



ITS
Institut
Teknologi
Sepuluh Nopember

TUGAS AKHIR - TL141584

PENGARUH AMPERE DAN DIAMETER ELEKTRODA KAWAT ER70S-G KC26 PADA GAS METAL ARC WELDING (GMAW) TERHADAP SIFAT MEKANIK DAN STRUKTUR MIKRO SAMBUNGAN LAS JIS G3101 SS400 SEBAGAI APLIKASI ARM EXCAVATOR DI PT. X

NAUFAL AFIF PRAHASTHO

NRP 025 1 15 40000 002

Dosen Pembimbing

Wikan Jatimurti, S.T., M.Sc.

Alvian Toto Wibisono, S.T., M.T.

PROGRAM STUDI SARJANA

DEPARTEMEN TEKNIK MATERIAL

Fakultas Teknologi Industri

Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Surabaya

2019

(halaman ini sengaja dikosongkan)



TUGAS AKHIR - TL141584

PENGARUH *AMPERE* DAN DIAMETER ELEKTRODA KAWAT ER70S-G KC26 PADA GAS *METAL ARC WELDING* (GMAW) TERHADAP SIFAT MEKANIK DAN STRUKTUR MIKRO SAMBUNGAN LAS JIS G3101 SS400 SEBAGAI APLIKASI ARM EXCAVATOR DI PT. X

NAUFAL AFIF PRAHASTHO

NRP 025 1 15 40000 002

Dosen Pembimbing

Wikan Jatimurti, S.T., M.Sc.

Alvian Toto Wibisono, S.T., M.T.

PROGRAM STUDI SARJANA

DEPARTEMEN TEKNIK MATERIAL

Fakultas Teknologi Industri

Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Surabaya

2019

(halaman ini sengaja dikosongkan)



FINAL PROJECT - TL141584

**THE INFLUENCE OF AMPERE AND ELECTRODE DIAMETER
ER70S-G KC26 OF GAS METAL ARC WELDING (GMAW) ON
MECHANICAL PROPERTIES AND MICROSTRUCTURE OF JIS
G3101 SS400 WELDED JOINT AS ARM EXCAVATOR
APPLICATION ON PT. X**

NAUFAL AFIF PRAHASTHO

NRP 025 1 15 40000 002

Advisors

Wikan Jatimurti, S.T., M.Sc.

Alvian Toto Wibisono, S.T., M.Sc.

UNDERGRADUATE STUDY PROGRAM

MATERIAL ENGINEERING DEPARTMENT

Faculty of Industrial Technology

Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Surabaya

2019

(Intentionally left blank)

LEMBAR PENGESAHAN

PENGARUH AMPERE DAN DIAMETER ELEKTRODA KAWAT ER70S-G KC26 PADA GAS METAL ARC WELDING (GMAW) TERHADAP SIFAT MEKANIK DAN STRUKTUR MIKRO SAMBUNGAN LAS JIS G3101 SS400 SEBAGAI APLIKASI ARM ESCAVATOR DI PT. X

TUGAS AKHIR

Diajukan untuk memenuhi salah satu syarat
Memperoleh gelar Sarjana Teknik
Bidang Studi Manufaktur
Program Studi S-1 Departemen Teknik Material
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh :

Naufal Afif Prahastho
NRP. 0251154000002

Disetujui oleh tim penguji tugas akhir :

1. Wikan Jatimurti, S.T., M.S. (Pembimbing I)
2. Alvian Toto Wibisono, S.T., M.S. (Pembimbing II)



(halaman ini sengaja dikosongkan)

PENGARUH *AMPERE* DAN DIAMETER ELEKTRODA KAWAT ER70S-G KC26 PADA *GAS METAL ARC WELDING* (GMAW) TERHADAP SIFAT MEKANIK DAN STRUKTUR MIKRO SAMBUNGAN LAS JIS G3101 SS400 SEBAGAI APLIKASI *ARM EXCAVATOR* DI PT. X

Nama : Naufal Afif Prahastho
NRP : 025 1 15 40000 002
Departemen : Teknik Material
Pembimbing : Wikan Jatimurti, S.T., M.Sc.
Alvian Toto Wibisono, S.T., M.T.

ABSTRAK

Industri manufaktur alat berat semakin berkembang seiring dengan meningkatnya permintaan pasar. Salah satu proses produksi yang digunakan dalam industri manufaktur alat berat adalah pengelasan. Demi menghasilkan pengelasan berkualitas tinggi secara konsisten, dibutuhkan pemilihan parameter pengelasan yang optimal. Oleh karena itu, penelitian ini dilakukan untuk menganalisa pengaruh *ampere* dan diameter elektroda ER70S-G KC26 pada *gas metal arc welding* (GMAW) terhadap sifat mekanik dan struktur mikro sambungan las JIS G3101 SS400. Kuat arus listrik yang diteliti 320, 420, dan 520 *ampere* sementara untuk diameter elektroda adalah 1,2 mm dan 1.4 mm. Hasil menunjukkan kekerasan tertinggi 209,8 HB sementara terendah 171,6 HB, nilai UTS tertinggi 569,3 MPa sementara terendah 531,4 MPa, presentase elongasi terbesar 56% sementara terkecil 38%, nilai impact tertinggi 122,8 Joule sementara terendah 56,68 Joule. Hasil struktur mikro menunjukkan pada HAZ didominasi oleh *lath martensite*, bainit dan *polygonal ferit* sementara pada daerah *weld* didominasi oleh *acicular ferit*, *widmanstätten ferit*, dan *polygonal ferit*. Baik *ampere* maupun diameter elektroda ER70S-G KC26 mempengaruhi sifat mekanik dan struktur mikro hasil pengelasan JIS G3101.

Kata Kunci: *GMAW, ampere, ER70S-G, JIS G3101 SS400, diameter elektroda, acicular ferit, UTS*

(halaman ini sengaja dikosongkan)

THE INFLUENCE OF AMPERE AND ELECTRODE DIAMETER ER70S-G KC26 OF GAS METAL ARC WELDING (GMAW) ON MECHANICAL PROPERTIES AND MICROSTRUCTURE OF JIS G3101 SS400 WELDED JOINT AS ARM EXCAVATOR APPLICATION ON PT. X

Student Name : Naufal Afif Prahastho
NRP : 025 1 15 40000 002
Department : Teknik Material
Advisors : Wikan Jatimurti, S.T., M.Sc.
Alvian Toto Wibisono, S.T., M.Sc.

ABSTRACT

Heavy equipment manufacturing industry keeps growing along with the increasing market demand. One of the production line used in the manufacturing process was welding. In order to produce high-quality welding consistently, optimal selection of welding parameters was needed. Therefore, this study was conducted to analyze the influence of ampere and electrode diameter ER70S-G KC26 of gas metal arc welding (GMAW) on the mechanical properties and microstructure of JIS G3101 SS400 welded joint. The variables of electric current were 320, 420 and 520 amperes while the electrode diameters were 1.2 mm and 1.4 mm. The results showed the highest hardness was 209.8 HB while the lowest was 171.6 HB, the highest UTS value was 569.3 MPa while the lowest was 531.4 MPa, the highest elongation percentage was 56% while the lowest was 38%, the highest impact was 122.8 Joule while the lowest was 56.68 Joule. The results of microstructure showed that HAZ was dominated by lath martensite, bainite and polygonal ferrite while in the weld region it was dominated by acicular ferrite, widmanstätten ferrite, and polygonal ferrite. Both ampere and electrode diameter ER70S-G KC26 affects mechanical properties and microstructures of welded joint JIS G3101.

Keyword: *GMAW, ampere, ER70S-G, JIS G3101 SS400, diameter elektroda, acicular ferit, UTS*

(Intentionally left blank)

KATA PENGANTAR

Puji dan syukur penulis sampaikan kepada Allah SWT atas rahmat dan Hidayah-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan laporan tugas akhir yang berjudul “**Pengaruh *Ampere* Dan *Diameter Elektroda Kawat ER70S-G KC26* Pada *Gas Metal Arc Welding (GMAW)* Terhadap Sifat Mekanik Dan Struktur Mikro Sambungan Las JIS G3101 SS400 Sebagai Aplikasi *Arm Excavator* Di PT. X**”. Laporan ini disusun dan diajukan untuk memenuhi sebagian persyaratan studi di Jurusan Teknik Material dan Metalurgi, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya.

Penulis ingin menyampaikan terima kasih kepada seluruh pihak yang telah membantu penulis dari awal pelaksanaan tugas akhir, penentuan topik laporan hingga selesainya penyusunan laporan tugas akhir ini, diantaranya :

1. Allah SWT yang telah memberi kelancaran dalam proses mengerjakan Tugas Akhir hingga penyusunan laporan.
2. Rasulullah SAW yang selalu memberikan kasih sayang dan tuntunannya untuk senantiasa beribadah kepada Allah SWT.
3. Kedua Orang Tua, Alm Bapak Suwinarno dan Ibu Renny Soelistiyowati serta keluarga besar yang selalu memberikan dukungan moril dan materil serta doa yang tidak henti untuk penulis.
4. Bapak Dr. Agung Purniawan, S.T., M.Eng., selaku Ketua Departemen Teknik Material.
5. Bapak Dr. Sungging Pintowantoro, S.T., M.Sc., selaku dosen wali yang telah membimbing, memberi saran dan arahan serta nasihat selama perkuliahan di Departemen Teknik Material.
6. Bapak Wikan Jatimurti, S.T., M.Sc. selaku pembimbing I tugas akhir yang telah membimbing, memberi saran dan arahan serta nasihat dalam pelaksanaan tugas akhir dan penyusunan laporan tugas akhir ini.

7. Bapak Alvian Toto Wibisono, S.T., M.T. selaku pembimbing II tugas akhir yang telah membimbing, memberi saran dan arahan serta nasihat religius dalam pelaksanaan tugas akhir dan penyusunan laporan tugas akhir ini.
8. Bapak Nadhif MT 06, Bapak Agus, Bapak Setiawan, Bapak Dodi, Ibu Liza, selaku pembimbing perusahaan di PT. Komatsu Indonesia yang banyak memberi dukungan dan membantu kelancaran selama proses penyusunan Tugas Akhir.
9. Semua yang tidak dapat saya sebutkan disini yang memberi dukungan dan membantu kelancaran proses tugas akhir ini.

Penulis menyadari jika laporan ini masih jauh dari sempurna, diperlukan adanya saran dan kritik yang membangun dapat memberikan manfaat bagi penulis dan untuk studi selanjutnya. Demikian semoga laporan ini dapat memberikan informasi yang memadai bagi pembaca.

Surabaya, Desember 2019
Penulis

DAFTAR ISI

ABSTRAK	iii
ABSTRACT	v
KATA PENGANTAR	vii
DAFTAR ISI	ix
DAFTAR GAMBAR	xi
DAFTAR TABEL	xv
BAB 1 PENDAHULUAN	1
I.1 Latar Belakang.....	1
I.1 Rumusan Masalah.....	1
I.1 Tujuan Penelitian.....	2
I.1 Batasan Masalah.....	2
I.1 Manfaat Penelitian.....	2
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	3
II.1 JIS G3101 SS400.....	3
II.2 Pengelasan.....	4
II.3 <i>Gas Metal Arc Welding</i> (GMAW).....	6
II.3.1 GMAW.....	6
II.3.2 <i>Metal Transfer</i>	8
II.3.3 Polaritas.....	10
II.4 <i>High Strength Low Alloy</i> (HSLA).....	12
II.5 Elektroda ER70S-G KC26.....	13
II.6 <i>Welding Parameter</i>	14
II.6.1 Arus Pengelasan.....	14
II.6.2 Voltase Pengelasan.....	16
II.6.3 <i>Travel Speed</i>	17
II.6.4 <i>Shielding Gas</i>	18
II.6.5 Diameter Elektroda.....	18
II.7 <i>Heat Input</i>	20
II.7.1 Siklus Termal.....	21
II.7.2 Teori <i>Heat Flow</i> Rosenthal.....	24
II.8 <i>Interpass Temperature</i>	25
II.9 Struktur Mikro Daerah Las.....	27
II.10 <i>Cooling Rate</i>	31

II.11 Penerapan Excavator di Industri.....	35
II.12 Penelitian Sebelumnya.....	35
BAB III METODOLOGI PENELITIAN.....	43
III.1 Diagram Alir.....	43
III.2 Alat dan Bahan yang digunakan.....	45
III.2.1 Alat Penelitian.....	45
III.2.2 Bahan Penelitian.....	52
III.3 Variabel Penelitian.....	54
III.4 Prosedur Penelitian.....	55
III.4.1 Prosedur proses pengelasan.....	55
III.5 Proses Pengujian.....	59
III.5.1 Pengamatan Visual.....	59
III.5.2 Pengujian Metalografi.....	59
III.5.2 Pengujian <i>Hardness</i>	60
III.5.3 Pengujian <i>Tensile</i>	61
III.5.4 Pengujian <i>Impact</i>	61
III.6 Rancangan Penelitian.....	63
III.6.1 Rancangan pengujian.....	63
III.6.2 Jadwal penelitian.....	63
BAB IV ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN.....	65
IV.1 Analisa Data.....	65
IV.1.1 Hasil pengamatan visual.....	65
IV.1.2 Hasil pengujian kekerasan.....	67
IV.1.3 Hasil pengujian <i>tensile</i>	70
IV.1.4 Hasil pengujian <i>impact</i>	74
IV.1.5 Hasil pengamatan makroskopik.....	75
IV.1.6 Hasil pengamatan mikroskopik.....	77
IV.2 Pembahasan.....	84
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN.....	93
V.1 Kesimpulan.....	93
V.2 Saran.....	94
DAFTAR PUSTAKA.....	xvii
LAMPIRAN.....	xx

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Klasifikasi <i>Fusion Welding</i> (NPTEL, 2009).....	6
Gambar 2.2 Klasifikasi <i>Pressure Welding</i> (NPTEL, 2009).....	6
Gambar 2.3 Skema GMAW (Metalwork GMAW Welding, 2015) .	7
Gambar 2.4 <i>Short Circuit Transfer</i> (Metalwork GMAW Welding, 2015).....	8
Gambar 2.5 <i>Siklus Short Circuit</i> (Metalwork GMAW Welding, 2015).....	9
Gambar 2.6 <i>Globular Transfer</i> (Metalwork GMAW Welding, 2015)	10
Gambar 2.7 <i>Spray Arc Transfer</i> (Metalwork GMAW Welding, 2015).....	10
Gambar 2.8 Perbandingan Tipe Polaritas Pengelasan (Khemici Badri, 2017)	12
Gambar 2.9 Diagram CCT HSLA (ASM <i>International</i> , 2001).....	13
Gambar 2.10 <i>Karakterisasi Burn-off</i> (Jurandir Primo, 2014)	15
Gambar 2.11 Korelasi antara <i>Arc Voltage</i> dengan <i>Welding Current</i> (Jurandir Primo, 2014).....	16
Gambar 2.12 Teknik <i>positioning</i> untuk <i>travel speed</i> (Jurandir Primo, 2014)	17
Gambar 2.13 Pengaruh diameter elektroda terhadap geometri kepala lasan (Md Ibrahim Khan, 2007)	19
Gambar 2.14 <i>Welding Thermal Cycle</i> (Sindou Kou, 2003).....	21
Gambar 2.15 Tahapan pengelasan dalam siklus termal (Sindou Kou, 2003).....	24
Gambar 2.16 Temperatur interpass (Duane K. Miller, 2003).....	26
Gambar 2.17 Diagram fasa Fe-Fe ₃ C (Anang Setiawan, dkk, 2006)	27
Gambar 2.18 Perbandingan daerah lasan dengan diagram fasa Fe-Fe ₃ C (Lee Alan Aucot, 2015).....	28

Gambar 2.19 Diagram <i>Time Temperature Transformation</i> (Rahul, 2014).....	32
Gambar 2.20 Diagram <i>Continous Cooling Transformation</i> (G. Turichin, dkk, 2018).....	34
Gambar 2.21 Excavator (PT. X, 2018).....	35
Gambar 2.22 Hasil struktur mikro pengelasan (Izzatul Aini Ibrahim, dkk, 2012).....	36
Gambar 2.23 Hubungan antara arus dan tegangan terhadap sifat mekanik (Izzatul Aini Ibrahim, dkk, 2012).....	37
Gambar 2.24 Hubungan <i>welding parameter</i> dengan sifat kekerasan (Talabi, S.I, dkk, 2014).....	38
Gambar 2.25 Hubungan <i>welding parameter</i> dengan <i>yield strength</i> (Talabi, S.I, dkk, 2014).....	38
Gambar 2.26 Hasil penelitian dengan variabel berbeda (H.R. Ghazvinloo, dkk, 2010).....	40
Gambar 2.27 Struktur mikro a. logam induk, b. daerah las 100A, c. daerah las arus 120A, d. daerah las arus 140A (H.R. Ghazvinloo, dkk, 2010).....	41
Gambar 3.1 Skema Percobaan.....	43
Gambar 3.2 Spesifikasi robot GMAW.....	46
Gambar 3.3 <i>Band saw</i>	47
Gambar 3.4 <i>Micro cutting</i>	47
Gambar 3.5 <i>Wire Cut</i>	48
Gambar 3.6 Alat <i>milling</i>	48
Gambar 3.7 Alat <i>Grinding</i> dan <i>Polishing</i>	49
Gambar 3.8 Kertas abrasive.....	50
Gambar 3.9 Alat uji <i>tensile</i>	51
Gambar 3.10 Alat uji <i>hardness</i>	51
Gambar 3.11 Alat uji <i>impact</i>	52
Gambar 3.12 JIS G3101 SS400.....	52
Gambar 3.13 Kawat Elektroda.....	53
Gambar 3.14 Alumina.....	53

Gambar 3.15 Rak bahan etsa.....	54
Gambar 3.16 Design specimen plat untuk pengelasan	56
Gambar 3.17 Panel untuk input data pengelasan.....	56
Gambar 3.18 Ilustrasi pengelasan GMAW.....	57
Gambar 3.19 Hasil pemotongan <i>band saw</i>	58
Gambar 3.20 Proses <i>micro cutting</i>	58
Gambar 3.21 Pengujian kekerasan.....	61
Gambar 3.22 Dimensi spesimen uji tarik JIS Z 3121 (JIS, 2013) .	61
Gambar 3.23 Dimensi spesimen uji <i>impact</i> JIS Z 2202 (JIS, 2013)	62
Gambar 4.1 (a) Hasil pengelasan dengan diameter elektroda 1,2 mm dan arus pengelasan 320A (b) Hasil pengelasan dengan diameter elektroda 1,2 mm dan arus pengelasan 420A (c) Hasil pengelasan dengan diameter elektroda 1,2 mm dan arus pengelasan 520A	65
Gambar 4.2 (a) Hasil pengelasan dengan diameter elektroda 1,4 mm dan arus pengelasan 320A (b) Hasil pengelasan dengan diameter elektroda 1,4 mm dan arus pengelasan 420A (c) Hasil pengelasan dengan diameter elektroda 1,4 mm dan arus pengelasan 520A	66
Gambar 4.3 Perbandingan Jumlah <i>Splatter</i>	67
Gambar 4.4 Grafik nilai distribusi kekerasan spesimen dengan diameter elektroda 1,2 mm	69
Gambar 4.5 Grafik nilai distribusi kekerasan spesimen dengan diameter elektroda 1,4 mm	69
Gambar 4.6 (a) Kurva perbandingan gaya dan pertambahan panjang untuk diameter elektroda 1,2 mm (b) untuk diameter elektroda 1,4 mm	70
Gambar 4.7 Perbandingan Nilai <i>Ultimate Tensile Strength</i> (UTS)	71
Gambar 4.8 Perbandingan Nilai Elongasi	72
Gambar 4.9 Patahan tarik (a) diameter elektroda 1,2 mm, 320 A (b) diameter elektroda 1,2 mm, 420 A (c) diameter elektroda 1,2 mm, 520 A (d) diameter elektroda 1,4 mm, 320 A (e) diameter elektroda 1,4 mm, 420 A (f) diameter elektroda 1,4 mm, 520 A	73
Gambar 4.10 Perbandingan Hasil <i>Impact</i>	74

Gambar 4.11 Makrostruktur hasil pengelasan (a) diameter elektroda 1,2 mm, 320 A (b) diameter elektroda 1,2 mm, 420 A (c) diameter elektroda 1,2 mm, 520 A.....	75
Gambar 4.12 Makrostruktur hasil pengelasan (d) diameter elektroda 1,4 mm, 320 A (e) diameter elektroda 1,4 mm, 420 A (f) diameter elektroda 1,4 mm, 520 A	76
Gambar 4.13 Hasil mikroskopik perbesaran 500x pada ampere 320 diameter 1,2 (a) <i>base metal</i> (b) HAZ (c) <i>weld</i>	78
Gambar 4.14 Hasil mikroskopik perbesaran 500x pada ampere 420 diameter 1,2 (a) <i>base metal</i> (b) HAZ (c) <i>weld</i>	79
Gambar 4.15 Hasil mikroskopik perbesaran 500x pada ampere 520 diameter 1,2 (a) <i>base metal</i> (b) HAZ (c) <i>weld</i>	80
Gambar 4.16 Hasil mikroskopik perbesaran 1000x pada ampere 420 diameter 1,4 (a) <i>base metal</i> (b) HAZ (c) <i>weld</i>	81
Gambar 4.17 Hasil mikroskopik perbesaran 1000x pada ampere 420 diameter 1,4 (a) <i>base metal</i> (b) HAZ (c) <i>weld</i>	82
Gambar 4.18 Hasil mikroskopik perbesaran 1000x pada ampere 420 diameter 1,4 (a) <i>base metal</i> (b) HAZ (c) <i>weld</i>	83

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 <i>Steel Grade</i> (Rianti Dewi Sulamet-Ariobimo, 2016)	3
Tabel 2.2 Sifat Mekanik SS400 (PT. X).....	4
Tabel 2.3 Komposisi Kimia SS400 (PT. X).....	4
Tabel 2.4 Komposisi Elektroda ER70S-G KC26 (PT X).....	13
Tabel 2.5 Spesifikasi Elektroda Berdasarkan AWS (AWS, 2015)	14
Tabel 2.6 Rekomendasi penggunaan kawat dengan diameter berbeda (The James F. Lincoln, 2015)	20
Tabel 2.7 Sifat termal dari berbagai material (Andrzej Sachajdak, 2018)	25
Tabel 3.1 Variabel Penelitian.....	55
Tabel 3.2 Penggunaan Etsa (ASTM, 2012))	60
Tabel 3.3 Rancangan pengujian	63
Tabel 3.4 Rencana Kegiatan Penelitian	64
Tabel 4.1 Hasil inspeksi UT	66
Tabel 4.2 Jumlah <i>Splatter</i>	67
Tabel 4.3 Nilai distribusi kekerasan masing – masing spesimen...	68
Tabel 4.4 Perbandingan nilai <i>Ultimate Tensile Strength</i> (UTS)....	71
Tabel 4.5 Perbandingan nilai elongasi.....	72
Tabel 4.6 Perbandingan Hasil <i>Impact</i>	74
Tabel 4.7 Perbandingan ukuran profil pengelasan	77

(halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB I

PENDAHULUAN

I.1 Latar Belakang

Industri manufaktur alat berat semakin berkembang seiring dengan meningkatnya permintaan pasar. Untuk memenuhi kebutuhan pasar yang semakin tinggi, diperlukan adanya pengembangan, baik dari segi kualitas maupun kuantitas, dimulai dari produksi hingga barang jadi. Salah satu proses produksi yang digunakan dalam industri manufaktur alat berat adalah pengelasan. Karena proses tersebut sangat penting, diperlukan upaya peningkatan hasil pengelasan untuk mendapatkan mutu produk yang berkualitas.

Demi menghasilkan pengelasan berkualitas tinggi secara konsisten, dibutuhkan pemilihan parameter pengelasan yang optimal seperti tegangan pengelasan, kuat arus dan kecepatan pengelasan. Variabel pengelasan tersebut sangat mempengaruhi kualitas pengelasan yang biasanya diidentifikasi oleh sifat mekanik dan struktur mikronya.

Salah satu penelitian telah dilakukan untuk mempelajari pengaruh parameter pengelasan pada baja karbon rendah. Namun, sangat sedikit upaya telah dilakukan untuk mengevaluasi akibat dari setiap parameter secara terpisah, terutama arus listrik pada *ampere* tinggi, maupun pengaruh variabel eksternal pengelasan seperti *shielding gas* maupun elektroda. Oleh karena itu, penelitian kali ini bertujuan untuk menganalisa pengaruh *ampere* dan diameter elektroda ER70S-G KC26 pada *gas metal arc welding* (GMAW) terhadap sifat mekanik dan struktur mikro sambungan las JIS G3101 SS400.

I.2 Rumusan Masalah

Adapun rumusan masalah pada penelitian tugas akhir ini adalah:

1. Bagaimana pengaruh *ampere* dan diameter elektroda ER70S-G KC60 pada *Gas Metal Arc Welding* (GMAW) terhadap sifat mekanik sambungan las JIS G3101 SS400?



2. Bagaimana pengaruh *ampere* dan diameter elektroda ER70S-G KC60 pada *Gas Metal Arc Welding* (GMAW) terhadap struktur mikro sambungan las JIS G3101 SS400?

I.3 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian tugas akhir ini adalah:

1. Menganalisa pengaruh *ampere* dan diameter elektroda ER70S-G KC60 pada *Gas Metal Arc Welding* (GMAW) terhadap sifat mekanik sambungan las JIS G3101 SS400
2. Menganalisa pengaruh *ampere* dan diameter elektroda ER70S-G KC60 pada *Gas Metal Arc Welding* (GMAW) terhadap struktur mikro sambungan las JIS G3101 SS400

I.4 Batasan Masalah

Batasan masalah atau variable yang diabaikan dalam penelitian tugas akhir ini adalah:

1. Perubahan *voltase* selama proses pengelasan diabaikan.
2. *Travel speed* pengelasan dianggap konstan.
3. Diameter kawat las bagian *root* dianggap konstan.
4. Diameter kawat las bagian pengisi *interpass* dan *cap* dianggap konstan.
5. Pengaruh *shielding gas* terhadap pengelasan diabaikan.
6. Perubahan *metal transfer* selama proses diabaikan.

I.5 Manfaat Penelitian

Penelitian ini dapat dijadikan sebagai referensi untuk pihak – pihak akademisi, industri, maupun masyarakat luas dalam melakukan penelitian, pengaplikasian secara langsung, mengenai proses pengelasan *Gas Metal Arc Welding* (GMAW) sehingga dapat meningkatkan kualitas hasil pengelasan.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

II.1 JIS G3101 SS400

Berdasarkan penamaan JIS (*Japanese Industrial Standard*), SS400 termasuk ke dalam kategori *structural steel*. Berdasarkan standar ekivalensi pada Tabel 2.1, SS400/JIS G3101/ASTM A36/St37 adalah baja karbon rendah (*low carbon steel*) dimana komposisi kimianya terdiri atas besi (Fe), karbon (C), Manganese (Mn), Silikon (Si), Sulfur (S) dan Posfor (P). SS400 sangat umum digunakan (*general purpose structural steel*) untuk aplikasi struktural seperti bangunan, jembatan, plat kapal, tank,omotif. (Rianti Dewi Sulamet-Ariobimo, 2016)

Tabel 2.1 *Steel Grade* (Rianti Dewi Sulamet-Ariobimo, 2016)

SS400 JIS3101	Ekivalensi <i>Steel Grade</i> dengan standar tertentu	
	BS 4360	40(A)B
CSAG40-21	230 G	
IS	IS 226	
JIS 3201	SS400	
ISO 630	Fe 360 B	
ASTM	A 36/A 283 C	

Dibandingkan dengan standar baja lainnya, SS400 memiliki kekuatan tarik dan ketangguhan yang bagus, plastisitas yang baik, mudah untuk di las (*weldability*), mudah untuk di *machining*. (Rianti Dewi Sulamet-Ariobimo, 2016). Untuk mengetahui nilai sifat mekaniknya, dapat mengacu pada Tabel 2.2.



Tabel 2.2 Sifat Mekanik SS400 (PT. X)

Grade	Yield Strength min (Mpa)		Tensi le Stren gth (Mpa)	Elongation min. %			Impact Resista nce min (J) 25°C
	Thickn ess < 16 mm	Thickn ess > 16 mm		Thickn ess < 5 mm	Thickn ess 5- 16 mm	Thickn ess >16 mm	
SS4 00	245	235	400- 510	21	17	21	117,7

SS400 memiliki ukuran ketebalan pelat yang bervariasi, dimulai dari *steel sheet* hingga *super heavy steel plate*. SS400 juga memiliki komposisi yang berbeda tergantung dengan penerapannya. Berikut merupakan komposisi yang terkandung dalam SS400 secara umum pada Tabel 2.3. (PT. X)

Tabel 2.3 Komposisi Kimia SS400 (PT. X)

Material	C	Si	Mn	P	S	Cu	Ni	Cr	Mo
SS 400	0.15 – 0.20	<0.05	0.30- 1.60	Max 0.050	Max 0.050	-	-	-	-

II.2 Pengelasan

Pengelasan adalah proses menggabungkan dua buah logam atau lebih sehingga terjadinya ikatan di lapisan permukaan. Ketika dua bagian akan disambungkan bersama, panas atau tekanan atau keduanya diterapkan dengan atau tanpa logam tambahan untuk membentuk ikatan logam. Proses pengelasan dapat diklasifikasikan berdasarkan kriteria berikut:

- a. Pengelasan dengan atau tanpa material *filler*.

Pengelasan dapat dilakukan dengan atau tanpa aplikasi material *filler*. Berdasarkan penerapannya, hanya pengelasan



berbasis gas yang proses fusinya dapat dicapai dengan atau tanpa material *filler*. Ketika pengelasan dilakukan tanpa material *filler* disebut 'pengelasan autogenous'.

b. Sumber energi pengelasan.

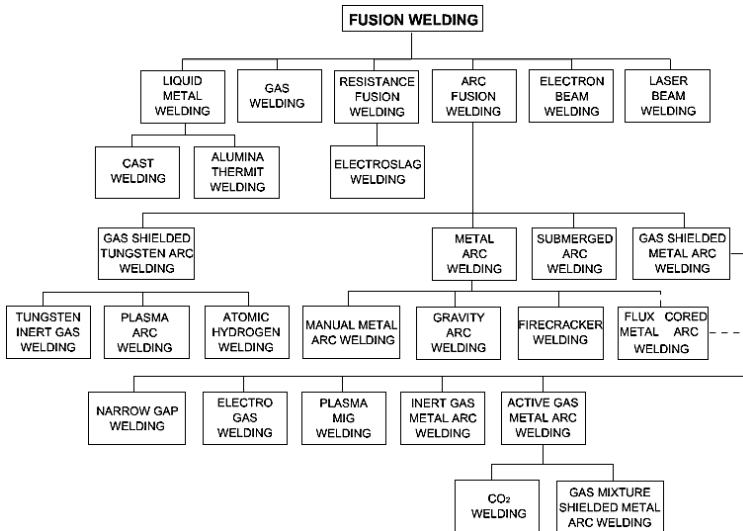
Berbagai sumber energi dapat digunakan untuk proses pengelasan seperti kimia, listrik, energi mekanik, tetapi kecuali energi kimia semua bentuk energi lainnya dihasilkan dari energi listrik untuk pengelasan.

c. Pengelasan busur (*arc*) dan non-busur.

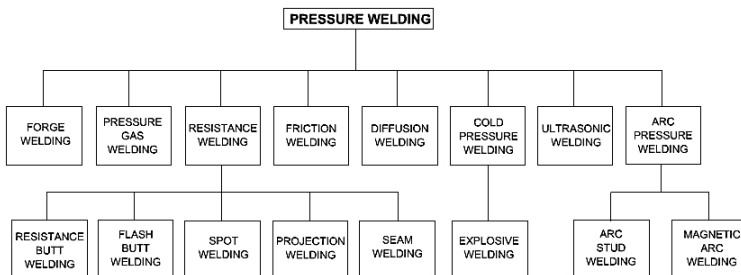
Pengelasan busur adalah salah satu jenis pengelasan yang paling umum. Panas yang terkonsentrasi dari busur listrik mengalir ke logam dengan berfusi dari logam induk ke sambungan menggunakan *consumable electrode*. Arus langsung maupun bolak-balik dapat digunakan, tergantung dengan bahan pengelasan dan elektroda. Ada berbagai jenis pengelasan busur, seperti las MIG atau GMAW.

d. Pengelasan fusi (*fusion*) dan pengelasan tekanan (*pressure*)

Pengelasan fusi dan pengelasan tekanan merupakan klasifikasi yang paling banyak digunakan karena mencakup semua proses di kedua kategori terlepas dari sumber panas dengan atau tanpa material *filler*. Dalam pengelasan fusi, logam cair membeku secara bebas sementara dalam pengelasan tekanan, logam cair yang ada dipertahankan dalam ruang tertutup di bawah tekanan (seperti dalam kasus *resistance spot welding* atau *arc stud welding*) membeku di bawah tekanan atau pendinginan logam semipadat di bawah tekanan. Untuk mengetahui klasifikasi dari tipe – tipe pengelasan *fusion welding* dan *pressure welding*, dapat dilihat dari Gambar 2.1 dan Gambar 2.2. (NPTEL, 2009)



Gambar 2.1 Klasifikasi *Fusion Welding* (NPTEL, 2009)



Gambar 2.2 Klasifikasi *Pressure Welding* (NPTEL, 2009)

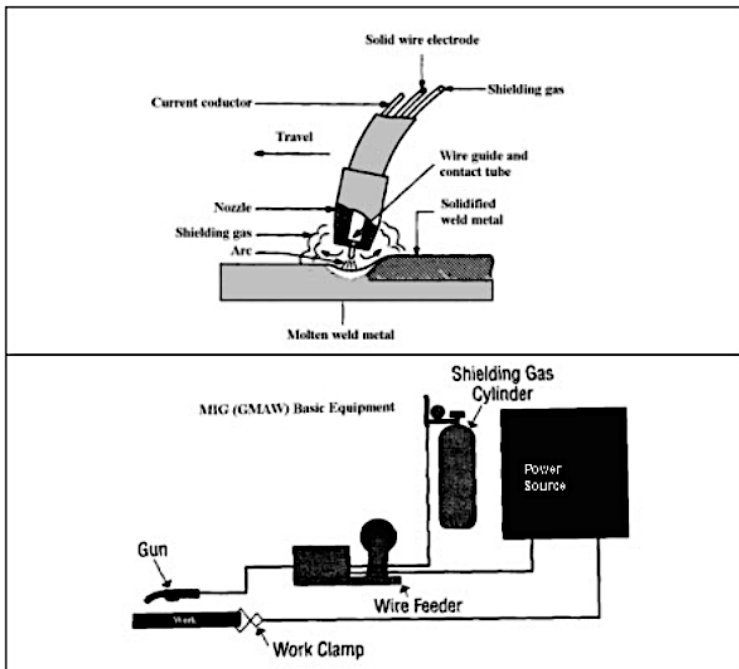
II.3 Gas Metal Arc Welding (GMAW)

III.3.1 GMAW

Gas Metal Arc Welding (GMAW) adalah proses pengelasan yang menghubungkan logam dengan memanaskan logam ke titik leburnya dengan busur listrik. Busur berada di antara kawat elektroda yang kontinu, *consumable* dan logam yang dilas. Daerah lasan



terlindungi oleh aliran gas seperti argon, helium, karbon dioksida, atau campuran gas. Logam dapat ditransfer ke dalam lasan melalui tiga cara; *Spray*, *Globular* dan *Short circuiting*. Prosesnya cepat, serbaguna, ekonomis dan dapat dengan mudah diotomatisasi (pengelasan kontinyu tanpa perubahan elektroda). Skema pengelasan GMAW yang biasa digunakan secara umum, dapat dilihat pada Gambar 2.3. (*Metalwork GMAW Welding*, 2015)



Gambar 2.3 Skema GMAW (*Metalwork GMAW Welding*, 2015)

GMAW dapat dilakukan dengan tiga cara berbeda:

- a. *Semiautomatic Welding* - peralatan hanya mengendalikan pengumpanan kawat elektroda. Gerakan pistol pengelasan dikendalikan dengan tangan. Hal ini disebut *hand-held welding*.



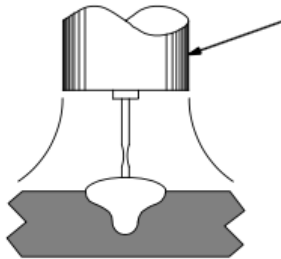
- b. *Machine Welding* - menggunakan senjata yang terhubung ke manipulator dari beberapa jenis (tidak genggam). Operator harus secara konstan mengatur dan menyesuaikan kontrol yang menggerakkan manipulator.
- c. *Automatic Welding* - menggunakan peralatan yang melakukan pengelasan tanpa penyesuaian konstan dari kontrol oleh operator. Pada beberapa peralatan, perangkat penggerak otomatis mengontrol penyesuaian proses las yang benar dalam sambungan las. (*Metalwork GMAW Welding*, 2015)

III.3.2 Metal Transfer

1) Short Circuit Transfer

a. Short Circuit Transfer

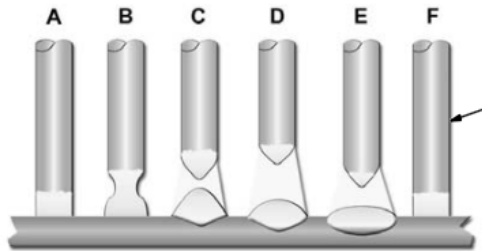
Short circuit transfer mengacu pada kawat las yang saling *short circuiting* (menyentuh) logam dasar dalam selang 90 - 200 kali per detik. Dengan short circuit transfer, kecepatan pengumpanan kabel, voltase, dan tingkat deposisi biasanya lebih rendah dibandingkan dengan jenis transfer logam lainnya seperti *spray transfer*. Untuk melihat bentuk dari perpindahan *short circuit transfer* berdasarkan perpindahan *molten metal* nya, dapat dilihat pada Gambar 2.4. (*Metalwork GMAW Welding*, 2015)



Gambar 2.4 *Short Circuit Transfer* (*Metalwork GMAW Welding*, 2015)

b. Short Circuit Cycle

Untuk melihat bagaimana proses berdasarkan urutan proses yang terjadi, dapat dilihat pada Gambar 2.5

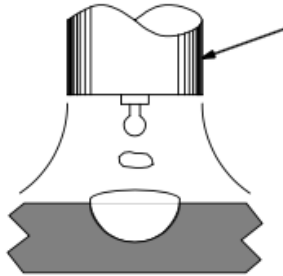


Gambar 2.5 Siklus *Short Circuit* (*Metalwork GMAW Welding*, 2015)

- A. Elektroda memiliki hubung pendek dengan logam dasar. Tidak ada busur, dan arus mengalir melalui kawat elektroda dan logam dasar.
- B. *Resistance* meningkat pada kawat elektroda yang menyebabkannya panas, meleleh dan "mengalami *neck down*".
- C. Elektroda kawat memisahkan dari genangan las, menciptakan busur. Sebagian kecil dari kawat elektroda tersimpan, yang membentuk genangan las.
- D. Panjang busur dan beban voltase maksimum. Panas busur mendaratkan genangan logam cair dan meningkatkan ujung diameter elektroda.
- E. Kecepatan pengumpanan kawat melebihi panas busur dan kawat mendekati logam dasar lagi.
- F. Busur mati dan siklus *short circuit* dimulai lagi.

2) *Globular Transfer*

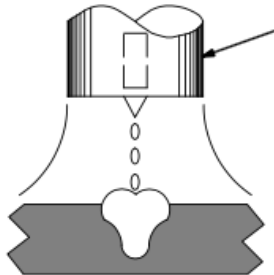
Globular transfer mengacu pada keadaan transfer antara *short-circuiting* dan *spray arc transfer*. Gumpalan kawat yang besar dikeluarkan dari ujung kawat elektroda dan masuk ke genangan las. Transfer globular dapat terjadi ketika parameter pengelasan seperti tegangan, arus listrik dan kecepatan pengumpanan kawat agak lebih tinggi daripada pengaturan untuk transfer sirkuit pendek. Bentuk *metal transfer* yang terjadi pada *globular transfer* dapat diilustrasikan pada Gambar 2.6. (*Metalwork GMAW Welding*, 2015)



Gambar 2.6 *Globular Transfer (Metalwork GMAW Welding, 2015)*

3) *Spray arc transfer*

Spray arc transfer mentransferkan "semprotan" aliran tetesan cair kecil di sepanjang busur, dari kawat elektroda ke logam dasar. *Spray arc transfer* menggunakan tegangan yang relatif tinggi, kecepatan pengumpanan kawat dan nilai ampere, dibandingkan dengan transfer sirkuit pendek. Untuk mencapai transfer semprotan yang benar, gas pelindung seperti argon harus digunakan. Bentuk spray arc transfer yang terbentuk dapat digambarkan pada Gambar 2.7. (*Metalwork GMAW Welding, 2015*)



Gambar 2.7 *Spray Arc Transfer (Metalwork GMAW Welding, 2015)*

III.3.3 Polaritas

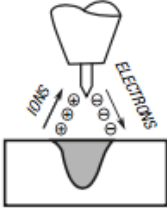
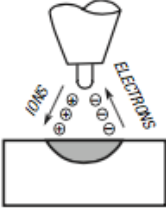
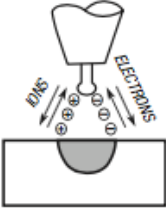
Gas inert yang digunakan dalam pengelasan MIG terionisasi di bawah pengaruh busur listrik. Ionisasi dan ekspansi gas-gas ini memiliki efek ganda: stabilisasi busur listrik dan perlindungan kolam



lasan, logam dasar dan ujung logam pengisi terhadap kontaminasi udara. Dengan demikian, tergantung pada jenis arus listrik dan polaritas dalam arus searah, mekanisme yang berbeda dalam pengelasan MIG terjadi:

- 1) *Direct Current Straight Polarity* (DC-, DCEN): Polaritas ini tidak memberikan pembersihan oksida permukaan yang baik. Tapi memungkinkan untuk memiliki penetrasi yang baik karena sebagian besar panas terkonsentrasi pada bagian (elektroda positif) yang terkena tubrukan elektron. Polaritas ini dapat digunakan dalam situasi berikut: bagian besar atau tebal dan di mana oksida tidak stabil; logam konduktivitas termal tinggi seperti tembaga di mana kehilangan termal dapat dikompensasi sekaligus menjaga busur stabil dan panas.
- 2) *Direct Current Reverse Polarity* (DC +, DCEP): Sebagian besar panas terkonsentrasi pada elektroda (elektroda positif) dan bukan pada benda kerja. Polaritas ini digunakan untuk pengelasan bagian-bagian tipis di mana penetrasi tidak benar-benar merupakan faktor penting versus pentingnya untuk menghindari deformasi dan pembakaran pelat. Jadi dalam hal ini dianjurkan untuk mempertahankan busur pendek untuk mengurangi energi pengelasan dan kecenderungan terjadinya distorsi.
- 3) *Alternative current AC*: Menggunakan arus alternatif memastikan dua tindakan per siklus: penetrasi dan pembersihan. Hal ini memungkinkan untuk menggabungkan keuntungan dari dua polaritas DCEN (DC-) dan DCEP (DC +). Peningkatan frekuensi akan memungkinkan untuk memiliki busur kerucut yang lebih ketat yang memberikan kontribusi juga untuk mengurangi bentuk manik las. Arus AC terutama direkomendasikan untuk pengelasan aluminium, magnesium dan aloi mereka, tembaga, berilium. (Khemici Badri, 2017)



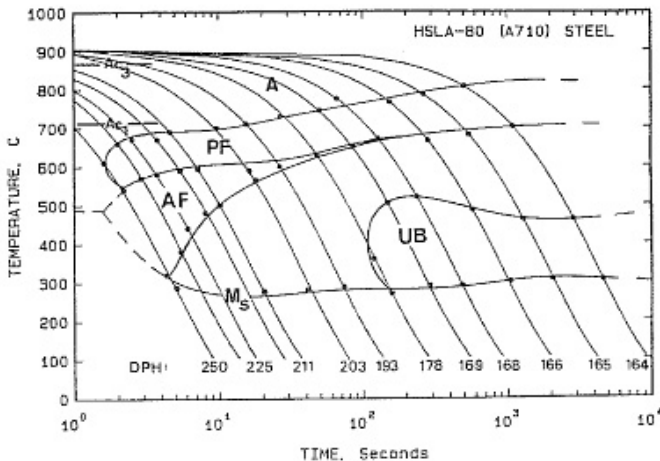
CURRENT TYPE	DCEN	DCEP	AC(BALANCED)
ELECTRODE POLARITY	NEGATIVE	POSITIVE	
ELECTRODE AND ION FLOW			
PENETRATION CHARACTERISTICS			
OXIDE CLEANING ACTION	NO	YES	YES – ONCE EVERY HALF CYCLE
HEAT BALANCE IN THE ARC (APPROX)	70% AT WORK END 30% AT ELECTRODE END	30% AT WORK END 70% AT ELECTRODE END	50% AT WORK END 50% AT ELECTRODE END
PENETRATION	DEEP; NARROW	SHALLOW; WIDE	MEDIUM
ELECTRODE CAPACITY	EXCELLENT e.g., 3.2 mm (1/8 in) 400A	POOR e.g., 6.4 mm (1/4 in) 120 A	GOOD e.g., 3.2 mm (1/8 in) 225 A

Gambar 2.8 Perbandingan Tipe Polaritas Pengelasan (Khemici Badri, 2017)

II.4 High Strength Low Alloy (HSLA)

Baja paduan rendah berkekuatan tinggi (HSLA), atau baja bersalinan mikro, adalah dirancang untuk memberikan sifat mekanik yang lebih baik dan / atau resistensi yang lebih besar untuk korosi atmosfer dari baja karbon konvensional. Baja HSLA memiliki kekuatan luluh lebih besar dari 275 MPa, atau 40 ksi.

Baja HSLA dalam bentuk lembaran atau pelat memiliki kandungan karbon rendah (0,05 hingga 0.25% C) untuk menghasilkan kemampuan bentuk dan kemampuan las yang memadai, dan mereka memiliki konten mangan hingga 2,0%. Jumlah kecil kromium, nikel, molibdenum, tembaga, nitrogen, vanadium, niobium, titanium, dan zirkonium digunakan dalam berbagai kombinasi. Struktur mikro secara umum dari HSLA dapat dilihat pada diagram CCT dari Gambar 2.9 (ASM *International*, 2001)



Gambar 2.9 Diagram CCT HSLA (ASM International, 2001)

II.5 Elektroda ER70S-G KC26

AWS A5.18 ER70S-G KC26 merupakan elektroda kawat untuk pengelasan GMAW dengan kekuatan tarik hingga 510 MPa. Jenis kawat ini biasa digunakan untuk *single pass* atau *multi-pass* pengelasan. Aplikasinya digunakan dalam automotif (manufaktur badan mobil), industri (pembuatan tank, boiler), Struktural dan konstruksi (bangunan, jembatan). Kelebihan dari penggunaan kawat ini adalah memiliki *splatter* yang rendah, *feedability* tinggi, *bead* las yang baik, dan *weldability* yang tinggi. Komposisi dan spesifikasi dari Elektroda ER70S-G KC26 dapat dilihat berdasarkan Tabel 2.4 dan Tabel 2.5. (PT X)

Tabel 2.4 Komposisi Elektroda ER70S-G KC26 (PT. X)

Wire Types	C	Si	Mn	P	S	Cu	Ni	Cr	Mo
KC26	0,06	0,6	1,1	0,02	0,01	0,02	0,11	0,02	-

**Tabel 2.5** Spesifikasi Elektroda Berdasarkan AWS (AWS, 2015)

Type	AWS	Composition (%)					Mechanical Properties	
		C	Si	Mn	P	S	Tensile Strength (N/mm^2)	Hardness (HB)
KC2 6	ER70S -G	0,0 6	0, 8	1,5 3	0,0 4	0,0 1	490	137,95

II.6 Welding Parameter

Menurut (C. Labesh Kumar, dkk, 2017) parameter pengelasan adalah suatu kuantitas yang nilainya dipilih untuk keadaan-keadaan tertentu dan dalam hubungannya dengan kuantitas variabel lainnya dapat diekspresikan. Hal tersebut mempengaruhi hasil dari keseluruhan proses. Parameter berikut, khususnya, terlibat dengan pengelasan MIG:

II.6.1 Arus Pengelasan

Arus listrik merupakan salah satu penyumbang tenaga pada saat proses pengelasan, biasanya dikontrol dari meteran sumber daya. Laju pelelehan berbanding lurus dengan *heat input* (arus dan tegangan) yang digunakan untuk elektroda dan polaritas tertentu dalam pengelasan DC. Variable tersebut dapat dirumuskan pada persamaan (2.1) dan (2.2). (Md. Ibrahim Khan, 2007)

$$I = \frac{V}{R} \quad (2.1)$$

Keterangan:

- V = Tegangan listrik (v)
- I = Laju arus (A)
- R = Resistansi (ohm)



$$R = \rho \frac{l}{A} \quad (2.2)$$

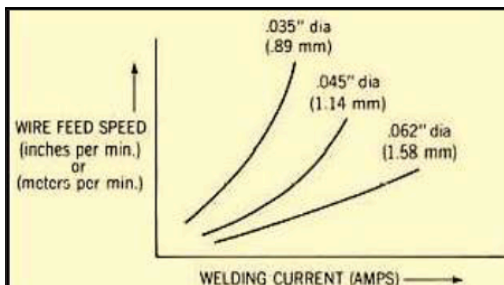
Keterangan:

- R = Hambatan kawat (ohm)
 ρ = Hambatan jenis (ohm m)
l = Panjang kawat *Extension* (m)
A = Luas penampang (m²)

Arus pengelasan adalah variabel yang paling mempengaruhi tingkat leleh, tingkat deposisi, kedalaman penetrasi dan jumlah logam dasar meleleh. Jika arus (untuk kecepatan pengelasan yang diberikan) terlalu tinggi, hal ini akan menghasilkan:

1. Penetrasi yang berlebihan (pelat tipis akan meleleh)
2. Peleburan elektroda berlebihan - penguatan berlebihan
3. Lebih banyak masukan panas ke daerah pengelasan yang bergabung dengan peningkatan distorsi
4. Penetrasi yang tidak memadai
5. Kurangnya fusi

Dalam proses GMAW, arus pengelasan terkait langsung dengan kecepatan pengumpanan kawat (jika perpanjangan kawat di luar ujung panduan konstan). Hubungan ini biasa disebut karakteristik *burn-off*. Karakteristik tersebut dapat dilihat berdasarkan Gambar 2.10. (Jurandir Primo, 2014)

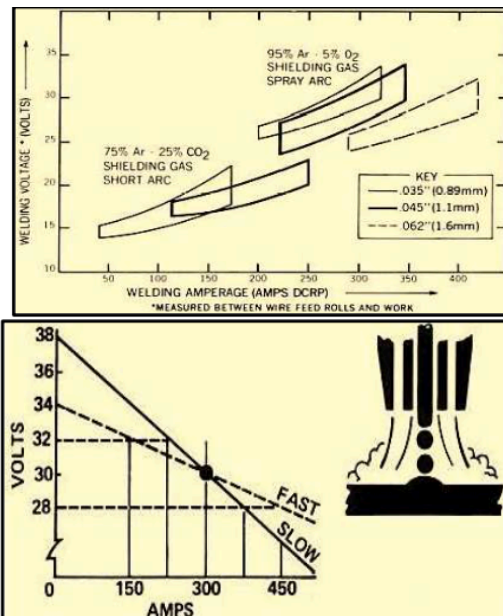


Gambar 2.10 Karakterisasi *Burn-off* (Jurandir Primo, 2014)



II.6.2 Voltase Pengelasan

Memiliki efek penting pada jenis transfer logam (*metal transfer*) yang diinginkan (panjang busur). Pengelasan busur pendek membutuhkan tegangan yang relatif rendah sementara busur semprot membutuhkan tegangan yang lebih tinggi. Perlu dicatat juga, karena arus pengelasan dan pembakaran kawat meningkat, tegangan pengelasan juga harus ditingkatkan untuk menjaga stabilitas. Gambar 2.11 menunjukkan hubungan tegangan busur dengan arus pengelasan untuk gas shielding yang paling umum digunakan untuk pengelasan baja karbon mig. Tegangan busur meningkat dengan meningkatkan arus untuk memberikan operasi terbaik. (Jurandir Primo, 2014)



Gambar 2.11 Korelasi antara *Arc Voltage* dengan *Welding Current* (Jurandir Primo, 2014)

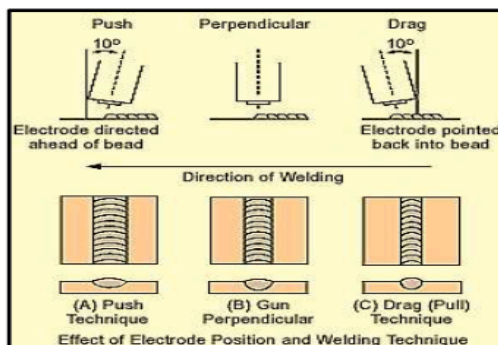


II.6.3 *Travel Speed*

Travel speed merupakan laju linear busur bergerak sepanjang benda kerja pada pengelasan. Parameter ini biasanya dinyatakan sebagai inci atau meter per menit. Pertimbangan utama untuk kecepatan perjalanan busur GMAW adalah:

- 1) Ketika ketebalan material meningkat, *travel speed* harus diturunkan.
- 2) Untuk material yang diberikan dan desain sambungan, karena arus pengelasan meningkat, begitu juga kecepatan perjalanan busur.
- 3) Kecepatan pengelasan yang lebih tinggi dapat dicapai dengan menggunakan teknik pengelasan *forehand*.

Teknik dasar untuk GMAW cukup sederhana, karena elektroda diberi makan secara otomatis melalui obor (ujung kepala). Menjaga jarak kontak-ke-kerja yang konsisten (jarak yang tetap keluar) adalah penting, karena jarak yang memanjang yang panjang dapat menyebabkan elektroda menjadi terlalu panas dan juga membuang gas yang melindungi. Jarak tempuh bervariasi untuk berbagai proses dan aplikasi las GMAW. Untuk mengetahui positioning yang tepat berdasarkan sudut pengelasan, dapat diilustrasikan pada Gambar 2.12 (Suryono Adi Waluyo, 2010)



Gambar 2.12 Teknik *positioning* untuk *travel speed* (Jurandir Primo, 2014)



II.6.4 Shielding Gas

Pada pengelasan GMAW, gas yang di pakai adalah gas mulia, karena sifatnya stabil dan tidak mudah bereaksi dengan unsur lainnya. Fungsi gas pelindung adalah melindungi busur listrik dan logam las dari kontaminasi udara luar. Las GMAW menggunakan Argon, Helium, CO₂ atau campuran sebagai pelindungnya. Gas pelindung argon sering digunakan untuk mengelas Aluminium. Beberapa alasan memakai gas argon sebagai gas pelindung argon adalah:

1. Membuat busur listrik lebih stabil dan halus, mengurangi percikan
2. Argon lebih mudah mengion dari pada helium, karena itu tidak diperlukan tegangan busur yang tinggi.
3. Penghantar panas argon rendah, menyebabkan pengaliran panas melalui busur listrik lambat, oleh karena itu baik untuk metal tipis.

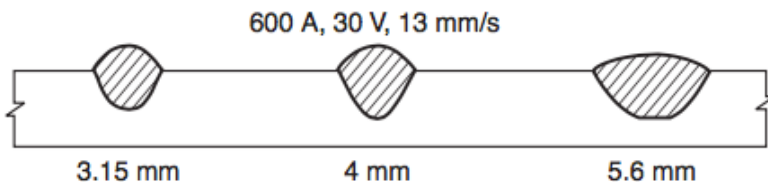
Gas argon memberikan perlindungan yang lebih baik dari gas helium, tetapi penembusannya dangkal. Untuk memperdalam penembusannya dapat dilakukan dengan peningkatan kecepatan volume alir gas sehingga tekanan yang didapat meningkat. Tingginya penekanan pada manik las dapat memperbaiki penguatan terjadinya rongga-rongga. (I N Budiarsa, 2008)

II.6.5 Diameter Elektroda

Elektroda mempengaruhi konfigurasi kepala lasan, mempengaruhi penetrasi dan laju deposisi. Pada setiap arus yang diberikan, diameter elektroda yang lebih kecil akan memberikan kerapatan arus yang lebih tinggi menyebabkan tingkat deposisi yang lebih tinggi dibandingkan dengan elektroda berdiameter besar. Elektroda diameter yang lebih besar, membutuhkan arus minimum yang lebih tinggi untuk mencapai karakteristik transfer logam yang sama.



Dengan demikian elektroda yang lebih besar akan menghasilkan tingkat deposisi yang lebih tinggi pada arus yang lebih tinggi. Jika laju umpan yang diinginkan lebih tinggi dari *feed-moter* dapat memberikan perubahan ke elektroda ukuran lebih besar akan memungkinkan tingkat deposisi yang diinginkan dan sebaliknya. Dalam kasus *fit-up* atau pengelasan pelat tebal, ukuran elektroda yang lebih besar lebih baik untuk menjembatani pembukaan *root* besar dibandingkan yang lebih kecil. Pada Gambar 2.13 dapat dilihat geometri beberapa kepala lasan terhadap diameter elektroda (Md Ibrahim Khan, 2007)



Gambar 2.13 Pengaruh diameter elektroda terhadap geometri kepala lasan (Md Ibrahim Khan, 2007)

Saat arus listrik mengalir melalui yang kawat berdiameter kecil, densitas (atau konsentrasi) arus lebih besar dari arus yang sama yang mengalir melalui kawat berdiameter besar. Semakin besar kerapatan arus, semakin dalam penetrasi. Akibatnya, kawat berdiameter lebih kecil akan menembus lebih dalam dari kawat berdiameter lebih besar (dengan asumsi semua faktor lain seperti kecepatan perjalanan diadakan konstan). Namun, setiap kawat memiliki kapasitas kerapatan arus tertentu. Jika arus listrik yang mengalir melalui kawat menjadi terlalu besar, busur las menjadi tidak stabil dan tidak menentu. Pada saat itu, waktunya untuk meningkatkan diameter kabel. Hal ini dilakukan menurunkan kerapatan arus dan menstabilkan busur. Untuk mengetahui diameter kawat yang biasa dipakai untuk ketebalan material tertentu, dapat dilihat pada Tabel 2.6 berikut. (The James F. Lincoln, 2015)



Tabel 2.6 Rekomendasi penggunaan kawat dengan diameter berbeda
(The James F. Lincoln, 2015)

WELDING WIRE DIAMETER CHART							
MATERIAL THICKNESS	RECOMMENDED WIRE DIAMETERS						
	MIG SOLID WIRE				GASLESS FLUX CORED WIRE		
	0.6mm	0.8mm	0.9mm	1.0mm	0.8mm	0.9mm	1.2mm
24 Gauge (.60mm)							
22 Gauge (.75mm)							
20 Gauge (.90mm)							
18 Gauge (1.0mm)							
16 Gauge (1.2mm)							
14 Gauge (1.6mm)							
3.0mm							
5.0mm							
6.0mm							
8.0mm							
10.mm							
12.0mm							

For material thickness of 5.0mm and greater, multi-pass runs or a beveled joint design may be required depending on the amperage capability of your machine.

II.7 Heat input

Berdasarkan korelasi parameter – parameter diatas, dapat berkontribusi langsung untuk menghasilkan panas yang digunakan selama proses pengelasan. Bila dalam proses las busur listrik sebagai sumber panas, maka panasnya dapat dihitung dengan persamaan (2.3):

$$H = \frac{E \cdot I}{V} \quad (2.3)$$

Keterangan :

- H = Input panas (J/mm)
- E = Voltage busur (volt)
- I = Arus listrik (ampere)
- V = Kecepatan pengelasan (mm/detik) (Salahudin Junus, 2011)



Untuk mendapatkan panas bersih maka diperlukan efisiensi pemindahan energi jadi untuk panas bersih dapat dihitung dengan persamaan (2.4)

$$H_{net} = \frac{f_1 \cdot E \cdot I}{V} \quad (2.4)$$

Keterangan :

H_{net} = Panas bersih (J/mm)

F_1 = efisiensi pemindahan energi (0.8 - 1.0)

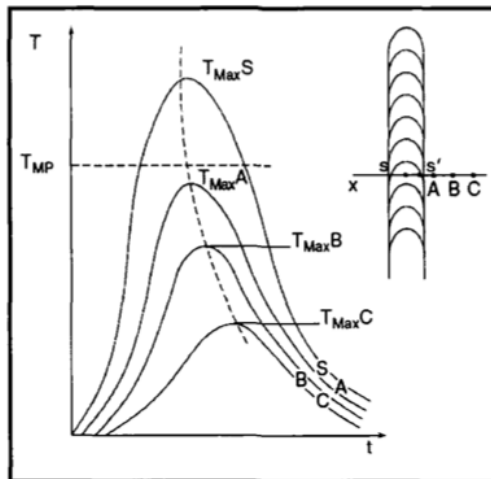
E = Voltage busur (volt)

I = Arus listrik (ampere)

V = Kecepatan pengelasan (mm/det) (Salahudin Junus, 2011)

II.7.1 Siklus Termal

Gambar di bawah ini mewakili apa yang terjadi pada titik pada lasan sebagai fungsi waktu, dari sebelum sumber panas bertindak pada titik sampai sumber panas dihapus dari titik.



Gambar 2.14 *Welding Thermal Cycle* (Sindou Kou, 2003)



Gambar 2.14 menjelaskan mengenai bagaimana siklus *Welding Thermal* terjadi. Aspek penting untuk diperhatikan adalah sebagai berikut: (a) Suhu dimulai pada suhu lingkungan sekitar sebelum kedatangan sumber panas yang bergerak (b) suhu naik sangat cepat setelah sumber panas bekerja pada titik (c) suhu mencapai maksimum atau "puncak" yang ditentukan oleh keseimbangan antara energi yang dimasukkan dan semua kerugian (d) suhu tetap maksimal hanya selama sumbernya tetap berada di tempat itu (yang, untuk sumber bergerak, hanya instan) (e) suhu mendingin kembali ke tingkat ambien pada tingkat yang tergantung pada massa termal dan sifat termal-fisik material dan setiap pendinginan yang terjadi.

Luas input panas relatif kecil dibandingkan dengan dimensi keseluruhan benda kerja. Tiga variabel mengatur input panas ke benda kerja terlepas dari apakah panas diterapkan pada permukaan lasan atau secara internal terhadap lasan. Variabel-variabel ini adalah (1) besarnya tingkat energi input (produk efisiensi dan energi per satuan waktu yang dihasilkan oleh sumber daya, biasanya dinyatakan dalam watt, (2) distribusi input panas, dan (3) kecepatan las. Perumusan untuk mengetahui efisiensi dari busur listrik dapat dilihat pada Persamaan (2.5)

$$\int_0^{\infty} WC_w(T_{\text{out}} - T_{\text{in}}) dt = \eta E I t_{\text{weld}} \quad (2.5)$$

- η = Efisiensi pengelasan (fraksi)
- E = Voltase pengelasan (V)
- t_{weld} = Waktu pengelasan (s)
- W = Laju aliran massa logam (gram/s)
- C_w = Panas spesifik logam (cal/[g°C])
- T_{out} = Temperatur akhir (°C)
- T_{in} = Temperatur awal (°C)
- I = Arus pengelasan (A)
- dt = Pertambahan waktu (s)



Efisiensi peleburan (*melting efficiency*) (F_2) adalah kuantitas teoritis dari panas yang dibutuhkan untuk mencairkan logam, dibagi dengan energi masukan bersih. F_2 dapat ditentukan dengan mengukur penampang melintang logam las (A_w) dan masukan energi bersih (H_{nett}). Rumusan diatas dapat diekspresikan pada Persamaan (2.6)

$$f_2 = \frac{Q \cdot A_w}{H_{nett}} = \frac{Q \cdot A_w V}{f_1 P} = \frac{Q \cdot A_w V}{f_1 EI} \quad Q = \frac{(T_m + 273)^2}{300.000} J / mm^2 \quad (2.6)$$

- F_2 = Efisiensi peleburan (fraksi)
- Q = Entalpy peleburan (J/mm^3)
- A_w = Luas penampang logam las (mm^2)
- V = Kecepatan perpindahan las (mm/s)
- F_1 = Efisiensi perpindahan panas (fraksi)
- V = Voltase pengelasan (V)
- I = Arus pengelasan (A)

Hubungan antara *weld cross sectional area* dan energi pemasukan dapat dirumuskan pada Persamaan (2.7)

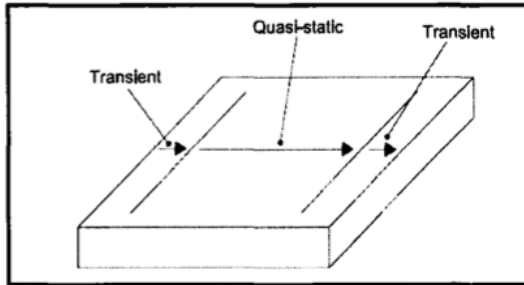
$$A_w = \frac{f_2 H_{nett}}{Q} = \frac{f_1 f_2 H}{Q} \quad (2.7)$$

Selama pengelasan fusi, gradien suhu ada di sepanjang ketebalan lasan serta arah sejajar dan melintang ke arah pengelasan. Karena itu, pola aliran panas yang dihasilkan adalah tiga dimensi. Namun, pola aliran panas ini dapat disederhanakan dengan asumsi:

1. Energi dari sumber panas pengelasan diterapkan pada tingkat seragam,
2. Sumber panas bergerak dengan kecepatan konstan pada jalur lurus relatif terhadap benda kerja.
3. Penampang melintang sambungan las adalah konstan dan
4. Efek akhir yang dihasilkan dari inisiasi dan terminasi lasan diabaikan.



Oleh karena itu solusi ini berlaku untuk zona kuasi-statis pada Gambar 2.15 di bawah dan bukan ke wilayah sementara. Karena sebagian besar ekspansi termal dan penyusutan di logam dasar dan di HAZ terjadi pada tahap semu-stasioner asumsi ini diterima secara luas oleh para peneliti. (Sindou Kou, 2003)



Gambar 2.15 Tahapan pengelasan dalam siklus termal
(Sindou Kou, 2003)

II.7.1 Teori *Heat Flow Rosenthal*

Rosenthal mencetuskan berikut asumsi mengenai pengembangan persamaan aliran panas untuk status kuasi-stasioner:

1. Sifat fisik medium konduktif adalah constant Sifat fisik medium konduktif adalah constant
2. Kehilangan panas melalui permukaan media konduktif ke atmosfer sekitarnya dapat diabaikan.
3. Panas yang tercipta dalam pengelasan listrik oleh efek joule dapat diabaikan.
4. Perubahan Fase dan disertai penyerapan atau pelepasan panas laten dalam medium yang bersentuhan diabaikan.
5. Media konduktor tak terbatas besar dalam kasus dua-dimensi dan semi-tak terhingga besar dalam kasus tiga dimensi. (Andrzej Sachajdak, 2018)



Beberapa material memiliki koefisien termalnya masing – masing yang bisa digunakan untuk mengetahui bagaimana distribusi panas dapat tersebar pada material tersebut. Pada Tabel 2.7 dapat dilihat berbagai macam jenis material dengan koefisien termal mereka masing – masing. (Andrzej Sachajdak, 2018)

Tabel 2.7 Sifat termal dari berbagai material
(Andrzej Sachajdak, 2018)

Material	Thermal Diffusivity, α (m ² /s)	Volume Thermal Capacity, ρC_p (J/m ³ K)	Thermal Conductivity, k (J/ms K)	Melting Point (K)
Aluminum	8.5×10^{-5}	2.7×10^6	229.0	933
Carbon steel	9.1×10^{-6}	4.5×10^6	41.0	1800
9% Ni steel	1.1×10^{-5}	3.2×10^6	35.2	1673
Austenitic stainless steel	5.3×10^{-6}	4.7×10^6	24.9	1773
Inconel 600	4.7×10^{-6}	3.9×10^6	18.3	1673
Ti alloy	9.0×10^{-6}	3.0×10^6	27.0	1923
Copper	9.6×10^{-5}	4.0×10^6	384.0	1336
Monel 400	8.0×10^{-6}	4.4×10^6	35.2	1573

II.8 Interpass temperature

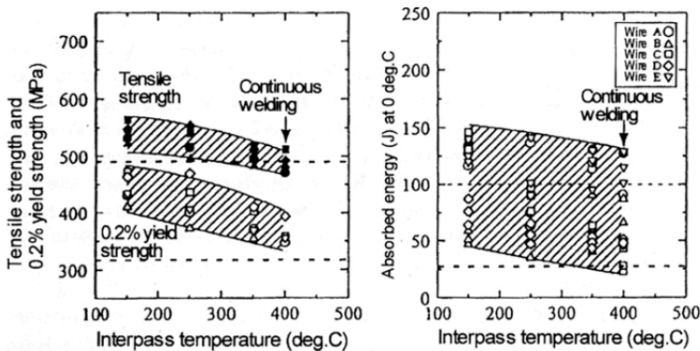
Temperatur interpass, dalam pengelasan yang memiliki berbagai layer, merupakan temperatur pengelasan yang terjadi secara terus menerus diantara pass kedua dan seterusnya. Tujuan mengendalikan suhu interpass adalah:

1. Untuk meminimalkan risiko retak hidrogen untuk baja paduan karbon, karbon-mangan, dan feritik, di mana suhu interpass minimum ditetapkan sama dengan suhu pemanasan minimum.
2. Untuk meminimalkan risiko retak hidrogen untuk baja paduan karbon, karbon-mangan, dan feritik, di mana suhu interpass minimum ditetapkan sama dengan suhu pemanasan minimum
3. Untuk mencegah kerusakan sifat mekanik untuk baja paduan karbon, karbon-mangan, dan feritik, di mana suhu interpass maksimum ditentukan



4. Untuk meminimalkan risiko pematatan atau retakan cairan untuk baja tahan karat austenitik, nikel dan nikel, dan aloi aluminium dan aluminium, di mana suhu interpass maksimum ditentukan
5. Untuk menjaga pembasahan yang baik dari kolam cair ke logam dasar untuk tembaga dan paduan tembaga, di mana suhu interpass minimum ditetapkan sama dengan suhu pemanasan minimum minimum.

Suhu interpass cenderung dinaikkan untuk mengisi alur pengelasan secepat mungkin untuk efisiensi pengelasan yang lebih baik, sehingga mengurangi biaya pengelasan. Di sisi lain, sifat mekanik (seperti untuk baja feritik) dan ketahanan retak (seperti untuk baja austenit) memburuk dengan suhu interpass tinggi dan, pada akhirnya, tingkat pendinginan yang rendah. (Duane K. Miller, 2003)



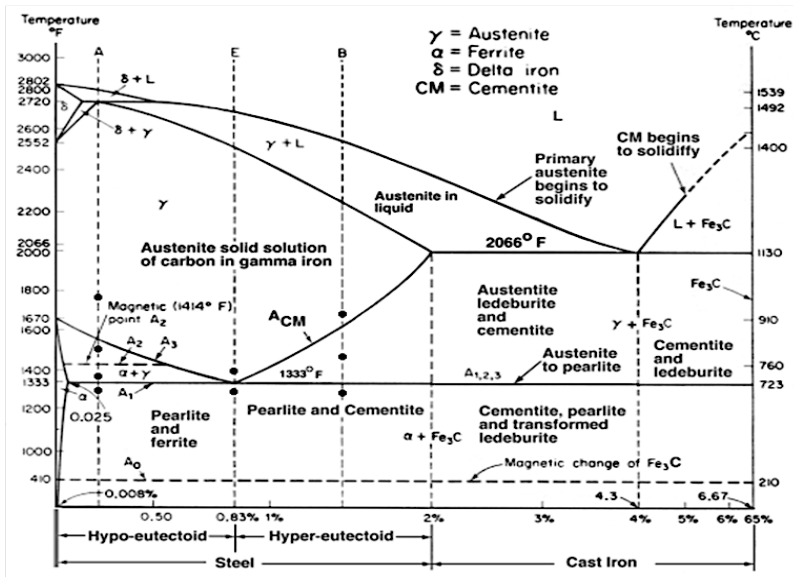
Gambar 2.16 Temperatur *interpass* (Duane K. Miller, 2003)

Pada Gambar 2.16 bahwa kekuatan tarik, kekuatan luluh 0,2%, dan energi tumbukan logam las menurun dengan suhu interpass yang tinggi. Oleh karena itu, suhu interpass harus dibatasi untuk memastikan sifat mekanik yang diperlukan. (Duane K. Miller, 2003)



II.9 Struktur mikro daerah las

Untuk penelitian kali ini, JSI G3101 SS400 merupakan paduan baja yang tergolong dalam low carbon steel (baja karbon rendah). Oleh karena itu, struktur mikro baja tersebut dapat dianalisa menggunakan diagram Fe-Fe₃C pada Gambar 2.17 berikut:



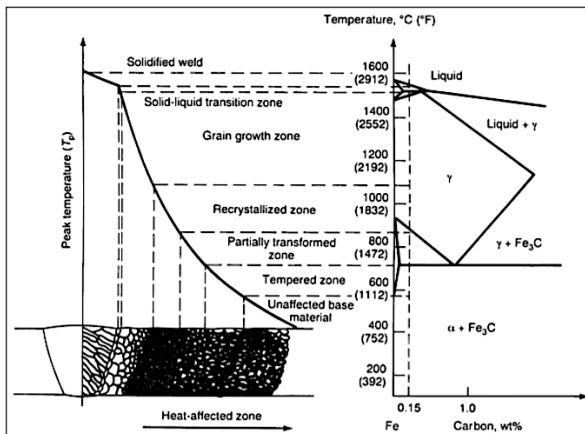
Gambar 2.17 Diagram fase Fe-Fe₃C (Anang Setiawan, dkk, 2006)

Bentuk struktur mikro bergantung pada temperatur tertinggi yang dicapai pada pengelasan, kecepatan pengelasan dan laju pendinginan daerah lasan. Daerah logam yang mengalami perubahan struktur mikro akibat mengalami pemanasan karena pengelasan disebut daerah pengaruh panas (DPP), atau *Heat Affected Zone*. Daerah hasil pengelasan terdiri dari:

1. Logam lasan (*weld metal*), adalah daerah endapan las (*weld deposit*) dari logam yang pada waktu pengelasan mencair dan kemudian membeku. Endapan las (*weld deposit*) berasal dari logam pengisi (*filler metal*).



2. Garis gabungan (*fusion line*), adalah garis gabungan antara logam lasan dan HAZ, dapat dilihat dengan mengetsa penampang las. Daerah ini adalah batas bagian cair dan padat dari sambungan las.
3. HAZ (*Heat Affected Zone*), pada batas HAZ dan logam cair temperatur naik sangat cepat sampai batas pencairan logam dan temperatur turun sangat cepat juga setelah proses pengelasan selesai. Hal ini dapat disebut juga sebagai efek *quenching*. Pada daerah ini biasanya terjadi transformasi struktur mikro. Struktur mikro menjadi austenit ketika temperatur naik (panas) dan menjadi martensit ketika temperatur turun (dingin). Daerah yang terletak dekat garis fusi ukurannya akan cenderung besar yang disebabkan oleh adanya temperatur tinggi, menyebabkan austenit mempunyai kesempatan besar untuk menjadi homogen.
4. Logam induk (*base metal*), adalah bagian logam yang tidak terpengaruh oleh pemanasan karena proses pengelasan dan temperatur yang disebabkan selama proses pengelasan tidak menyebabkan terjadinya perubahan struktur dan sifat-sifat dari logam induk. Hal ini disebabkan karena temperatur atau suhu yang terjadi di logam induk belum mencapai temperatur kritis.



Gambar 2.18 Perbandingan daerah lasan dengan diagram fasa Fe-Fe₃C (Lee Alan Aucot, 2015)



Struktur mikro yang terbentuk dalam logam las (WM) dari baja karbon rendah terdiri dari ferit batas batas (GBF), ferit widmanstatten (pelat samping), ferit acicular (AF) dan mikrofasa. Input panas tinggi dan laju pendinginan rendah menghasilkan struktur butir kasar dan akibatnya memberikan kekerasan rendah, kekuatan tarik kurang, kekuatan luluh dan las ulet. Input panas rendah dan laju pendinginan tinggi menghasilkan struktur butiran halus dan kemungkinan pembentukan martensit dan akibatnya menyebabkan kekerasan yang lebih tinggi, kekuatan tarik, kekuatan luluh dan, las rapuh. Berikut merupakan pembagian konstituen mikrostruktur yang biasa ditemukan pada hasil pengelasan:

1. Austenit

Austenit merupakan larutan padat interstitial dari karbon yang dilarutkan dalam besi gamma dan memiliki struktur FCC. Kelarutan maksimum karbon dalam austenit adalah 2,11% pada 1147°C yang berkurang menjadi 0,77% karbon pada 727°C. Sifatnya lunak, ulet, mudah dibentuk dan non-magnetik. Sifat mekanisnya seperti kekuatan tarik, perpanjangan dan kekerasan adalah 1035 MN/m², 10% dalam 5 cm dan Rockwell C 40 masing-masing

2. Sementit

Sementit atau karbida besi (Fe₃C) mengandung 6,67% berat karbon. Sementit memiliki struktur kristal ortorombik yang kompleks. Sementit adalah senyawa interstitial yang keras dan rapuh dengan kekuatan tarik rendah (35 MN/m²) tetapi kuat tekan tinggi dan dengan kekerasan tinggi (1000 VPN).

3. Perlit

Perlit merupakan campuran eutektoid yang mengandung 0,80% karbon dan terbentuk pada 727°C pada pendinginan yang sangat lambat. Perlit merupakan campuran ferit atau sementit yang sangat mirip *platelet* atau pipih. Sifat mekanisnya seperti kekuatan tarik, perpanjangan dan kekerasan adalah 837 MN/m², 20% dalam 5 cm dan Rockwell C 20 (ASM Internasional 2015).



4. Bainit

Bainit terbentuk sebagai agregat, disebut berkas gandum, dari pelat ferit (sub-unit) yang dipisahkan oleh austenit, martensit atau sementit yang ditahan. Sementara sub-unit tampak terpisah ketika dilihat pada bagian 2 dimensi mereka sebenarnya saling berhubungan dalam 3 dimensi dan biasanya mengambil pelat lenticular atau morfologi bilah. Berkas gandum itu sendiri berbentuk baji dengan ujung lebih tebal yang terkait dengan situs nukleasi.

5. Martensit

Martensit merupakan bentuk yang sangat keras dari struktur kristal baja yang dibentuk oleh transformasi displasif. Martensit merupakan butir kristal berbentuk butir atau pelat. Ketika dilihat pada penampang, butiran kristal lenticular (berbentuk lensa) tampak asikular (berbentuk jarum). Martensit dibentuk oleh pendinginan cepat (pendinginan) austenit yang memerangkap atom karbon yang tidak memiliki waktu untuk berdifusi keluar dari struktur kristal.

6. Acicular ferit

Acicular ferit merupakan struktur yang ditandai dengan kristalit berbentuk butiran atau butiran bila dilihat dalam dua dimensi. Butir sebenarnya berbentuk tiga dimensi dan memiliki bentuk lenticular yang tipis. Mikrostruktur ini lebih menguntungkan daripada mikrostruktur karena keteraturannya kacau, yang meningkatkan ketangguhan. Ferit acicular terbentuk di bagian dalam butir austenitic asli dengan nukleasi langsung dari inklusi, menghasilkan jarum ferit pendek yang diorientasikan secara acak dengan penampilan 'keranjang menenun'. Sifat yang saling terkait ini, bersama dengan ukuran butirannya yang halus, memberikan ketahanan maksimum terhadap perambatan retak oleh pembelahan. Ferit acicular juga ditandai dengan batas sudut yang tinggi antara butiran ferit. Ini semakin mengurangi kemungkinan *cleavage fracture*, karena batas-batas ini menghambat perambatan retak (ASM Internasional 2015).



7. Widmanstatten ferit

Ketika baja berbutir austenit kasar karena pemanasan suhu tinggi didinginkan dengan cepat tetapi kurang dari laju pendinginan kritis, mikrostruktur tipikal yang kemudian dikembangkan disebut struktur Widmanstatten. Dalam struktur ini, fase proeutektoid memisahkan tidak hanya di sepanjang batas butir austenit, tetapi juga di dalam butir setelah bidang kristalografi tertentu dan arah dalam bentuk pelat atau jarum, membentuk pengaturan seperti jaring. Struktur Widmanstatten dicirikan oleh nilai dampak rendah dan perpanjangan persentase rendah.

8. Ferit poligonal

Ferit poligonal terjadi dalam bentuk pulau ferit kasar di dalam butir austenit sebelumnya. Kehadirannya mengurangi ketangguhan logam las. Jumlahnya berkurang dengan meningkatnya kandungan karbon dan kromium dari logam las. Jumlahnya meningkat dengan meningkatnya input panas selama pengelasan dan berkurang dengan peningkatan kandungan karbon dan kromium dari logam las.

9. Ferit batas butir

Bentuk ferit pro-eutektoid di sepanjang batas butir austenit ketika logam las didinginkan dalam tahap transformasi austenit-ferit. Memanjang atau bergranul, ferit batas butir ini tumbuh menjadi butir austenit di satu sisi batas. Reaksi ini dikenal sebagai urat ferit karena aspek percabangannya di seluruh logam las. (ASM Internasional 2015).

II.10 *Cooling Rate*

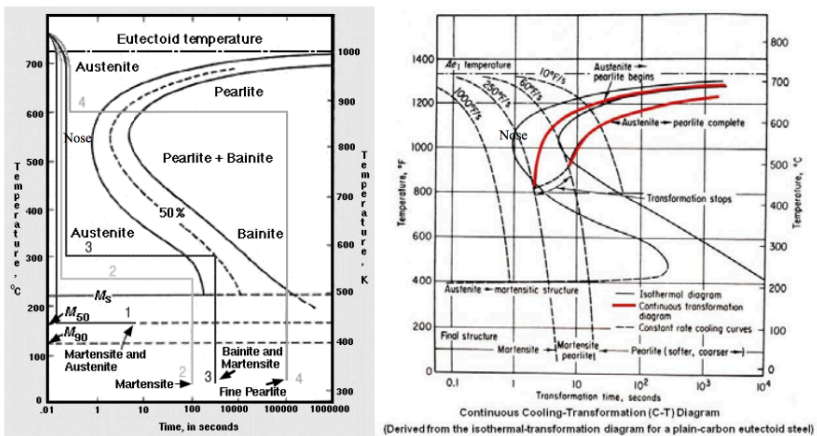
Ketebalan pelat yang akan dilas langsung mempengaruhi luas penampang yang tersedia untuk aliran panas dari lasan yang pada gilirannya mengatur laju pendinginan dari lokasi tertentu. Dengan demikian, dua persamaan empiris yang berbeda digunakan untuk menghitung laju pendinginan dalam HAZ untuk a) pelat tipis dan b) pelat tebal, tergantung pada ketebalan pelat dan kondisi pengelasan.



Tidak ada batas ketebalan yang jelas untuk menentukan pelat tebal atau tipis. Namun, dua metode telah diusulkan untuk mengambil keputusan apakah akan menggunakan persamaan pelat tebal atau tipis untuk menghitung tingkat pendinginan dan ini didasarkan pada:

1. Jumlah pass yang diperlukan untuk menyelesaikan lasan
2. ketebalan pelat relatif

Menurut metode pertama, jika jumlah lintasan yang diperlukan untuk pengelasan dua lempeng kurang dari 6 mm maka pelat tipis dianggap sebagai pelat tebal untuk pemilihan persamaan yang cocok untuk menghitung laju pendinginan. Karena metode ini tidak begitu jelas karena jumlah lintasan yang diperlukan untuk menyelesaikan lasan dapat bervariasi dengan diameter elektroda dan geometri alur yang digunakan untuk pengelasan. Oleh karena itu metode kedua yang lebih logis berdasarkan kriteria ketebalan pelat relatif umum digunakan. (Rahul, 2014)



Gambar 2.19 Diagram *Time Temperature Transformation* (Rahul, 2014)



Ketebalan plat relatif (h) dapat dihitung menggunakan persamaan (2.10) berikut:

$$h = \left(\frac{\rho \cdot C \cdot (T_i - T_o)}{H_{nett}} \right)^{\frac{1}{2}} \quad (2.8)$$

Keterangan:

- ρ = Densitas material (g/cm^3)
- C = Spesifik panas material ($\text{KCal/g } ^\circ\text{C}$)
- T_i = Temperatur Awal ($^\circ\text{C}$)
- T_o = Temperatur Akhir ($^\circ\text{C}$)
- H_{nett} = Heat input (cal/cm)

Persamaan laju pendinginan pelat tipis digunakan ketika ketebalan pelat relatif $< 0,6$ dan persamaan laju pendinginan pelat tebal digunakan ketika $> 0,9$. Jika berada dalam jangkauan $0,6$ hingga $0,9$ maka $0,75$ digunakan sebagai nilai batas untuk menentukan persamaan laju pendinginan yang akan digunakan.

Berikut merupakan persamaan (2.11) laju pendinginan (R) untuk pelat tipis:

$$R = 2\pi K \rho C \left(\frac{h}{H_{nett}} \right) (T_i - T_o)^3 \quad (2.9)$$

Berikut merupakan persamaan (2.12) laju pendinginan (R) untuk pelat tebal:

$$R = \left(\frac{2\pi k (T_i - T_o)^2}{H_{nett}} \right) \quad (2.10)$$

Keterangan

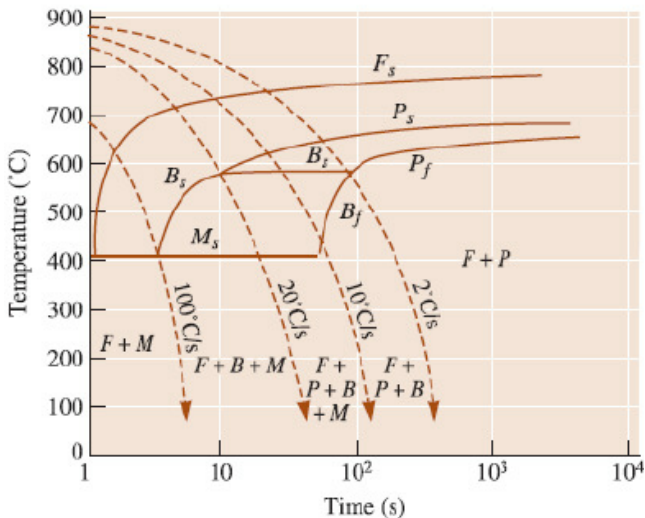
- R = Kecepatan pendinginan ($^\circ\text{C/sec}$)
- h = Ketebalan plat (mm)
- K = Konduktivitas termal ($\text{cal/cm s } ^\circ\text{C}$)
- ρ = Densitas material (g/cm^3)



C = Spesifik panas material (KCal/g °C)
 Ti = Temperatur Awal (°C)
 To = Temperatur Akhir (°C)
 Hnet = Heat input (cal/cm)

Persamaan laju pendinginan dapat digunakan untuk:

1. Menghitung laju pendinginan kritis (CCR) di bawah satu set kondisi pengelasan
2. Menentukan persyaratan suhu pemanasan awal untuk pelat untuk menghindari CCR. (G. Turichin, dkk, 2018)



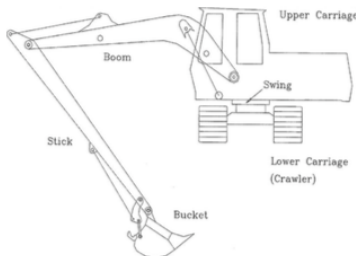
Gambar 2. 20 Diagram *Continuous Cooling Transformation* (G. Turichin, dkk, 2018)



II.11 Penerapan Excavator di Industri

Aplikasi untuk excavator di Indonesia digunakan sebagai mesin utilitas di lokasi konstruksi besar dan proyek infrastruktur perkotaan serta pemuatan *hopper* dan truk, penggalian parit, pembersihan kanal dan parit, penggalian umum, pengelolaan limbah padat dan bahkan pekerjaan pembongkaran dan pertambangan

Penggunaan dari *arm hydraulic excavator* adalah membebaskan dan / atau menghilangkan material permukaan seperti tanah dari lokasi aslinya dan memindahkannya ke lokasi lain dengan menurunkan ember, menggali, mendorong dan / atau menarik tanah kemudian mengangkat, mengayun seperti pada Gambar 2.21.



Gambar 2.21 Excavator (PT. X, 2018)

Biasanya excavator bekerja dalam kondisi kerja yang berat. Akibatnya, bagian-bagian excavator mengalami beban yang tinggi dan harus bekerja dengan optimal di bawah kondisi kerja yang tidak terduga. Oleh karena itu, diperlukan perancangan yang maksimum tetapi juga bobot dan biaya minimum, agar desain tetap aman di bawah semua kondisi pembebanan (Shaikh, 2015)

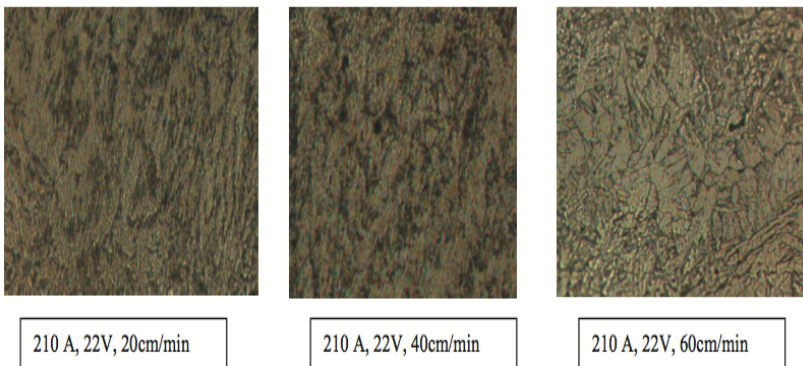
II.12 Penelitian Sebelumnya

1. *The Effect of Gas Metal Arc Welding (GMAW) Processes on Different Welding Parameters* (Izzatul Aini Ibrahim, dkk, 2012)



Gas Metal Arc Welding (GMAW) memiliki keunggulan dibandingkan proses pengelasan lainnya yakni, produktivitasnya lebih tinggi dan berkualitas baik. Dalam penelitian ini, efek dari parameter yang berbeda pada penetrasi pengelasan, pengukuran mikrostruktur dan kekerasan dalam baja ringan yang memiliki ketebalan 6mm dari logam dasar dengan menggunakan GMAW Variabel yang dipilih dalam penelitian ini adalah tegangan busur, arus pengelasan dan kecepatan pengelasan. Tegangan busur dan arus pengelasan dipilih sebagai 22, 26 dan 30 V dan 90, 150 dan 210 A masing-masing. Kecepatan pengelasan dipilih sebagai 20, 40 dan 60 cm / menit. Penetrasi, mikro dan kekerasan diukur untuk setiap spesimen setelah proses pengelasan dan efeknya dipelajari.

Akibatnya, jelas bahwa meningkatkan nilai parameter arus pengelasan meningkatkan nilai kedalaman penetrasi. Selain itu, tegangan busur dan kecepatan pengelasan adalah faktor lain yang mempengaruhi nilai kedalaman penetrasi. Hasil struktur mikro pada Gambar 2.22 menunjukkan batas butir yang berbeda dari setiap parameter yang mempengaruhi parameter pengelasan.

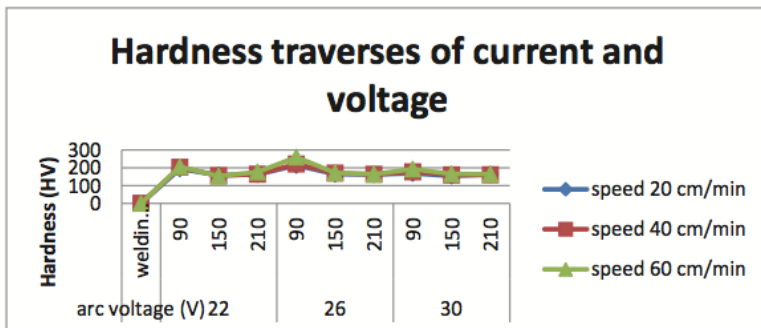


Gambar 2.22 Hasil struktur mikro pengelasan (Izzatul Aini Ibrahim, dkk, 2012)

Nilai kekerasan di bawah parameter pengelasan yang berbeda diplot pada Gambar 2.23 dibawah. Dalam data tersebut,



mewakili arus pengelasan dibandingkan nilai kekerasan pada kepala las. Dalam mempelajari grafik kekerasan yang dihasilkan dari parameter pengelasan yang berbeda, diketahui bahwa kekerasan meningkat pada 90 A dan perlahan menurun menjadi 150 A tetapi pada 210 A lebih besar dari 150 A. Kekerasan pada kecepatan 60cm / min, tegangan 26V mengekspos kekerasan tertinggi karena kecepatan yang lebih cepat pada tegangan menengah mengungkap formasi terbaik dari butiran martensit.



Gambar 2.23 Hubungan antara arus dan tegangan terhadap sifat mekanik (Izzatul Aini Ibrahim, dkk, 2012)

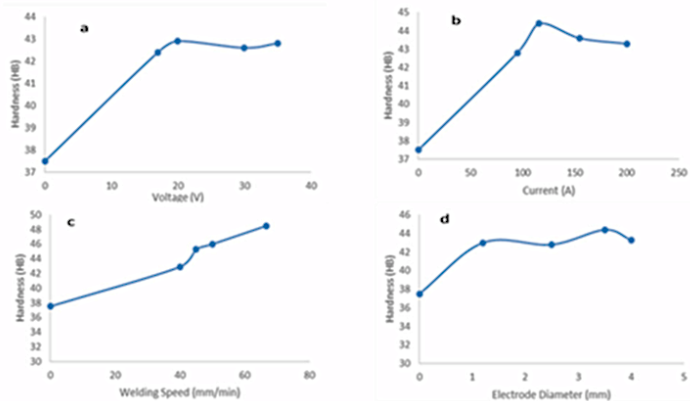
2. *Effect of Welding Variables on Mechanical Properties of Low Carbon Steel Welded Joint* (Talabi, S.I, dkk, 2014)

Makalah ini membahas pengaruh variabel pengelasan terhadap sifat mekanis pelat baja karbon rendah 10 mm yang dilas menggunakan metode Las (GMAW). Arus pengelasan, tegangan busur, kecepatan pengelasan dan diameter elektroda merupakan parameter pengelasan yang diteliti. Sampel yang dilas, dipotong dan diproses ke konfigurasi standar untuk uji tarik, ketangguhan impact, dan kekerasan.

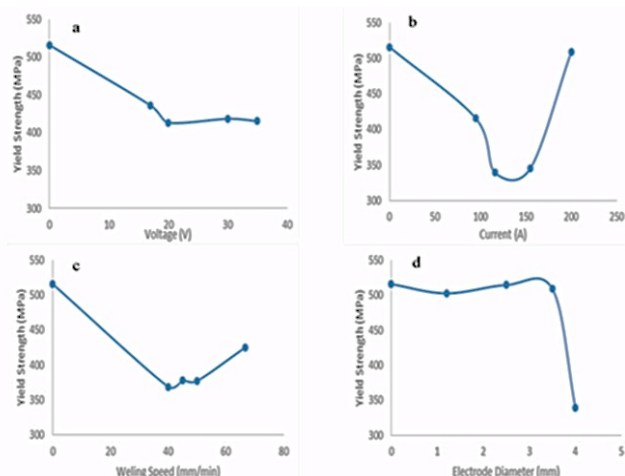
Hasil penelitian pada Gambar 2.24 dan Gambar 2.25, menunjukkan bahwa parameter pengelasan yang dipilih memiliki pengaruh yang signifikan terhadap sifat mekanik dari sampel yang dilas. Peningkatan tegangan busur dan arus pengelasan menghasilkan



peningkatan kekerasan dan penurunan kekuatan luluh, kekuatan tarik dan ketangguhan impact.



Gambar 2.24 Hubungan *welding parameter* dengan sifat kekerasan (Talabi, S.I, dkk, 2014)



Gambar 2.25 Hubungan *welding parameter* dengan *yield strength* (Talabi, S.I, dkk, 2014)

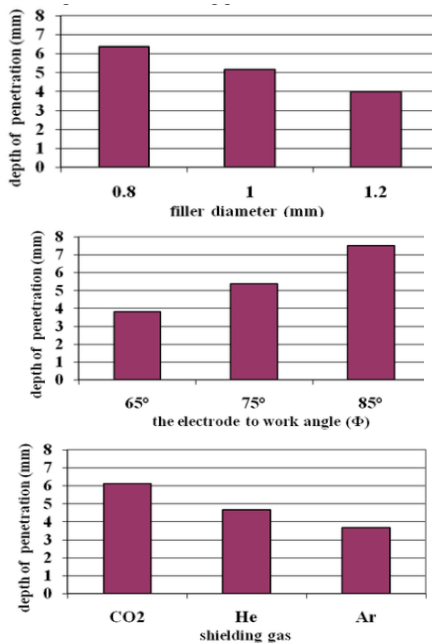


Meningkatkan kecepatan pengelasan dari 40 - 66,67 mm / menit menyebabkan peningkatan karakteristik kekerasan dari sampel yang dilas. Penurunan awal dalam kekuatan tarik dan kekuatan diamati yang kemudian meningkat ketika kecepatan pengelasan meningkat. Diameter elektroda 2,5 mm memberikan kombinasi terbaik dari sifat mekanik bila dibandingkan dengan sampel yang diterima. Perilaku ini dikaitkan dengan fakta bahwa arus dan tegangan yang meningkat berarti peningkatan input panas yang dapat menciptakan ruang untuk pembentukan cacat, sehingga mengurangi sifat mekanik yang diamati.

3. *Effect of The Electrode to Work Angle, Filler Diameter, and Shielding Gas Type on Weld Geometry of HQ130 Steel Joints Produced by Robotic GMAW* (H.R. Ghazvinloo, dkk, 2010)

GMAW (Gas Metal Arc Welding) adalah proses pengelasan busur yang banyak digunakan dalam industri. Penelitian ini menyelidiki efek dari berbagai parameter pengelasan pada geometri manik dalam lasan GMA robotik baja HQ130 yang memiliki ketebalan 5 mm. Parameter yang dipilih untuk penelitian ini adalah elektroda untuk bekerja sudut (Φ), diameter filler (d) dan shielding gas type (S.G). Sampel berbeda diperoleh dengan menggunakan elektroda ke sudut kerja 65° , 75° dan 85° , diameter filler 0,8, 1, 1,2 mm. Gas utama yang direkomendasikan untuk jenis bahan Filler ini adalah Ar, He dan gas CO_2 . Setelah proses pengelasan selesai, kedalaman penetrasi diukur untuk spesimen dan hubungan antara parameter dan penetrasi las dipelajari.

Hasil pada Gambar 2.26 jelas menunjukkan bahwa peningkatan elektroda ke sudut kerja meningkatkan kedalaman penetrasi sementara peningkatan diameter menghasilkan penurunan penetrasi las. Selain itu, penetrasi tertinggi diamati untuk gas shielding CO_2 .



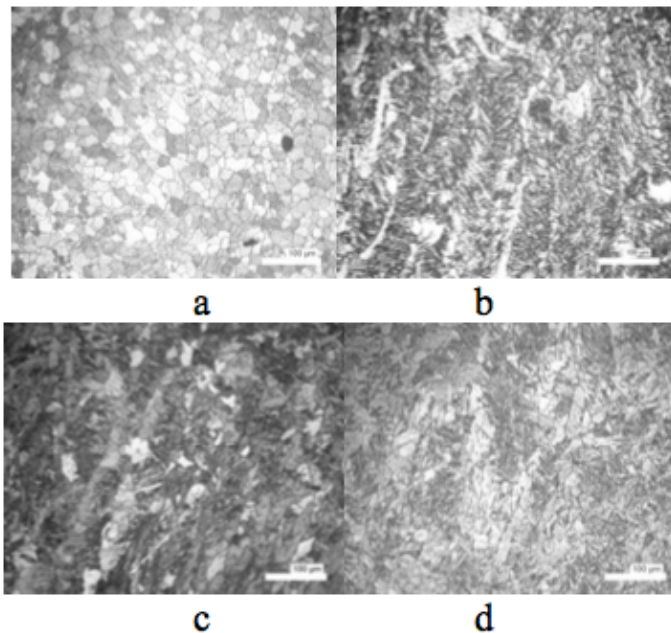
Gambar 2.26 Hasil penelitian dengan variabel berbeda (H.R. Ghazvinloo, dkk, 2010)

- Analisa Pengaruh Kuat Arus Terhadap Struktur Mikro, Kekerasan, Kekuatan Tarik Pada Baja Karbon Rendah Dengan Las SMAW Menggunakan Jenis Elektroda E7016 (Anjis Ahmad Soleh, dkk, 2010)

Pengelasan merupakan bagian yang tidak dipisahkan dari pertumbuhan industri karena memegang peranan utama dalam rekayasa, konstruksi dan reparasi produksi logam. Tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui struktur mikro, kekerasan dan kekuatan tarik plat baja St 41 kekebalan 10 mm yang dibuat kampuh V dan dilas dengan arus 100, 120 dan 140 A dengan las SMAW menggunakan elektroda E7016.



Hasil pengamatan mikro pada Gambar 2.27, memperlihatkan struktur ferit dan perlit pada logam induk. Pengamatan pada daerah las dan HAZ memperlihatkan bahwa penambahan arus pengelasan terlihat bahwa perubahan struktur mikro terutama terjadi pada HAZ dan daerah las. Terbentuknya butir yang besar pada HAZ menjadikan daerah ini memiliki kekerasan yang lebih rendah dibandingkan dengan daerah las. Struktur mikro daerah las terdiri dari struktur widmanstatten yang kasar dan daerah las merupakan daerah yang paling keras dan getas. Hasil pengujian tarik menunjukkan daerah putus terjadi pada HAZ, semakin tinggi temperatur kekuatan tarik semakin besar.



Gambar 2.27 Struktur mikro a. logam induk, b. daerah las 100A, c. daerah las arus 120A, d. daerah las arus 140A (H.R. Ghazvinloo, dkk, 2010)

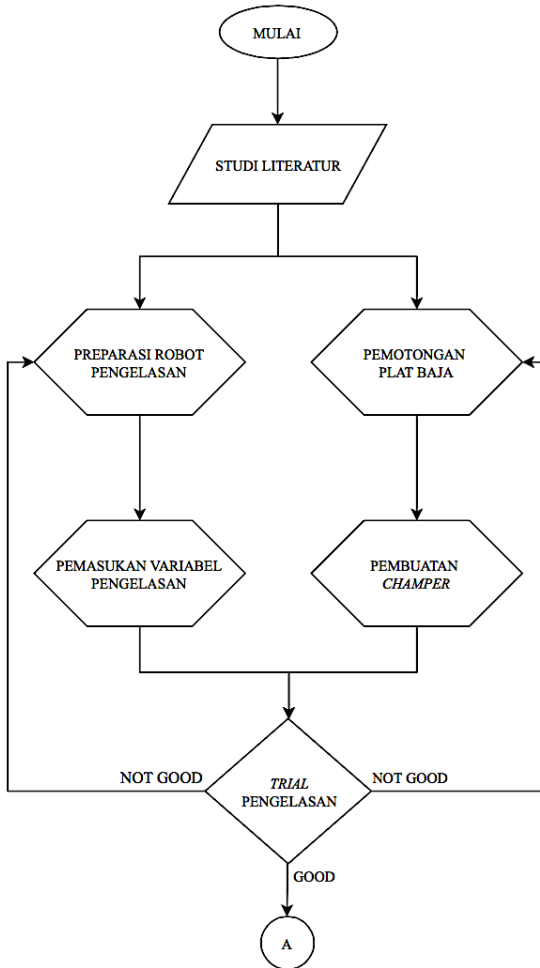


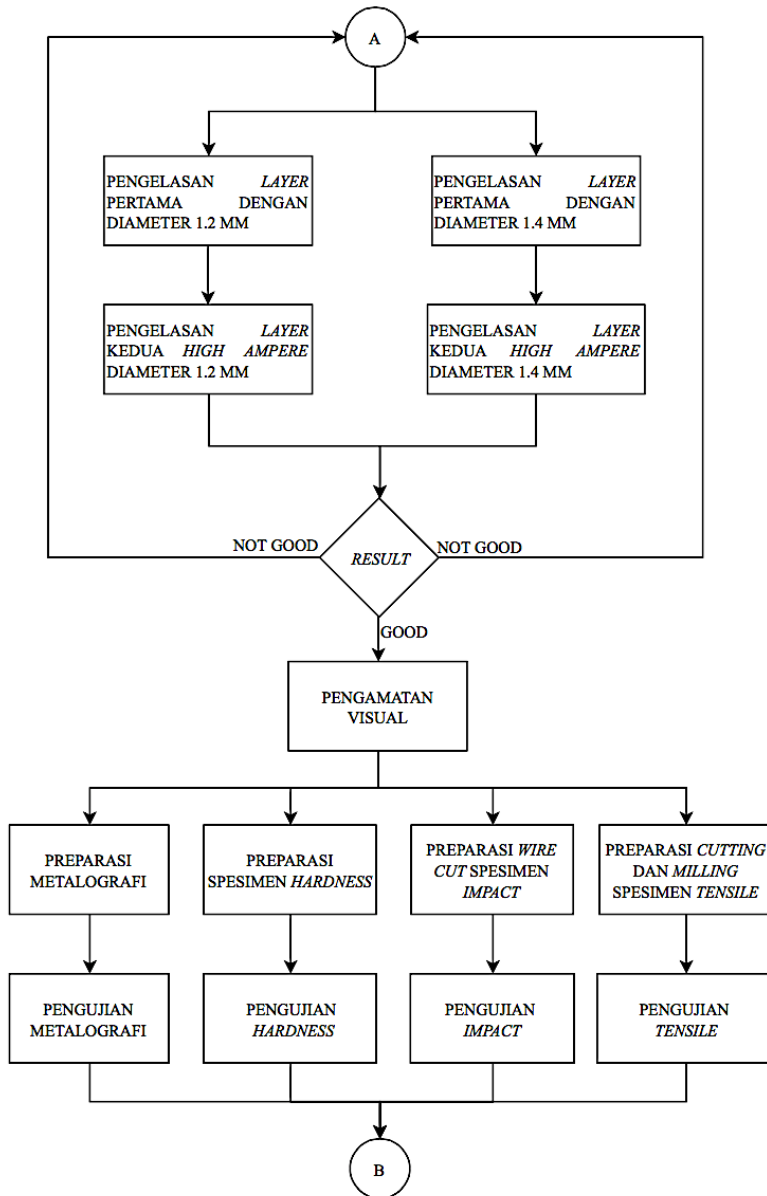
(halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

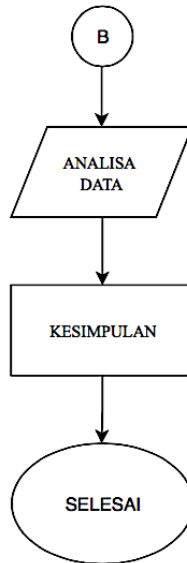
III.1 Diagram Alir

Berikut ini adalah diagram alir dari penelitian tugas akhir





BAB III METODOLOGI PENELITIAN



Gambar 3.1 Skema Percobaan

Penelitian ini dilakukan dalam beberapa tahap sesuai dengan diagram alir yang ditunjukkan pada Gambar 3.1. Penelitian dimulai dengan melakukan studi literatur terkait penelitian, kemudian melakukan preparasi spesimen beserta preparasi robot pengelasan. Proses pengelasan yang dilakukan memvariasikan *welding parameter* dari segi *ampere* yang digunakan, yakni 320A, 420A, dan 520A, serta dari diameter elektroda yang digunakan, yakni diameter 1,2 mm, dan 1,4 mm. Hasil pengelasan yang telah selesai, dilakukan proses *finishing*. Kemudian dilakukan pengujian uji *tensile*, uji metalografi, uji kekerasan, uji *impact*.

III.2 Alat dan bahan yang digunakan

III.2.1 Alat Penelitian

Alat-alat yang digunakan pada penelitian ini antara lain adalah:

1. Robot pengelasan GMAW



Robot GMAW digunakan untuk melakukan proses pengelasan secara semi-otomatis berdasarkan standar AWS D1.1:2000 *Structural Welding Code-Steel* dikarenakan operator harus melakukan *teaching* (pemrograman variabel pengelasan) terlebih dahulu untuk kemudian dijalankan oleh robot. Robot GMAW dimiliki oleh PT. X, memiliki spesifikasi seperti pada Gambar 3.2.

Type	RAL06-5GH	
Degree of freedom/motion pattern	6-axis/vertical articulated	
Weight capacity	6kg	
Positional repeatability	$\pm 0.08\text{mm}$	
Radius of rotation	Maximum	1378mm
	Minimum	387mm
Range of motion	Axis 1 (revolution)	$\pm 170^\circ$
	Axis 2 (lower arm)	$-90^\circ, +155^\circ$
	Axis 3 (upper arm)	$-180^\circ, +83^\circ$
	Axis 4 (wrist swing)	$\pm 179^\circ$
	Axis 5 (wrist swing)	$\pm 135^\circ$
	Axis 6 (wrist rotation)	$\pm 270^\circ$
Maximum speed	Axis 1 (twist)	$120^\circ / \text{s}$
	Axis 2 (lower arm)	$120^\circ / \text{s}$
	Axis 3 (upper arm)	$140^\circ / \text{s}$
	Axis 4 (wrist twist)	$340^\circ / \text{s}$
	Axis 5 (wrist swing)	$340^\circ / \text{s}$
	Axis 6 (wrist rotation)	$520^\circ / \text{s}$
Permissible twist	Axis 4 (wrist twist)	$11.8\text{N} \cdot \text{m} \{1.2\text{kg f} \cdot \text{m}\}$
	Axis 5 (wrist swing)	$9.8\text{N} \cdot \text{m} \{1.0\text{kg f} \cdot \text{m}\}$
	Axis 6 (wrist rotation)	$5.9\text{N} \cdot \text{m} \{0.6\text{kg f} \cdot \text{m}\}$
Permissible inertia moment (GD2/4)	Axis 4 (wrist twist)	$0.24\text{kg} \cdot \text{m}^2$
	Axis 5 (wrist swing)	$0.17\text{kg} \cdot \text{m}^2$
	Axis 6 (wrist rotation)	$0.06\text{kg} \cdot \text{m}^2$
Body weight	130kg	
Power capacity	1.5KVA	

Gambar 3.2 Spesifikasi robot GMAW



2. *Band saw*

Band saw digunakan untuk memotong plat baja berukuran besar. Alat yang digunakan, dimiliki oleh PT. X, ditunjukkan pada Gambar 3.3.



Gambar 3.3 *Band saw*

3. *Micro cutting*

Micro cutting digunakan untuk memotong baja berdimensi kecil. Alat yang digunakan, dimiliki oleh PT. X, ditunjukkan pada Gambar 3.4.



Gambar 3.4 *Micro cutting*



4. *Wire cut*

Wire cut digunakan untuk memotong baja dengan akurasi yang tinggi. Digunakan untuk membuat specimen *impact*. Alat yang digunakan, dimiliki oleh PT. X, ditunjukkan pada Gambar 3.5.



Gambar 3.5 *Wire cut*

5. *Alat milling*

Milling digunakan untuk membentuk baja sesuai yang diinginkan. Digunakan untuk membentuk spesimen *tensile*. Alat yang digunakan, dimiliki oleh PT. X, ditunjukkan pada Gambar 3.6.



Gambar 3.6 *Alat milling*



6. *Hand grinding*

Hand grinding digunakan untuk meratakan permukaan hasil pengelasan dari spaltter/terak berlebih pada *finishing*.

7. *Alat grinding dan polishing*

Alat *grinding* dan *polishing* digunakan untuk meratakan permukaan baja secara otomatis. Alat yang digunakan, dimiliki oleh PT. X, ditunjukkan pada Gambar 3.7.



Gambar 3.7 Alat *grinding* dan *polishing*

8. Kertas Abrasif

Kertas abrasif digunakan untuk meratakan permukaan baja. Grade yang digunakan dimulai dari Grade 80 – 2000. Alat yang digunakan, dimiliki oleh PT. X, ditunjukkan pada Gambar 3.8.



Gambar 3.8 Rak kertas abrasif

9. Kain bludru
Kain bludru digunakan untuk menghaluskan permukaan baja pada proses *polishing*.
10. Mistar
Mistar digunakan untuk melakukan pengukuran dimensi baja dengan akurasi 1 cm.
11. Jangka Sorong
Jangka sorong digunakan untuk melakukan pengukuran dimensi baja dengan akurasi 0,1 cm.
12. Mikroskop optik
Mikroskop optik yang digunakan untuk melihat struktur mikro dan makro dari hasil pengelasan.



13. Alat pengujian *tensile*

Alat ini digunakan untuk mengetahui kekuatan *tensile* dari hasil pengelasan. Alat yang digunakan milik Laboratorium Metalurgi Teknik Material dan Metalurgi ITS. Ditunjukkan pada Gambar 3.9 dibawah ini.



Gambar 3.9 Alat uji *tensile*

14. Alat pengujian *hardness*

Alat ini digunakan untuk mengetahui nilai kekerasan dari hasil pengelasan. Alat yang digunakan, dimiliki oleh PT. X, ditunjukkan pada Gambar 3.10.



Gambar 3.10 Alat uji *hardness*



15. Alat pengujian *impact*

Alat ini digunakan untuk mengetahui nilai *impact* dari hasil pengelasan. Alat yang digunakan, dimiliki oleh PT. X, ditunjukkan pada Gambar 3.11.



Gambar 3.11 Alat uji *impact*

III.2.2 Bahan Penelitian

1. JIS G3101 SS400 300 mm x 150 mm x 16 mm

Plat baja SS400 yang memiliki nilai *ultimate tensile strength* bernilai 400 – 510 MPa dan termasuk dalam *low carbon steel*. Material ini didapatkan dari PT. X. Ditunjukkan pada Gambar 3.12.



Gambar 3.12 JIS G3101 SS400



2. Elektroda ER70S-G KC26 diameter 1,2 dan 1,4
Kawat elektroda yang memiliki nilai *ultimate tensile strength* hingga 510 MPa. Material ini didapatkan dari PT. X. Ditunjukkan pada Gambar 3.13.



Gambar 3.13 Kawat Elektroda (Kiswel USA)

3. Gas CO₂ 100%
Gas CO₂ digunakan sebagai gas pelindung selama proses pengelasan GMAW untuk mencegah adanya reaksi/impurities yang terjadi. Material ini didapatkan dari PT. X.
4. Alumina
Larutan alumina digunakan pada proses polishing untuk mengkilapkan permukaan logam. Material ini didapatkan dari PT. X. Ditunjukkan pada Gambar 3.14.



Gambar 3.14 Alumina (PACE Technologies)



5. Etsa

Etsa yang digunakan pada penelitian kali ini berupa 3 % dan 30 % nital untuk melihat struktur mikro dan makro pada daerah hasil pengelasan. Material ini didapatkan dari PT. X. Ditunjukkan pada Gambar 3.15.



Gambar 3.15 Rak bahan etsa

III.3 Variabel Penelitian

Variabel penelitian yang digunakan pada penelitian kali ini adalah variasi *heat input* berupa arus listrik (*ampere*) yaitu sebesar 320A, 420A dan 520A dan juga variasi diameter elektroda yaitu sebesar 1,2 mm dan 1,4 mm. Tabel 3.1 merupakan tabel variabel dari penelitian.



Tabel 3.1 Variabel Penelitian

Spec	Layer	Gas	Wire Dia.	Heat Input		
				Ampere (A)	Voltage (V)	Travel Speed (mm/s)
1	1	CO ₂ 100%	1,2	300	27.5	30
	2			320	28.7	20
2	1			300	27.5	30
	2			420	34.7	20
3	1			300	27.5	30
	2			520	40.7	20

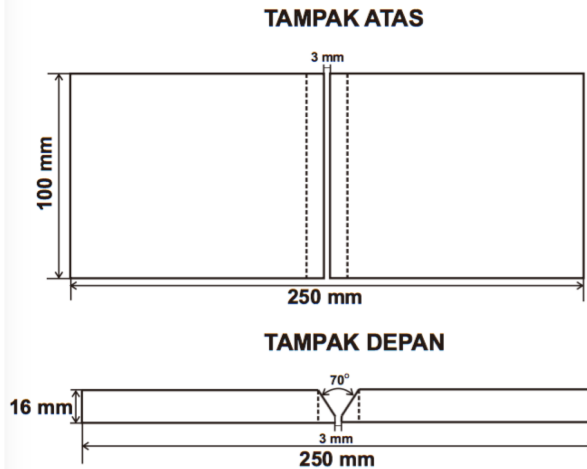
Spec	Layer	Gas	Wire Dia.	Heat Input		
				Ampere (A)	Voltage (V)	Travel Speed (mm/s)
1	1	CO ₂ 100%	1,4	300	27.5	30
	2			320	32.4	20
2	1			300	27.5	30
	2			420	39.4	20
3	1			300	27.5	30
	2			520	46.4	20

III.4 Prosedur Penelitian

III.4.1 Prosedur Proses Pengelasan

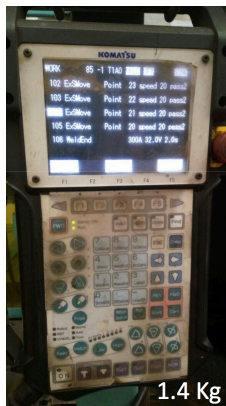
Berikut adalah prosedur pelaksanaan proses pengelasan:

1. Menyiapkan benda kerja SS400 dipotong hingga memiliki luas permukaan 300 mm x 80 mm dan ketebalan 16 mm.
2. Memberikan *bevel* pada kedua plat baja SS400 seperti pada Gambar 3.16 dibawah

**GAMBAR BUTT JOINT**

Gambar 3.16 Desain spesimen plat untuk pengelasan

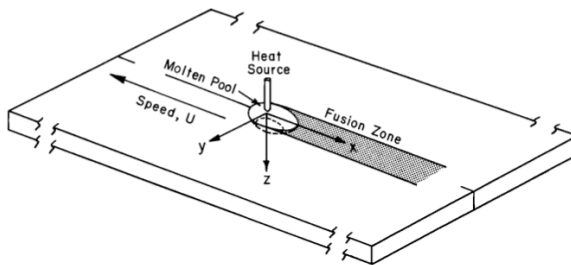
3. Meletakkan pengajaran (*teaching*) dengan pemasukan data *welding parameter* ke robot pengelasan GMAW pada Gambar 3.17



Gambar 3.17 Panel untuk *input* data pengelasan



4. Melakukan trial pengelasan untuk menguji dan mengkalibrasi *welding parameter*.
5. Melakukan proses pengelasan pada *layer* pertama dengan menggunakan arus 300A sepanjang 300 mm dengan diameter elektroda 1,2 mm.
6. Melakukan proses pengelasan pada *layer* kedua dengan menggunakan arus 320A sepanjang 100 mm, 420A sepanjang 100 mm dan 520A sepanjang 100 mm dengan diameter elektroda 1,2 mm. Berikut Gambar 3.18 ilustrasi proses pengelasan.



Gambar 3.18 Ilustrasi pengelasan GMAW

7. Melakukan proses *finishing* dengan *hand grind* untuk membersihkan permukaan hasil pengelasan dari *splatter*/kerak.
8. Melakukan pemotongan hasil pengelasan dengan *band saw* hingga mendapatkan hasil spesimen dengan dimensi panjang 100 mm x lebar 250 mm x tebal 16 mm seperti pada Gambar 3.19



Gambar 3.19 Hasil pemotongan *band saw*

9. Melakukan proses pemotongan dengan *micro cutting* untuk memperkecil dimensi sehingga bisa diproses menjadi specimen *tensile*, *hardness*, dan *impact* seperti pada Gambar 3.20



Gambar 3.20 Proses *micro cutting*



10. Ulangi langkah 1 – 9 dengan menggunakan diameter elektroda 1,4 mm.

III.5 Proses Pengujian

Pada penelitian ini dilakukan lima pengujian. Pengamatan visual untuk mendeteksi adanya cacat hasil pengelasan, Pengujian metalografi untuk melihat struktur makro dan mikro, uji tarik untuk mengetahui kekuatan tarik spesimen, uji kekerasan untuk mengetahui nilai kekerasan spesimen dan pengujian *impact* untuk mengetahui ketangguhan hasil pengelasan.

III.5.1 Pengamatan Visual

Pengamatan visual dilakukan di PT. X secara langsung untuk mendeteksi adanya cacat seperti *undercut*, *spatter*, maupun cacat disepanjang hasil pengelasan. Metode yang digunakan menggunakan *ultrasonic testing* untuk menginspeksi *defect* di dalam hasil pengelasan, perhitungan *spatter* untuk menghitung seberapa banyak cipratan logam cair pada permukaan pengelasan.

III.5.2 Pengujian Metalografi

Pengujian metalografi dilakukan di PT. X dan Departemen Teknik Material dengan menggunakan mikroskop optik untuk mengamati kualitas sambungan hasil pengelasan, di mulai dari struktur mikro dan makro *base metal*, HAZ, dan *bead weld*. Pengujian makro (*makroscope test*) ialah proses pengujian bahan yang menggunakan mata terbuka dengan tujuan dapat memeriksa celah dan lubang dalam permukaan bahan. Angka kevalidan pengujian makro berkisar antara 0,5 sampai 50 kali. Pengujian mikro (*mikroscope test*) ialah proses pengujian terhadap bahan logam yang bentuk kristal logamnya tergolong sangat halus. Sebelum dilakukannya pengelasan, terlebih dahulu permukaan logam akan diberikan larutan etsa untuk mengkorosikan batas butir sesuai dengan standar ASTM E407-07 *Standard Practice for Microetching Metals*



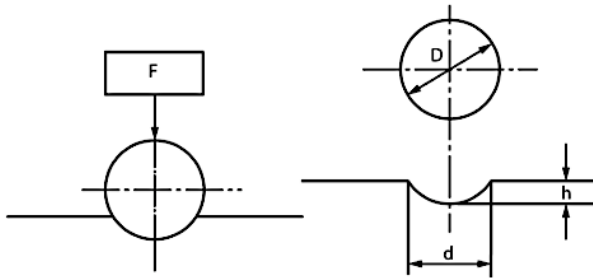
and Alloys untuk paduan Baja. Berikut merupakan komposisi etsa yang digunakan pada Tabel 3.2 (ASTM, 2012):

Tabel 3.2 Penggunaan Etsa (ASTM, 2012):

Komposisi etsa	Prosedur
<ol style="list-style-type: none"> 1. 1-5 mL HNO₃ 2. 100 mL ethanol (95%) or methanol (95%) 	<ol style="list-style-type: none"> a) <i>Immerse few seconds to a minute.</i> b) <i>Immerse 5–40 s in 5 % HNO₃ solution. To remove stain, immerse 25 s in 10 % HCl-methanol solution.</i> c) <i>Swab or immerse several minutes.</i> d) <i>Swab 5–60 s. HNO₃ may be increased to 30 mL in methanol only depending on alloy. (Ethanol is unstable with over 5 % HNO₃.) Do not store.</i>

III.5.3 Pengujian *Hardness*

Pengujian *hardness* dilakukan di PT. X dengan menggunakan mesin *microhardness* dengan indenter baja untuk mengetahui nilai kekerasan sesuai dengan standar ASTM E10 – 15 *Standard Test Method for Brinell Hardness of Metallic Materials*. Pengujian kekerasan *microhardness* dilakukan untuk menguji kekerasan pada logam induk, HAZ dan *weld metal*. Pengujian *brinell* dilakukan dengan mengidentasi pembebanan 10 Kgf. Gambar 3.21 Menunjukkan proses indentasi dari pengujian kekerasan *Brinell*. (ASTM, 2013)



Gambar 3.21 Pengujian kekerasan (Hasan Alhamsy, 2012)

III.5.4 Pengujian *Tensile*

Pengujian *tensile* dilakukan di Departemen Teknik Material menggunakan alat uji *tensile* dengan standar pengujian JIS Z 3121 *Methods of Tensile Test for Butt Welded Joints* untuk mengetahui sifat mekanik berdasarkan grafik yang dihasilkan, yaitu *stress-strain graph* yang menunjukkan nilai kekuatan, UTS, *yield point*. Gambar 3.22 Menunjukkan standar bentuk spesimen JIS Z 3121. (JIS, 2013)

Unit: mm

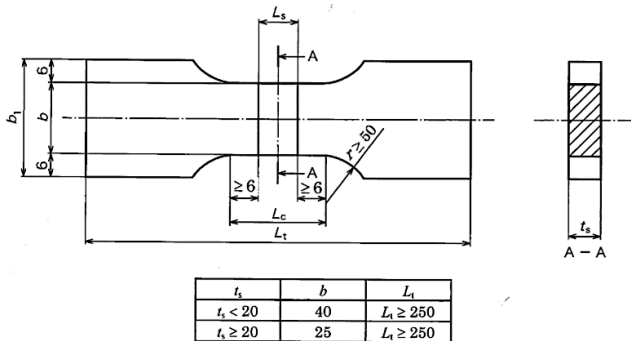


Figure 2 No. 1 test specimen

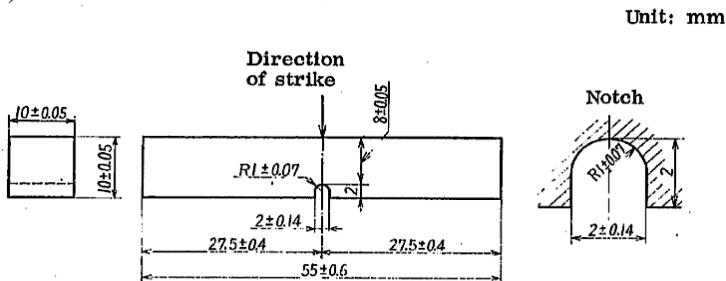
Gambar 3.22 Dimensi spesimen uji tarik JIS Z 3121 (JIS, 2013)

III.5.5 Pengujian *Impact*

Pengujian *impact* dilakukan di PT. X menggunakan alat uji *impact Charpy* dengan standar pengujian JIS Z 2202 *Test Pieces for*



Impact Test for Metallic Materials. Tujuan uji *impact Charpy* adalah untuk mengetahui kegetasan atau keuletan suatu bahan (*specimen*) yang akan diuji dengan cara pembebanan secara tiba-tiba terhadap benda yang akan diuji secara statik. Dimana benda uji dibuat takikan terlebih dahulu dan hasil pengujian pada benda uji tersebut akan terjadi perubahan bentuk seperti bengkokan atau patahan sesuai dengan keuletan atau kegetasan benda uji. Adapun perlengkapan yang digunakan dalam pengujian impact yaitu alat uji impact tipe charphy dan benda uji (test specimen) sesuai pada Gambar 3.23. (JIS, 2013)



Gambar 3.23 Dimensi spesimen uji *impact* JIS Z 2202 (JIS, 2013)

Untuk menghitung hasil dari pengujian impact, menggunakan persamaan 3.1

$$\begin{aligned}
 I_s &= \Delta E/A \\
 &= W l (\cos \beta - \cos \alpha) / A.
 \end{aligned}
 \tag{3.1}$$

- ΔE = Energi (Joule)
 A = Luas penampang daerah takik (cm^2)
 W = Berat pendulum (N)
 L = Panjang lengan pendulum (m)
 β = Sudut hasil pengujian impact ($^\circ$)
 α = 140.5°



III.6 Rancangan Penelitian

III.6.1 Rancangan Pengujian

Pada Tabel 3.3 diperlihatkan mengenai rancangan dari penelitian ini untuk mendapatkan data yang sistematis.

Tabel 3.3 Rancangan Pengujian

Material	Diameter Elektroda (mm)	Kuat Arus (Ampere)	Uji Visual	Uji Makroskopis	Uji Mikroskopis	Uji Tarik	Uji Keke- rasan	Uji Impact
SS400	1,2	320	✓	✓	✓	✓	✓	✓
		420	✓	✓	✓	✓	✓	✓
		540	✓	✓	✓	✓	✓	✓
	1,4	320	✓	✓	✓	✓	✓	✓
		420	✓	✓	✓	✓	✓	✓
		540	✓	✓	✓	✓	✓	✓

III.6.2 Jadwal Penelitian

Penelitian ini akan berlangsung selama 4 bulan dimulai dari bulan September dengan rincian kegiatan ditunjukkan pada Tabel 3.4



Tabel 3.4 Rencana Kegiatan Penelitian

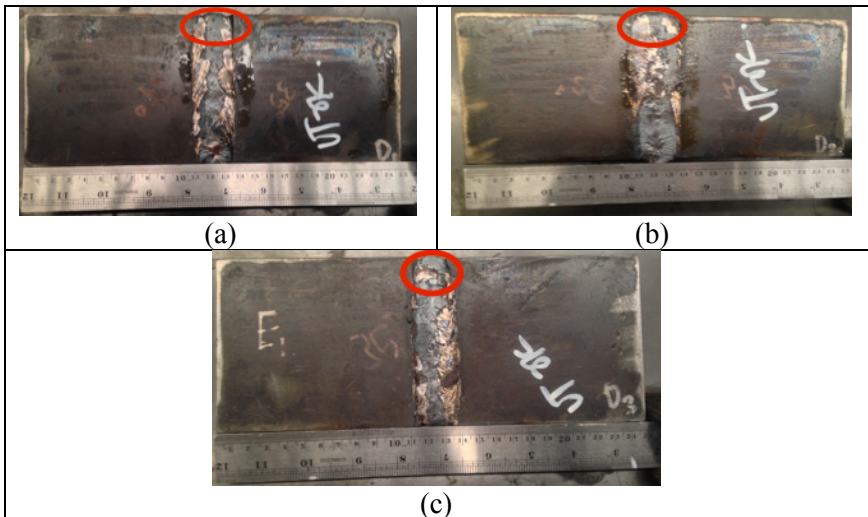
Kegiatan	September				Oktober				November				Desember			
	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
Studi Literatur	■	■	■	■												
Konsultasi Kepada Pembimbing	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
Penyusunan Laporan	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
Preparasi Spesimen			■	■	■	■	■	■	■	■	■	■				
Pengelasan				■	■	■	■									
Pengujian Hardness						■	■									
Pengujian Impact								■								
Pengujian Metalografi								■	■	■	■	■				
Pengujian Tarik											■	■	■			
Analisa Data													■	■	■	■

BAB IV ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN

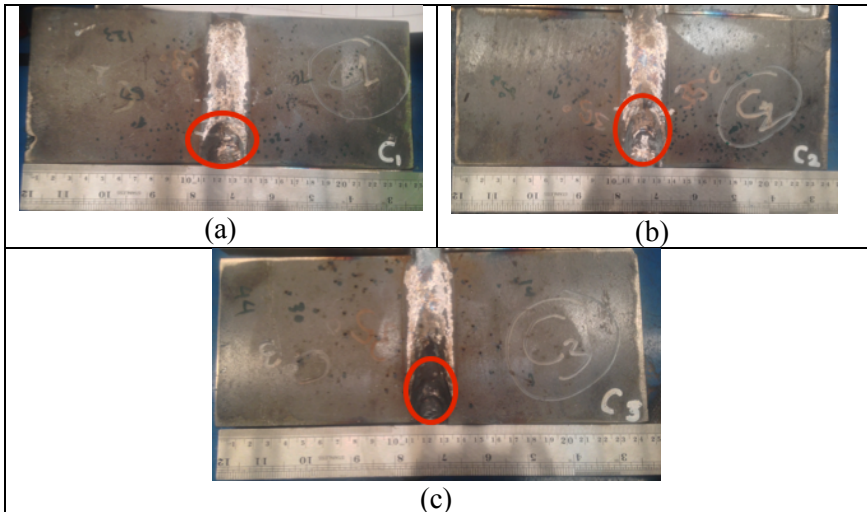
IV.1 Analisa Data

IV.1.1 Hasil Pengamatan Visual

Hasil proses pengelasan JIS SS400 dilakukan pengamatan secara visual. Pengamatan ini dilakukan untuk menilai hasil pengelasan dengan mendeteksi adanya kecacatan hasil lasan yang dilihat secara langsung seperti *overcut/undercut*, *crack*, *impurities*, *porosity*, *burn-out* dan lain – lain. Berikut merupakan hasil pengamatan secara visual pada Gambar 4.1 dan Gambar 4.2



Gambar 4.1 (a) Hasil pengelasan dengan diameter elektroda 1,2 mm dan arus pengelasan 320A (b) Hasil pengelasan dengan diameter elektroda 1,2 mm dan arus pengelasan 420A (c) Hasil pengelasan dengan diameter elektroda 1,2 mm dan arus pengelasan 520A



Gambar 4.2 (a) Hasil pengelasan dengan diameter elektroda 1,4 mm dan arus pengelasan 320A (b) Hasil pengelasan dengan diameter elektroda 1,4 mm dan arus pengelasan 420A (c) Hasil pengelasan dengan diameter elektroda 1,4 mm dan arus pengelasan 520A

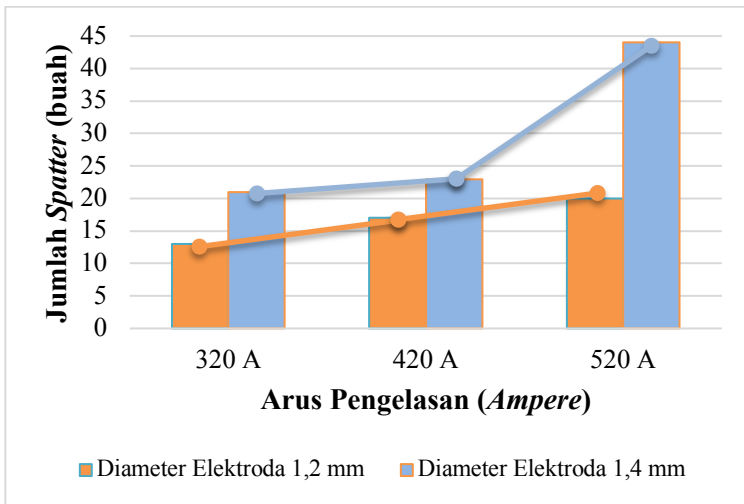
Selain pengamatan visual, dilakukan proses inspeksi lain yakni *Ultrasonic Testing* (UT). Tujuan dari *Ultrasonic Testing* adalah mendeteksi kemungkinan terjadinya cacat yang terjadi di bagian dalam hasil pengelasan.

Tabel 4.1 Hasil inspeksi UT

Diameter Elektroda	Arus Listrik (A)	Hasil Inspeksi
1,2 mm	320	<i>Good</i>
	420	<i>Good</i>
	520	<i>Good</i>
1,4 mm	320	<i>Good</i>
	420	<i>Good</i>
	520	<i>Good</i>



Untuk mengamati *surface finishing* dari hasil pengelasan, dilakukan juga pengujian *spatter*. Pengujian ini bertujuan untuk menghitung jumlah *spatter* (cipratan logam cair) yang membeku di permukaan hasil pengelasan. Pada Gambar 4.3 dan Tabel 4.2 menunjukkan perbandingan jumlah *spatter* dari tiap variable.



Gambar 4.3 Perbandingan Jumlah *Spatter*

Tabel 4.2 Jumlah *Spatter*

Diameter Elektroda	Jumlah <i>Spatter</i> (buah)		
	320 A	420 A	520 A
1,2 mm	13	17	20
1,4 mm	21	23	44

IV.1.2 Hasil Pengujian Kekerasan

Pengujian kekerasan dilakukan untuk mengetahui tingkat kekerasan suatu material terhadap indentasi/goresan. Pengujian ini menggunakan metode uji kekerasan Brinell. Daerah hasil las yang diuji yakni, *Base Metal*, *HAZ* dan *Weld Metal* menggunakan



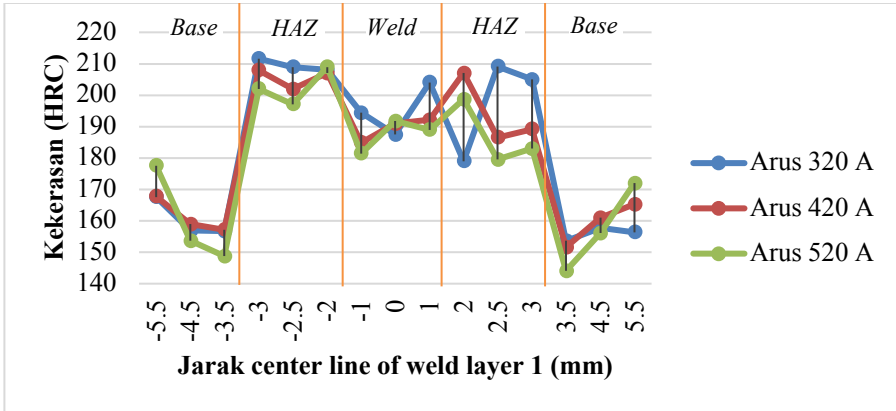
indentor Brinell berdiameter 1 mm dengan pembebanan 10 Kgf. Pada Tabel 4.3 akan menampilkan distribusi nilai kekerasan dari hasil pengelasan JIS SS400.

Tabel 4.3 Nilai Distribusi Kekerasan Masing-masing Spesimen

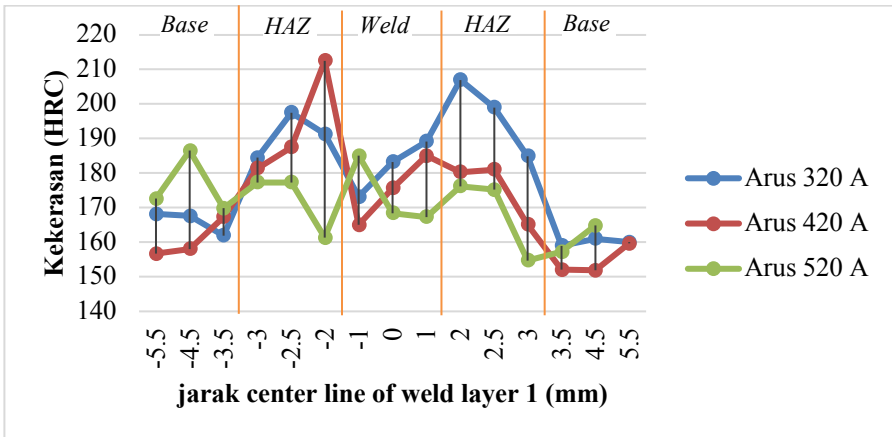
Diameter Elektroda 1,2 mm					
Kuat Arus (A)	Nilai Kekerasan (HB)				
	<i>Base</i>	HAZ	<i>Weld</i>	HAZ	<i>Base</i>
320	167,6	211,6	194,4	179	153,6
	156,9	209	187,5	209,2	157,8
	156,7	208	204,1	205	156,4
Rata-rata	160,4	209,6	195,4	197,8	156
420	167,8	207,9	184,9	207	151,6
	158,9	201,9	190,9	186,5	161
	157,2	207	192,1	189,2	165
Rata-rata	161,3	205,6	189,3	194,3	159,2
520	177,6	202	181,4	198,7	144,1
	153,6	197	191,7	179,5	156,1
	148,7	209	189	183	172
Rata-rata	160	202,7	187,4	187,1	157,4
Diameter Elektroda 1,4 mm					
320	168,2	184,5	173,2	207	159
	167,6	197,5	183,3	199	161
	162	191,3	189,2	184,9	160
Rata-rata	166	191,1	181,9	197	160
420	156,7	181,4	165	180,3	152
	158,1	187,5	175,7	181	151,9
	167,3	212,5	185	165,1	159,6
Rata-rata	160,7	193,8	175,3	175,5	154,4
520	167	169,8	161,3	167,3	154,7
	172,6	177,3	185	176,2	157,2
	186,5	177,3	168,4	175,2	164,8
Rata-rata	175,4	174,8	171,6	172,9	158,9



Berdasarkan informasi dari Tabel 4.2, dapat dibuat grafik distribusi kekerasan dengan jarak yang berbeda pada setiap daerah hasil pengelasan. Berikut merupakan grafik distribusi pada Gambar 4.4 dan Gambar 4.5.



Gambar 4.4 Grafik nilai distribusi kekerasan spesimen dengan diameter elektroda 1,2 mm

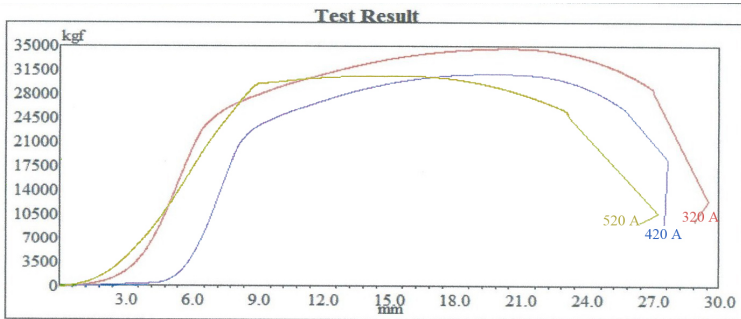


Gambar 4.5 Grafik nilai distribusi kekerasan spesimen dengan diameter elektroda 1,4 mm

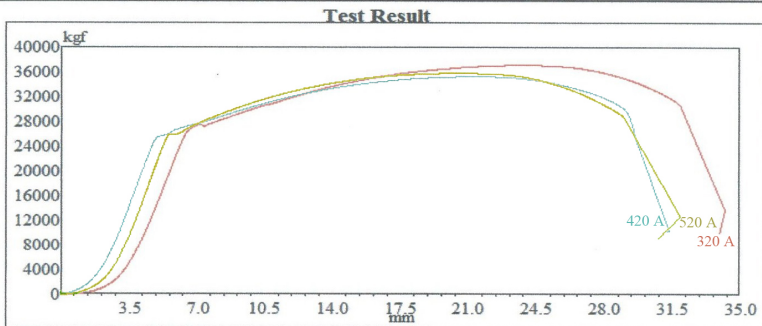


IV.1.3 Hasil Pengujian *Tensile*

Pengujian *tensile* dilakukan untuk mengetahui sifat mekanik berdasarkan grafik yang dihasilkan, yaitu kurva perbandingan gaya dan pertambahan panjang yang menunjukkan nilai kekuatan, *Ultimate Tensile Strength* (UTS), dan elongasi. Pengujian dilakukan dengan memberi pembebanan tarik berlawanan pada specimen per luasan area dalam cm^2 . Data dari pengujian hasil pengelasan JIS SS400 *tensile* berupa grafik kurva perbandingan gaya dan pertambahan panjang ditunjukkan pada Gambar 4.6.



(a)



(b)

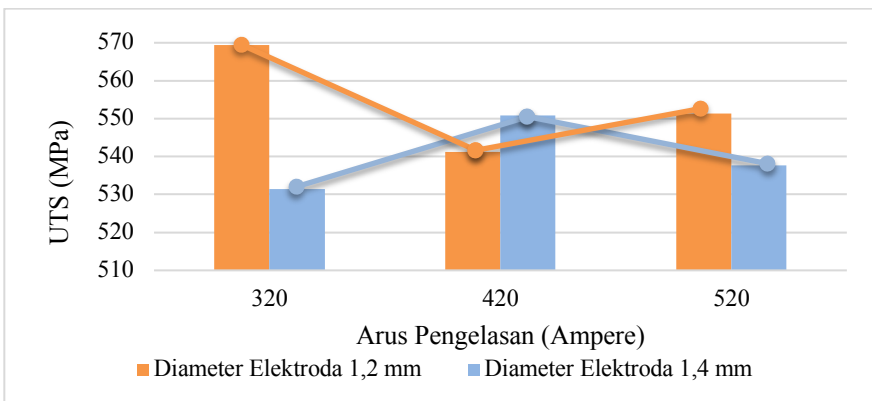
Gambar 4.6 (a) Kurva perbandingan gaya dan pertambahan panjang untuk diameter elektroda 1,2 mm (b) untuk diameter elektroda 1,4 mm



Berdasarkan kurva perbandingan gaya dan pertambahan panjang pada Gambar 4.6, didapatkan nilai mekanik dari hasil pengelasan berupa nilai *Ultimate Tensile Strength* (UTS) dan Elongasi. UTS menunjukkan seberapa beban maksimum yang bisa diterima oleh material sebelum mengalami *fracture*. Pada Tabel 4.4 dan Gambar 4.7 menunjukkan perbandingan nilai UTS hasil pengelasan.

Tabel 4.4 Perbandingan Nilai *Ultimate Tensile Strength* (UTS)

Diameter Elektroda	Ampere	Max Load (kgf)	Area (cm ²)	UTS (kgf/cm ²)	UTS (MPa)	Standard (MPa)
1,2 mm	320	37159.15	6.4	5806.12	569.39	400 - 510
	420	35323.22	6.4	5519.25	541.25	400 - 510
	520	35984.7	6.4	5622.61	551.39	400 - 510
1,4 mm	320	34683.62	6.4	5419.32	531.45	400 - 510
	420	35946.18	6.4	5616.59	550.80	400 - 510
	520	35093.3	6.4	5483.33	537.73	400 - 510



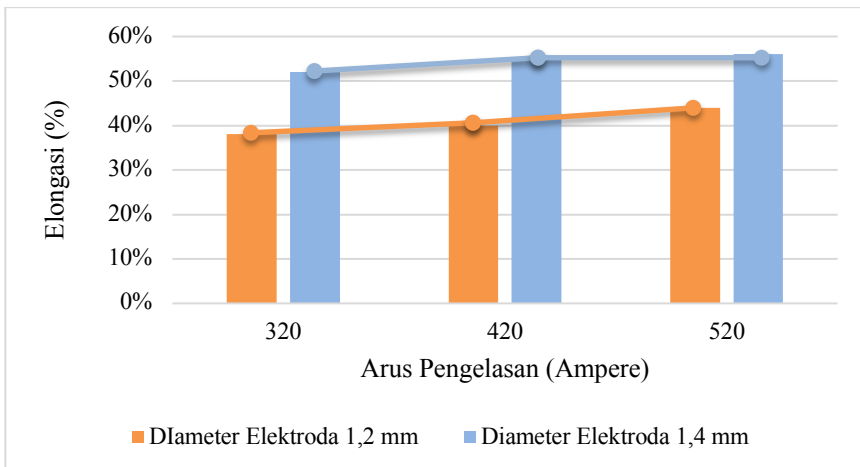
Gambar 4.7 Perbandingan Nilai *Ultimate Tensile Strength* (UTS)



Selain UTS, didapatkan juga nilai elongasi. Elongasi dapat mengukur seberapa pertambahan panjang (dalam %) yang terjadi dari awal sampai akhir pembebanan (*fracture*). Pada Tabel 4.5 dan Gambar 4.8 menunjukkan perbandingan nilai elongasi hasil pengelasan.

Tabel 4.5 Perbandingan Nilai Elongasi

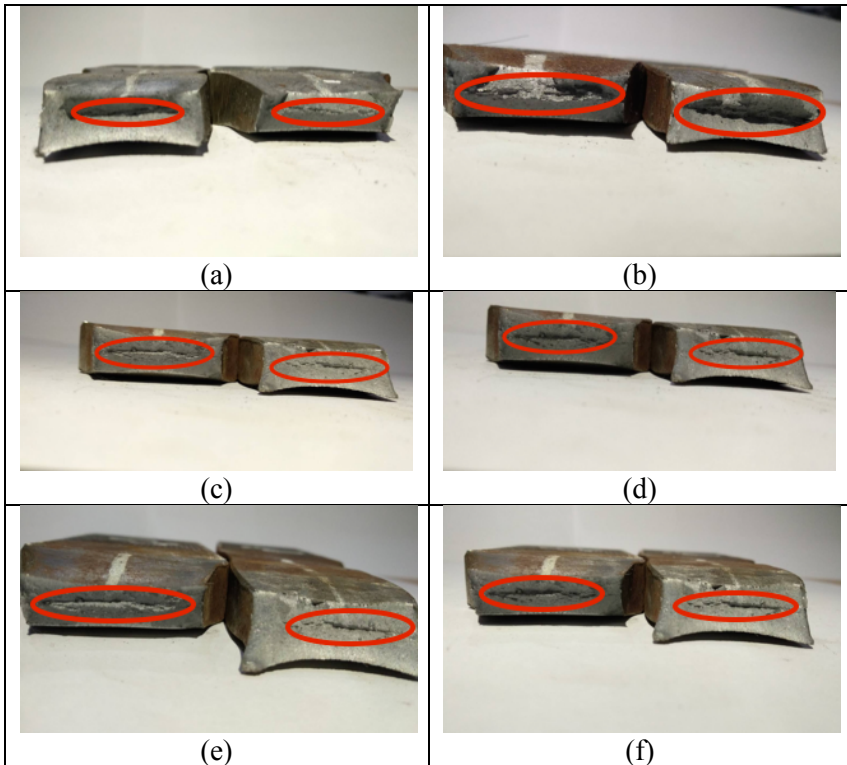
Diameter Elektroda	Ampere	Gauge Length (cm)	Selisih Panjang Δl (cm)	% Elongasi	Standard (%)
1,2 mm	320	5	1.9	38%	21%
	420	5	2	40%	21%
	520	5	2.2	44%	21%
1,4 mm	320	5	2.6	52%	21%
	420	5	2.75	55%	21%
	520	5	2.8	56%	21%



Gambar 4.8 Perbandingan Nilai Elongasi



Selain kurva kurva perbandingan gaya dan pertambahan panjang, didapatkan juga kontur hasil patahan *tensile* dari masing-masing variable. Kontur patahan dapat menunjukkan bagaimana sifat material tersebut saat mengalami *fracture*. Gambar 4.9 menunjukkan patahan yang terjadi pada tiap variabel.



Gambar 4.9 Patahan tarik (a) diameter elektroda 1,2 mm, 320 A (b) diameter elektroda 1,2 mm, 420 A (c) diameter elektroda 1,2 mm, 520 A (d) diameter elektroda 1,4 mm, 320 A (e) diameter elektroda 1,4 mm, 420 A (f) diameter elektroda 1,4 mm, 520 A

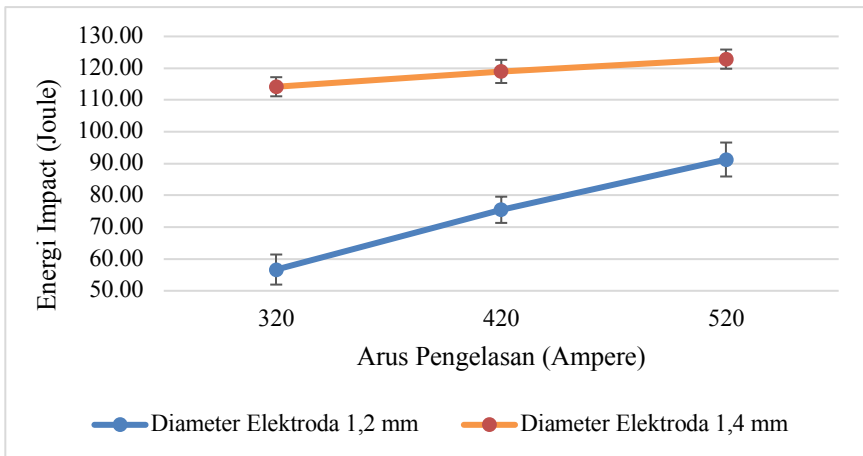


IV.1.4 Hasil Pengujian *Impact*

Pengujian *impact* bertujuan untuk mengetahui kegetasan atau keuletan suatu material yang akan diuji dengan cara pembebanan secara tiba-tiba. Nilai *impact* yang diukur dapat menentukan seberapa banyak energi yang dapat diserap oleh hasil pengelasan JIS SS400. Hasil pengujian *impact* dapat dilihat pada Tabel 4.6 dan Gambar 4.10.

Tabel 4.6 Perbandingan Hasil *Impact*

Diameter Elektrode	1,2 mm			1,4 mm		
	320A	420A	520A	320A	420A	520A
Impact 1 (J)	52.76	71.36	85.18	110.81	115.14	119.48
Impact 2 (J)	55.35	75.46	93.63	115.14	119.48	123.82
Impact 3 (J)	61.94	79.60	95.05	116.58	122.37	125.27
Standard (J)	117.7	117.70	117.70	117.70	117.70	117.70
Average Impact	56.68	75.48	91.29	114.17	118.99	122.85
<i>Deviation</i>	4.73	4.12	5.34	3.01	3.64	3.02

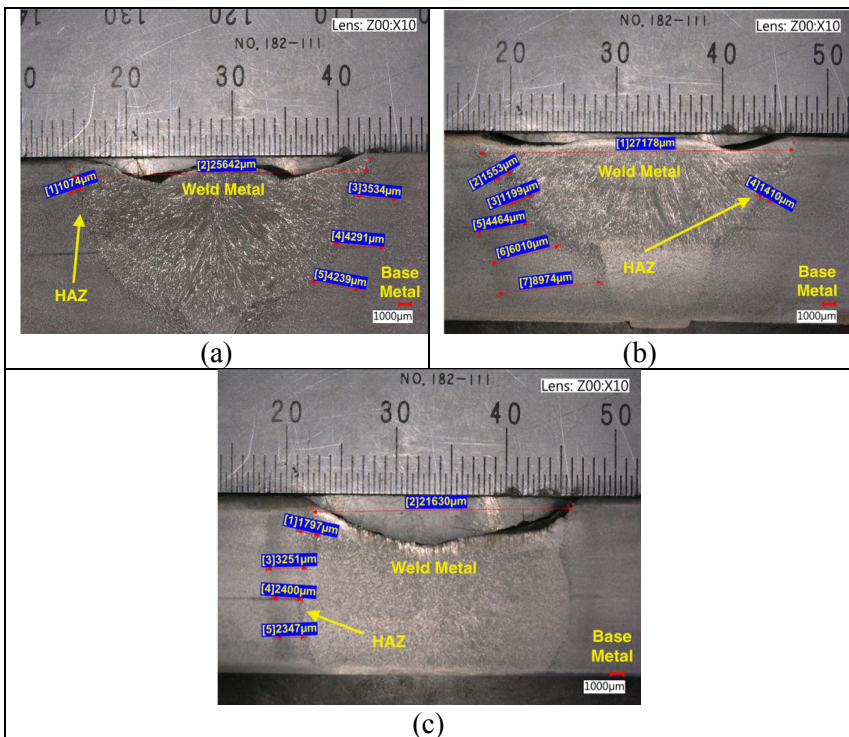


Gambar 4.10 Perbandingan Hasil *Impact*

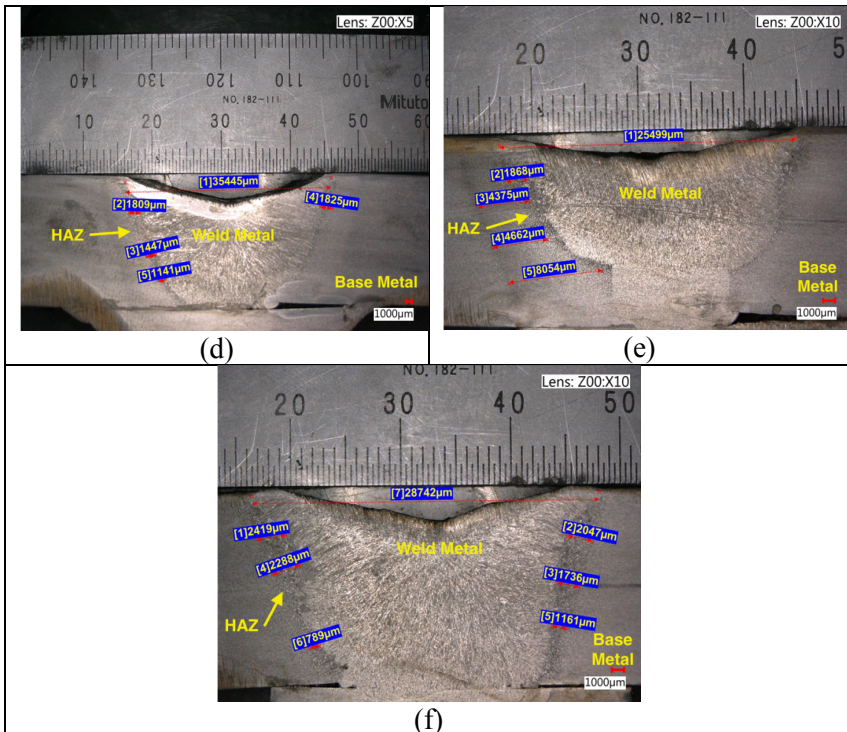


IV.1.5 Hasil Pengamatan *Makroskopik*

Pengamatan struktur makro hasil pengelasan JIS SS400 dilakukan dengan pengujian metalografi larutan etsa. Pengamatan struktur makro bertujuan untuk mengamati profil hasil pengelasan seperti daerah las, HAZ, *base metal*, lebar daerah pengelasan. Etsa yang digunakan adalah etsa nital 30% dengan bahan 30 ml HNO₃, dan 70 ml alkohol 95%. *Immerse* dilakukan selama $\pm 3-5$ detik. Berikut merupakan hasil pengamatan struktur makro pada Gambar 4.11 dan Gambar 4.12.



Gambar 4.11 Makrostruktur hasil pengelasan (a) diameter elektroda 1,2 mm, 320 A (b) diameter elektroda 1,2 mm, 420 A (c) diameter elektroda 1,2 mm, 520 A



Gambar 4.12 Makrostruktur hasil pengelasan (d) diameter elektroda 1,4 mm, 320 A (e) diameter elektroda 1,4 mm, 420 A (f) diameter elektroda 1,4 mm, 520 A

Berdasarkan hasil pengamatan, dapat dilihat pembagian daerah dari hasil pengelasan yang meliputi base metal, HAZ, dan weld. Dari hasil pengukuran yang tertera pada gambar, didapatkan lebar HAZ dan daerah pengelasan dalam μm . Pada Tabel 4.7 menunjukkan hasil perbandingan ukuran dari tiap variabel.

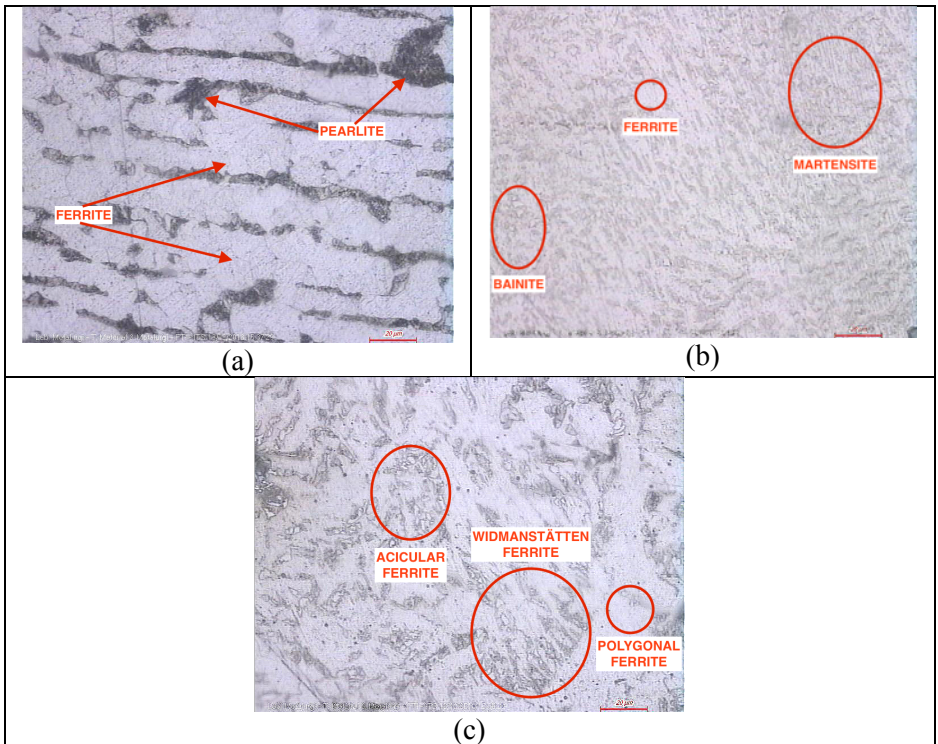


Tabel 4.7 Perbandingan Ukuran Profil Pengelasan

Diameter Elektroda	Ampe re	Lebar HAZ (μm)	Lebar Daerah Pengelasan (μm)
1,2 mm	320	1074	25642
	420	1553	27178
	520	1797	21630
1,4 mm	320	1825	35445
	420	1868	25499
	520	2419	28742

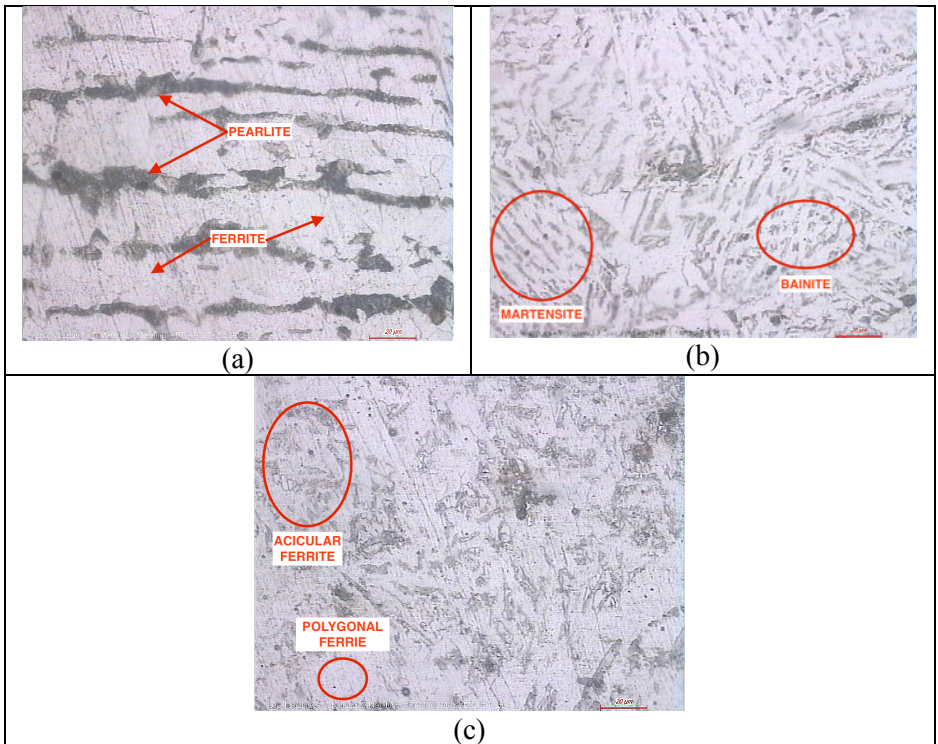
IV.1.6 Hasil Pengamatan *Mikroskopik*

Pengamatan struktur mikro hasil pengelasan JIS SS400 dilakukan untuk melihat fasa - fasa yang terbentuk dan menganalisa ukuran dari butir. Etsa yang digunakan adalah etsa nital 2% dengan bahan 5 ml HNO_3 , dan 95 ml alkohol 95%. Pemberian larutan etsa pada spesimen dilakukan dengan menggunakan metode *immerse*. *Immerse* dilakukan selama $\pm 3-5$ detik. Berikut merupakan hasil pengamatan struktur mikro pada Gambar 4.13 sampai Gambar 4.18



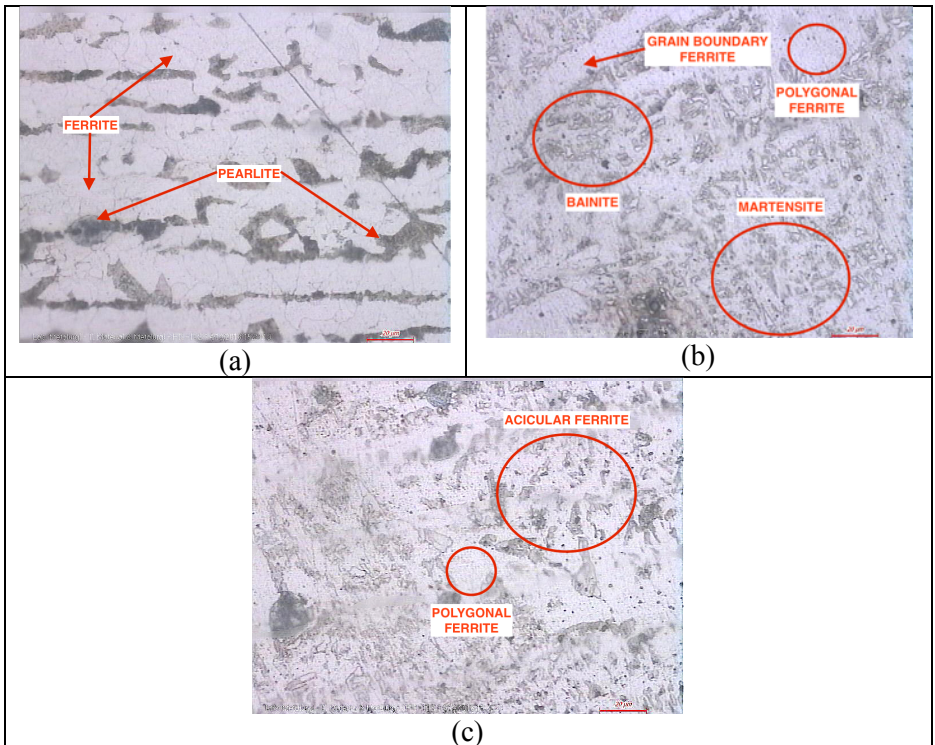
Gambar 4.13 Hasil mikroskopik perbesaran 500x pada ampere 320 diameter 1,2 (a) *base metal* (b) HAZ (c) *weld*

Pada Gambar 4.13 terlihat pada (a) *base metal* dari JIS SS400 fasa yang terlihat terdiri atas konstituen *ferit* dan *perlit* yang saling berlapis. Pada daerah (b) HAZ terlihat struktur mikro diselubungi oleh *lath martensit* dengan sedikit adanya butir *bainit* yang dikelilingi oleh *ferit*. Pada daerah (c) *Weld* terbentuk struktur *acicular ferit* yang dikelilingi oleh *polygonal ferit*. Ditemukan juga struktur *widmanstätten ferit*



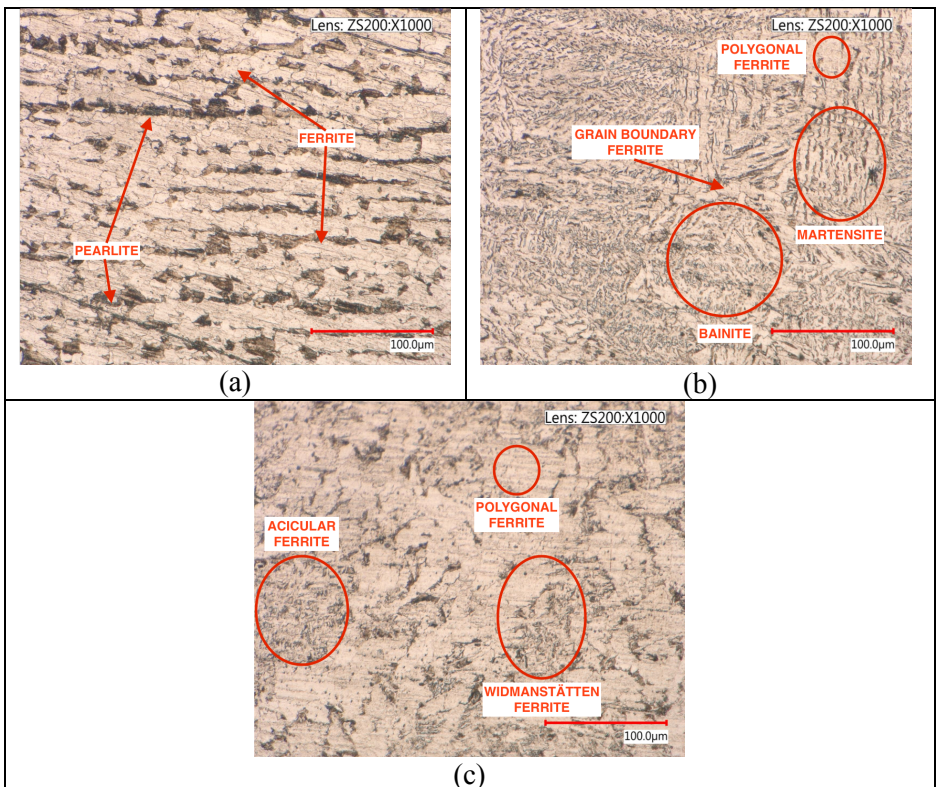
Gambar 4.14 Hasil mikroskopik perbesaran 500x pada ampere 420 diameter 1,2 (a) *base metal* (b) *HAZ* (c) *weld*

Pada Gambar 4.14 terlihat pada (a) *base metal* dari JIS SS400 fasa yang terlihat terdiri atas konstituen *ferit* dan *perlit* yang saling berlapis. Pada daerah (b) *HAZ* terlihat struktur mikro berupa butir *bainit* yang dikelilingi oleh *ferit*. Ada terdapat struktur *martensit* yang terdeteksi. Pada daerah (c) *Weld* terbentuk struktur *acicular ferit* yang dikelilingi oleh *polygonal ferit*.



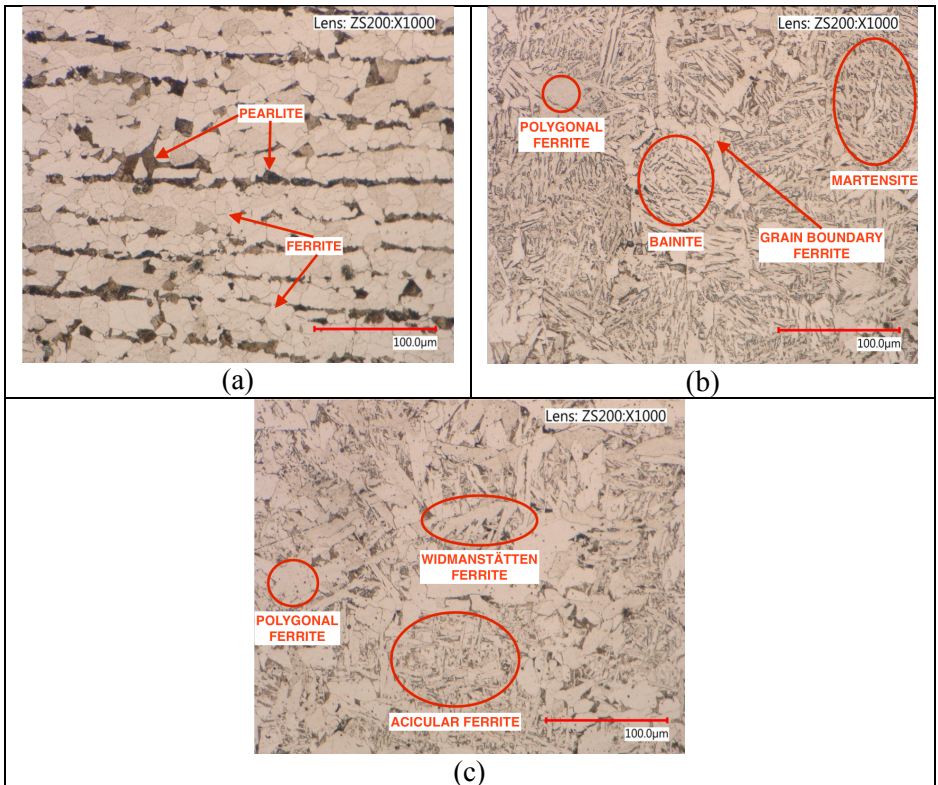
Gambar 4.15 Hasil mikroskopik perbesaran 500x pada ampere 520 diameter 1,2 (a) *base metal* (b) HAZ (c) *weld*

Pada Gambar 4.15 terlihat pada (a) *base metal* dari JIS SS400 fasa yang terlihat terdiri atas konstituen *ferit* dan *perlit* yang saling berlapis. Pada daerah (b) HAZ terlihat struktur mikro berupa butir *bainit* yang dikelilingi oleh *grain boundary ferit* dan *polygonal ferit*. Ada terdapat struktur *martensit* yang terdeteksi. Pada daerah (c) *Weld* terbentuk struktur *acicular ferit* yang dikelilingi oleh *polygonal ferit*.



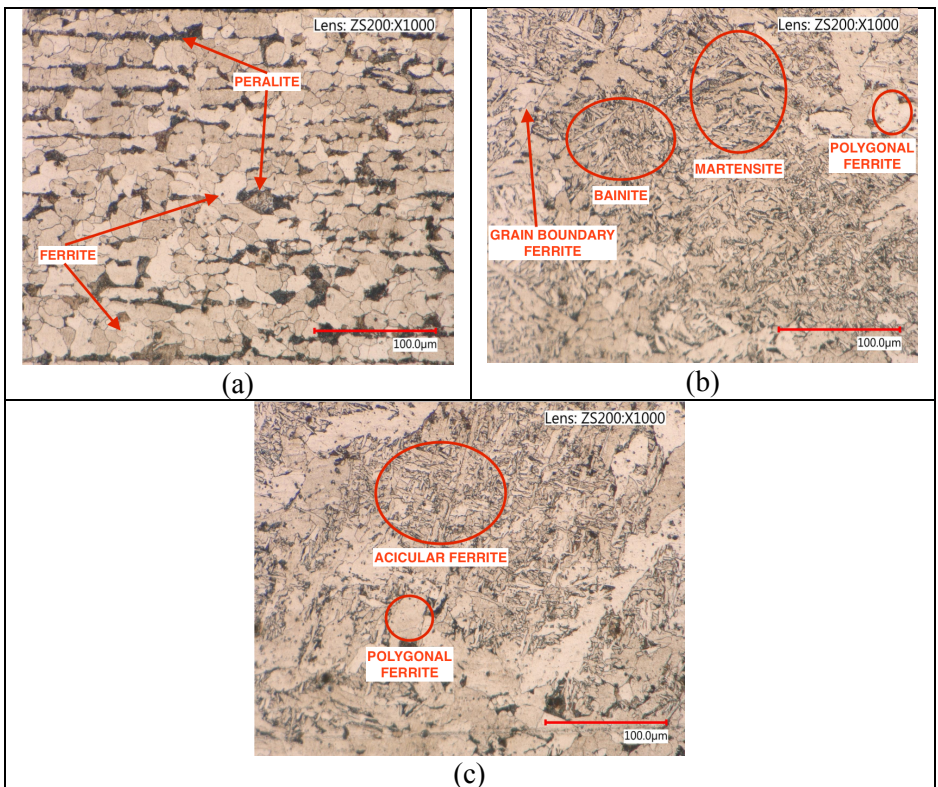
Gambar 4.16 Hasil mikroskopik perbesaran 1000x pada ampere 320 diameter 1,4 (a) *base metal* (b) *HAZ* (c) *weld*

Pada Gambar 4.16 terlihat pada (a) *base metal* dari JIS SS400 fasa yang terlihat terdiri atas konstituen *ferit* dan *perlit* yang saling berlapis. Pada daerah (b) *HAZ* terlihat struktur mikro berupa butir *bainit* yang dikelilingi oleh *grain boundary ferit* tipis dengan *polygonal ferit*. Ada terdapat struktur *martensit* yang terdeteksi. Pada daerah (c) *Weld* terbentuk struktur *acicular ferit* yang dikelilingi oleh *polygonal ferit* serta *widmanstätten ferit*.



Gambar 4.17 Hasil mikroskopik perbesaran 1000x pada ampere 420 diameter 1,4 (a) *base metal* (b) *HAZ* (c) *weld*

Pada Gambar 4.17 terlihat pada (a) *base metal* dari JIS SS400 fasa yang terlihat terdiri atas konstituen *ferit* dan *perlit* yang saling berlapis. Pada daerah (b) *HAZ* terlihat struktur mikro berupa butir *bainit* yang dikelilingi oleh *grain boundary ferit* dengan *polygonal ferit*. Ada terdapat struktur *martensit* yang terdeteksi. Pada daerah (c) *Weld* terbentuk struktur *acicular ferit* yang dikelilingi oleh *polygonal ferit* serta *widmanstätten ferit*.



Gambar 4.18 Hasil mikroskopik perbesaran 1000x pada ampere 520 diameter 1,4 (a) *base metal* (b) *HAZ* (c) *weld*

Pada Gambar 4.18 terlihat pada (a) *base metal* dari JIS SS400 fasa yang terlihat terdiri atas konstituen *ferit* dan *perlit* yang saling berlapis. Pada daerah (b) *HAZ* terlihat struktur mikro berupa butir *bainit* besar yang dikelilingi oleh *grain boundary ferit* tipis dengan *polygonal ferit*. Ada terdapat struktur *martensit* yang terdeteksi. Pada daerah (c) *Weld* terbentuk struktur *acicular ferit* yang dikelilingi oleh *polygonal ferit*.



IV.2 Pembahasan

Berdasarkan pengamatan visual, setiap spesimen memiliki cacat berupa *undercut* yang ditandai oleh lingkaran merah pada Gambar 4.1 dan Gambar 4.2. *Undercut* merupakan istilah yang digunakan untuk menggambarkan sebuah alur (*groove*) benda kerja yang mencair dan terletak pada tepi/kaki lasan (*bead weld*) di mana *groove* benda kerja yang mencair tersebut tidak terisi oleh cairan las. Hal ini dikarenakan pada proses awal pengelasan, busur listrik yang terbentuk masih menyesuaikan dengan *ampere* dan *voltase* yang diberikan, sehingga busur yang terbentuk belum stabil. Akibatnya, pada awal mula pengelasan, deposit logam yang dihasilkan lebih sedikit dibandingkan dengan daerah hasil lasan di tengah maupun akhir.

Hasil inspeksi *Ultrasonic Testing* yang ditunjukkan pada Tabel 4.1 dan Lampiran menyatakan bahwa hasil pengelasan yang dilakukan tidak mengalami cacat internal maupun eksternal. Sehingga hasil pengelasan yang di inspeksi sesuai dengan kualitas PT.X

Berdasarkan hasil pengujian *spatter* pada Gambar 4.3 dan Tabel 4.2, dapat dilihat bahwa hasil pengelasan dengan variabel 520 A menghasilkan jumlah *spatter* (cipratan logam cair) yang paling banyak, baik pada diameter elektroda 1,2 mm maupun 1,4 mm, dengan jumlah *spatter* yang ditemukan sebanyak 20 buah dan 40 buah. Sementara jumlah *spatter* paling sedikit didapatkan dari variabel 320 A, baik pada diameter elektroda 1,2 mm maupun 1,4 mm, yakni sebesar 12 buah dan 21 buah. Hal ini disebabkan arus pengelasan sebagai salah satu variabel yang mempengaruhi *heat input*, meningkat maka panas yang dihasilkan akan semakin meningkat. Akibatnya, jumlah lelehan logam cair yang dihasilkan semakin banyak sehingga kemungkinan untuk terjadinya cipratan logam cair di permukaan pengelasan akan semakin besar. Berdasarkan standar *spatter* PT. X, seharusnya tidak ada *spatter* yang terdeteksi pada hasil pengelasan sehingga hasil yang didapatkan pada penelitian ini tidak optimal.



Berdasarkan hasil pengujian kekerasan di Tabel 4.3, diketahui bahwa rata – rata nilai kekerasan paling tinggi secara umum berada di daerah *Heat Affected Zone* (HAZ) dibandingkan daerah *Weld*, dengan kekerasan tertinggi pada HAZ dihasilkan oleh kuat arus 320 A yakni sebesar 209,6 HB untuk diameter elektroda 1,2 mm dan sebesar 197 HB untuk diameter elektroda 1,4 mm sementara kekerasan tertinggi pada daerah *weld* dihasilkan oleh kuat arus 320 A pada diameter elektroda 1,2 mm sebesar 195,4 HB sementara rata – rata nilai kekerasan terendah pada daerah *weld* dihasilkan oleh kuat arus 520 A pada diameter elektroda 1,4 mm sebesar 171,6 A. Terlihat bahwa nilai kekerasan pada diameter 1,2 mm memiliki kekerasan lebih tinggi dibandingkan dengan diameter 1,4 mm. Hal ini terjadi karena kawat elektroda 1,4 mm memiliki luas penampang lebih besar dibandingkan dengan kawat elektroda 1,2 mm. Semakin besar luas penampang kawat maka sifat resistansinya akan berkurang dikarenakan semakin banyak arus listrik atau elektron yang dapat melewati kawat tersebut, sehingga arus listrik akan semakin besar dan *heat input* yang dihasilkan juga semakin besar pula yang menyebabkan tingginya temperatur pengelasan. Semakin tinggi temperatur pengelasan, laju pendinginan yang terjadi akan semakin lambat sehingga butir yang terbentuk memiliki ukuran besar dan kasar. Butir yang kasar menyebabkan semakin sedikit batas – batas butir yang ada sehingga pergerakan dislokasi lebih mudah untuk terjadi dan mengakibatkan nilai kekerasan menurun.

Berdasarkan hasil kurva perbandingan gaya dan penambahan panjang pengujian tarik pada Gambar 4.6, didapatkan nilai mekanik hasil pengelasan berupa nilai *Ultimate Tensile Strength* (UTS) dan elongasi. Untuk hasil *Ultimate Tensile Test* (UTS) dapat dilihat pada Tabel 4.4 dan Gambar 4.7. Dapat diketahui nilai UTS tertinggi dihasilkan dari variabel diameter elektroda 1,2 mm dengan arus pengelasan 320 A, yakni sebesar 569,3 MPa sementara nilai UTS terendah didapatkan dari variabel diameter elektroda 1,4 mm dengan arus pengelasan 320 A yakni sebesar 531,4 MPa. Semakin besar luas penampang kawat maka kuat arus listrik akan semakin besar dan *heat input* yang dihasilkan juga semakin tinggi yang



mengakibatkan tingginya temperatur pengelasan. Semakin tinggi temperatur pengelasan, laju pendinginan yang terjadi akan semakin lambat sehingga butir yang terbentuk memiliki ukuran besar dan kasar. Ukuran butir yang kasar dapat mempengaruhi tinggi rendahnya nilai kekerasan dan kekuatan suatu material. Menurut (Callister, dkk, 2015) baik kekuatan tarik dan kekerasan adalah indikator ketahanan logam terhadap deformasi plastis. Akibatnya, kedua sifat tersebut kira-kira proporsional/linear satu sama lain. Oleh karena itu, ukuran butir yang kasar dapat menurunkan nilai kekerasan dan UTS dari suatu material. Pada diameter elektroda 1,2 mm, terjadi penyimpangan nilai UTS pada arus pengelasan 520 A sementara pada diameter elektroda 1,4 mm terjadi penyimpangan pada arus pengelasan 320 A dan 420 A dengan adanya peningkatan kekerasan dari 531,45 MPa menjadi 550,8 MPa. Hal ini terjadi dikarenakan terbentuknya fasa/struktur mikro akibat laju pendinginan yang dapat meningkatkan nilai UTS secara signifikan dari hasil pengelasan seperti bainit, martensit pads HAZ maupun *widmanstatten* ferit pada *weld*.

Selain UTS, didapatkan juga presentase elongasi tiap variabel pada Tabel 4.5 dan Gambar 4.8. Berdasarkan perbandingan elongasi, didapatkan presentase elongasi terbesar dihasilkan oleh variabel diameter elektroda 1,4 mm pada arus pengelasan 520 A dengan presentase elongasi sebesar 56% sementara presentase elongasi terkecil dihasilkan oleh variabel diameter elektroda 1,2 mm pada arus pengelasan 320 A dengan presentase elongasi sebesar 38%. Hasil perbandingan menunjukkan semakin besar diameter kawat elektroda, memperluas penampang kawat sehingga sifat resistansinya akan berkurang dikarenakan semakin banyak arus listrik atau elektron yang dapat melewati kawat tersebut. Peningkatan arus pengelasan akan memperbesar nilai *heat input* yang dihasilkan, mengakibatkan laju pendinginan yang terjadi semakin lambat sehingga butir yang terbentuk memiliki ukuran besar dan kasar. Ukuran butir yang kasar akan meningkatkan besar pertambahan panjang akibat deformasi plastis lebih mudah terjadi sehingga meningkatkan presentase elongasinya.



Berdasarkan hasil patahan pengujian *tensile* pada Gambar 4.9, semua variabel menunjukkan sifat patahan ulet. Hal ini dikarenakan secara visual bentuk patahan yang terjadi memiliki permukaan yang buram serta berserabut pada permukaan yang ditandai lingkaran merah pada Gambar 4.9. Profil patahan ini menunjukkan bahwa hasil pengelasan saat diberikan pembebanan mengalami proses deformasi plastis terlebih dahulu sebelum mengalami *fracture*. Hal ini diperkuat dengan hasil presentase elongasi elektroda pada Tabel 4.5 yang menunjukkan presentasi elongasi hasil pengelasan melebihi nilai standar elongasi dari material *base metal* dan kawat elektroda.

Berdasarkan hasil pengujian pada Tabel 4.6 dan Gambar 4.10, menunjukkan bahwa rata – rata nilai impact tertinggi dihasilkan oleh diameter elektroda 1,4 mm pada 520 A yakni sebesar 122,8 Joule dan rata – rata nilai terendah dihasilkan oleh diameter elektroda 1,2 mm pada 320 A yakni sebesar 56,68 Joule. Hal ini terjadi akibat semakin kecil diameter kawat elektroda, akan memperkecil penampang kawat sehingga sifat resistansinya akan meningkat dikarenakan semakin sedikit arus listrik atau elektron yang dapat melewati kawat tersebut. Penurunan arus pengelasan akan memperkecil nilai *heat input* yang dihasilkan dan mengakibatkan laju pendinginan yang terjadi akan semakin cepat. *Heat input* rendah mengarah ke pendinginan cepat karena lelehan logam yang terdeposisi di daerah *weld* kecil dibandingkan dengan *base metal* dan *base metal* bertindak sebagai *heat sink* yang dapat menyerap panas dengan sangat cepat. Akibatnya, hasil pengelasan memiliki struktur mikro yang halus dan memiliki banyak batas butir. Batas butir ini bersifat tidak stabil dan menyimpan impuritas, serta tegangan – tegangan sisa akibat laju pendinginan cepat. Semakin banyak batas butir yang terbentuk, maka semakin sedikit pula kemampuan untuk dapat menyerap energi lebih sehingga nilai energi impactnya menurun, begitu pula sebaliknya. Sehingga hasil yang didapatkan dari pengujian *impact* memiliki kesesuaian dengan teori.

Berdasarkan hasil pengamatan makroskopik, didapatkan daerah – daerah hasil pengelasan pada tiap specimen berupa *base*



metal, HAZ serta daerah *weld*. Berdasarkan kuat arus, panjang HAZ, baik diameter elektroda 1,2 mm maupun 1,4 mm, memiliki ukuran paling panjang pada kuat arus 520 A yakni sebesar 1797 μm untuk diameter elektroda 1,2 mm dan 2419 μm untuk diameter elektroda 1,4 mm. Hal ini terjadi karena diameter elektroda 1,4 mm memiliki luas permukaan lebih besar sehingga meningkatkan kuat arus pengelasan yang menyebabkan nilai *heat input* semakin besar serta memperpanjang daerah HAZ. Selain HAZ, daerah lain yang bisa diukur adalah daerah pengelasan (*weld*). Daerah pengelasan yang paling panjang dimiliki oleh variabel kawat elektroda berdiameter 1,4 mm pada 320 A yakni sepanjang 35445 μm sementara daerah pengelasan paling pendek dimiliki oleh variabel kawat elektroda berdiameter 1,2 mm pada 520 A yakni sepanjang 21630 μm . Hal ini terjadi akibat kawat berdiameter lebih besar dapat menghasilkan tetesan logam cair dalam jumlah yang lebih banyak serta tetesan yang lebih besar dibandingkan dengan diameter kecil. Akibatnya, kawat berdiameter besar dapat menutupi daerah pengelasan secara optimal, deposisi logam cair lebih banyak, memperpanjang daerah pengelasan.

Hasil pengamatan mikroskopik berdasarkan Gambar 4.13 sampai Gambar 4.15 menunjukkan bahwa struktur mikro pada *base metal* JIS SS400 memiliki fasa berupa *ferit* dan *perlit*. *Ferit* yang terlihat dalam struktur mikro lebih mendominasi dibandingkan dengan *perlit*. Hal ini terjadi karena JIS SS400 memiliki kadar karbon sebesar 0,2% dan tergolong dalam baja karbon rendah sehingga jumlah *ferit* lebih banyak dibandingkan *perlit*. Pada daerah HAZ, jumlah pesebaran fasa *lath martensit* jauh lebih banyak pada arus pengelasan 320 A dibandingkan arus lain. Akan tetapi, struktur mikro *bainit* dan *ferit*, baik *polygonal ferit* maupun *grain boundary ferit*, lebih banyak tersebar pada arus pengelasan 520 A. Hal tersebut terjadi karena arus pengelasan rendah menyebabkan *heat input* yang terjadi lebih rendah sehingga laju pendinginan yang terjadi semakin cepat. Pendinginan yang semakin cepat akan memiliki kemungkinan untuk menghasilkan struktur mikro *lath martensit* lebih banyak, sementara pendinginan yang lebih lambat akan menghasilkan



struktur mikro *bainit*. Banyaknya *martensit* akan mempengaruhi sifat mekanik hasil pengelasan, terutama sifat kekerasan. *Martensit* jauh lebih keras dibandingkan dengan *bainit*. Hal ini terbukti pada Tabel 4.3, nilai kekerasan HAZ pada arus pengelasan 320 A paling tinggi dibandingkan arus lainnya. Pada daerah *weld*, fasa yang terbentuk didominasi oleh *ferit* dengan beberapa variasi strukturnya seperti *polygonal ferit* dan *acicular ferit* yang tersebar merata dikarenakan kawat elektroda yang dipakai memiliki kadar karbon sangat rendah yaitu 0,06%. Akan tetapi, pada arus pengelasan 320 A terbentuknya *widmanstätten ferit* pada daerah *weld*. *Acicular ferit* terbentuk di bagian dalam butir *austenit*. *Acicular ferit* ditandai oleh batas butir bersudut tinggi antara butiran *ferit*. Hal ini mengurangi kemungkinan adanya *cleavage fracture* karena batas-batas ini menghambat perambatan retak berdasarkan struktur *acicular ferit* bersifat *interlocking* yang mengunci adanya proses dislokasi sehingga meningkatkan sifat ketangguhannya. Sementara proses pembentukan *widmanstätten ferit* dimulai di daerah *austenit* murni berbutir besar pada waktu singkat. Jika ada sedikit waktu karena pendinginan cepat, kristal *ferit* akan bernukleasi di seluruh batas butir karena butirannya sangat besar. Butir tersebut cepat tumbuh menjadi kristal yang memiliki arah kristal masing - masing di dalam butir. Struktur *widmannstätten ferit* cenderung lebih keras dan khususnya lebih rapuh daripada struktur *ferit / perlit* normal. Hal ini didukung oleh nilai rata – rata kekerasan daerah *weld* pada arus pengelasan 320 A paling tinggi dibandingkan dengan arus lainnya.

Berdasarkan Gambar 4.16 sampai Gambar 4.18 menunjukkan bahwa struktur mikro pada *base metal* JIS SS400 memiliki fasa berupa *ferit* dan *perlit*. *Ferit* yang terlihat dalam struktur mikro lebih mendominasi dibandingkan dengan *perlit*. Hal ini terjadi karena JIS SS400 memiliki kadar karbon sebesar 0,2% dan tergolong dalam baja karbon rendah sehingga jumlah *ferit* lebih banyak dibandingkan *perlit*. Pada daerah HAZ, struktur *bainit* lebih banyak terbentuk pada variabel pengelasan 420 A dan 520 A dibandingkan struktur *martensit*. Struktur *ferit* baik *polygonal ferit* maupun *grain boundary ferit* juga lebih banyak ditemukan pada arus



pengelasan tersebut. Hal ini terjadi karena arus pengelasan tinggi menyebabkan *heat input* yang terjadi lebih tinggi sehingga laju pendinginan yang terjadi semakin lambat. Pendinginan yang semakin lambat akan memungkinkan sedikit karbon untuk berdifusi dan beberapa karbon yang masih terperangkap dalam *austenit* akan bertransformasi menjadi *bainit*. Sifat mekanik *bainit* seperti kekerasan lebih rendah dibandingkan dengan *martensit*. Hal ini terbukti pada Tabel 4.3, nilai kekerasan pada variabel diameter elektroda 1,4 mm di arus pengelasan 420 A dan 520 A lebih rendah dibandingkan arus pengelasan 320 A.

Apabila pengamatan mikroskopis dibandingkan berdasarkan perbedaan ukuran diameter elektroda dimulai dari Gambar 4.13 hingga Gambar 4.18, struktur *base metal* cenderung seragam antara kedua variabel. Pada daerah HAZ, variabel diameter elektroda 1,2 mm lebih banyak menghasilkan struktur – struktur runcing dan lancip seperti *lath martensit* dibandingkan dengan diameter elektroda 1,4 mm. Pada daerah *Weld*, baik variabel diameter elektroda 1,2 mm maupun 1,4 mm memiliki struktur mikro yang kurang lebih sama, yakni tersusun atas *acicular ferit* yang diselimuti oleh *polygonal ferit* dengan luasan yang mendominasi. Pada daerah tertentu didekat *polygonal ferit*, terlihat struktur lancip *widmanstätten ferit*. Hal ini terjadi karena semakin kecil diameter kawat elektroda, akan memperkecil penampang kawat sehingga sifat resistansinya akan meningkat dikarenakan semakin sedikit arus listrik atau elektron yang dapat melewati kawat tersebut. Penurunan arus pengelasan akan memperkecil nilai *heat input* yang dihasilkan dan mengakibatkan laju pendinginan yang terjadi akan semakin cepat. Pendinginan yang cepat memiliki *driving force* yang tinggi sehingga menginisiasi proses transformasi struktur mikro yang memiliki kekerasan tinggi seperti *martensit*, *bainit* maupun *widmanstätten ferit*.

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

V.1 Kesimpulan

Kesimpulan pada penelitian ini adalah :

1. *Ampere* dan diameter elektroda mempengaruhi sifat mekanik dari hasil pengelasan antara lain:
 - a. Semakin besar diameter elektroda, semakin tinggi kuat arus, sehingga cacat seperti *undercut/spatter* dipermukaan semakin besar. *Spatter* terbanyak sebesar 44 buah pada diameter 1,4 mm 520 A sementara terkecil sebesar 13 buah pada diameter elektroda 1,2 mm 320 A.
 - b. Semakin besar diameter elektroda, semakin tinggi kuat arusnya sehingga nilai kekerasannya menurun. Rata – rata nilai kekerasan tertinggi sebesar 209,8 HB pada diameter elektroda 1,2 mm 320 A sementara terendah sebesar 171,6 HB pada diameter elektroda 1,4 mm 520A.
 - c. Semakin besar diameter elektroda, semakin tinggi kuat arusnya sehingga nilai UTS nya menurun. Rata – rata nilai UTS tertinggi pada diameter elektroda 1,2 mm 320 A sebesar 569,3 MPa sementara terendah pada diameter elektroda 1,4 mm 320 A sebesar 531,4 MPa. Semakin besar diameter elektroda, semakin tinggi kuat arusnya sehingga presentase elongasinya semakin meningkat. Presentase elongasi terbesar sebesar 56% pada diameter elektroda 1,4 mm 520 A sementara terkecil sebesar 38% pada diameter 1,2 mm 320 A.
 - d. Semakin kecil diameter elektroda, semakin rendah kuat arusnya sehingga energi impactnya menurun. Rata – rata nilai *impact* tertinggi pada diameter elektroda 1,4 mm 520 A sebesar 122,8 *Joule* sementara terendah pada diameter elektroda 1,2 mm 320 A yakni sebesar 56,68 *Joule*.



2. *Ampere* dan diameter elektroda mempengaruhi struktur mikro dari hasil pengelasan. Terhadap struktur makro, semakin besar diameter elektroda, semakin tinggi kuat arusnya sehingga daerah HAZ dan pengelasan semakin panjang. Terhadap struktur mikro, semakin besar diameter elektroda, semakin tinggi kuat arusnya sehingga *heat input* lebih tinggi. *Heat input* yang tinggi menyebabkan pendinginan lambat sehingga munculnya struktur mikro pipih dan lancip seperti *martensit* dan *widmanstätten ferit* berkurang. Pada bagian base metal, terdapat fasa *ferit* dan *perlit*. Pada bagian HAZ diameter elektroda 1,2 mm banyak didominasi oleh struktur *martensit* sementara HAZ diameter elektroda 1,4 mm banyak didominasi oleh struktur *bainit* dan *polygonal ferit*. Pada daerah pengelasan, baik diameter elektroda 1,2 mm maupun 1,4 mm banyak didominasi oleh struktur *acicular ferit* dengan diselimuti oleh *polygonal ferit* dan *widmanstätten ferit*.

V.2 Saran

Adapun beberapa saran yang dapat digunakan untuk melanjutkan penelitian ini kedepannya, diantaranya:

1. Menambahkan variasi jenis elektroda yang berbeda untuk menganalisa lebih lanjut mengenai pengaruh komposisi antara elektroda dan *base metal*.
2. Meminimalisir terjadinya *defect* pengelasan seperti *spatter*, *undercut* maupun tipe lainnya untuk mengoptimalkan hasil penelitian.
3. Melakukan pengujian dengan presisi yang tinggi untuk menghindari abnormalitas yang terjadi pada saat pengambilan dan pengolahan data.

DAFTAR PUSTAKA

- Anzehaee, Mohammad Mousavi. Haeri, Mohammad. 2012. *A new method to control heat and mass transfer to work piece in a GMAW process*. Elsevier. Islamic Azad University: Iran.
- Badri, Khemici. 2017. *GAZ TUNGSTEN ARC WELDING: Electrical current and polarity*.
- Boumerzoug, Zakaria. Derfouf, Chemseddine. Baudin, Thierry. 2017. *Effect of Welding on Microstructure and Mechanical Properties of an Industrial Low Carbon Steel*. Scientific Research. *Biskra University*: Algeria.
- Budiarsa, I N. 2008. *Pengaruh besar arus pengelasan dan kecepatan volume alir gas pada proses las GMAW terhadap ketangguhan aluminium 5083*. Jurnal Ilmiah Teknik Mesin CAKRAM Vol. 2 No. 2. *Universitas Udayana*: Bali.
- Callister Jr, William D. Rethwisch, David G. 2015. *Materials Science and Engineering Eighth Edition*. John Wiley & Sons, Inc: United States of America.
- Ghazvinloo, H.R. Honarbakhsh-Raouf, A. SHadfar, N. 2010. *Effect of the electrode to work angle, filler diameter and shielding gas type on weld geometry of HQ130 steel joints produced by robotic GMAW*. Indian Journal of Science and Technology. *Semnan University*: Iran.
- Hu, J. Tsai, H.L. 2006. *Heat and mass transfer in gas metal arc welding. Part I: The arc*. Elsevier. University of Missouri–Rolla: United States.
- Ibrahim, Izzatul Aini. dkk. 2012. *The Effect of Gas Metal Arc Welding (GMAW) processes on different welding parameters*. International Symposium on Robotics and Intelligent Sensors 2012 (IRIS 2012). *Universiti Teknologi Mara (UiTM)*: Selangor.
- Junus, Salahuddin. 2011. *Pengaruh Besar Aliran Gas Terhadap Cacat Porositas dan Struktur Mikro Hasil Pengelasan MIG Pada Paduan Aluminium 5083*. Jurnal ROTOR, Volume 4 Nomor 1. Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Jember: Jember.

- Khan, Md. Ibrahim. 2007. *Welding Science and Technology*. New Age International (P) Ltd., Publishers: New Delhi.
- Kumar, C. Labesh. Vanaja, T. Murti, Dr. KGK. Prasad, VVSH. 2017. *Optimization of Mig Welding Process Parameters for Improving Welding Strength of Steel*. International Journal of Engineering Trends and Technology (IJETT). Institute of Aeronautical Engineering: Hyderabad.
- Matheson. 2016. *Mild Steel Welding Alloy*. Matheson Select: United States.
- Metalwork GMAW Welding. 2015. *GMAW (MIG) – Welding*.
- Miller. 2018. *Guidelines For Gas Metal Arc Welding (GMAW)*. Miller Welds.
- N, Anbarasan. R, Oyyaravelu. P, Kuppan. 2015. *Effect of GMAW Process Parameters on The Influence of Bead Geometry and HAZ area on ASTM A516 grade 70 Low Alloy Pressure Vessel Steel*. International Journal of TechnoChem Research. VIT University: India.
- NPTEL. 2009. *Mechanical Engineering Course*. IIT ROORKEE.
- Pathak, C,S. 2015. *Analysis of Heat Flow During Welding*. Jaykar Library
- Primo, Jurandir. 2014. *Gas Metal Arc Welding – GMAW Best Practices*. PDH Online: Fairfax, VA.
- Rahul. Arya, Harish. K. Saxena. R. K. 2014. *Effect of Cooling Rate on Microstructure of Saw Welded Mild Steel Plate*. International Journal of Modern Engineering Research (IJMER). Sant Longowal Institute of Engineering & Technology: India.
- Sachajdak, Andrej. Sloma, Jacek. Szczygiel, Ireneusz. 2018. *Thermal model of the Gas Metal Arc Welding hardfacing process*. Applied Thermal Engineering. Intitute of Thermal Technology: Poland.
- Setiawan, Anang. Wardana, Yusa Asra Yuli. 2006. *Analisa Ketangguhan dan Struktur Mikro pada Daerah Las dan HAZ Hasil Pengelasan Sumerged Arc Welding pada Baja SM 490*. JURNAL TEKNIK MESIN Vol. 8, No. 2. Universitas Kristen Petra: Jakarta

- S.I, Talabi. dkk. 2014. *Effect of welding variables on mechanical properties of low carbon steel welded joint*. Advances in Production Engineering & Management: Nigeria.
- Shaikh, Altaf S. Shinde, B.M. 2015. Design and Optimization of Arm of Excavator. International Engineering Research Journal. 622-627. Rajarshir Shahu School of Engineering and Research: Narhe, Pune.
- Shams-Hakimi, Poja. Yildirim, Halid Can. Al-Emrani, Mohammad. 2017. *The Thickness Effect Of Welded Details Improved By High-Frequency Mechanical Impact Treatment*. International Journal of Fatigue. Chalmers University of Technology: Sweden.
- Soleh, Anjias Ahmad, dkk. 2010. *Analisa Pengaruh Kuat Arus Terhadap Struktur Mikro, Kekerasan, Kekuatan Tarik Pada Baja Karbon Rendah Dengan Las Smaw Menggunakan Jenis Elektroda E7016*. Jurnal Ilmiah Cendekia Eksakta. Universitas Wahid Hasyim: Semarang.
- Sulamet-Ariobimo, Rianti Dewi. dkk. 2016. *Tensile properties analysis of AA1100 aluminium and SS400 steel using different JIS tensile standard specimen*. Journal of Applied Research and Technology. Universitas Trisakti: Indonesia.
- Tawfeek, Tarik. 2017. *Study the Influence of Gas Metal Arc Welding Parameters on the Weld Metal and Heat Affected Zone Microstructures of Low Carbon Steel*. International Journal of Engineering and Technology (IJET). Benha University: Cairo.
- Turichin, G. dkk. 2018. *Influence of heat input and preheating on the cooling rate, microstructure and mechanical properties at the hybrid laser-arc welding of API 5L X80*. 10th CIRP Conference on Photonic Technologies: Russia.
- Waluyo, Suryono Adi. 2010. *ANALISA PENGARUH VARIASI ARUS TERHADAP HASIL LAS GMAW*. Agritek Volume 11 Nomor 1. akultas Teknik Universitas Merdeka: Madiun.

LAMPIRAN

HASIL INSPEKSI *ULTRASONIC TESTING*

PT KOMATSU INDONESIA
Fabrication Inspection Section

DOCUMENT NO. / PAGE
DAC-01-0360 / 1 / 2

ULTRASONIC TEST RESULT

EQUIPMENT		SHEET NO.		COMPONENT	
UT TYPE	EPOCH 600	SKETCH		MODEL	DMR550-245
PROBE	MUG 30-V			PART NUMBER	140170212
CABLE	KPC			PART NAME	C-FRAME
COUPLANT	CMC			GRADE	IS
GAIN OPERATIONAL	60 dB			PROD. SECTION	WELDING

NO.	PROG. NO.	INSP. DATE	INSPECTOR	POINT NO.	WELD SYMBOL	SKETCH				JUDGEMENT
						1	2	3	4	
1	1001-106	1/16/20	SAD	R			14 230 14 230 230 14 14 230 230 230 14 14 230 230 230 14 14 230 230	OK		
2										
3										
4										
5										

14	230	14	230	230	14	14	230	230	230	14	14	230	230	230	14	14	230	230
----	-----	----	-----	-----	----	----	-----	-----	-----	----	----	-----	-----	-----	----	----	-----	-----

ULTRASONIC SCANNING REFERENCE TO PER 101

Grade	I		II		III		IV		APPROVED	CHECKED	PREPARED	
	max	min	max	min	max	min	max	min				
Thickness (mm)	0	10	10	6	60	60	0	10	10	6	60	60
Grade I	0	4 mm	0	17.8	0	20 mm	0	4 mm				
Grade II	0	0 mm	0	17.2	0	30 mm	0	6 mm				
Grade III	0	10 mm	0	17.8	0	60 mm	0	9 mm				

APPROVED: *[Signature]* / CHECKED: *[Signature]* / PREPARED: *[Signature]*

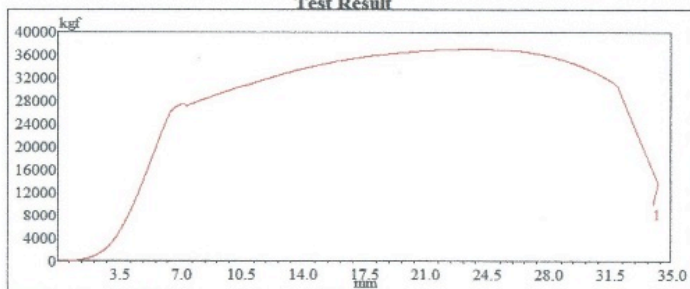
DATE: 17/1/2012

HASIL PENGUJIAN TENSILE



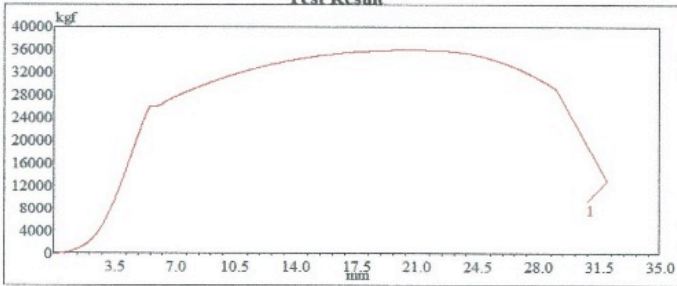
Laboratorium Metalurgi
 Departemen Teknik Material dan Metalurgi
 Fakultas Teknologi Industri
 Institut Teknologi Sepuluh Nopember - Surabaya

Test Result



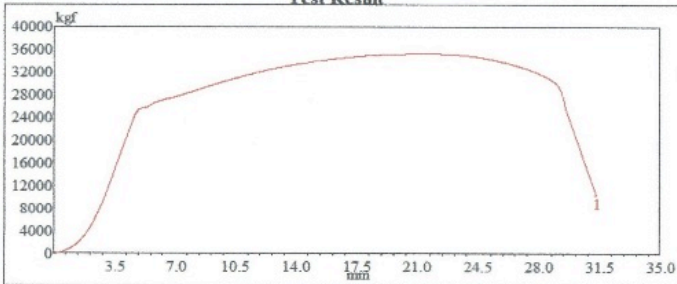
Specimen Code	Width mm	Thickness mm	Area mm ²	Yield Point kgf	Yield Str. kgf/mm ²	Max. Load kgf	UTS kgf/mm ²	Breaking
C1	43.36	15.82	685.96	27187.29	39.63	37159.15	54.17	BM
---	---	---	---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---	---	---	---

Test Result



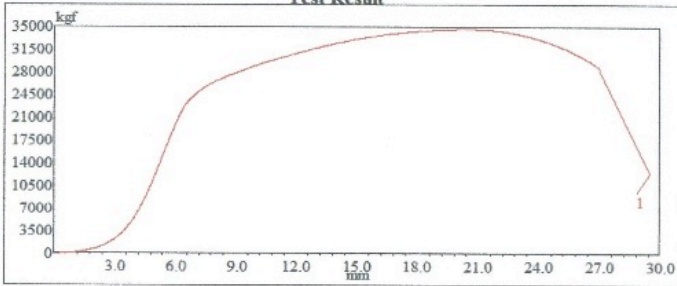
Specimen Code	Width mm	Thickness mm	Area mm ²	Yield Point kgf	Yield Str. kgf/mm ²	Max. Load kgf	UTS kgf/mm ²	Breaking
C3	40.00	16.01	640.40	25959.13	40.54	35984.70	56.19	BM
---	---	---	---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---	---	---	---

Test Result



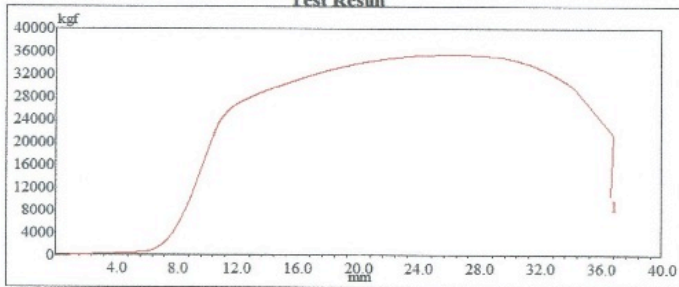
Specimen Code	Width mm	Thickness mm	Area mm ²	Yield Point kgf	Yield Str. kgf/mm ²	Max. Load kgf	UTS kgf/mm ²	Breaking
C2	40.00	16.10	644.00	25595.60	39.74	35323.22	54.85	BM
---	---	---	---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---	---	---	---

Test Result



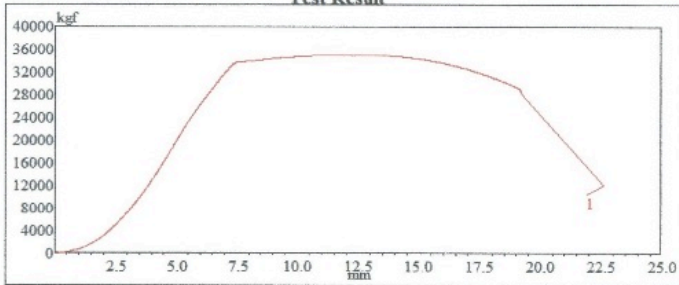
Specimen Code	Width mm	Thickness mm	Area mm ²	Yield Point kgf	Yield Str. kgf/mm ²	Max. Load kgf	UTS kgf/mm ²	Breaking
D1	40.00	15.40	616.00	23920.20	38.83	34683.62	56.30	BM
---	---	---	---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---	---	---	---

Test Result



Specimen Code	Width mm	Thickness mm	Area mm ²	Yield Point kgf	Yield Str. kgf/mm ²	Max. Load kgf	UTS kgf/mm ²	Breaking
D2	40.30	15.39	620.22	24988.09	40.29	35496.18	57.23	BM
---	---	---	---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---	---	---	---

Test Result



Specimen Code	Width mm	Thickness mm	Area mm ²	Yield Point kgf	Yield Str. kgf/mm ²	Max. Load kgf	UTS kgf/mm ²	Breaking
D3	39.00	15.00	585.00	33938.40	58.01	35093.30	59.99	BM
---	---	---	---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---	---	---	---

HASIL PENGUJIAN *IMPACT*

Spesimen	W	L	B	cosA	cosB	cosB - cosA	ΔE	A	Is
C1	251.86	0.6595	117	-0.772	-0.454	0.318	52.760	0.8	65.95
	251.86	0.6595	116	-0.772	-0.438	0.333	55.354	0.8	69.19
	251.86	0.6595	113.5	-0.772	-0.399	0.373	61.935	0.8	77.42
C2	251.86	0.6595	110	-0.772	-0.342	0.430	71.358	0.8	89.20
	251.86	0.6595	108.5	-0.772	-0.317	0.454	75.463	0.8	94.33
	251.86	0.6595	107	-0.772	-0.292	0.479	79.605	0.8	99.51
C3	251.86	0.6595	105	-0.772	-0.259	0.513	85.178	0.8	106.47
	251.86	0.6595	102	-0.772	-0.208	0.564	93.634	0.8	117.04
	251.86	0.6595	101.5	-0.772	-0.199	0.572	95.053	0.8	118.82
D1	251.86	0.6595	96	-0.772	-0.105	0.667	110.806	0.8	138.51
	251.86	0.6595	94.5	-0.772	-0.078	0.693	115.136	0.8	143.92
	251.86	0.6595	94	-0.772	-0.070	0.702	116.581	0.8	145.73
D2	251.86	0.6595	94.5	-0.772	-0.078	0.693	115.136	0.8	143.92
	251.86	0.6595	93	-0.772	-0.052	0.719	119.475	0.8	149.34
	251.86	0.6595	92	-0.772	-0.035	0.737	122.371	0.8	152.96
D3	251.86	0.6595	93	-0.772	-0.052	0.719	119.475	0.8	149.34
	251.86	0.6595	91.5	-0.772	-0.026	0.745	123.820	0.8	154.78
	251.86	0.6595	91	-0.772	-0.017	0.754	125.269	0.8	156.59

HASIL *HARDNESS* BERDASARKAN JARAK INDENTASI

TEST PIECE	LAYER	BASE METAL			HAZ			WELD METAL			HAZ			BASE METAL		
		1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
A1	2	162.1	159.5	156.9	209.4	213.8	195	179.6	175.6	169	181.4	193.2	184.2	155.5	148	163.2
	1				170	190	200	166.5	169	165	173.6	172.3	170			
A2	2	159	155	149.8	188.7	195.9	200	185.5	182.2	181.4	205.5	199	204	177.6	168	188
	2				205	195	197	168	165	168.1	182.9	187.6	173.6			
A3	1	161.3	162.4	153	191.7	192.8	211.6	183.6	189.8	182.3	194.4	197.1	192.8	159.2	156.9	149.4
	2				207.5	204.8	203.6	187.8	188.1	188.5	204.8	202.5	197.9			
B1	2	183.3	166.5	160.6	210	209	206.7	224	195	197	201	203.6	217	155.3	157.5	157.8
	1				194.4	196.7	196.4	190.9	206	194	180	185.1	180.3			
B2	2	172	161	159	186.5	187.1	192	186.8	193.2	194.8	177.9	173.6	178	176.2	165	172.6
	1				199	197.5	196	197.1	197.9	198	188	179	189			
B3	2	161.2	169	161	195.6	202.7	204.8	207	210	206.7	196.7	203	205	164.3	154.7	153
	1				200.8	199	197.4	199.1	205	201	198	200.5	201.1			
C1	2	167.6	156.9	156.7	211.6	209	208	194.4	187.5	204.1	179	209.2	205	153.6	157.8	156.4
	1				175	180.9	174.8	176	177	177.6	171	172.3	170			
C2	2	167.8	158.9	157.2	207.9	201.9	207	184.9	190.9	192.1	207	186.5	189.2	151.6	161	165.2
	1				199.1	184.5	231.9	180	189.2	197.9	165.3	162.4	181.4			
C3	2	177.6	153.6	148.7	202	197.1	209	181.4	191.7	189	198.7	179.5	183	144.1	156.1	172
	1				194.4	177.9	202.5	181.6	181.4	174.6	213.2	213	204			
D1	2	168.2	167.6	162	184.5	197.5	191.3	173.2	183.3	189.2	207	199	184.9	159	161	160
	1				200.1	200.9	200	190	183	192.4						
D2	2	156.7	158.1	167.3	181.4	187.5	212.5	165	175.7	185	180.3	181	165.1	152	151.9	159.6
	1				202.4	208.6	201.7	200	202	204	199.5	201.6	200.9			
D3	2	167	172.6	186.5	169.8	177.3	177.3	161.3	185	168.4	167.3	176.2	175.2	154.7	157.2	164.8
	1				198.9	199	200	197.3	199.9	195	177	172.7	174.6			

UCAPAN TERIMA KASIH

1. Allah SWT yang telah memberi kelancaran dalam proses mengerjakan Tugas Akhir hingga penyusunan laporan.
2. Rasulullah SAW yang selalu memberikan kasih sayang dan tuntunannya untuk senantiasa beribadah kepada Allah SWT.
3. Kedua Orang Tua, Alm Bapak Suwinarno dan Ibu Renny Soelistiyowati serta keluarga besar yang selalu memberikan dukungan moril dan materil serta doa yang tidak henti untuk penulis.
4. Bapak Dr. Agung Purniawan, S.T., M.Eng., selaku Ketua Departemen Teknik Material.
5. Bapak Dr. Sungging Pintowantoro, S.T., M.Sc., selaku dosen wali yang telah membimbing, memberi saran dan arahan serta nasihat selama perkuliahan di Departemen Teknik Material.
6. Bapak Wikan Jatimurti, S.T., M.Sc. selaku pembimbing I tugas akhir yang telah membimbing, memberi saran dan arahan serta nasihat dalam pelaksanaan tugas akhir dan penyusunan laporan tugas akhir ini.
7. Bapak Alvian Toto Wibisono, S.T., M.T. selaku pembimbing II tugas akhir yang telah membimbing, memberi saran dan arahan serta nasihat religius dalam pelaksanaan tugas akhir dan penyusunan laporan tugas akhir ini.
8. Bapak Nadhif MT 06, Bapak Agus, Bapak Setiawan, Bapak Dodi, Ibu Liza, selaku pembimbing perusahaan di PT. Komatsu Indonesia yang banyak memberi dukungan dan membantu kelancaran selama proses penyusunan Tugas Akhir.
9. Teman-teman MT 17 yang selalu memberikan support moral dan material demi kelancaran perkuliahan penulis.
10. Kepada Warga Lab Metalurgi Ajeng, Junda, Opal, Memed, Ongko, Adhe, Ariantod sebagai teman sepak terjang betapa sangarnya dunia per metal an.

11. Seluruh teman – teman BEM ITS Wahana Juang dan Gelora Aksi, terutama Kementerian Hubungan Luar, AIESEC Mahameru 15/16, ITS MUN Club terutama delegasi Göttingen MUN, PETROLIDA 2018, yang telah menjadi tempat meneduh dalam mengarungi ganasnya kampus perjuangan.

BIODATA PENULIS



Penulis lahir di Jakarta pada tanggal 15 Juli 1997. Penulis merupakan anak pertama dari tiga bersaudara dari pasangan Alm Suwinarno dan Renny Soelistiyowati. Riwayat pendidikan penulis adalah SD Muhammadiyah 24 Rawamangun, SMP Negeri 1 Jakarta, SMA Negeri 26 Jakarta dan S1 Departemen Teknik Material Institut Teknologi Sepuluh Nopember sampai sekarang. Selama berkuliah di Institut Teknologi, selain melibatkan diri dalam bidang akademik, penulis juga mengisinya dengan kegiatan non-

akademik. Riwayat organisasi penulis adalah Manager *Incoming Global Volunteer* AIESEC Surabaya dan Dirjen Komunikasi Internasional dan Kerjasama ASEAN Kementrian Hubungan Luar BEM ITS. Selain itu, penulis juga aktif dalam organisasi berbasis keprofesian dengan menjadi Staff Hubungan Eksternal *National Association of Corrosion Engineering* (NACE), *Grader* dalam mata kuliah Teknologi Pengecoran dan Asisten Laboratorium Kimia Analitik. Beberapa capaian penulis adalah menjadi delegasi ITS dalam GöMUN 2018 di Göttingen Jerman, mendapatkan penghargaan *Best Position Paper* dan *Honourable Mention* di Jogjakarta International MUN 2018. Selain itu, penulis memiliki pengalaman magang di PT. Toyota Motor Manufacturing Indonesia, PT. Komatsu Indonesia, dan Schlumberger Indonesia.