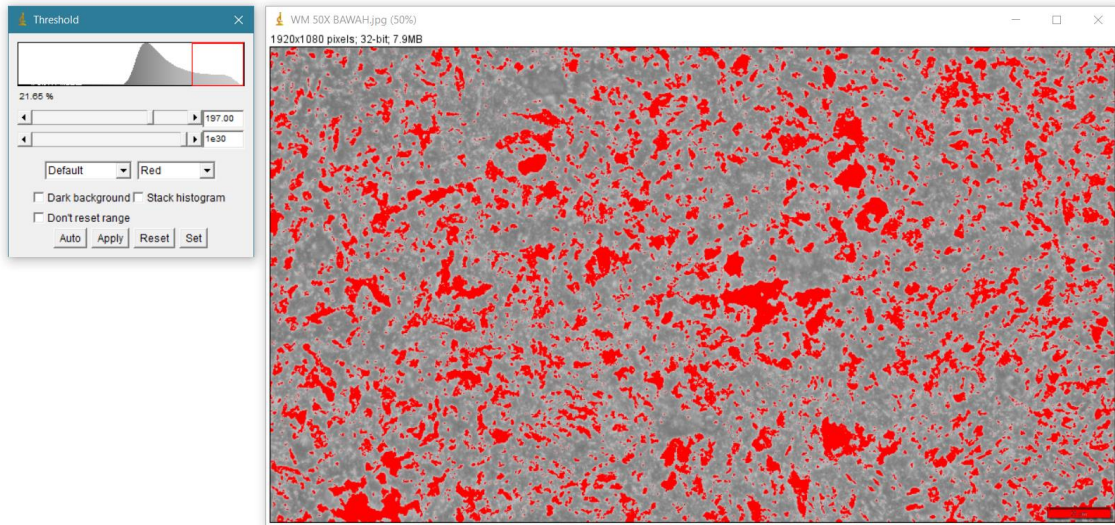
F20. Hasil Persentase Fasa *Ferrite* Pada *Weld Metal* Spesimen AA-13 Bagian *Capping*



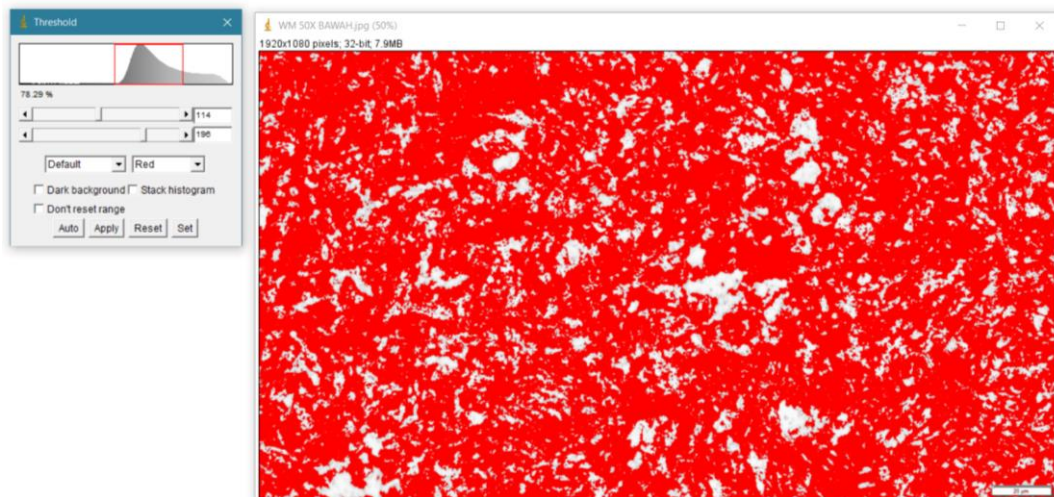
F21. Hasil Persentase Fasa *Pearlite* Pada *Weld Metal* Spesimen AA-13 Bagian *Capping*



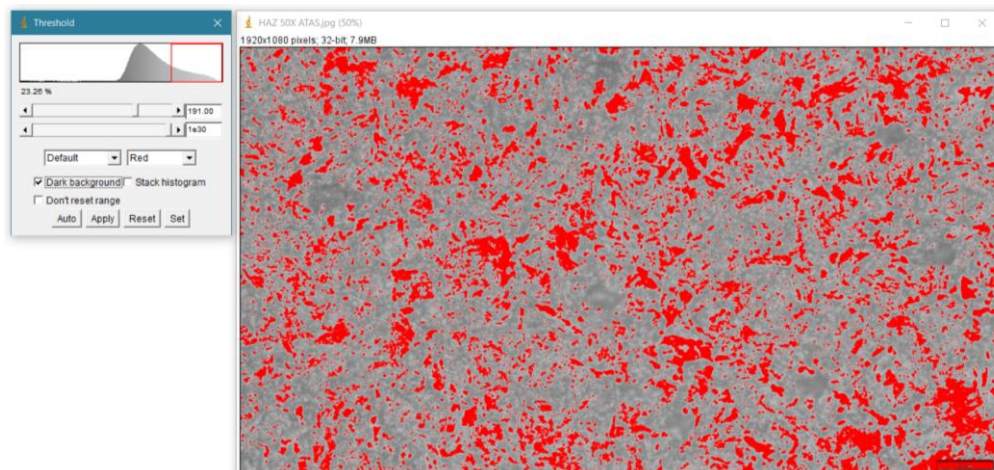
F22. Hasil Persentase Fasa *Ferrite* Pada *Weld Metal* Spesimen AA-13 Bagian *Root*



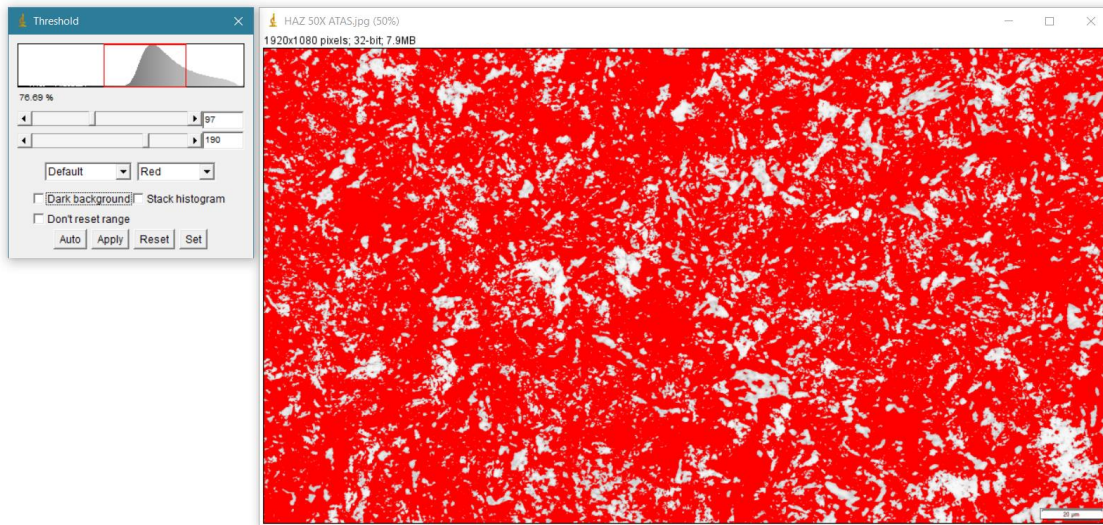
F23. Hasil Persentase Fasa *Pearlite* Pada *Weld Metal* Spesimen AA-13 Bagian *Root*



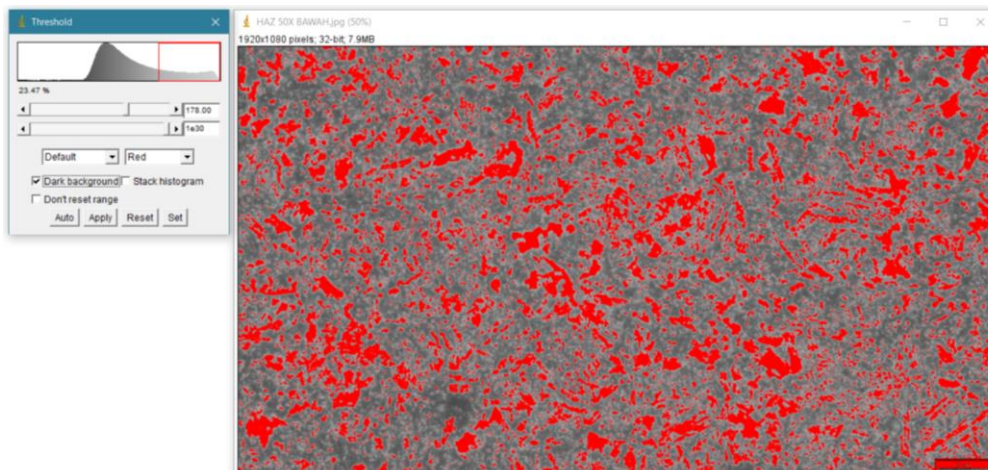
F24. Hasil Persentase Fasa *Ferrite* Pada HAZ Spesimen AA-13 Bagian *Capping*



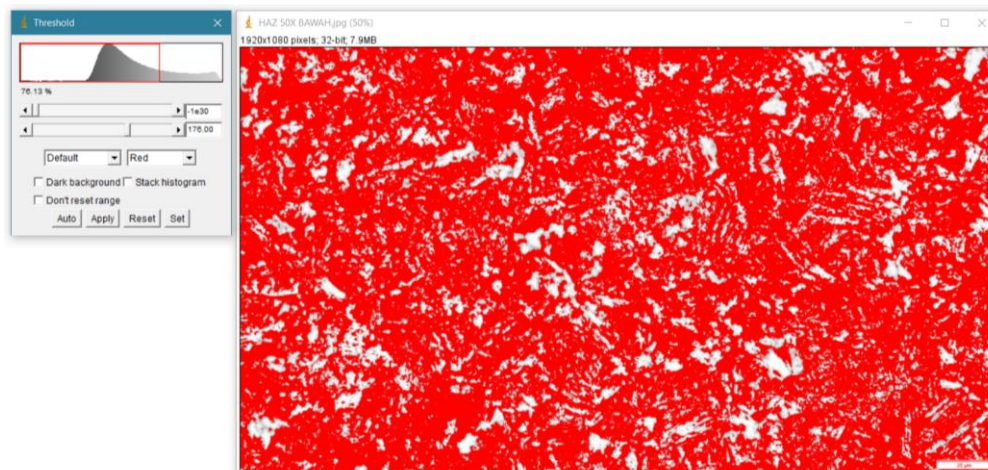
F25. Hasil Persentase Fasa *Pearlite* Pada HAZ Spesimen AA-13 Bagian *Capping*



F26. Hasil Persentase Fasa *Ferrite* Pada HAZ Spesimen AA-13 Bagian *Root*



F27. Hasil Persentase Fasa *Pearlite* Pada HAZ Spesimen AA-13 Bagian *Root*

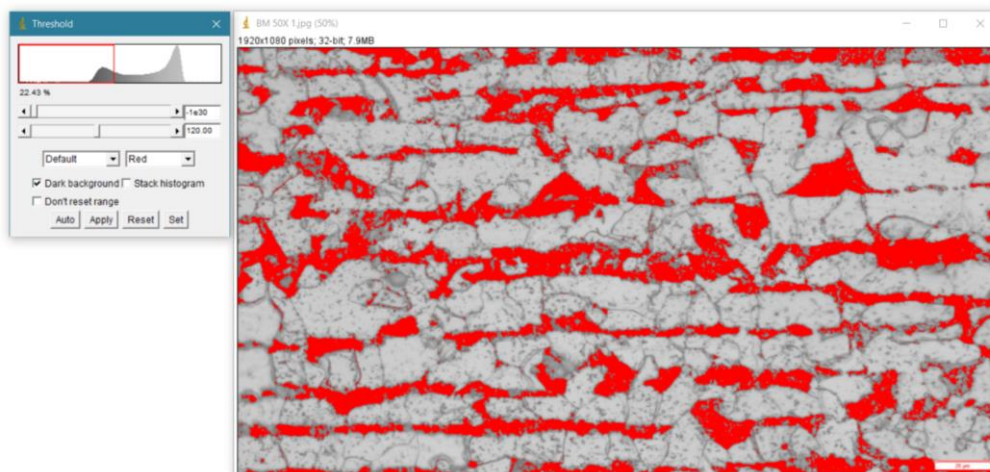




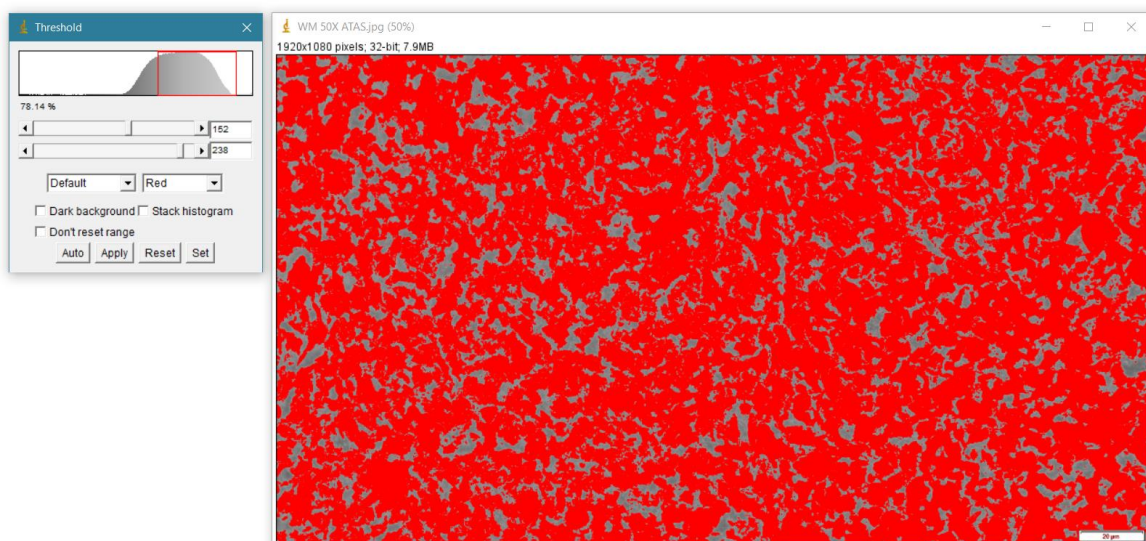
F27. Hasil Persentase Fasa *Ferrite* Pada *Base Metal* Spesimen AA-13



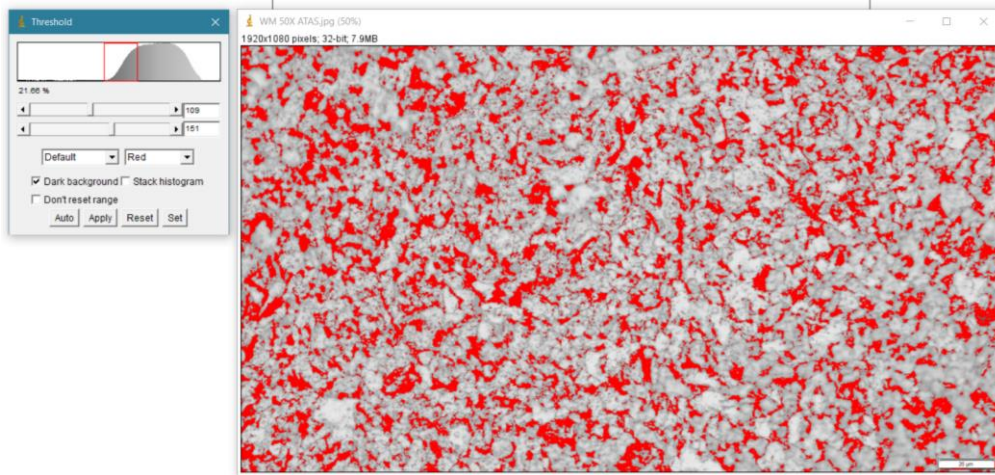
F28. Hasil Persentase Fasa *Pearlite* Pada *Base Metal* Spesimen AA-13



F29. Hasil Persentase Fasa *Ferrite* Pada *Weld Metal* Spesimen AA-19 Bagian *Capping*



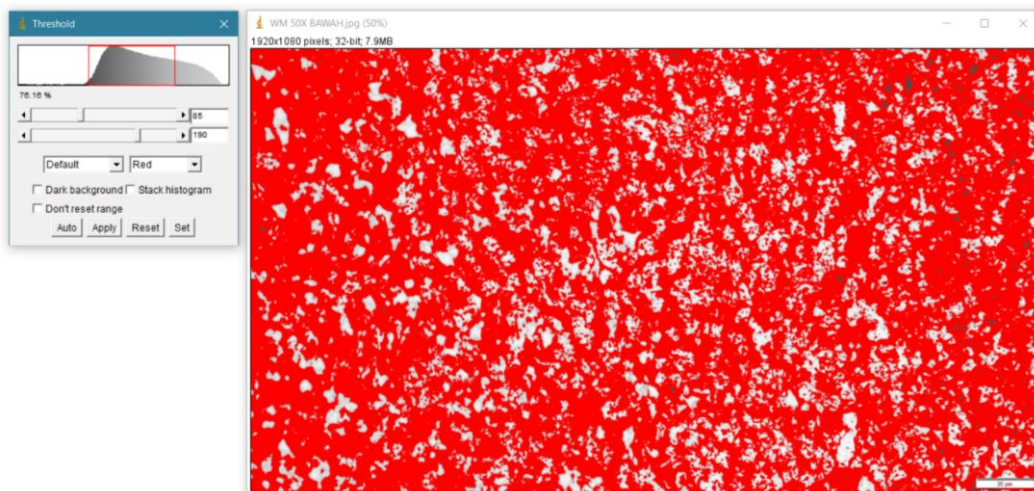
F30. Hasil Persentase Fasa *Pearlite* Pada *Weld Metal* Spesimen AA-19 Bagian *Capping*



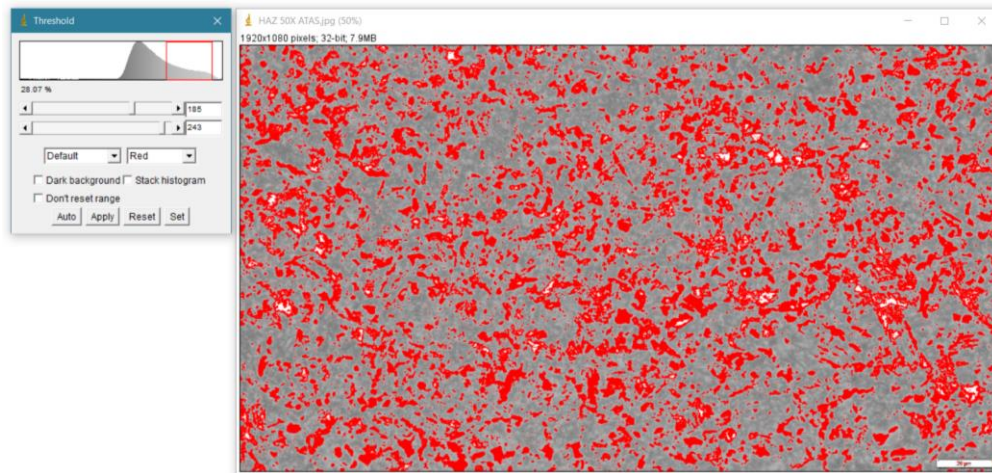
F31. Hasil Persentase Fasa *Ferrite* Pada *Weld Metal* Spesimen AA-19 Bagian *Root*



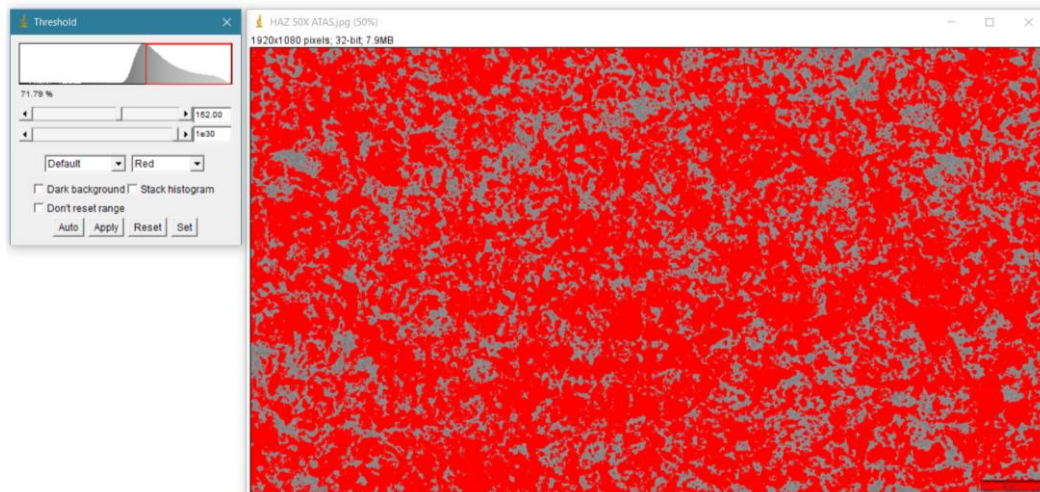
F32. Hasil Persentase Fasa *Pearlite* Pada *Weld Metal* Spesimen AA-19 Bagian *Root*



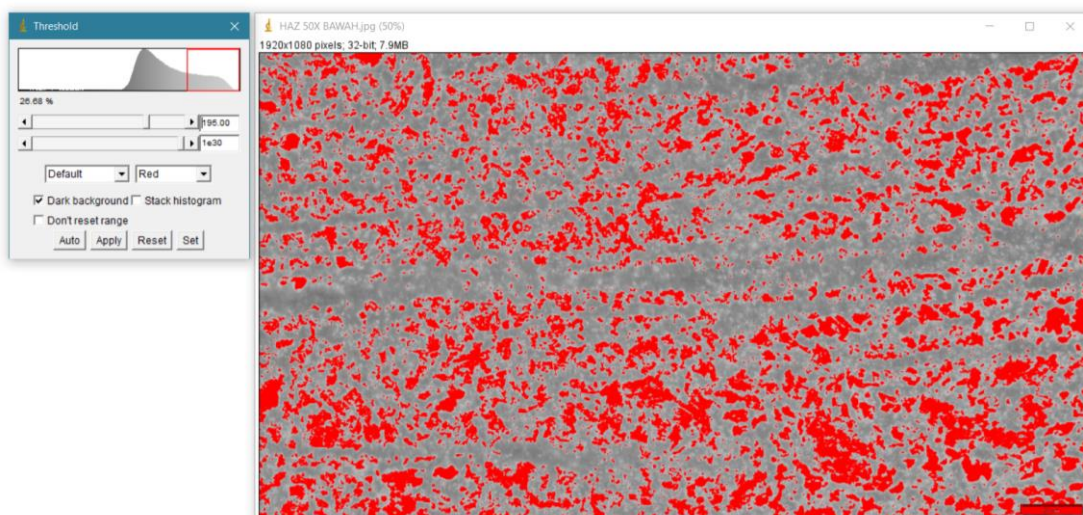
F33. Hasil Persentase Fasa *Ferrite* Pada HAZ Spesimen AA-19 Bagian *Capping*



F34. Hasil Persentase Fasa *Pearlite* Pada HAZ Spesimen AA-19 Bagian *Capping*



F35. Hasil Persentase Fasa *Ferrite* Pada HAZ Spesimen AA-19 Bagian *Root*



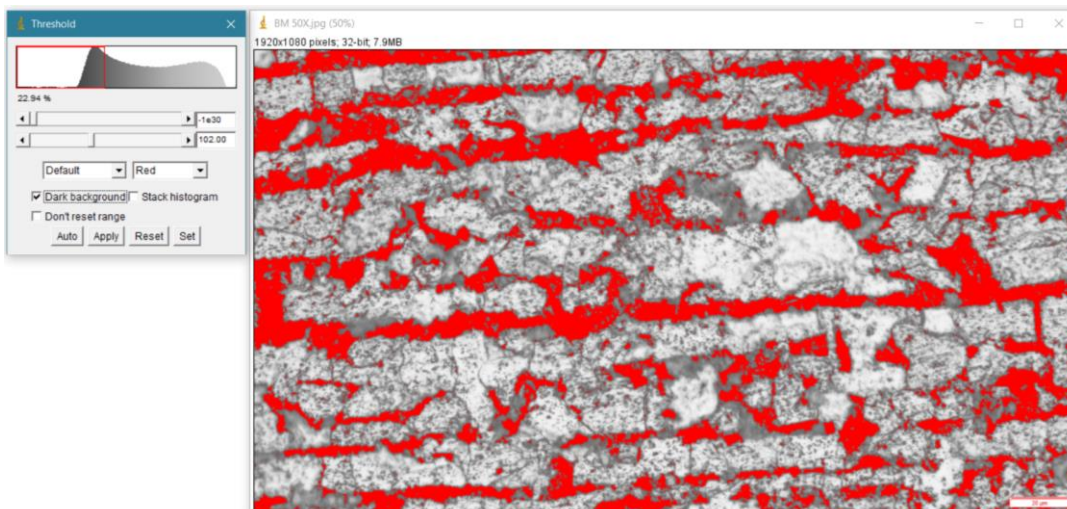
F36. Hasil Persentase Fasa *Pearlite* Pada HAZ Spesimen AA-19 Bagian *Root*



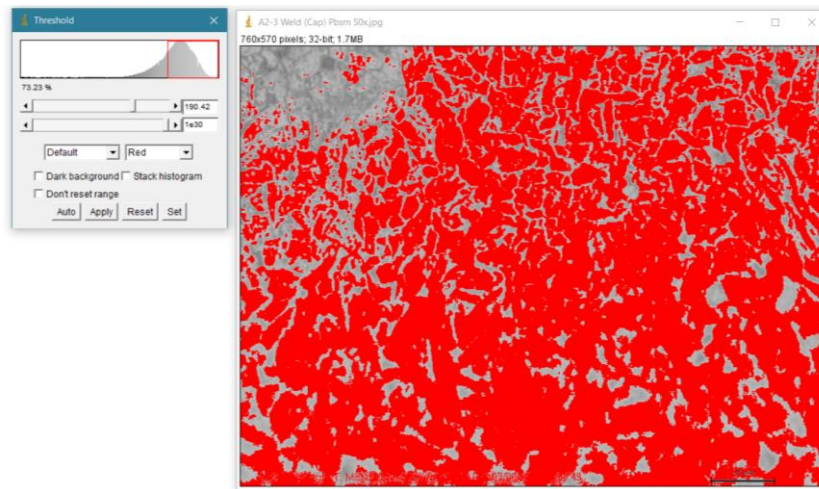
F37. Hasil Persentase Fasa *Ferrite* Pada *Base Metal* Spesimen AA-19



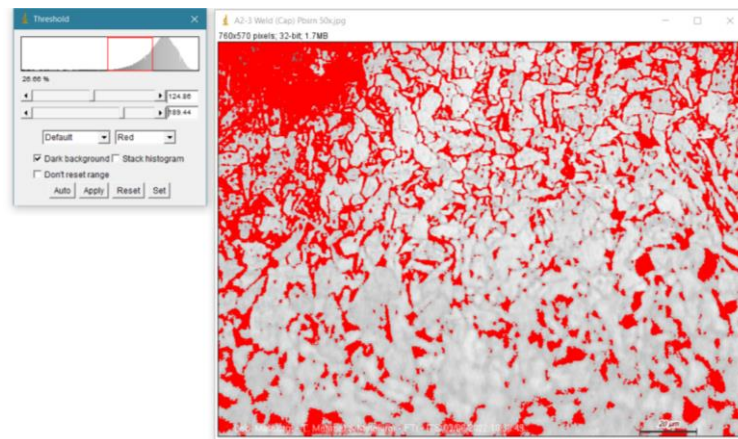
F38. Hasil Persentase Fasa *Pearlite* Pada *Base Metal* Spesimen AA-19



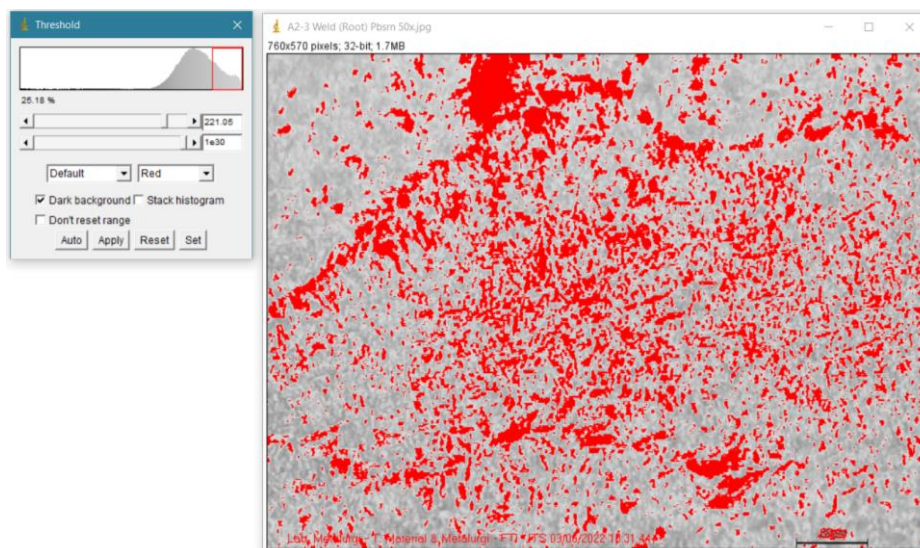
F39. Hasil Persentase Fasa *Ferrite* Pada *Weld Metal* Spesimen AA-16 Bagian *Capping*



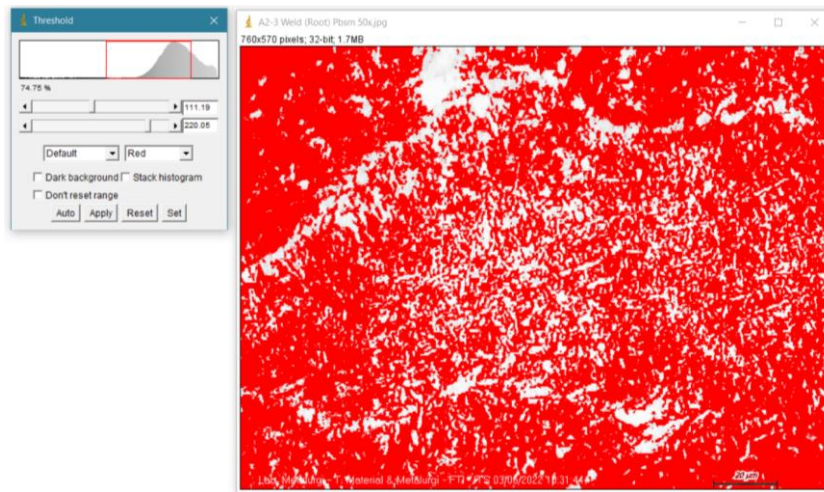
F40. Hasil Persentase Fasa *Pearlite* Pada *Weld Metal* Spesimen AA-16 Bagian *Capping*



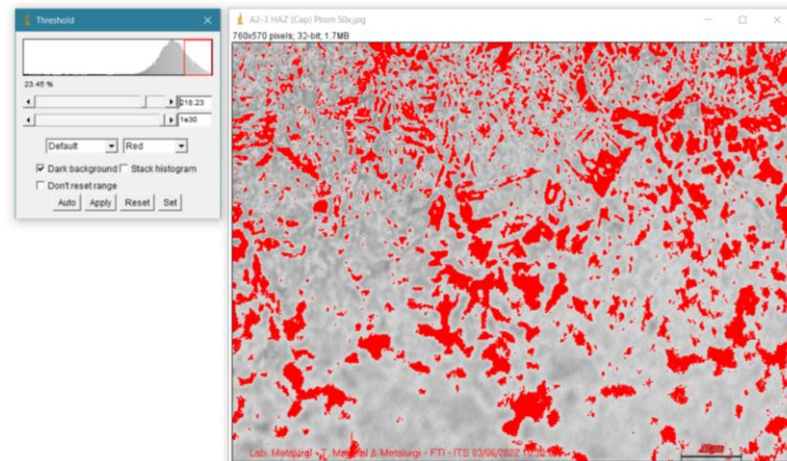
F41. Hasil Persentase Fasa *Ferrite* Pada *Weld Metal* Spesimen AA-16 Bagian *Root*



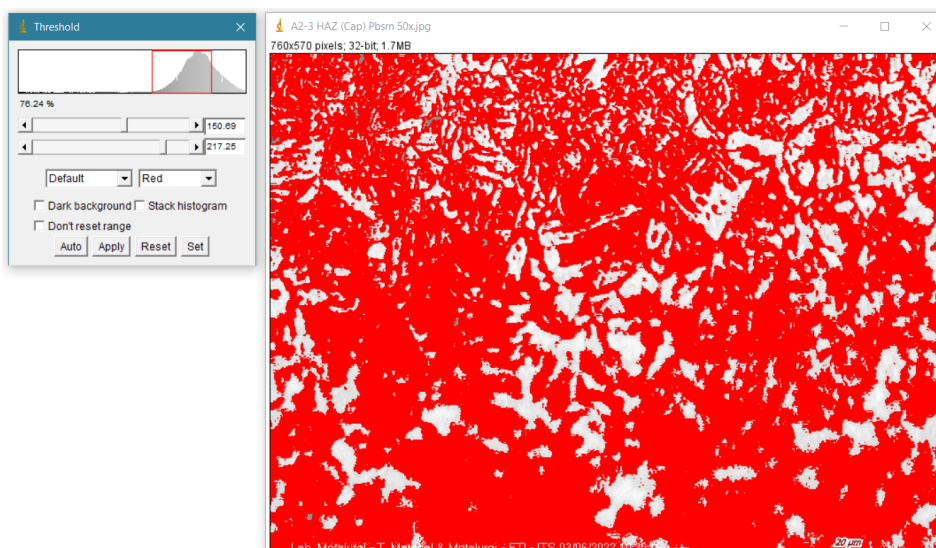
F42. Hasil Persentase Fasa *Pearlite* Pada *Weld Metal* Spesimen AA-16 Bagian *Root*



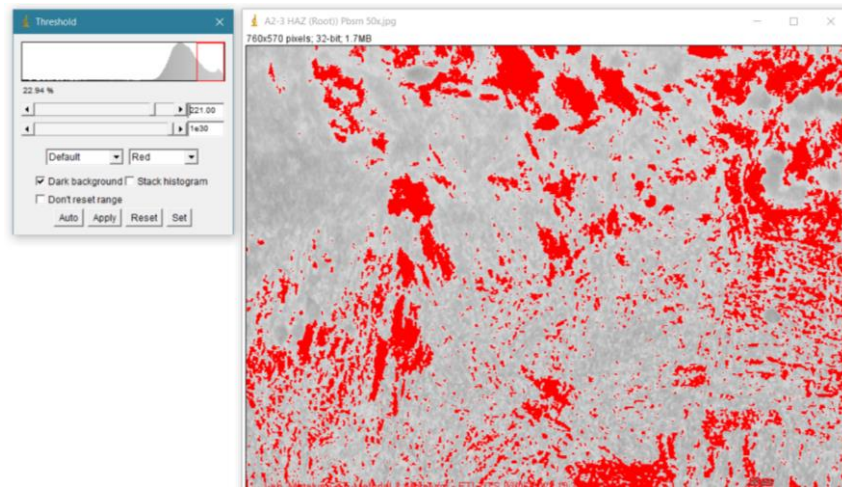
F43. Hasil Persentase Fasa *Ferrite* Pada HAZ Spesimen AA-16 Bagian *Capping*



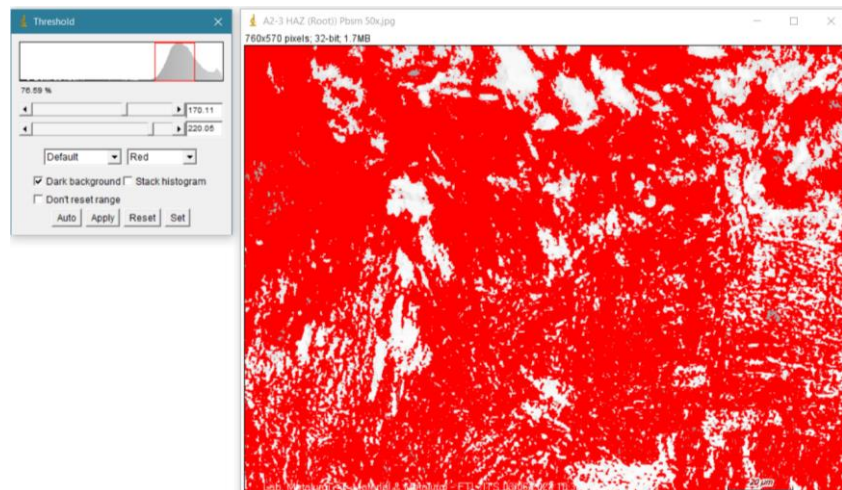
F44. Hasil Persentase Fasa *Pearlite* Pada HAZ Spesimen AA-16 Bagian *Capping*



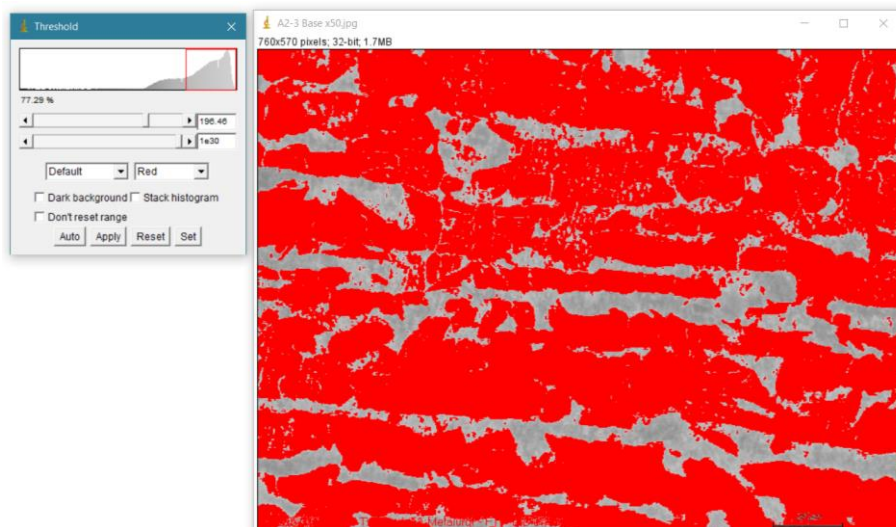
F45. Hasil Persentase Fasa *Ferrite* Pada HAZ Spesimen AA-16 Bagian *Root*



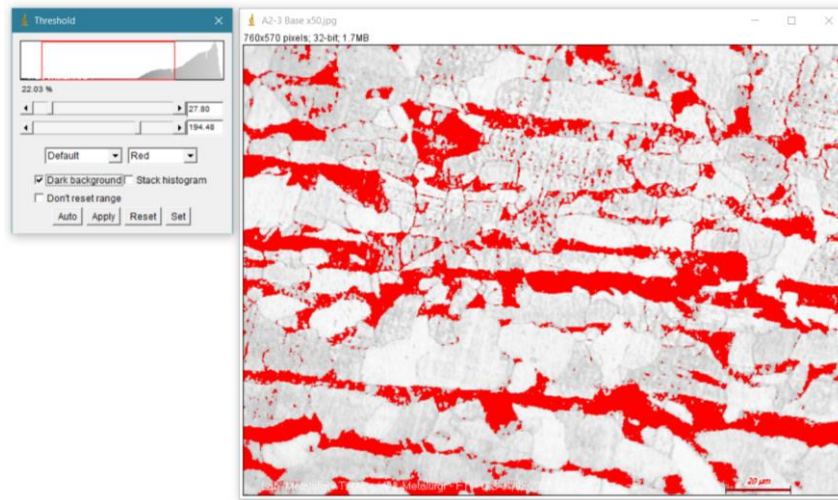
F46. Hasil Persentase Fasa *Pearlite* Pada HAZ Spesimen AA-16 Bagian *Root*



F47. Hasil Persentase Fasa *Ferrite* Pada *Base Metal* Spesimen AA-16



F48. Hasil Persentase Fasa *Pearlite* Pada *Base Metal* Spesimen AA-16





## UCAPAN TERIMA KASIH

Puji syukur atas kehadiran Allah SWT. yang melimpahkan segala rahmat serta karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan laporan Tugas Akhir dengan judul “**Analisis Pengaruh Variasi Elektroda pada Hasil Pengelasan Baja ASTM A36 di Atas Air dengan Metode SMAW Terhadap Weld Defect, Kekerasan, dan Kekuatan Tarik**”. 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. Ir. Rochman Rochiem, M.Sc. dan Mavindra Ramadhani, S.T., M.T., selaku dosen pembimbing Tugas Akhir penulis yang selalu memberikan bimbingan selama masa pengerjaan hingga selesai.
3. Rusaeful Arief, S.T., Sigit Budi Raharjo, S.T., Wahyu Nur Hidayat, S.T., serta *engineer* lainnya di Divisi *Quality Assurance* dan Divisi Konstruksi Lambung, PT. PAL, yang memberikan penulis kesempatan melakukan eksperimen di *workshop*.
4. Sigit Tri Wicaksono, S.Si, M.Si, Ph.D, selaku Kepala Departemen Teknik Material dan Metalurgi FTIRS - ITS.
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. Rifki Arga Irfansyah, selaku *partner* yang membantu penulis selama mengerjakan Tugas Akhir di PT. PAL.
9. Rekan – rekan mahasiswa Tugas Akhir bidang pengelasan ; Hanif Shabri B., Jeremy Osland S., Toga Jason T., Izzuddin H., Ario Bhismo N., dan Sulthan Naufal A., yang senantiasa memberikan saran dan bantuan kepada penulis.
10. Rekan – rekan mahasiswa *Material Society* (MATRICE) Generasi 20 atau Angkatan 2018 yang menemani penulis selama masa kuliah.
11. Rekan – rekan mahasiswa KOS FAMILY ; Yuslam Alfariz, Darell Muflih A., Rikza Octavian P., Kaisar Akbar P., Ibrahim Fathahillah H. I., Azhim Rama P., Syarief Hidayatulloh, Ibnu Azis M., Ganang Wasono, dan Wafiq Syeach M. A.
12. Rekan – rekan staf dan fungsionaris Departemen *External Affairs* HMMT 2019 - 2021, terkhusus untuk Muhammad Evan F. R. (Kepala Departemen Hubungan Luar – HMMT SERASI 19/20) dan Ferginia Stany (Kepala Departemen *External Affairs* – HMMT KONTRIBUSI 20/21).

13. Rekan – rekan staf dan fungsionaris kepanitiaan INI LHO! ITS 2019 - 2020, GERIGI ITS 2019 - 2020, dan ITS EXPO 2019 – 2020, terkhusus untuk Naura Anggita R. dan Alvin S. K., yang selalu memberikan dukungan untuk penulis.
14. 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.

Surabaya, 7 Juli 2022  
Penulis,



Fahrizal Fathi  
NRP. 02511840000061

## BIODATA PENULIS



Penulis bernama Fahrizal Fathi, lahir di Surabaya pada tahun 2000. Teman – teman dan keluarga seringkali memanggil penulis dengan panggilan Fathi.

Pendidikan formal yang telah ditempuh yaitu SD Negeri Kalisari 1 Surabaya (2006 – 2012), SMP Negeri 18 Surabaya (2012 – 2015), dan SMA Negeri 1 Surabaya (2015 – 2018). Pada tahun 2018 pasca kelulusan SMA, penulis melanjutkan studi sarjana di Departemen Teknik Material dan Metalurgi, Fakultas Teknologi Industri dan Rekayasa Sistem, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS), Surabaya.

Selama berkuliah di ITS, penulis sempat mengikuti kerja praktik di PT. NOV Profab Indonesia, bertempat di Batam, Kepulauan Riau, selama satu bulan. Dalam kegiatan tersebut, penulis ditempatkan di bagian divisi pra – fabrikasi.

Kegiatan non – akademik penulis selama masa perkuliahan antara lain aktif di berbagai kepanitiaan acara tingkat institut seperti INI LHO ITS, ITS EXPO, serta GERIGI ITS. Pada tingkat departemen, penulis juga aktif di Departemen *External Affairs* Himpunan Mahasiswa Teknik Material dan Metalurgi (HMMT) FTIRS ITS selama dua periode. Penulis juga mengemban amanah sebagai koordinator mata kuliah Kerja Praktik (KP) pada tahun 2021 dan 2022. Apabila ada pertanyaan terkait laporan Tugas Akhir ini dapat menghubungi penulis di nomor *handphone* 0822-2300-0685 atau *e-mail* [fahrizalfathi1@gmail.com](mailto:fahrizalfathi1@gmail.com)