



TUGAS AKHIR - VM 095502

PENGARUH VARIASI ARUS TERHADAP
KEKUATAN TARIK, KEKERASAN, DAN MIKRO
ETSA PADA BAJA KARBON RENDAH A 36
MENGUNAKAN ELEKTRODA E6013 METODE
LAS SMAW

SHAFWAN DZAKWAN
NRP.10211500000017

Dosen Pembimbing
Ir. Subowo, M.Sc.
NIP. 19581004 198701 1 001

DEPARTEMEN TEKNIK MESIN INDUSTRI
Fakultas Vokasi
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2019

LEMBAR PENGESAHAN

PENGARUH VARIASI ARUS TERHADAP KEKUATAN TARIK, KEKERASAN, DAN MIKRO ETSA PADA BAJA KARBON RENDAH A 36 MENGGUNAKAN ELEKTRODA E6013 METODE LAS SMAW

TUGAS AKHIR

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat Memperoleh
Gelar Ahli Madya pada Bidang Studi Manufaktur
Program Studi Diploma III
Departemen Teknik Mesin Industri
Fakultas Vokasi
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh :

SHAFWAN DZAKWAN
NRP. 102115 00000 017

Mengetahui dan Menyetujui

Dosen Pembimbing



Ir. Subowo, MSc

NIP. 19581004 198701 1 001

SURABAYA, 11 JANUARI 2019

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

**PENGARUH VARIASI ARUS TERHADAP KEKUATAN
TARIK, KEKERASAN, DAN MIKRO ETSA PADA
BAJA KARBON RENDAH A 36 MENGGUNAKAN
ELEKTRODA E6013 METODE LAS SMAW**

TUGAS AKHIR

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat Memperoleh
Gelar Ahli Madya pada Bidang Studi Manufaktur
Program Studi Diploma III
Departemen Teknik Mesin Industri
Fakultas Vokasi
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh :

SHAFWAN DZAKWAN

NRP. 10211500000017

Disetujui oleh tim penguji Tugas Akhir :

1. Ir. Subowo, M.Sc(Pembimbing)
2. Ir. Gathot Dwi Winarto, MT(Penguji I)
3. Ir. Hari Subiyanto, M.Sc(Penguji II)
4. Dr. Atria Pradityana. ST, MT(Penguji III)

SURABAYA, JANUARI 2019

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

**“PENGARUH VARIASI ARUS TERHADAP
KEKUATAN TARIK, KEKERASAN, DAN MIKRO
ETSA PADA BAJA KARBON RENDAH A 36
MENGUNAKAN ELEKTRODA E6013 METODE LAS
SMAW”**

Nama : Shafwan Dzakwan
NRP : 1021150000017
Departemen : Teknik Mesin Industri FV-ITS
Dosen Pembimbing : Ir. Subowo, M.Sc

Abstrak

Perkembangan ilmu pengetahuan dan teknologi terus berkembang yang terbukti banyaknya teknologi yang jauh lebih maju dari masa sebelumnya tidak terkecuali dalam bidang pengelasan. Teknologi pengelasan memberikan pengaruh besar dalam menghasilkan produk berkualitas.

Penelitian ini menggunakan baja A 36 dengan pengelasan menggunakan arus yang berbeda yang bertujuan untuk mengetahui perbedaan hasil sifat mekanik pengelasan. Selanjutnya untuk mengetahui sifat mekanik material tersebut dilakukan beberapa pengujian, yaitu pengujian tarik, kekerasan, dan makro etsa.

Dari hasil penelitian tersebut didapatkan hasil pengujian tarik yaitu dengan arus 80 A dan 100 A putus di logam las karena mengalami cacat porositas sedangkan dengan 120 A didapatkan tegangan tarik mencapai 44.98 kgf/mm². Pada hasil penelitian berdasarkan hasil uji makro etsa terlihat material pada arus 120 ampere memiliki lebar HAZ yang paling besar dan pada arus 80 ampere memiliki lebar HAZ yang paling kecil. Hasil pengujian kekerasan memunculkan hasil kekerasan yang berbeda dimana hasil kekerasan paling kecil dengan arus 120 A

Kata Kunci : *IPTEK, SMAW, Ampere, Sifat Mekanik*

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

**“THE EFFECT OF VARIETY CURRENT ON TENSIL
STRENGTH, MICRO ETCHING, AND HARDNESS
TOWARD LOW CARBON STEEL A 36 USING
ELECTRODES E6013 SMAW WELDING METHODS”**

Name : Shafwan Dzakwan
NRP : 1021150000017
Major : Departmen of Mechanical
Engineering Industry Faculty of
Vocation
Counsellor Lecturer : Ir. Subowo, M.Sc

Abstrack

The development of science and technology are continuing to grow which is proven by the many technologies that are more advanced than in the past, including in the field of welding. Welding technology has a big influence to increase the quality of products.

This research uses A 36 welding steel with different currents to determine the different results of welding mechanical properties. Furthermore, to find out the mechanical properties of that material, several tests were carried out, such as tensile testing, hardness testing, and macro etching.

The results of the research show that tensile testing with 80 A and 100 A currents are breaking up in the welding metal due to porosity defect while with 120 A current the tensile stress reached 44.98 kgf/mm². The results of the micro etching test show that the material with the highest amount of perlite has 120 A current and at least 100 A current. And the results of hardness testing show the different hardness where the greatest hardness is with 80 A current and the smallest hardness is with 120 A current.

Keyword: Science and Technology, SMAW, Ampere, Mechanical Properties

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

KATA PENGANTAR

Alhamdulillah, puji syukur penulis panjatkan kehadirat Allah SWT karena atas segala rahmat dan karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan penyusunan penelitian yang berjudul : “ **PENGARUH VARIASI ARUS TERHADAP KEKUATAN TARIK, KEKERASAN, DAN MIKRO ETSA PADA BAJA RENDAH KARBON A36 MENGGUNAKAN ELEKTRODA E6013 METODE LAS SMAW**” dapat diselesaikan dengan baik.

Laporan ini disusun sebagai salah satu persyaratan yang harus dipenuhi oleh setiap mahasiswa Departemen Teknik Mesin Industri FV-ITS untuk bisa dinyatakan lulus dengan mendapatkan gelar Ahli Madya.

Kiranya penulis tidak akan mampu menyelesaikan penelitian ini tanpa bantuan, saran, dukungan dan motivasi dari berbagai pihak. Oleh karena itu penulis menyampaikan ucapan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada :

1. Allah SWT dan Rasulullah SAW yang telah memberikan ilmu, kesabaran, ketenangan, dan petunjuk dalam pengerjaan Tugas Akhir ini.
2. Keluarga yang selalu mendoakan yang terbaik serta memberikan semangat dan dukungan dalam bentuk apapun.
3. Bapak Ir. Subowo, M.Sc selaku Dosen Pembimbing yang telah meluangkan waktu, tenaga dan pikiran untuk memberikan ide, arahan, bimbingan dan motivasi selama pengerjaan penelitian ini.
4. Bapak Dr. Ir. Heru Mirmanto, MT selaku Kepala Departemen Teknik Mesin Industri FV-ITS juga selaku Dosen Wali selama di Departemen Teknik Mesin Industri FV-ITS.

5. Bapak Ir. Suhariyanto, MSc selaku Koordinator Penelitian Departemen Teknik Mesin Industri FVITS.
6. Bapak/Ibu Dosen Pengajar dan Karyawan di Departemen Teknik Mesin Industri FV-ITS, yang telah memberikan banyak ilmu dan pengetahuan selama penulis menuntut ilmu di kampus ITS.
7. Fikri, Fafa, Willy, Farobi, Bagas sebagai teman penulis yang selalu memberikan motivasi dan saran kepada penulis mulai dari awal hingga selesai tugas akhir ini.
8. Grader Lab Metallurgi atas kerjasamanya selama proses pengerjaan penelitian ini.
9. Teman-teman D3MITS khususnya angkatan 2015 atas kebersamaan dan kerjasamanya selama ini.
10. Serta semua pihak yang belum tertulis yang telah berperan dalam pengerjaan laporan ini.

Penulis menyadari sepenuhnya bahwa penelitian ini masih jauh dari sempurna, sehingga penulis mengharapkan adanya kritik dan saran dari berbagai pihak, yang dapat mengembangkan penelitian ini menjadi lebih baik. Akhir kata, semoga penelitian ini bermanfaat bagi pembaca dan mahasiswa, khususnya mahasiswa Teknik Mesin FTI-ITS dan Teknik Mesin Industri FV-ITS.

Surabaya, 11 Januari 2019

Penulis

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
TITLE PAGE	ii
LEMBAR PENGESAHAN	Error! Bookmark not defined.
Abstrak	vii
Abstrack	ix
KATA PENGANTAR	xi
DAFTAR GAMBAR	xv
DAFTAR TABEL	xvii
DAFTAR LAMPIRAN	xix
BAB I	1
PENDAHULUAN	1
1.1 Latar belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Batasan Masalah	2
1.4 Tujuan	3
1.5 Manfaat	3
1.6 Metodologi Penelitian	4
1.7 Sistematika Penulisan	4
BAB II	7
Dasar Teori	7

2.1	Definisi Pengelasan	7
2.1.1	Shielded Metal Arc Welding (SMAW).....	7
2.1.2	Posisi Pengelasan	10
2.1.3	Sambungan Las	11
2.1.4	Heat Input	12
2.1.5	Siklus Thermal.....	14
2.1.6	Kodefikasi Elektroda.....	15
2.1.7	Bahan Flux	19
2.1.8	Jenis-jenis Cacat Las	21
2.2	Baja Karbon	24
2.2.1	Baja karbon rendah	24
2.2.2	Struktur Mikro	25
2.2.3	Material A 36	26
2.3	Pengujian Material	29
2.3.1	Makro Etsa	30
2.3.2	Kekerasan	32
2.3.3	Pengujian Tarik.....	35
2.3.4	Pengamatan Mikrostruktur.....	38
BAB III	.....	41
METODOLOGI PENELITIAN	.....	41
3.1	Diagram Alir Penelitian	41

3.2	Studi Literatur	42
3.3	Persiapan Bahan dan Peralatan	42
3.3.1	Material	43
3.3.2	Mesin Pengelasan SMAW	44
3.3.3	Tang Ampere	44
3.3.4	Elektroda	45
3.3.5	Peralatan Pemotong	45
3.3.6	Kertas Gosok	45
3.4	Langkah Kerja	46
3.5	Persiapan Benda Kerja untuk Pengujian	49
3.5.1	Benda Uji Tarik	49
3.5.2	Benda Uji Kekerasan	51
3.5.3	Benda Uji Makro	52
3.6	Pengujian benda kerja	53
3.6.1	Pengujian Metalografi (Mikro Etsa)	53
3.6.2	Pengujian Makro Etsa	55
3.6.3	Pengujian Tarik	55
3.6.4	Pengujian Kekerasan	57
BAB IV	.....	59
HASIL DAN PEMBAHASAN	.....	59
4.1	Hasil Pengujian	59

4.1.1 Hasil Pengujian Kekerasan.....	59
4.1.2 Hasil Pengujian Mikro Etsa.....	64
4.2 Pembahasan Hasil Pengujian	76
4.2.1 Pembahasan Hasil Pengujian Kekerasan	76
4.2.2 Pembahasan Hasil Pengujian Mikro Etsa	76
4.3.3 Pembahasan Hasil Pengujian Tarik.....	76
BAB V	79
PENUTUP	79
5.1 Kesimpulan	79
5.2 Saran	79
DAFTAR PUSAKA.....	80
.....	95
.....	96
BIODATA PENULIS	102

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Pengelasan SMAW	8
Gambar 2.2	Posisi Pengelasan	10
Gambar 2.3	Jenis-jenis sambungan dasar	11
Gambar 2.4	Siklus Thermal	14
Gambar 2.5	Cacat Las Porositas	21
Gambar 2.6	Cacat Las Undercut	22
Gambar 2.7	Cacat Las Hot Crack	23
Gambar 2.8	Cacat Las Incomplete Fusion	23
Gambar 2.9	Diagram Fe ₃ c.....	26
Gambar 2.10	Daerah HAZ.....	31
Gambar 2.11	Alat Uji Rockwell	34
Gambar 2.12	Kurva Regangan.....	36
Gambar 2.13	Bentuk Patahan	37
Gambar 2.14	Alat Uji Tarik.....	37
Gambar 2.15	Sifat Mekanik Struktur Mikro	40
Gambar 3.1	Diagram Alir Penelitian	42
Gambar 3.2	Dimensi Material.....	43
Gambar 3.3	Sudut groove 30° dan tinggi <i>root face</i>	43
Gambar 3.4	Mesin Las SMAW	44
Gambar 3.5	Tang Ampere	44
Gambar 3.6	Elektroda E6013.....	45
Gambar 3.7	Alat Pemotong	45
Gambar 3.8	Kertas Gosok.....	46
Gambar 3.9	Sudut bevel 60° dengan tebal plat 8 mm	46
Gambar 3.10	Tang Ampere 80 A.....	47

Gambar 3. 11	Tang Amphere 100 A.....	47
Gambar 3.12	Tang Ampere 120 A.....	48
Gambar 3.13	Proses Pengelas	49
Gambar 3.14	Standard Uji Tarik.....	50
Gambar 3.15	Benda Uji Tarik.....	50
Gambar 3.16	Material Uji Kekerasan	51
Gambar3. 17	Daerah Penitikan 80 Ampere	51
Gambar 3.18	Daerah Penitikan 100 Ampere	52
Gambar 3.19	Daerah Penitikan 120 Ampere	52
Gambar 3.20	Benda Uji Makro.....	53
Gambar 3.21	Alat Uji Kekerasan Rockwell.....	57
Gambar 4.1	Hasil Pengujian Kekerasan.....	59
Gambar 4.2	Daerah Penitikan 80 Ampere	60
Gambar 4.3	Daerah Penitikan 100 Ampere	60
Gambar 4.4	Daerah Penitikan 120 Amepere.....	61
Gambar 4.5	Grafik Hasil Rata-rata Pengujian Kekerasan	63
Gambar 4.6	Hasil Pengujian Tarik 80 Ampere	74
Gambar 4.7	Hasil Pengujian Tarik 100 Ampere	74
Gambar 4.8	Hasil Pengujian Tarik 120 Ampere	74
Gambar 4.9	Grafik Hasil Rata-rata Pengujian Tarik	75
Gambar 4.19	Cacat Porositas pada 80 Ampere.....	77
Gambar 4.20	Cacat Porositas pada 100 Ampere.....	77

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Posisi Pengelasan pada Kodefikasi ‘A’	15
Tabel 2.2 Klasifikasi Elektroda	16
Tabel 2.3 Rekomendasi Amphere berdasarkan Diameter	Error! Bookmark not defined.
Tabel 2. 4 Karakteristik Digit Keempat (huruf B) Tipe Flux dan Arus Listrik	17
Tabel 2.5 Syarat Penyimpanan Elektroda	18
Tabel 2.6 Klasifikasi Baja Karbon.....	24
Tabel 2.7 Nilai Chemical Composition.....	27
Tabel 2.8 Sifat Mekanik A 36.....	27
Tabel 2. 9 Karakteristik dari 5 elemen pada baja	28
Tabel 2.10 Beban Indentor dan Skala pada Metode Uji Kekerasan Rockwell.....	33
Tabel 2.11 Keterangan Skala	34
Tabel 3.1 Logam Pengisi E6013.....	48
Tabel 3.2 Parameter Pengelasan	48
Tabel 3.3 Etching Reagent untuk Melihat Microstructure	53
Tabel 4.1 Lebar HAZ	62
Tabel 4.2 Data Pengujian Kekerasan	62
Tabel 4.3 Data Pengujian Tarik	75
Tabel 4.4 Data Pengujian Struktur Mikro	64

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1 Mill Certificate.....	81
Lampiran 2 Tabel ASTM A 36	812
Lampiran 3 Spesifikasi Filler E6013 Kobelco.....	813
Lampiran 4 Grafik Uji Tarik Benda 1 Arus 80 A	84
Lampiran 5 Grafik Uji Tarik Benda 2 Arus 80 A	85
Lampiran 6 Grafik Uji Tarik Benda 3 Arus 100 A	86
Lampiran 7 Grafik Uji Tarik Benda 1 Arus 100 A	87
Lampiran 8 Grafik Uji Tarik Benda 2 Arus 100 A	88
Lampiran 9 Grafik Uji Tarik Benda 3 Arus 100 A	89
Lampiran 10 Grafik Uji Tarik Benda 1 Arus 120 A	90
Lampiran 11 Grafik Uji Tarik Benda 2 Arus 120 A	91
Lampiran 12 Grafik Uji Tarik Benda 3 Arus 120 A	92
Lampiran 13 Foto ImageJ Struktur Mikro <i>Base Metal</i> pada Pengelasan 80 Ampere.....	923
Lampiran 14 Foto ImageJ Struktur Mikro <i>Base Metal</i> pada Pengelasan 100 Ampere.....	924
Lampiran 15 Foto ImageJ Struktur Mikro <i>Base Metal</i> pada Pengelasan 120 Ampere.....	925
Lampiran 16 Foto ImageJ Struktur Mikro <i>HAZ Metal</i> pada Pengelasan 80 Ampere.....	926
Lampiran 17 Foto ImageJ Struktur Mikro <i>HAZ Metal</i> pada Pengelasan 100 Ampere.....	927
Lampiran 18 Foto ImageJ Struktur Mikro <i>HAZ Metal</i> pada Pengelasan 120 Ampere.....	928

Lampiran 19 Foto ImageJ Struktur Mikro <i>Weld Metal</i> pada Pengelasan 80 Ampere.....	929
Lampiran 20 Foto ImageJ Struktur Mikro <i>Weld Metal</i> pada Pengelasan 100 Ampere.....	100
Lampiran 21 Foto ImageJ Struktur Mikro <i>Weld Metal</i> pada Pengelasan 120 Ampere.....	101

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar belakang

Seiring dengan berjalannya waktu perkembangan ilmu pengetahuan dan teknologi terus berkembang yang terbukti dengan banyak ditemukannya peralatan dan teknologi yang jauh lebih baik dan lebih maju dari masa sebelumnya. Berbagai macam ilmu pengetahuan banyak menunjang ditemukan nya penemuan – penemuan baru diberbagai bidang khususnya dibidang teknologi tidak terkecuali dalam bidang pengelasan itu sendiri. Teknologi pengelasan memberikan pengaruh besar dalam kemajuan ilmu pengetahuan, berbagai metode pengelasan juga berkembang dan memberikan andil dalam menghasilkan produk yang berkualitas.

Pada tahap-tahap permulaan dari pengembangan teknologi las, biasanya pengelasan hanya digunakan pada sambungan-sambungan dari reparasi yang kurang penting. Tapi setelah melalui pengalaman dan praktek yang banyak dan waktu yang lama, maka sekarang penggunaan proses-proses pengelasan dan penggunaan konstruksi-konstruksi las merupakan hal yang umum di semua negara di dunia, Terwujudnya standar-standar teknik pengelasan akan membantu memperluas ruang lingkup pemakaian sambungan las dan memperbesar ukuran bangunan konstruksi yang dapat dilas. Dengan kemajuan yang dicapai sampai saat ini, teknologi las memiliki berbagai macam tipe.

Dalam memilih proses pengelasan harus dititik beratkan pada proses yang paling sesuai dengan tiap-tiap sambungan yang diinginkan. Dalam hal ini dasarnya adalah efisiensi tinggi, biaya yang murah, penghematan tenaga, dan penghematan energi sejauh mungkin. Mutu dari hasil pengelasan disamping tergantung dari pengelasan lasnya sendiri dan juga sangat tergantung dari persiapan sebelum pelaksanaan pengelasan. Salah satu faktor adalah jenis sambungan las.

Sambungan las sendiri mempengaruhi kekuatan hasil pengelasan, sehingga pemilihannya perlu diperhatikan sesuai dengan syarat dan kriteria yang ada.

Oleh karena itu pada penelitian ini akan dilakukan analisa pada pengelasan baja A 36, yang pada umumnya digunakan dalam pembuatan sebuah konstruksi bangunan berbahan material logam, menggunakan metode pengelasan *SMAW* dengan membedakan variasi arus yaitu 80 A, 100 A, dan 120 A dengan *filler metal* E6013. Tujuan dari dilakukannya variasi arus tersebut untuk mengetahui perbedaan sifat mekanik berupa kekerasan dan keuletan pada material, sehingga dapat mengetahui nilai uji kekerasan pada daerah *Base Metal*, *Weld Metal*, dan *HAZ*, serta uji arik dan makro etsa dari maerial yang telah dilakukan pengelasan dengan variasi arus.

1.2 Rumusan Masalah

Dengan adanya latar belakang yang mendorong tugas akhir ini, maka ada beberapa rumusan masalah yang muncul sebagai pertanyaan pedoman agar sesuai dengan apa yang penulis inginkan, diantara rumusan tersebut adalah:

- Bagaimanakah perubahan sifat mekanik yang terjadi pada plat baja A 36 dengan variasi arus yang berbeda dengan mengamati hasil pengujian tarik, kekerasan, dan mikro etsa.

1.3 Batasan Masalah

Untuk memberikan gambaran yang lebih jelas mengenai masalah yang dikaji, maka perlu diberikan batasan masalah sebagai berikut :

1. Material yang digunakan adalah plat baja A 36 dengan ukuran 150 mm x 150 mm dengan tebal 8 mm
2. Pengelasan yang dilakukan adalah las *SMAW* dengan elektroda tipe E6013 berdiameter 3.2 mm
3. Menggunakan variasi arus 80 A, 100 A, dan 120 A

4. Menggunakan voltase yang digunakan 30V dan polaritas *DCRP (Direct Current Reverse Polarity)*
5. Posisi pengelasan 1G
6. Sudut Pengelasan 70°
7. Model groove yang digunakan bentuk bevel V groove dengan sudut 60°
8. Pengujian sifat mekanik:
 - a. Uji tarik
 - b. Uji Kekerasan
 - c. Makro Etsa

1.4 Tujuan

Tujuan yang ingin dicapai pada penelitian ini adalah sebagai berikut ;

1. Mengetahui nilai uji tarik dari pengaruh variasi arus yang bernilai 80 A, 100 A, 120 A
2. Mengetahui nilai kekerasan dari pengaruh variasi arus yang bernilai 80 A, 100 A, 120 A
3. Mengetahui perubahan struktur mikro dari pengaruh variasi arus yang bernilai 80 A, 100 A, 120 A

1.5 Manfaat

Melalui penelitian ini, mengharapkan manfaat yang didapat pada dunia pendidikan khususnya dibidang pengelasan dengan mengaplikasikan ilmu yang didapat selama diakademis untuk menghadapi suatu permasalahan pengelasan tentang pengaruh variasi arus yang berbeda pada pengelasan smaw pada bahan baja karbon rendah dengan elektroda E6013 diameter 3,2 mm dengan pengujian tarik, makro etsa dan pengujian kekerasan.

1.6 Metodologi Penelitian

Metodologi penelitian yang digunakan penulis untuk mencapai tujuan Penelitian ini adalah :

1. Studi Literatur
Untuk menambah wawasan perlu studi literatur dengan mempelajari buku-buku tentang pengelasan dan pengujian berupa uji tarik, kekerasan, dan makro etsa.
2. Konsultasi dengan Dosen Pembimbing
Dalam penulisan Penelitian ini perlu mengadakan konsultasi atau diskusi dengan dosen pembimbing.
3. Observasi Data
Melakukan observasi data-data terkait pengelasan dan benda kerja melalui internet dan dari hasil pengamatan langsung dengan masalah yang dihadapi di lapangan.
4. Analisa Data
Menganalisa hasil pengujian tarik, kekerasan, dan struktur makro yang terjadi pada bagian logam hasil las, *HAZ*, dan Base Metal setelah dilakukan pengelasan.
5. Membuat Kesimpulan
Setelah menyelesaikan laporan Penelitian dapat diambil kesimpulan tentang hasil dari proses dan analisa tersebut.

1.7 Sistematika Penulisan

Sistematika penulisan disusun supaya dapat memberikan gambaran dan penjelasan mengenai masing – masing bagian dari tugas akhir, sebagai berikut :

BAB I PENDAHULUAN

Bab ini berisi tentang latar belakang, perumusan masalah, batasan masalah, tujuan, manfaat dan sistematika penulisan.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

Bab ini menjelaskan beberapa teori penunjang yang digunakan untuk mencapai tujuan tugas akhir ini

BAB III METODOLOGI

Bab ini berisi metodologi penelitian, diagram langkah penelitian, spesifikasi alat dan bahan, serta langkah – langkah proses pengujian yang dilakukan.

BAB IV HASIL DAN ANALISA

Pada bab ini membahas tentang hasil pengujian yang telah dilakukan, serta menganalisa tentang hasil-hasil data yang telah diperoleh, diantaranya adalah pengujian tarik, pengujian makro etsa, dan pengujian kekerasan.

BAB V PENUTUP

Membahas tentang kesimpulan dari hasil analisa dan saran – saran penulis dalam penyusunan tugas akhir.

DAFTAR PUSTAKA

LAMPIRAN

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB II

Dasar Teori

2.1 Definisi Pengelasan

Berdasarkan definisi dari Deutsche Industrie Normen (DIN) bahwa las merupakan ikatan metalurgi pada sambungan logam paduan yang dilakukan dalam keadaan lumer atau cair, dengan kata lain bahwa kerja las adalah menyambung dua bagian logam atau lebih dengan menggunakan energi panas. Pengelasan (welding) adalah salah satu teknik penyambungan logam dengan cara mencairkan sebagian logam induk dan logam pengisi dengan atau tanpa tekanan dan dengan atau tanpa logam penambah dan menghasilkan sambungan yang terus menerus.

Pengelasan dapat dibagi menjadi tiga jenis, yaitu :

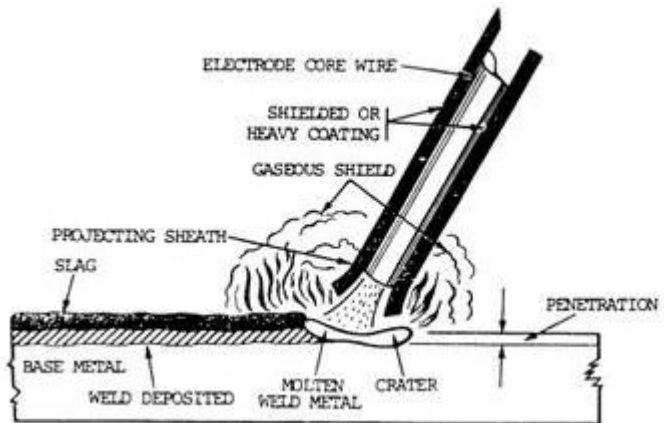
1. Pengelasan mencair (fusion welding)
2. Pengelasan tidak mencair (solid-state welding)
3. Soldering dan brazing

Dalam beberapa jenis pengelasan terdapat logam pelindung (flux) pada elektrodanya. Logam pelindung adalah suatu jenis pelindung sebuah elektroda yang berupa slag maupun gas. Perlu atau tidaknya logam pengisi tergantung pada jenis pengelasan yang dipakai. Penggunaannya pun harus disesuaikan dengan material yang akan dilas, baik sifat mekanik maupun kandungan yang ada didalamnya.

2.1.1 Shielded Metal Arc Welding (SMAW)

SMAW (Shielded Metal Arc Welding) adalah proses pengelasan dengan mencairkan material dasar yang menggunakan panas dari listrik antara penutup metal (elektroda). Energi panas pada proses pengelasan SMAW dihasilkan karena adanya lompatan ion (katoda dan anoda)

listrik yang terjadi pada ujung elektroda dan permukaan material. Pada proses pengelasan SMAW jenis pelindung yang digunakan adalah selaput flux yang terdapat pada elektroda. Flux pada elektroda SMAW berfungsi untuk melindungi logam las yang mencair saat proses pengelasan berlangsung. Flux ini akan menjadi slag ketika sudah padat.



Gambar 2.1 *Pengelasan SMAW*

Proses pengelasan dengan process SMAW dibedakan berdasarkan jenis arusnya meliputi arus AC dan DC, dimana arus DC dibedakan atas DCEN (straight polarity atau polaritas langsung) dan DCEP (reverse polarity atau polaritas terbalik). Filler atau logam tambahan disuplai oleh inti kawat elektroda terumpan atau pada elektroda, elektroda tertentu juga berasal dari serbuk besi yang di campur dengan lapisan pembungkus elektroda.

1. Pada arus AC (Alternating Current), pada voltage drop panjang kabel tidak banyak pengaruhnya, kurang cocok untuk arus yang lemah, tidak semua jenis elektroda dapat dipakai, Secara teknik arc starting lebih sulit terutama untuk diameter elektrode kecil.
2. Pada arus DC (Direct Current), voltage drop sensitif terhadap panjang kabel sependek mungkin, dapat dipakai untuk arus kecil dengan diameter elektroda kecil, semua jenis elektrode dapat dipakai, arc starting lebih mudah terutama untuk arus kecil, mayoritas industri fabrikasi menggunakan polarity DC khususnya untuk pengelasan carbon steel. namun pada prinsipnya DC polarity dibagi kedalam dua bagian yaitu DCSP dan DCRP.

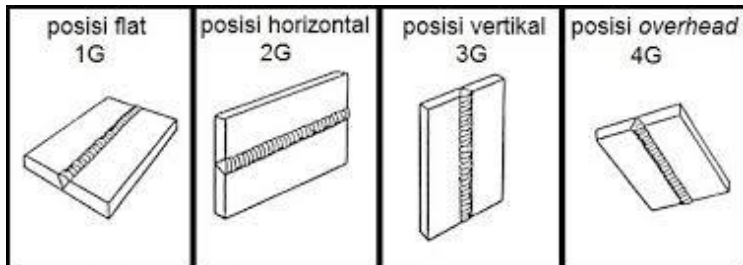
DCSP (Direct Current Straight Polarity) adalah material dasar atau material yang akan dilas dihubungkan dengan kutub positif (+) dari travo, dan elektrodenya dihubungkan dengan kutub negatif (-) pada travo las DC. Dengan cara ini busur listrik bergerak dari elektrode ke material dasar, yang berakibat 2/3 panas berada di material dasar dan 1/3 panas berada di elektroda. Cara ini akan menghasilkan pencairan material dasar lebih banyak dibanding elektrodenya sehingga hasil las mempunyai penetrasi yang dalam.

DCRP (Reversed Polarity) merupakan material dasar disambungkan dengan kutub negatif (-) dan elektrodenya dihubungkan dengan kutub positif (+) dari mesin las DC, sehingga busur listrik bergerak dari material dasar ke elektrode dan berakibat 2/3 panas berada di elektroda dan 1/3 panas berada di material dasar. Cara ini

akan menghasilkan pencairan elektrode lebih banyak sehingga hasil las mempunyai penetrasi dangkal.

2.1.2 Posisi Pengelasan

Posisi pada pengelasan adalah pengaturan posisi dan gerakan arah dari pada elektroda sewaktu pengelasan. Setiap proses pengelasan pasti memiliki desain sambungan yang berfungsi untuk mendapatkan hasil sambungan yang baik atau lolos pengujian sesuai standart atau code yang dianut. Setiap pengelasan memiliki posisi pengelasan yang berbeda tergantung oleh kebutuhan. Oleh karena itu pemilihan jenis sambungan pengelasan sangat penting sebelum melakukan proses pengelasan.



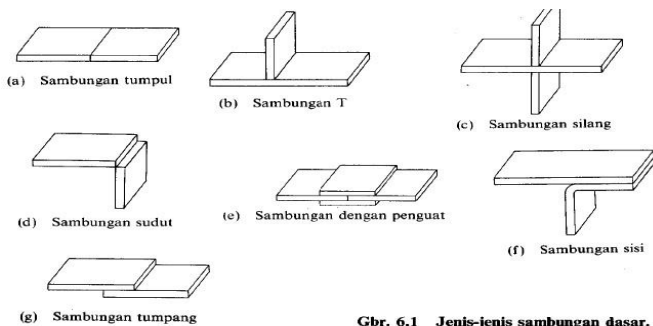
Gambar 2.2 Posisi Pengelasan

Simbol huruf G berasal dari kata Groove, yang jika di bahasa indonesiakan artinya alur. dalam posisi G, 2 material logam yang akan disambung diletakkan dalam posisi sejajar dan diberi jarak kerenggangan satu dan yang lainnya semacam alur atau selokan yang biasa diistilahkan dengan kampuh las. Jadi jika kita biasa mendengar istilah kampuh las atau bevel maka pasti posisi yang akan dilakukan dalam pengelasan menggunakan simbol huruf G

- 1 = Posisi material yang akan disambung diletakkan secara flat di bawah operator
- 2 = Posisi material yang akan disambung diletakkan secara horisontal di depan operator
- 3 = Posisi material yang akan disambung diletakkan secara vertikal di depan operator
- 4 = Posisi material yang akan disambung diletakkan secara flat di atas operator (Overhead)

2.1.3 Sambungan Las

Sambungan las dalam konstruksi baja pada dasarnya terbagi dalam sambungan tumpul, sambungan T, sambungan sudut, dan sambungan tumpang. Sebagai perkembangan sambungan dasar tersebut diatas terjadi sambungan silang, sambungan dengan penguat dan sambungan sisi.



Gbr. 6.1 Jenis-jenis sambungan dasar.

Gambar 2.3 Jenis-jenis sambungan dasar

Sambungan tumpul adalah jenis sambungan yang paling efisien. Sambungan ini dibagi lagi menjadi dua yaitu sambungan penetrasi penuh dan sambungan

penetrasi sebagian seperti pada gambar 2.3. Sambungan penetrasi penuh dibagi lebih lanjut menjadi sambungan tanpa pelat pembantu dan sambungan dengan pelat pembantu. Bentuk alur pada sambungan tumpul sangat mempengaruhi efisiensi pengerjaan, efisiensi sambungan dan jaminan sambungan. Karena itu pemilihan bentuk alur sangat penting. Bentuk dan ukuran alur sambungan datar ini sudah banyak distandarkan dalam standar AWS, DIN, dan lain-lain.

2.1.4 Heat Input

Heat Input adalah besarnya energi panas setiap satuan panjang las ketika sumber panas (yang berupa nyala api, busur listrik, plasma atau cahaya energi tinggi bergerak). Pada pengelasan busur listrik, sumber energi berasal dari listrik yang diubah menjadi energi panas. Energi panas ini sebenarnya hasil perpaduan dari arus listrik pengelasan, tegangan (voltase) listrik pengelasan, dan kecepatan pengelasan, menghasilkan energi panas yang dikenal dengan masukan panas (*heat input*). Kecepatan pengelasan ikut mempengaruhi energi panas pengelasan, karena proses pengelasan tidak diam ditempat, tetapi bergerak dengan kecepatan tertentu.

Kualitas hasil pengelasan dipengaruhi oleh energi panas yang berarti dipengaruhi tiga parameter yaitu arus las, tegangan las dan kecepatan las. Hubungan antara ketiga parameter itu menghasilkan energi pengelasan yang sering disebut *heat input*. Masukan panas merupakan parameter penting karena seperti halnya pemanasan awal dan temperature interpass, masukan panas juga mempengaruhi laju pendinginan yang akan berpengaruh pada sifat mekanik dan struk mikro dari HAZ. Persamaan

dari *heat input* (*Hnet*). hasil dari penggabungan ketiga parameter dapat dituliskan sebagai berikut :

$$Hnet \left(\frac{J}{mm} \right) = \frac{I \times V}{v}$$

Dimana :

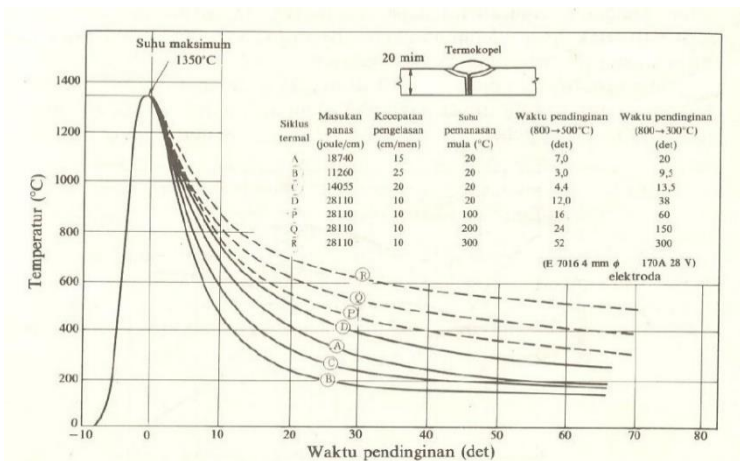
- Hnet = Masukan panas atau energi (J/mm)
- I = Arus (Ampere)
- V = Voltase (Volt)
- v = Kecepatan pengelasan (mm/s)

Dari persamaan itu dapat dijelaskan beberapa pengertian antara lain, jika kita menginginkan masukan panas yang tinggi maka parameter yang dapat diukur yaitu arus las dapat diperbesar atau kecepatan las diperlambat. Pada pengelasan sendiri juga memiliki pembeda yaitu koefisien mesin las. Pada mesin las SMAW koefisien las berkisar 0.8-1.0. Perbedaan koefisien inilah yang menyebabkan masukan panas pada tiap jenis las berbeda. Apabila masukan panas dari suatu pengelasan terlalu tinggi maka daerah *HAZ* akan menjadi lebar sehingga mudah terjadi penurunan nilai kekerasan yang diakibatkan cacat seperti undercut. Akan tetapi apabila masukan panas terlalu kecil maka juga akan menimbulkan cacat las seperti inclusion.

Efek dari masukan panas terhadap laju pendinginan hampir sama dengan temperatur pemanasan awal. Masukan panas akan mempengaruhi sifat mekanik dari bahan pada pengelasan. Pada pengelasan akan meningkatkan ketangguhan karena panas yang dihasilkan menjadikan efek dari proses preheat.

2.1.5 Siklus Thermal

Siklus termal las adalah proses pemanasan dan pendinginan pada daerah lasan. Didalam daerah pengaruh panas besar butir dan struktur berubah sesuai dengan siklus termal yang terjadi pada waktu pengelasan.



Gambar 2.4 Siklus Thermal

Sifat mekanik dari daerah HAZ sebagian besar tergantung pada lamanya pendinginan dari temperatur 800°C sampai 500°C. Pada gambar di atas dapat dilihat siklus termal dengan masukan panas yang berbeda. Lamanya pendinginan dalam suatu daerah temperatur tertentu dari suatu siklus termal las tergantung oleh masukan panasnya. Semakin besar masukan panas maka semakin lama pula pendinginannya, begitu pula sebaliknya, semakin kecil masukan panas maka semakin cepat waktu pendinginannya

2.1.6 Kodefikasi Elektroda

Elektroda terdiri dari dua jenis bagian yaitu bagian yang bersalut (flux) dan tidak bersalut yang merupakan bagian untuk menjepitkan tang las. Fungsi flux atau lapisan elektroda dalam las adalah untuk melindungi logam cair dari lingkungan udara menghasilkan gas pelindung, menstabilkan busur, sumber unsur paduan.

Bahan elektroda harus mempunyai kesamaan sifat dengan logam. Pemilihan elektroda harus benar-benar diperhatikan apabila kekuatan las diharuskan sama dengan kekuatan material. Penggolongan elektroda diatur berdasarkan standart sistem AWS (American Welding Society) dan ASTM (American Society Testing Material).

Adapun kodefikasi dari elektroda sebagai berikut:

Contoh: E XX A B

E : Menyatakan elektroda busur listrik.

XX : (dua angka) menyatakan kekuatan tarik deposit las dalam ksi.

A : (angka ketiga) menyatakan posisi pengelasan.

B : (angka keempat) menyatakan jenis selaput atau gas pelindung dan jenis arus yang cocok

Tabel 2.1 *Posisi Pengelasan pada Kodefikasi 'A'*

Kode angka 1	untuk semua posisi
Kode angka 2	untuk posisi flat dan horizontall
Kode angka 3	hanya untuk posisi flat

Tabel 2.2 Klasifikasi Elektroda

Klasifikasi Elektroda			
Klasifikasi AWS	Jenis kimia pelindung	Posisi pengelasan yang paling sesuai	Jenis arus listrik
Elektroda seri E60			
E6010	0 High cellulose sodium	DB, TL, AK, DT	ASPT
E6011	1 High cellulose potassium	DB, TL, AK, DT	AB atau ASPT
E6012	2 High titania sodium	DB, TL, AK, DT	AB atau ASPL
E6013	3 High titania potassium	DB, TL, AK, DT	AB atau ASPM
E6020	High iron oxide	DT, F	AB atau ASPL
E6022	High iron oxide	DB	AB atau ASPM
E6027	High iron oxide, iron powder	DT, F, DB	AB atau ASPL

Catatan:

- DB = Datar bawah (*flat*).
- TL = Tegak lurus (*vertical*).
- AK = Atas kepala (*overhead*).
- DT = Datar tegak (*horizontal*).
- AS = Arus searah (*Direct Current*).
- AB = Arus bolak-balik (*Alternating current*).
- PT = Polaritas terbalik (*reverse polarity*). → DCRP(EP)
- PL = Polaritas lurus (*straight polarity*). → DCSP(EN)
- PM = Polaritas mana saja (*either polarity*).
- F = fillet.

Tabel 2.3 Karakteristik Digit Keempat (huruf B) Tipe Flux dan Arus Listrik

Angka	Sumber Arus		Polaritas Elektroda		Tipe Salutan	Daya Tembus	Kadar Serbuk Besi
	AC	DC	+	-			
1	AC	DC	+		Cellulose Potasium	Kuat	
2	AC	DC		-	Rutile Sodium	Medium	0-10%
3	AC	DC	+		Rutile Potasium	Lunak	0-10%
4	AC	DC	+	-	Rutile Iron Powder	Lunak	30-50%
5	AC	DC	+		Low Hydrogen Sodium	Medium	
6	AC	DC	+	-	Low Hydrogen Potassium	Medium	
7	AC	DC	+	-	Iron Oxyde, Iron Powder	Lunak	30-50%
8	AC	DC	+		Low Hydrogen, Iron Powder	Medium	30-50%
9							
0	Ada pengecualian pada angka terakhir 0, seperti dibawah ini						

E6010		DC	+		Cellulose Sodium	Kuat	0-10%
E6020	AC	DC		-	Iron Oxyde Sodium	Medium	0-10%
E6030	AC	DC		-	Iron Oxyde	Lunak	

Elektroda SMAW perlu disimpan pada suhu yang sesuai dengan ketentuan yang ada. Hal itu dilakukan agar kualitas elektroda terjaga. Khususnya low hydrogen, apabila ternyata penyimpanan kurang baik sehingga meningkatkan kelembapan elektroda maka hal tersebut akan berpengaruh pada nyala busur dan kualitas gas dalam melindungi cairan las berkurang. Untuk itu, AWS memiliki standar penyimpanan dan pemanasan agar kondisi elektroda tetap baik

Tabel 2.4 Syarat Penyimpanan Elektroda

Syarat Penyimpanan Dan Pengeringan Elektroda			
Klasifikasi AWS	Udara luar	Oven Penyimpanan	Pengeringan
E6010, E6011,	Suhu udara luar	Tidak disyaratkan	Tidak disyaratkan
E6012, E6013, E6020, E6022, E6027, E7014, E7024.	80 ± 20° F (30 ± 10° C) dengan kelembaban relatif maksimum 50%.	20° F (10° C) hingga 40° F (20° C) di atas suhu luar.	275 ± 25° F (135 ± 15° C) selama 1 jam waktu rendam.

2.1.7 Bahan Flux

Fluks biasanya terdiri dari bahan-bahan tertentu dengan perbandingan tertentu pula. Bahan-bahan yang digolongkan dalam bahan pemantapan busur, pembuat terak, penghasil gas, deoksidator, unsur paduan dan bahan pengikat. Bahan tersebut antara lain oksida-oksida logam, karbonat, silikat, fluoride, zat organik, baja paduan, dan serbuk besi.

Elektroda yang berada dalam pasaran jumlahnya cukup banyak dengan berbagai variasi bahan fluksnya sesuai dengan fungsi masing-masing. Meskipun jumlahnya sangat banyak, tetapi secara garis besar digolongkan dalam kelas-kelas sebagai berikut.

1. Jenis Oksida Titan Jenis ini juga disebut rutil atau titania dan berisi banyak TiO₂ didalamnya. Busurnya dihasilkan oleh elektroda yang terbungkus dengan fluks. Jenis ini tidak terlalu kuat, penetrasi atau penembusan cairan logamnya dangkal dan menghasilkan manik yang halus. Karena itu jenis ini tepat untuk pengelasan pelat-pelat tipis atau untuk pengelasan terakhir pada pengelasan pelat tebal.
2. Jenis Titania Kapur Jenis ini mengandung rutil dan kapur. Disamping punya sifat seperti jenis oksida titan, akan tetapi jenis ini menghasilkan manik yang halus walaupun penetrasinya dangkal. Hasil pengelasannya mempunyai sifat mekanis yang baik. Pengelasan ini dapat dilakukan pada semua posisi, terutama tegak dan posisi di atas kepala.
3. Jenis Ilmenit Jenis ini terletak diantara jenis elektroda diatasnya, bahan fluks utamanya adalah Ilmenit (FeTiO₃). Busur-busur yang dihasilkan sangat kuat sehingga penetrasinya dalam. Derajat dari terak cukup tinggi sehingga dapat menghasilkan sambungan dengan sifat mekanis yang tinggi.

Karena sifat-sifatnya yang mencakup penggunaan yang luas, maka elektroda ini dianggap sebagai elektroda serba guna.

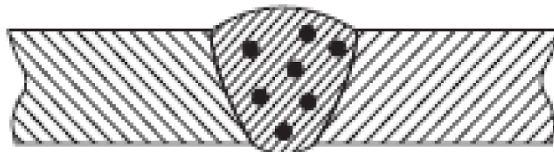
4. Jenis Hidrogen Rendah Nama lain dari jenis ini adalah jenis kapur, Karena bahan utamanya adalah kapur dan fluorat. Jenis ini menghasilkan sambungan dengan kadar nitrogen rendah sehingga ketangguhannya baik. Digunakan untuk konstruksi yang memerlukan tingkat pengamanan tinggi, seperti untuk konstruksi pelat-pelat tebal dan bejana tekan.
5. Jenis Selulosa Bahan ini berisi 30 % bahan organik yang dapat menghasilkan gas dengan volume yang besar. Busurnya kuat dan penetrasinya dalam, terak yang terbentuk hanya sedikit akan tetapi manik yang dihasilkan kurang halus.
6. Jenis Oksida Besi Bahan utama adalah oksidasi besi. Busur yang dihasilkan terpusatkan dan penetrasinya dalam, karena itu baik untuk pengelasan sudut horizontal.
7. Jenis Serbuk Oksidasi Bahan utamanya meliputi 15 - 50 % silicon dan serbuk besi. Pemindahan butir-butir cairan berupa semburan halus dan tidak banyak percikan, kecepatan pengisian sangat tinggi, banyak digunakan untuk pengelasan sudut horizontal dan pengelasan gaya berat.
8. Jenis Serbuk Besi Titania Bahan jenis ini adalah serbuk besi dan titania. Busur yang sedang menghasilkan manik yang halus. Efisiensi pengelasan tinggi dan sangat baik untuk pengelasan sudut horizontal satu lapis.

2.1.8 Jenis-jenis Cacat Las

Jenis cacat las pada pengelasan ada beberapa tipe yaitu cacat las internal (berada di dalam hasil lasan) dan cacat las visual (dapat dilihat dengan mata). Jika kita ingin mengetahui defect atau cacat pengelasan internal maka kamu memerlukan alat uji seperti Ultrasonic Test dan Radiography Test untuk pengujian yang tidak merusak, sedangkan untuk uji merusak kamu dapat menggunakan uji Bending atau makro. Untuk jenis jenis cacat pengelasan visual atau surface Anda dapat menggunakan pengujian Penetrant Test, Magnetic Test atau kaca pembesar. Berikut adalah beberapa contoh cacat las :

1. Cacat *Porosity* (porositas)

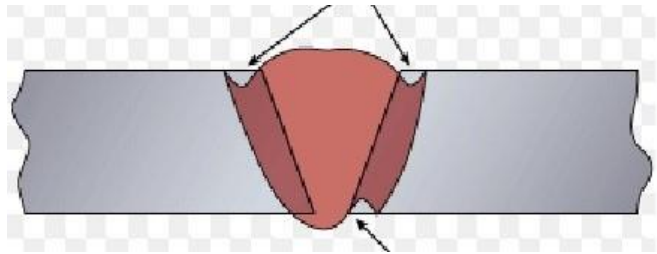
Cacat Porositas adalah sebuah cacat pengelasan yang berupa sebuah lubang lubang kecil pada weld metal (logam las), dapat berada pada permukaan maupun didalamnya. *porosity* ini mempunyai beberapa tipe yaitu *cluster porosity*, *blow hole* dan *gas pore*. Penyebab cacat las tersebut disebabkan oleh elektroda yang digunakan masih lembab, busur las terlalu panjang, arus pengelasan terlalu rendah, dan lain lain.



Gambar 2.5 Cacat Las Porositas

2. *Undercut*

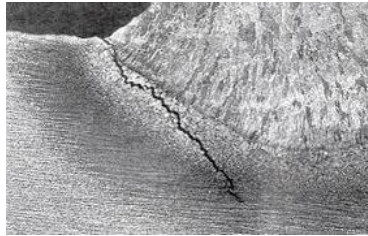
Undercut adalah sebuah cacat las yang berada di bagian permukaan atau akar, bentuk cacat ini seperti cerukan yang terjadi pada base metal atau logam induk. Penyebab cacat las tersebut disebabkan oleh arus pengelasan yang terlalu besar, panjang busur las terlalu tinggi, posisi elektroda kurang tepat, dan lain lain.



Gambar 2.6 Cacat Las Undercut

3. *Hot Crack*

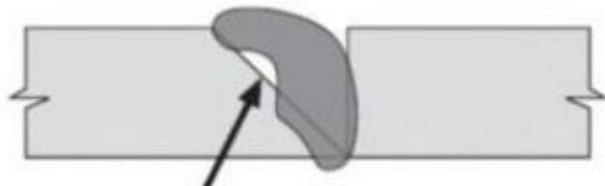
Hot Crack (retak panas) adalah sebuah retak pada pengelasan dimana retak itu terjadi setelah proses pengelasan selesai atau saat proses pemadatan logam lasan. Penyebab cacat las tersebut adalah pemilihan elektroda yang salah, tidak melakukan perlakuan panas, dan lain lain.



Gambar 2.7 Cacat Las *Hot Crack*

4. Incomplete Fusion

Cacat *Incomplete Fusion* adalah sebuah hasil pengelasan yang tidak dikehendaki karena ketidaksempurnaan proses penyambungan antara logam las dan logam induk. Hal tersebut disebabkan oleh posisi sudut kawat las salah, ampere terlalu rendah, sudut kampuh terlalu kecil, dan terdapat kotoran pada kampuh.



Gambar 2.8 Cacat Las *Incomplete Fusion*

2.2 Baja Karbon

Baja karbon adalah paduan antara besi dan karbon. Sifat-sifat mekanik baja karbon tergantung dari kadar C yang dikandungnya. Setiap baja termasuk baja karbon sebenarnya adalah paduan multi komponen yang disamping Fe selalu mengandung unsur-unsur lain seperti Mn, Si, S, P, N, H, yang dapat mempengaruhi sifat-sifatnya. Baja karbon dapat diklasifikasikan menjadi tiga bagian menurut kadar karbon yang dikandungnya, yaitu baja karbon rendah dengan kadar karbon kurang dari 0,3 %, baja karbon sedang mengandung 0,3 – 0,45 % karbon, dan baja karbon tinggi mengandung 0,45 – 1,7 % karbon. Oleh karena itu baja karbon diklasifikasikan berdasarkan banyaknya jumlah kadar karbon yang terkandung pada masing masing baja tersebut.

Tabel 2.5 Klasifikasi Baja Karbon

Jenis	Kadar Karbon (%)	Kek. Luluh (kg/mm ²)	Kek. Tarik (kg/mm ²)	Kek. Brinel	Penggunaan
Baja Karbon rendah:					
Baja Lunak Khusus	0,08	18-28	32-36	95-100	Pelat Tipis
Baja Sangat Lunak	0,08-0,12	20-29	36-42	80-120	Batang, Kawat
Baja Lunak	0,12-0,2	22-30	38-48	100-130	Konstruksi
Baja Setengah Lunak	0,2-0,3	24-36	44-45	112-145	Umum
Baja Karbon Sedang					
	0,3-0,5	30-40	50-60	140-170	Alat-Alat Mesin
Baja Karbon Tinggi:					
Baja Keras	0,5-0,6	34-46	58-70	160-200	Perkakas
Baja Sangat Keras	0,6-0,8	36-47	36-47	180-235	Rel, Pegas, Kawat Piano

2.2.1 Baja karbon rendah

Baja karbon rendah mengandung kurang dari 0,3 % karbon. Kebanyakan dari produk baja ini berbentuk pelat hasil pembentukan roll dingin dan proses anneal. Baja karbon rendah merupakan baja yang paling murah diproduksi diantara semua karbon, mudah di machining

dan dilas, serta keuletan dan ketangguhannya sangat tinggi tetapi kekerasannya rendah dan tahan aus. Baja karbon rendah banyak digunakan untuk konstruksi umum.

2.2.2 Struktur Mikro

Pada baja karbon rendah memiliki struktur mikro yang terdiri dari sementit, ferrit, pearlit, austenit.

1. Sementit

Sementit adalah senyawa $\text{Fe} + \text{C} \longrightarrow \text{Fe}_3\text{C}$ (karbida besi) yang merupakan senyawa dengan kadar karbon 6,67%, bersifat sangat keras (± 650 BHN), getas, dan kekuatan sangat rendah (± 350 kg/cm²). Oleh karena itu semakin banyak sementit maka baja karbon rendah semakin keras.

2. Ferit

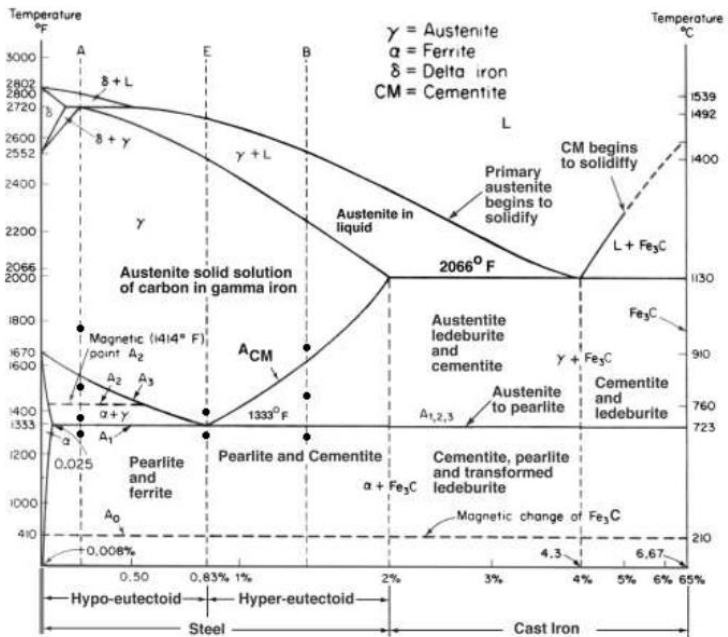
Ferit (Fe_α) yaitu larutan padat dengan prosentase karbon 0,008% C pada suhu kamar dan kelarutan 0,025% C pada suhu 723°C. Ferit bersifat lunak dan keuletannya tinggi.

3. Pearlit

Pearlit adalah eutektoid mixture dari sementit dan ferit pada karbon 0,8%. Dan struktur mikronya berlapis – lapis antara ferit dan sementit. Oleh karena itu sifat perlit adalah gabungan antara sifat ferit dan sementit yaitu agak keras dengan keuletan yang tinggi

4. Austenit

Austenit adalah larutan padat karbon pada besi γ . Kekuatan tarik 1050 kg/cm², kekerasan 40 Rc, Ketangguhannya tinggi biasa tidak stabil pada temperatur kamar



Gambar 2.9 Diagram Fe₃C

2.2.3 Material A 36

Material yang digunakan dalam melakukan penelitian ini adalah jenis material A 36. Untuk komposisi kimia dan sifat mekaniknya dapat dilihat pada data dibawah ini :

Tabel 2.6 Nilai *Chemical Composition*

Product	Shapes ^A	Plates ^B				
Thickness, in. [mm]	All	To ¾ [20], incl	Over ¾ to 1½ [20 to 40], incl	Over 1½ to 2½ [40 to 65], incl	Over 2½ to 4 [65 to 100], incl	Over 4 [100]
Carbon, max, %	0.26	0.25	0.25	0.26	0.27	0.29
Manganese, %	...	...	0.80-1.20	0.80-1.20	0.85-1.20	0.85-1.20
Phosphorus, max, %	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04
Sulfur, max, %	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05
Silicon, %	0.40 max	0.40 max	0.40 max	0.15-0.40	0.15-0.40	0.15-0.40
Copper, min, % when copper steel is specified	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20

Tabel 2.7 Sifat Mekanik A 36

TABLE 3 Tensile Requirements^A

Plates, Shapes, ^B and Bars:	
Tensile strength, ksi [MPa]	58-80 [400-550]
Yield point, min, ksi [MPa]	36 [250] ^C
Plates and Bars ^{D,E} :	
Elongation in 8 in. [200 mm], min, %	20
Elongation in 2 in. [50 mm], min, %	23
Shapes:	
Elongation in 8 in. [200 mm], min, %	20
Elongation in 2 in. [50 mm], min, %	21 ^B

Tabel 2.8 Karakteristik dari 5 elemen pada baja

Nama Elemen	Simbol	Karakteristik	Sifat Mampu Las
Karbon	C	Paling besar pengaruhnya pada sifat baja. Menambah kekuatan Tarik dan kekerasan tetapi mengurangi kemuluran.	Umumnya kandungan karbon 0,2% atau lebih rendah menjamin sifat mampu las yang lebih baik
Silikon	Si	Baja dengan kandungan silikon tinggi sukar diroll, sehingga kandungan silicon tidak boleh lebih dari 0,3%. Penambahan sekitar 0,3% silicon menaikkan sedikit kekuatan dan kekerasan.	Penambahan silicon 0,6% atau lebih rendah tidak mengganggu sifat mampu las.
Mangan	Mn	Menaikkan kekuatan dan kekerasan baja. Normalnya baja mengandung 0,2% - 0,8% mangan.	Penambahan mangan menjamin sifat mampu las yang baik bila kandungannya tidak lebih dari 1,5%.

Fosfor	P	Untuk baja, fosfor adalah pengotor, membuat baja rapuh, menyebabkan retak dingin.	Karena penambahan fosfor mengganggu sifat mampu las, kandungannya tidak boleh lebih dari 0,4%.
Belerang	S	Untuk baja, belerang adalah pengotor, membuat baja rapuh dan menyebabkan retak panas.	Karena penambahan belerang mengganggu sifat mampu las, kandungannya tidak boleh lebih dari 0,04%. Kandungan belerang yang lebih tinggi juga menyebabkan pembentukan ikatan belerang yang menyebabkan baja retak.

2.3 Pengujian Material

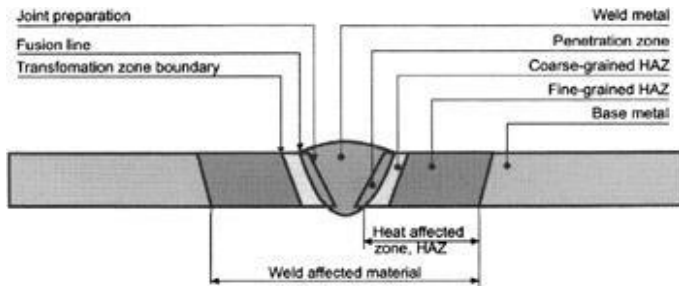
Pengujian Material Proses pengujian material adalah proses pemeriksaan bahan-bahan untuk diketahui sifat dan karakteristiknya yang meliputi sifat mekanik, sifat fisik, bentuk struktur mikro dan makro. Adapun proses pengujiannya dikelompokkan ke dalam tiga kelompok metode pengujian, yaitu :

1. *DT (Destructive Test)*, yaitu adalah proses pengujian logam yang dapat menimbulkan kerusakan pada logam yang diuji.
2. *NDT (Non Destructive Test)*, yaitu proses pengujian logam yang tidak menimbulkan kerusakan pada logam atau benda yang diuji.
3. Makro Etsa, yaitu yaitu proses pengujian baja yang bertujuan untuk melihat secara visual atau kasat mata hasil dari pengelasan dan untuk mengetahui lebar *HAZ* dari masing-masing logam yang diuji..
4. Mikro Etsa, yaitu proses pengamatan struktur mikro pada baja untuk melihat sifat mekanik dari baja tersebut

Penjelasan mengenai pengujian logam akan dijelaskan lebih lanjut. Berikut ini merupakan penjelasan mengenai ketiga metode pengujian logam.

2.3.1 Makro Etsa

Masukan panas yang diberikan akan menyebabkan perbedaan temperature pada material. Perbedaan temperatur menyebabkan terjadinya perpindahan panas baik secara konveksi maupun konduksi. Adanya perpindahan panas ini akan menyebabkan daerah sekitar las mengalami siklus pemanasan dan pendinginan yang berbeda-beda karena perbedaan jarak dengan lokasi pengelasan, sehingga terbentuklah zona-zona yang mengalami perubahan struktur. Energi panas akan berpindah dari temperatur tinggi ke temperature rendah.



Gambar 2.10 Daerah HAZ

Pada umumnya struktur mikro dari baja tergantung dari kecepatan pendinginannya dari austenite sampai temperatur kamar. Adanya perubahan struktur inilah yang mempengaruhi sifat-sifat mekanik yang dimiliki *base metal*. Berdasarkan perubahan mikrostruktur pada daerah sambungan karena pengaruh panas, maka daerah pengelasan dapat dibagi menjadi beberapa zona seperti pada gambar 2.10 berikut penjelasannya:

1. *Fusion Zone (FZ)*
Daerah logam induk yang tidak mencair tetapi mengalami perubahan mikrostruktur akibat rambatan energi panas.
2. *Heat Affected Zone (HAZ)*
Daerah penggabungan logam antara logam las dengan *base metal* dimana logam tersebut berada pada keadaan cair.
3. *Weld Metal*
Daerah logam dari elektroda yang dari fase cair menjadi solid.
4. *Base Metal*
Daerah logam induk yang tidak terkena efek dari rambatan panas.

Untuk mengetahui sebaran panas yang ada, dilakukan pengujian makro etsa. Pengujian makro bertujuan untuk melihat secara visual atau kasat mata hasil dari pengelasan apakah terdapat cacat atau tidak, dengan dilakukan proses etsa terlebih dahulu.

2.3.2 Kekerasan

Kekerasan dapat diidentifikasi sebagai ketahanan logam terhadap beban penekanan kedalam yang disebabkan oleh benda tekan yang berbentuk tertentu karena pengaruh gaya tertentu, semakin kecil penekanan (tidak dalam) menunjukkan kekerasan yang semakin besar.

Ada beberapa macam alat penguji kekerasan yang dipergunakan sesuai dengan bahan, kekerasan ukuran, dan lain-lain suatu produk. Pengujian kekerasan yang digunakan pada penelitian ini adalah pengujian kekerasan *Rockwell*. Indentor yang berfungsi sebagai penekan memiliki berbagai macam bentuk dan bahan pembuatannya. Cara kerja alat ini adalah dengan menekankan indentor kepermukaan yang diukur. Hasil dari penekanan tersebut terdapat pada indikator ukuran yang ada. Untuk bahan-bahan yang memiliki daerah nilai kekerasan yang luas biasanya digunakan penumbuk berupa kerucut intan 120° dengan puncak yang hampir bulat dan dinamakan penumbuk *Brale*.

Pengujian kekerasan dengan metode Rockwell ini diatur berdasarkan standar DIN 50103. Adapun standar kekerasan metode pengujian Rockwell ditunjukkan pada tabel sebagai berikut:

Tabel 2.9 Beban Indentor dan Skala pada Metode Uji Kekerasan Rockwell

Skala	Penekan	Beban			Skala Kekerasan	Warna Angka
		Awal	Utama	Jumlah		
A	Kerucut intan 120°	10	50	60	100	Hitam
B	Bola baja 1,558 mm (1/16")	10	90	100	130	Merah
C	Kerucut intan 120°	10	140	150	100	Hitam
D	Kerucut intan 120°	10	90	100	100	Hitam
E	Bola baja 3,175 mm (1/8")	10	90	100	130	Merah
F	Bola baja 1,558 mm	10	50	60	130	Merah
G	Bola baja 1,558 mm	10	140	150	130	Merah
H	Bola baja 3,175 mm	10	50	60	130	Merah
K	Bola baja 3,175 mm	10	140	150	130	Merah
L	Bola baja 6,35 mm (1/4")	10	50	60	130	Merah
M	Bola baja 6,35 mm	10	90	100	130	Merah
P	Bola baja 6,35 mm	10	140	150	130	Merah
R	Bola baja 12,7 mm (1/2")	10	50	60	130	Merah
S	Bola baja 12,7 mm	10	90	100	130	Merah
V	Bola baja 12,7 mm	10	140	150	130	Merah

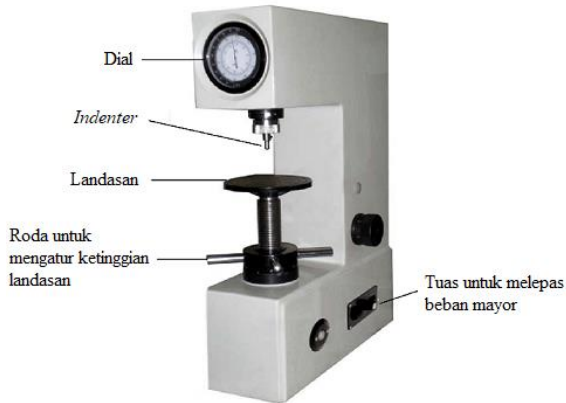
Dalam metode Rockwell ini terdapat dua macam indentor yang ukurannya bervariasi, yaitu :

1. Kerucut intan dengan besar sudut 120° dan disebut sebagai Rockwell Cone.
2. Bola baja dengan berbagai ukuran dan disebut sebagai Rockwell Ball.

Untuk cara pemakaian skala ini, kita terlebih dahulu menentukan dan memilih ketentuan angka kekerasan maksimum yang boleh digunakan oleh skala tertentu. Jika pada skala tertentu tidak tercapai angka kekerasan yang akuran, maka kita dapat menentukan skala lain yang dapat menunjukkan angka kekerasan yang jelas. Berdasarkan rumus tertentu, skala ini memiliki standar atau acuan, dimana acuan dalam menentukan dan memilih skala kekerasan dapat diketahui melalui tabel sebagai berikut :

Tabel 2.10 Keterangan Skala

Skala	Pemakaiannya
A	Untuk <i>carbide cementite</i> , baja tipis, dan baja dengan lapisan keras yang tipis
B	Untuk paduan tembaga, baja lunak, paduan aluminium, dan besi tempa
C	Untuk baja, besi tuang keras, besi tempa peritik, titanium, baja dengan lapisan keras yang dalam, dan bahan-bahan lain yang lebih keras daripada skala B-100
D	Untuk baja tipis, baja dengan lapisan keras yang sedang, dan besi tempa peritik
E	Untuk besi tuang, paduan aluminium, magnesium, dan logam-logam bantalan
F	Untuk paduan tembaga yang dilunakkan dan pelat lunak yang tipis
G	Untuk besi tempa, paduan tembaga, nikel-seng, dan tembaga-nikel
H	Untuk aluminium, seng, dan timbal
K	Untuk logam, bantalan, dan logam yang sangat lunak lainnya, atau bahan-bahan tipis
L	Untuk logam, bantalan, dan logam yang sangat lunak lainnya, atau bahan-bahan tipis
M	Untuk logam, bantalan, dan logam yang sangat lunak lainnya, atau bahan-bahan tipis
P	Untuk logam, bantalan, dan logam yang sangat lunak lainnya, atau bahan-bahan tipis
R	Untuk logam, bantalan, dan logam yang sangat lunak lainnya, atau bahan-bahan tipis
S	Untuk logam, bantalan, dan logam yang sangat lunak lainnya, atau bahan-bahan tipis
V	Untuk logam, bantalan, dan logam yang sangat lunak lainnya, atau bahan-bahan tipis



Gambar 2.11 Alat Uji Rockwell

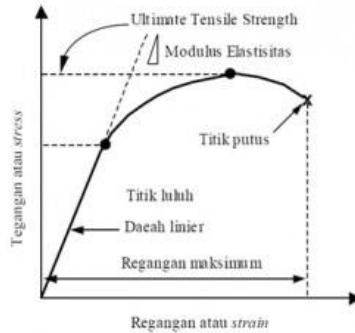
2.3.3 Pengujian Tarik

Uji tarik adalah suatu metode yang digunakan untuk menguji kekuatan suatu bahan/material dengan cara memberikan beban gaya yang berlawanan arah dalam satu garis lurus. Hasil yang didapatkan dari pengujian tarik sangat penting untuk rekayasa teknik dan desain produk karena menghasilkan data kekuatan material. Pengujian tarik digunakan untuk mengukur ketahanan suatu material terhadap gaya statis yang diberikan secara lambat. Benda yang di uji tarik diberi pembebanan pada kedua arah sumbunya. Pemberian beban pada kedua arah sumbunya diberi beban yang sama besarnya. Beban yang diberikan pada bahan yang di uji ditransmisikan pada pegangan bahan yang di uji. Dimensi dan ukuran pada beban uji disesuaikan dengan standar baku pengujian.

Pengujian dilakukan untuk mengetahui sifat-sifat mekanis suatu material, khususnya logam diantara sifat-sifat mekanis yang dapat diketahui dari hasil pengujian tarik adalah sebagai berikut :

1. Kekuatan Tarik
2. Kuat luluh dari material
3. Keuletan dari material
4. Modulus elastic dari material
5. Ketangguhan

Bila kita terus menarik suatu bahan (dalam hal ini suatu logam) sampai putus, kita akan mendapatkan profil tarikan yang lengkap yang berupa kurva. Kurva ini dapat dilihat seperti pada gambar dibawah ini.



Gambar 2.12 Kurva Regangan

- Stress (Tegangan Mekanis)

$$\sigma = \frac{F}{A}$$

Dimana :

σ = Tegangan (N/mm²)

F = Gaya

A = Luas

- Strain (Regangan)

$$\varepsilon = \frac{\Delta L}{L_0}$$

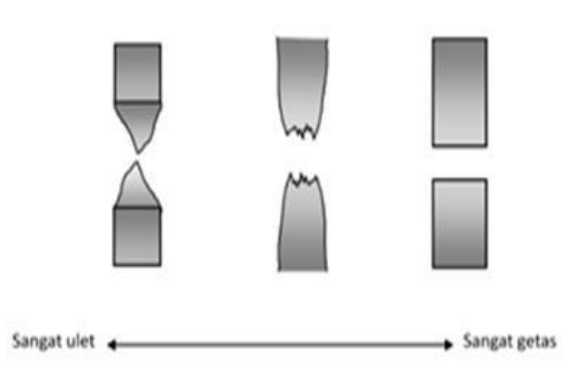
Dimana :

ε = Regangan (%)

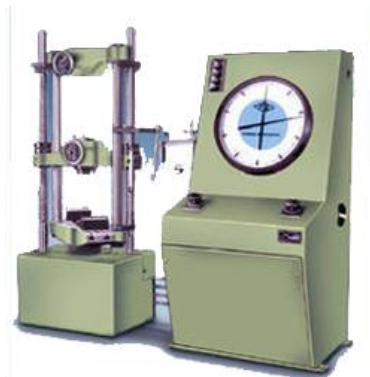
ΔL = Pertambahan panjang (mm)

L_0 = Panjang awal (mm)

spesimen yang putus saat pengujian tarik bentuk patahan dari spesimen dapat dilihat sebagai berikut.



Gambar 2.13 Bentuk Patahan



Gambar 2.14 Alat Uji Tarik

2.3.4 Pengamatan Mikrostruktur

Perlakuan panas yang terjadi pada logam akan mempengaruhi mikrostrukturnya. Perubahan mikrostruktur dapat berupa perubahan fase yang terbentuk dan distribusinya serta ukuran butir. Adanya perubahan mikrostruktur pada umumnya menimbulkan konsekuensi berubahnya sifat mekanik. Dari pengamatan mikrostrukturnya secara umum sifat mekanik dari suatu logam dapat diprediksi.

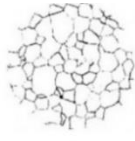
Hasil dari pengamatan struktur mikro ini akan diperlihatkan berbagai fase untuk diidentifikasi. Penyebaran dan bentuk fase dapat dipelajari dan jika sifat-sifatnya diketahui dapat digunakan untuk mengetahui informasi-informasi tentang sifat-sifat specimen. Namun pada saat ini akan dilakukan pengamatan struktur mikro pada suatu specimen. Pada pengamatan struktur mikro umumnya yang diamati adalah ukuran butiran, bentuk butiran, dan larutan padat yang terbentuk, semakin halus dan kecil bentuk butiran, kekuatan mekanis akan bertambah baik. Larutan padat yang tersebar merata, maka kekuatan tariknya akan bertambah baik pula.

Langkah-langkah pengujian struktur mikro yaitu:

1. Sebelum specimen yang akan dilakukan pengujian dihaluskan dan diratakan permukaannya terlebih dahulu agar dapat dilihat struktur mikronya.
2. Setelah itu permukaan yang telah selesai dihaluskan dan diratakan kemudian dietsa menggunakan HNO_3 (*nitric acid*) benda di celupkan selama kurang lebih satu menit kemudian dibilas menggunakan air dan keringkan.

3. Benda uji yang telah dietsa diletakkan diatas landasan (anvil) tegak lurus dengan lensa mikroskop.
4. Pembesaran yang dipakai 50X atau 100 X
5. Menaikkan landasan *anvil* atau digeser sampai benda kerja uji terfokus ke lensa dan mendapatkan hasil gambar yang bagus, setelah focus kemudian dilakukan pemotretan.
6. Pengambilan gambar dilakukan pada tiga lokasi yang berbeda pada satu permukaan saja yaitu daerah logam induk, HAZ, dan daerah lasan
7. Setelah selesai pemotretan benda dilepas dari landasan.

Setelah dilakukannya pengamatan pada mikrostruktur akan didapatkan hasil secara umum sifat mekanik dari suatu material, hasil dari pengamatan struktur mikro ini akan diperlihatkan berbagai fase untuk diidentifikasi, untuk membantu pengamatan bentuk butiran pada struktur mikro pada suatu spesimen dapat dilihat pada gambar berikut :



FERRIT

Kadar karbon : 0,025% pada suhu 723°C dan 0,008% di temperatur kamar.

Struktur kristal : BCC

Sifat mekanis : Lunak dan ulet (kondisi anil)

Kekerasan : 140 - 180 HVN



PEARLITE

Kadar karbon : 0,8% dan terbentuk pada suhu 723°C

Struktur kristal : Struktur duplek dari ferrite dan cementite.

Sifat mekanis : Lunak

Kekerasan : ± 180-250 HVN



AUSTENITE

Kadar karbon : 2%

Struktur kristal : FCC

Sifat mekanis : Lunak dan ulet (kondisi besi murni)

Kekerasan : ± 390 HVN



LEDEBURITE

Kadar karbon : 4,3% dan terbentuk pada suhu 1130°C

Struktur kristal : Struktur duplek dari austenite dan cementite.

Sifat mekanis : Keras

Kekerasan : ± 760 HVN



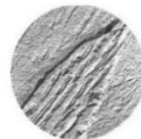
CEMENTITE

Kadar karbon : 6,67%

Struktur kristal : Orthorhombik

Sifat mekanis : Sangat Keras dan getas

Kekerasan : ± 800 HVN



BAINITE

Kadar karbon : < 0,5%

Struktur kristal : BCC

Sifat mekanis : Sangat keras dan getas

Kekerasan : 300 - 400 HVN



MARTENSITE

Kadar karbon : > 0,5%

Struktur kristal : BCT

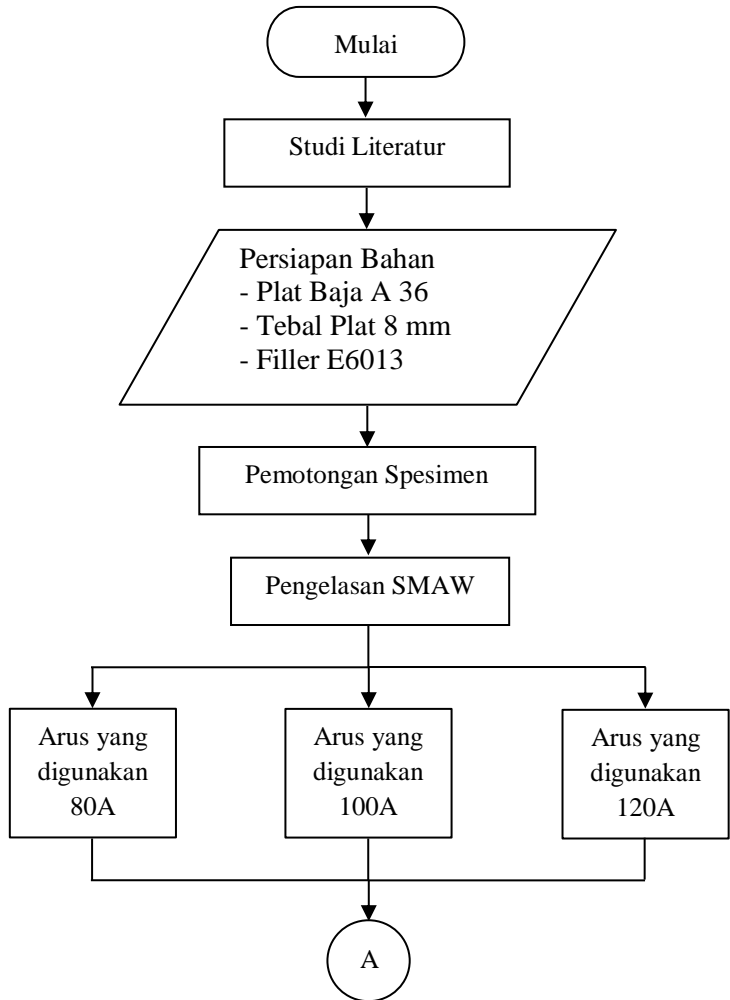
Sifat mekanis : Sangat keras

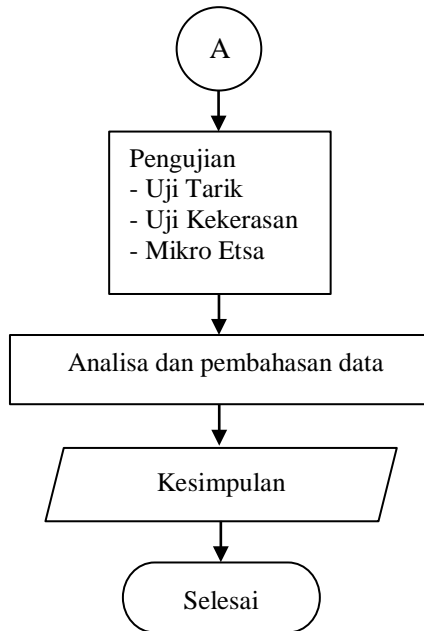
Kekerasan : > 500 HVN

Gambar 2.15 Sifat Mekanik Struktur Mikro

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Diagram Alir Penelitian





Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian

3.2 Studi Literatur

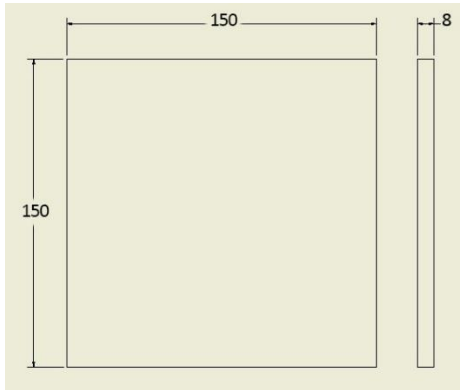
Tahapan studi literatur adalah untuk mempelajari dan membahas teori-teori yang dibutuhkan untuk mengerjakan penelitian ini. Selain itu juga melakukan pengambilan data melalui buku dan internet.

3.3 Persiapan Bahan dan Peralatan

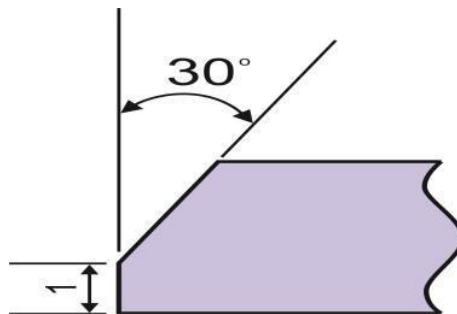
Dalam menunjang penelitian yang diinginkan, peralatan dan bahan-bahan yang diperlukan harus dipersiapkan. Alat dan bahan tersebut antara lain

3.3.1 Material

Didalam penelitian ini bahan uji yang digunakan adalah plat baja A 36 dengan ukuran 150 x 150 x 8 mm dengan jumlah 6 material.



Gambar 3.2 Dimensi Material



Gambar 3.3 Sudut groove 30° dan tinggi *root face*

3.3.2 Mesin Pengelasan SMAW

Pada penelitian ini menggunakan proses pengelasan SMAW



Gambar 3.4 Mesin Las SMAW

3.3.3 Tang Ampere

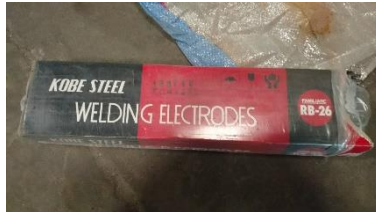
Tang ampere digunakan untuk mengukur dan melihat voltase dan ampere



Gambar 3.5 Tang Ampere

3.3.4 Elektroda

Elektroda yang digunakan adalah elektroda E6013 dengan diameter 3,2 mm



Gambar 3.6 Elektroda E6013

3.3.5 Peralatan Pemotong

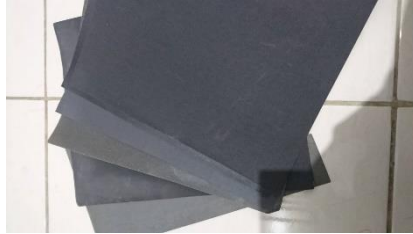
Alat Pemotong yang digunakan adalah gerinda dan beberapa alat bantu seperti kikir dan ragum sebagai pencekam benda kerja.



Gambar 3.7 Alat Pemotong

3.3.6 Kertas Gosok

Pada penelitian ini dilakukan penggosokan dengan berbagai macam ukuran kertas gosok dari ukuran 220, 400, 800, 1000, 1500, dan 2000 guna mendapat permukaan yang halus dan bersih agar memudahkan dalam melihat struktur mikro yang ada.

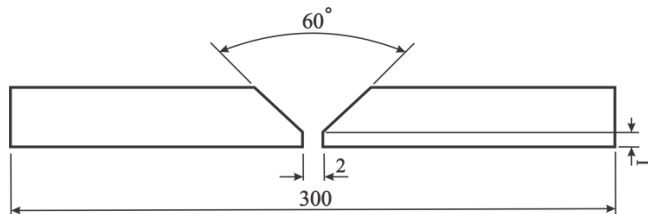


Gambar 3.8 Kertas Gosok

3.4 Langkah Kerja

Bahan dalam penelitian pengelasan ini adalah plat baja A 36 yang memiliki dimensi 150 x 150 x 8 mm sebanyak 6 plat baja. Kemudian masing masing plat di *joint* dengan arus yang berbeda

1. Siapkan bahan sebanyak 6 plat baja A 36. Kemudian pilih pasangan baja plat A 36 sehingga diperoleh 3 benda kerja dengan dimensi 300 x 150 x 8 mm.
2. Bagian plat yang akan di las diratakan dan dibentuk sudut bevel dengan kemiringan 60° seperti gambar dengan mesin milling atau mesin gerinda tangan.



Gambar 3.9 Sudut bevel 60° dengan tebal plat 8 mm

3. Pembersihan terhadap kotoran yang ada dipermukaan material yang akan di las dengan gerinda tangan.

4. Pengelasan ini dilakukan dengan parameter yang telah ditentukan adalah sebagai berikut :

- Pengelasan dengan arus 80 Ampere.



Gambar 3.10 Tang Ampere 80 A

- Pengelasan dengan arus 100 Ampere.



Gambar 3. 11 Tang Ampere 100 A

- Pengelasan dengan arus 120 Ampere.



Gambar 3.12 Tang Ampere 120 A

Tabel 3.1 Logam Pengisi E6013

Nama	Keterangan
AWS Classification	E6013
Filler metal diameter	3,2 mm
Ampere	80A, 100A, 120A
Posisi pengelasan	1G

Tabel 3.2 Parameter Pengelasan

Parameter	Keterangan		
	SMAW	SMAW	SMAW
Proses	SMAW	SMAW	SMAW
Heat Input	3680.98	4054.054	4460,97
Travel Speed (mm/s)	0.652	0.74	0,807
Amphere	80	100	120
Polaritas AC/DC	DCEP	DCEP	DCEP
Voltage	30	30	30
Electrode diameter (mm)	3,2	3,2	3,2



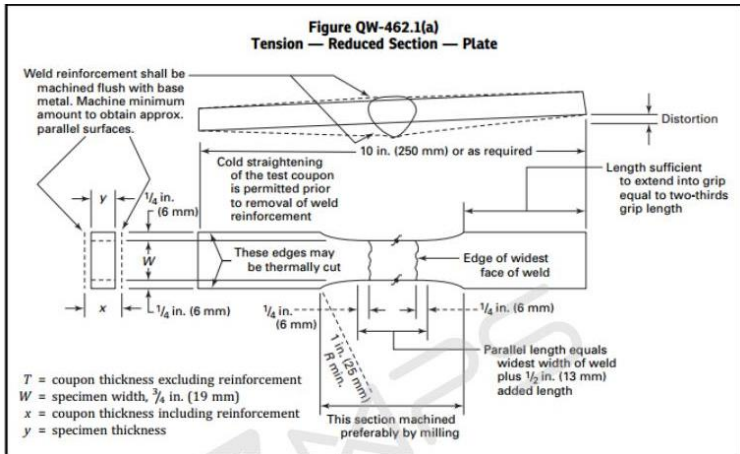
Gambar 3.13 Proses Pengelasan

3.5 Persiapan Benda Kerja untuk Pengujian

Setelah plat di las kemudian plat dipotong sesuai dengan ukuran spesimen yang akan digunakan untuk pengujian sesuai dengan standard pengujian yang telah ditentukan

3.5.1 Benda Uji Tarik

Benda pengujian tarik dipotong sesuai dengan standard asme



Gambar 3.14 Standard Uji Tarik



Gambar 3.15 Benda Uji Tarik

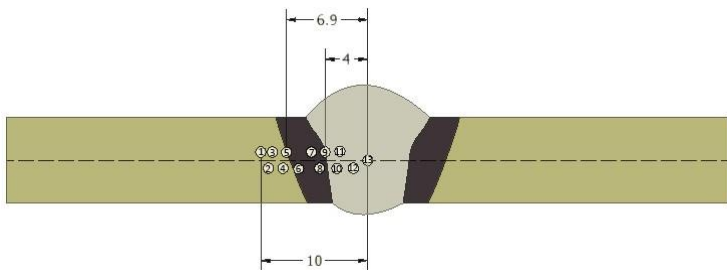
3.5.2 Benda Uji Kekerasan

Benda kerja untuk pengujian kekerasan dipersiapkan terlebih dahulu dengan cara pemotongan yang simetris dan rata sehingga dapat dilakukan pengujian.

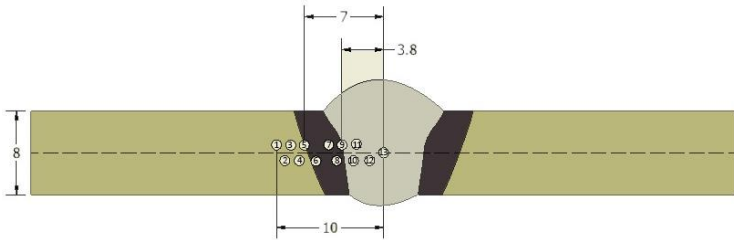


Gambar 3.16 Material Uji Kekerasan

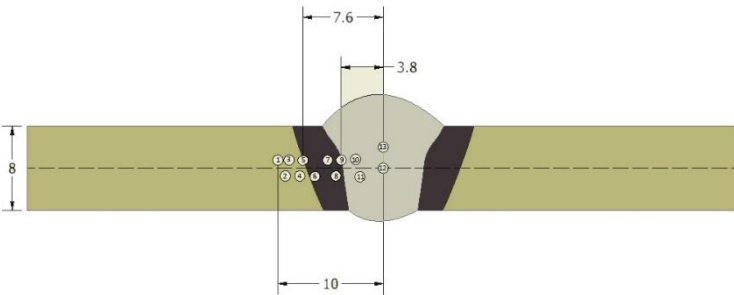
Setelah benda kerja dipotong, benda kerja di amplas hingga halus dan rata, lalu menentukan daerah atau titik yang akan diuji kekerasan, dengan cara menarik sumbu x dan y dan penitikan diletakkan pada satu sisi untuk daerah HAZ dan base metal seperti gambar



Gambar3. 17 Daerah Penitikan 80 Ampere



Gambar 3.18 Daerah Penitikan 100 Ampere



Gambar 3.19 Daerah Penitikan 120 Ampere

3.5.3 Benda Uji Makro

Benda kerja untuk pengujian struktur makro etsa memiliki ukuran yang sama dan pada benda kerja yang sama juga dengan benda kerja pengujian kekerasan. Hal itu dikarenakan agar nilai kekerasan yang didapat sesuai dengan daerah yang penting dalam menentukan kekerasan yang dimiliki benda kerja.



Gambar 3.20 Benda Uji Makro

3.6 Pengujian benda kerja

Pengujian benda kerja adalah proses tahapan dimana material hasil pengelasan dengan menggunakan arus yang berbeda dilakukan proses pengujian yaitu menggunakan pengujian tarik, pengujian kekerasan, dan pengujian mikro etsa

3.6.1 Pengujian Metalografi (Mikro Etsa)

Pengamatan mikrostruktur mengacu pada standar ASTM E 340-001 dilakukan dengan mengetahui titik pasti daerah hasil pengujian kekerasan. Setelah daerah yang ditentukan, maka pada titik yang sama tersebut di etsa menggunakan campuran cairan. Cairan yang digunakan antara lain adalah:

Tabel 3.3 *Etching Reagent* untuk Melihat *Microstructure*

Nama	Komposisi	Durasi	Material
Nital	HNO ₃ : 2 ml Alkohol (95%) : 98 ml	30 detik – 2 menit	Baja Karbon Rendah

Prosedur pengujian metallography adalah sebagai berikut:

1. Pemotongan spesimen uji

Benda kerja dibelah menjadi dua. Dalam penelitian tugas akhir ini, pengujian metallography dilakukan pada permukaan dalam spesimen atau bagian yang dibelah.

2. Grinding

Penggosokan dilakukan pada permukaan spesimen uji secara bertahap, penggosokan menggunakan mesin grinding dengan tingkat kekeasaran gosok mulai dari 200, 500, 1000, 1200 disertai dengan aliran air pendingin. Fungsinya adalah untuk melarutkan geram dan permukaan spesimen tidak panas sehingga mengubah struktur mikronya.

3. Polishing

Penggosokan diatas piringan kain wool yang berputar, disertai taburan bubuk polishing, sampai goresan-goresan akibat proses grinding hilang sehingga permukaan spesimen uji mengkilat.

4. Etching

Etching atau proses etsa dilakukan dengan menggunakan larutan etsa (*etsa reagent*) natal dengan HNO_3 20 ml. dengan waktu perendaman selama 1 menit, setelah itu benda dibilas dengan alcohol 98% dan di keringkan menggunakan hair dryer.

5. Pemotretan

Pemotretan dilakukan dibawah mikroskop dengan menggunakan lensa objektif 10x, sedangkan lensa okuler 10x, 20x, 50x, dan 100x sehingga dapat menghasilkan pembesaran 100x, 200x, 500x dan 1000x.

3.6.2 Pengujian Makro Etsa

Pengujian Makro Etsa Pengujian makro bertujuan untuk melihat secara visual atau kasat mata hasil dari pengelasan apakah terdapat cacat atau tidak, dengan dilakukan proses etsa terlebih dahulu. Adanya proses pengetsaan daerah las lebih jelas terlihat. Berikut langkah-langkah makro etsa :

1. Penggosokan dilakukan pada permukaan spesimen uji secara bertahap, penggosokan menggunakan amplas dengan tingkat kekasaran gosok mulai dari 220, 400, 800, 1000, 1500, dan 2000 hingga benda kerja rata dan halus.
2. Proses etsa dilakukan dengan menggunakan larutan alkohol dengan HNO_3 yang mana perbandingannya adalah 98 ml untuk alkohol dan 2 ml untuk HNO_3 lalu aduk hingga tercampur secara merata
3. Kemudian bersihkan benda kerja dengan merendam menggunakan alkohol 95% selama 1-2 menit
4. Kemudian benda kerja dimasukkan kedalam larutan etsa selama 1-2 menit
5. Ketika sudah terlihat hasil daerah lasan, angkat dan celupkan kedalam alkohol sebentar lalu keringkan dengan hair dryer
6. Setelah itu amati hasil pengujian

3.6.3 Pengujian Tarik

Pengujian tarik bertujuan untuk mengetahui kekuatan tarik dari logam induk setelah mengalami proses pengelasan. Pengujian tarik dilakukan dengan cara memberikan beban tarik pada batang uji secara perlahan-lahan sampai benda uji terputus atau patah. Peralatan yang

digunakan untuk pengujian tarik adalah alat uji tarik dan jangka sorong.

Langkah-langkah pengujian tarik adalah sebagai berikut :

1. Menandai Spesimen untuk mengetahui dimensi yang akan di inputkan ke mesin
2. Dilakukan pengetsaan agar batas daerah las terlihat sehingga memudahkan untuk pengambilan data
3. Menentukan beban yang digunakan yaitu 10000 N, kemudian menentukan panjang total dan lebar benda
4. Nyalakan saklar power utama sehingga lampu indikator menyala.
5. Pastikan *handle load control* pada posisi stop.
6. Letakkan alat bantu pada permukaan alat uji dan plat penahan.
7. Pastikan jarum penunjuk pada posisi nol.
8. Pastikan pencekam pada *lower crosshead* dan naikkan *lower crosshead* dengan menekan tombol *up crosshead* sehingga dapat mencekam benda uji tarik dengan baik.
9. Atur kecepatan pembebanan.
10. Jarum indicator beban akan bergerak terus hingga mencapai titik max load dari benda uji yang diuji kemudian mengalami penurunan dan putusnya benda kerja.
11. Catat pembebanan dan pertambahan panjang.
12. Kemudian lepaskan benda uji dari tempat pencekam

3.6.4 Pengujian Kekerasan

Pengujian kekerasan dengan metode *Rockwell* bertujuan menentukan kekerasan suatu material dalam bentuk daya tahan material terhadap indentor berupa bola baja ataupun kerucut intan yang ditekan pada permukaan benda kerja. Pengujian kekerasan dilakukan 11 titik yaitu pada daerah *weld metal*, *HAZ*, dan *base metal* setiap sample benda.



Gambar 3.21 Alat Uji Kekerasan Rockwell

Merk : AFFRI Seri 206.RT – 206.RTS
Loading : Maximum 100 KP
Minimum 10 KP
Hrb Load : 100 KP
Indentor : Bola Baja 1/16.

Berikut langkah-langkah pengujian kekerasan :

1. Hasil dari proses etsa, tarik garis sumbu (x,y) pada benda kerja pada salah satu layer.
2. Memasang indentor pada penjepit Rockwell hardness tester.
3. Beban penekanan pada mulanya sebesar 150 kgf memakai skala C yang bertujuan melindungi indentor agar tidak rusak.
4. Beban penekanan yang dipakai adalah 100 memakai skala B (HRB) karena menggunakan indentor skala C tidak menunjukkan nilai kekerasan yang ada.
5. Kemudian menghidupkan power dengan menekan tuas ON
6. Menempatkan benda kerja diatas anvriil dan tegak lurus dengan indentornya.
7. Menaikkan anvriil dengan memutar handle searah jarum jam sampai menyentuh indentor, kemudian dinaikkan terus indentor, kemudian dinaikkan terus sampai jarum kecil pada dial indikator menyentuh titik merah dan tekan tombol pengujian, tunggu hingga beberapa saat (5 detik) sampai jarum panjang akan menunjuk pada angka kekerasan
8. Mencatat hasil pengujian (angka kekerasan)
9. Menurunkan anvriil dengan jalan memutar handle berlawanan dengan arah jarum jam
10. Pengujian ini dilakukan sebanyak titik yang sudah ditentukan sebelumnya.

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Hasil Pengujian

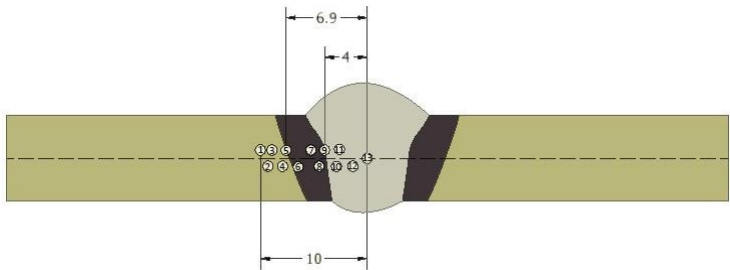
Dari hasil pengujian yang penulis lakukan mengenai sifat mekanik baja A-36 pengelasan dengan variasi arus yang berbeda menggunakan mesin las smaw maka pada bab ini penulis akan memberikan analisis berdasarkan data-data yang telah didapat melalui pengujian uji kekerasan, pengamatan struktur mikro, dan uji tarik. Kemudian data tersebut dipakai sebagai menambah pengetahuan serta untuk mengetahui sifat mekanik hasil pengelasan.

4.1.1 Hasil Pengujian Kekerasan

Pengujian kekerasan dilakukan pada spesimen di garis yang sama dengan menggunakan 3 bidang spesimen yang berguna untuk mencari kepastian titik pasti batas daerah antara *Base Metal* dengan *Heat Affected Zone* dan juga antara daerah *Heat Affected Zone* dengan daerah *Weld Metal*.

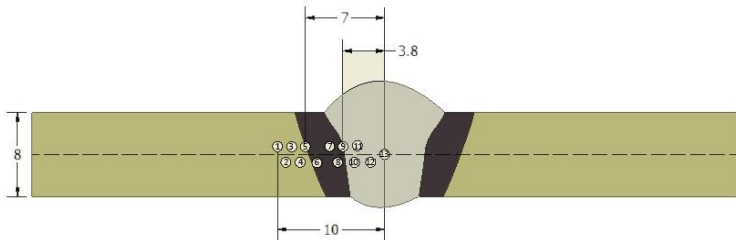


Gambar 4.1 Hasil Pengujian Kekerasan



Gambar 4.2 Hasil Uji Kekerasan 80 Ampere

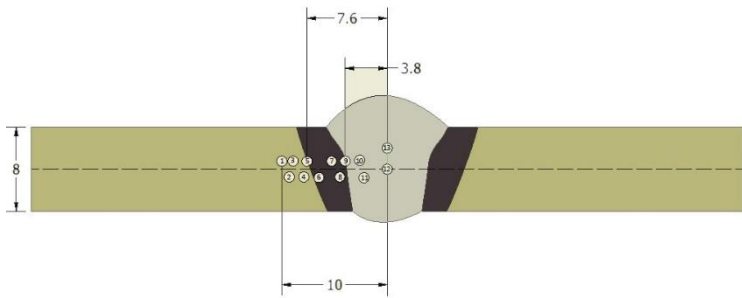
Dari data kekerasan yang didapatkan, perubahan nilai kekerasan melonjak dari daerah penitikan empat ke lima, dan daerah penitian sembilan ke sepuluh sehingga dapat disimpulkan batas HAZ yaitu dari batas daerah penitikan kelima dan sembilan. Jarak daerah penitikan lima ke titik koordinat (0,0) adalah 6,9 mm dan jarak daerah penitikan nomor sepuluh ke titik koordinat (0,0) adalah 4 mm sehingga lebar HAZ yang dihasilkan 2,9 mm



Gambar 4.3 Hasil Uji Kekerasan 100 Ampere

Dari data kekerasan yang didapatkan, perubahan nilai kekerasan melonjak dari daerah penitikan empat ke lima,

dan daerah penititan sembilan ke sepuluh sehingga dapat disimpulkan batas HAZ yaitu dari batas daerah penititan kelima dan sembilan. Jarak daerah penititan nomor lima ke titik koordinat (0,0) adalah 7 mm dan jarak daerah penititan nomor sepuluh ke titik koordinat (0,0) adalah 3.8 mm sehingga lebar HAZ yang dihasilkan 3,2 mm



Gambar 4.4 Hasil Uji Kekerasan 120 Amepere

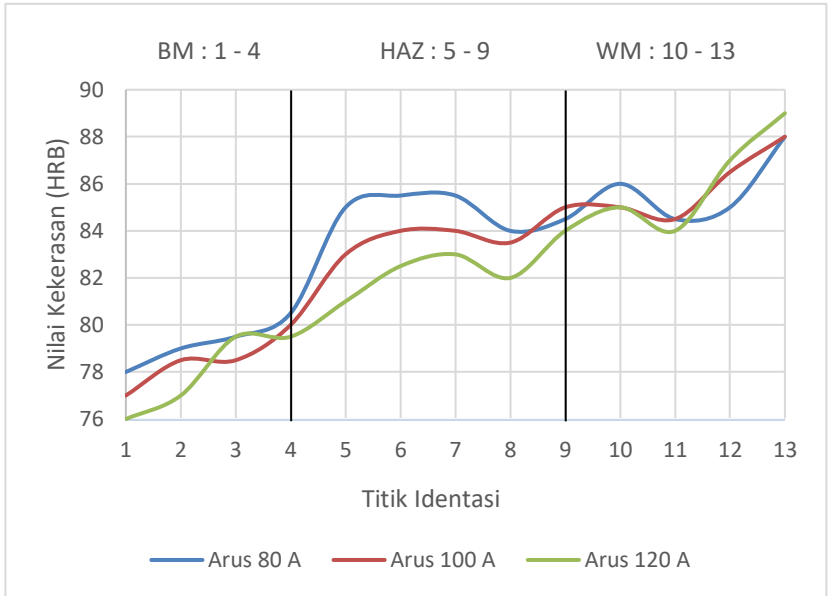
Dari data kekerasan yang didapatkan, perubahan nilai kekerasan melonjak dari daerah penititan empat ke lima, dan daerah penititan sembilan ke sepuluh sehingga dapat disimpulkan batas HAZ yaitu dari batas daerah penititan kelima dan sembilan. Jarak daerah penititan nomor lima ke titik koordinat (0,0) adalah 7,4 mm dan jarak daerah penititan nomor sepuluh ke titik koordinat (0,0) adalah 3,6 mm sehingga lebar HAZ yang dihasilkan 3,8

Tabel 4.1 Lebar *HAZ*

Benda Uji	Penitikan (5) ke sumbu (0,0)	Penitikan (9) ke sumbu (0,0)	Lebar HAZ
80 A	6,9 mm	4 mm	2,9 mm
100 A	7 mm	3.8 mm	3,2 mm
120 A	7,6 mm	3.8 mm	3,8 mm

Tabel 4.2 Data Pengujian Kekerasan

Daerah	Titik	Nilai Kekerasan		
		80 A	100 A	120 A
BM	1	78	77	76
	2	79	78.5	77
	3	79.5	78.5	79.5
	4	80.5	80	79,5
HAZ	5	85	83	81
	6	85.5	84	82.5
	7	85.5	84	83
	8	84	83.5	82
	9	84.5	85	84
WM	10	86	85	85
	11	84.5	84.5	84
	12	85	86.5	87
	13	88	88	89



Gambar 4.5 Grafik Hasil Rata-rata Pengujian Kekerasan

4.1.2 Hasil Pengujian Mikro Etsa

Setelah melakukan pengujian mikro etsa didapatkan data foto mikro dengan pembesaran 50x dan 100x sebagai berikut :

Tabel 4.3 Data Pengujian Struktur Mikro

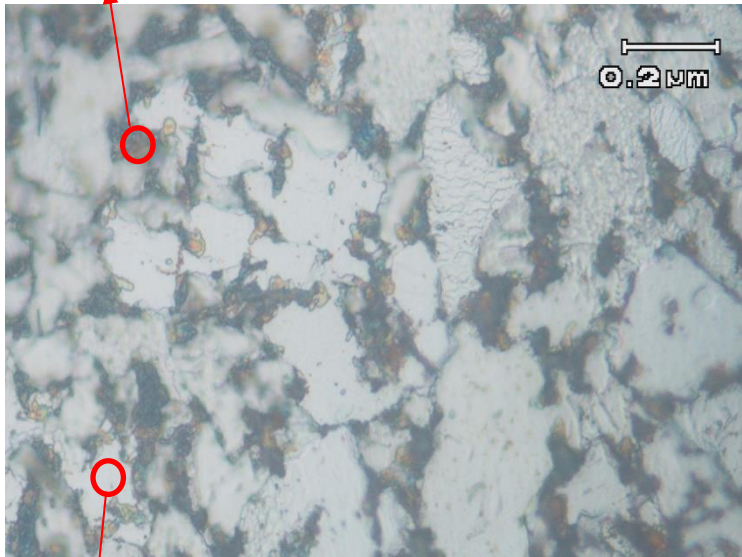
Arus	Daerah	Struktur Mikro	
		Pearlite	Ferrit
80	BM	45	68
	HAZ	49	63
	WM	25	64
100	BM	44	69
	HAZ	36	63
	WM	25	65
120	BM	43	68
	HAZ	32	62
	WM	31	63

Foto Struktur Mikro *Base Metal* pada Pengelasan 80 Ampere (10,0)



PEARLITE

Kadar karbon : 0,8% dan terbentuk pada suhu 723°C
Struktur kristal : Struktur duplex dari ferrite dan cementite.
Sifat mekanis : Lunak
Kekerasan : ± 180-250 HVN



FERRIT

Kadar karbon : 0,025% pada suhu 723°C dan 0,008% di temperatur kamar.
Struktur kristal : BCC
Sifat mekanis : Lunak dan ulet (kondisi anil)
Kekerasan : 140 - 180 HVN

Gambar 4.6 Struktur Mikro *Base Metal* 80 A

Foto Struktur Mikro HAZ pada Pengelasan 80 Ampere (5,0)



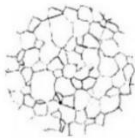
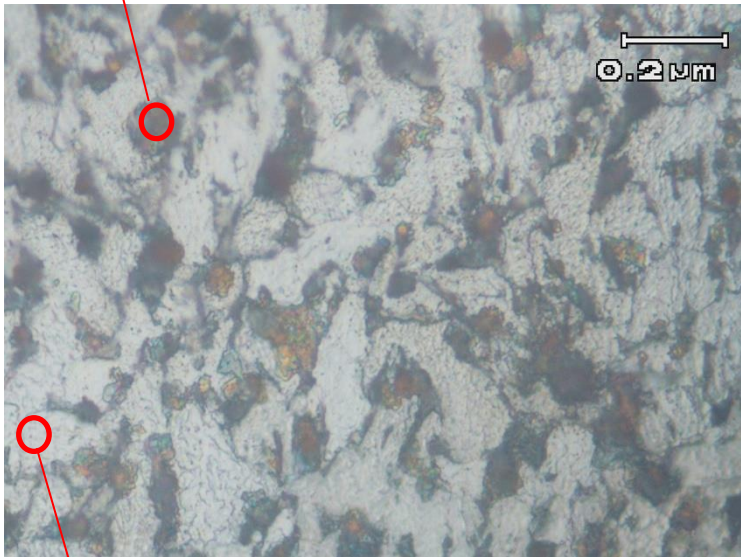
PEARLITE

Kadar karbon : 0,8% dan terbentuk pada suhu 723°C

Struktur kristal : Struktur duplek dari ferrite dan cementite.

Sifat mekanis : Lunak

Kekerasan : \pm 180-250 HVN



FERRIT

Kadar karbon : 0,025% pada suhu 723°C dan 0,008% di temperatur kamar.

Struktur kristal : BCC

Sifat mekanis : Lunak dan ulet (kondisi anil)

Kekerasan : 140 - 180 HVN

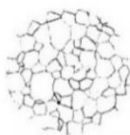
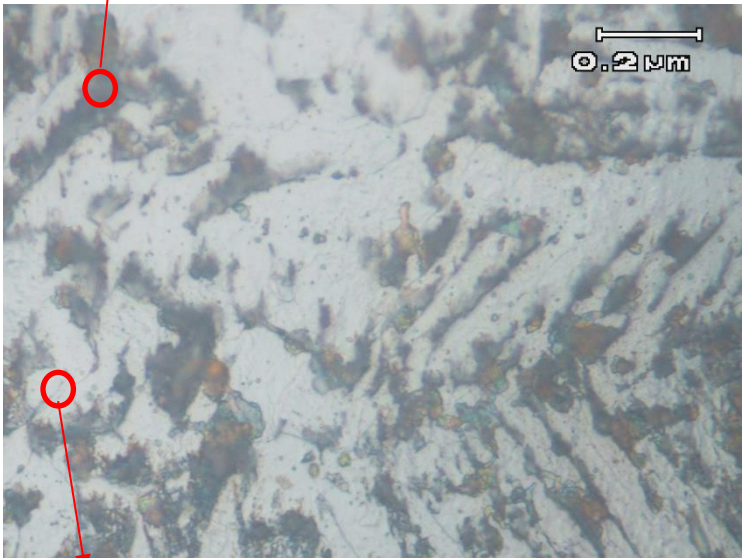
Gambar 4.7 Struktur Mikro HAZ 80 A

Foto Struktur Mikro *Weld Metal* pada Pengelasan 80 Ampere (0,0)



PEARLITE

Kadar karbon : 0,8% dan terbentuk pada suhu 723°C
Struktur kristal : Struktur duplek dari ferrite dan cementite.
Sifat mekanis : Lunak
Kekerasan : ± 180-250 HVN



FERRIT

Kadar karbon : 0,025% pada suhu 723°C dan 0,008% di temperatur kamar.
Struktur kristal : BCC
Sifat mekanis : Lunak dan ulet (kondisi anil)
Kekerasan : 140 - 180 HVN

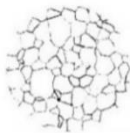
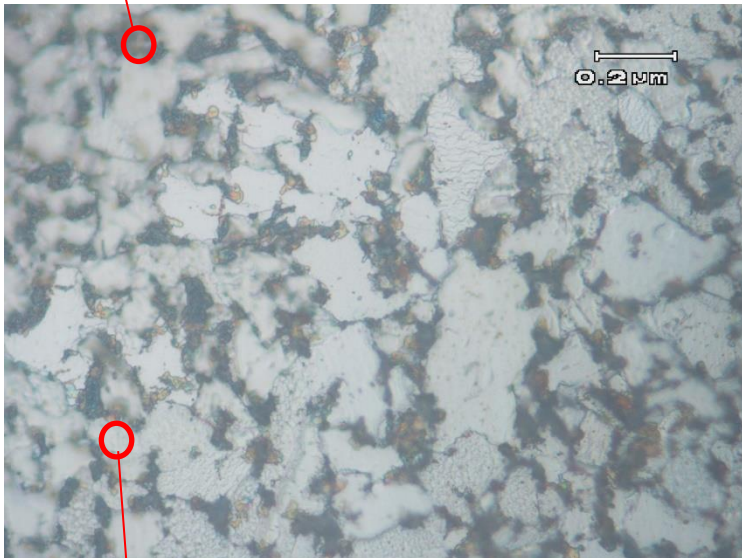
Gambar 4.8 Struktur Mikro *Weld Metal* 80 A

Foto Struktur Mikro *Base Metal* pada Pengelasan 100 Ampere (10,0)



PEARLITE

Kadar karbon : 0,8% dan terbentuk pada suhu 723°C
Struktur kristal : Struktur duplek dari ferrite dan cementite.
Sifat mekanis : Lunak
Kekerasan : \pm 180-250 HVN



FERRIT

Kadar karbon : 0,025% pada suhu 723°C dan 0,008% di temperatur kamar.
Struktur kristal : BCC
Sifat mekanis : Lunak dan ulet (kondisi anil)
Kekerasan : 140 - 180 HVN

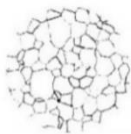
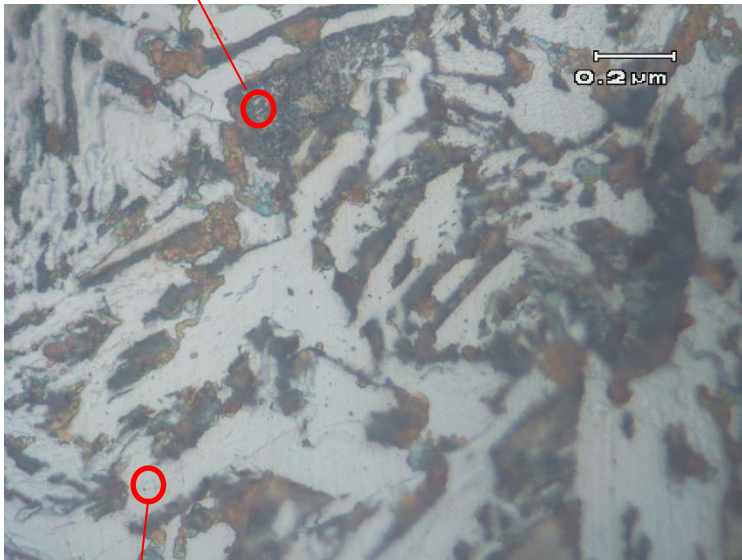
Gambar 4.9 Struktur Mikro *Base Metal* 100 A

Foto Struktur Mikro HAZ pada Pengelasan 100 Ampere (6,0)



PEARLITE

Kadar karbon : 0,8% dan terbentuk pada suhu 723°C
Struktur kristal : Struktur duplek dari ferrite dan cementite.
Sifat mekanis : Lunak
Kekerasan : ± 180-250 HVN



FERRIT

Kadar karbon : 0,025% pada suhu 723°C dan 0,008% di temperatur kamar.
Struktur kristal : BCC
Sifat mekanis : Lunak dan ulet (kondisi anil)
Kekerasan : 140 - 180 HVN

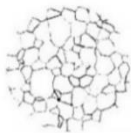
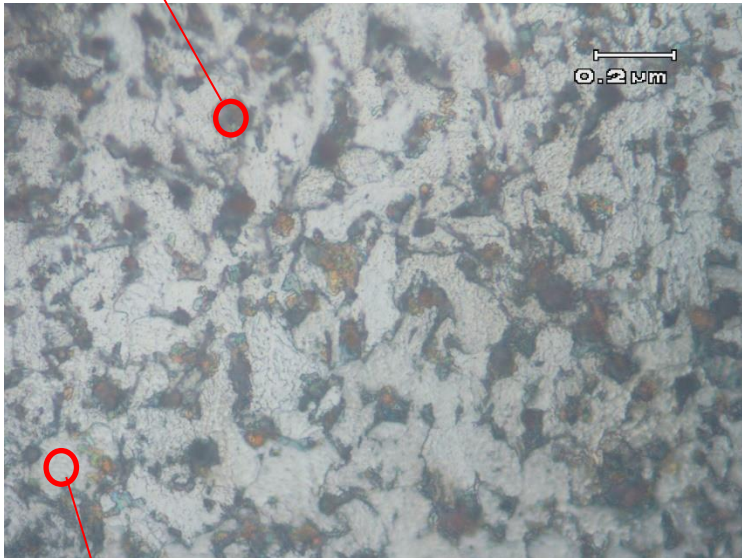
Gambar 4.10 Struktur Mikro HAZ 100 A

Foto Struktur Mikro *Weld Metal* pada Pengelasan 100 Ampere (0,0)



PEARLITE

Kadar karbon : 0,8% dan terbentuk pada suhu 723°C
Struktur kristal : Struktur duplek dari ferrite dan cementite.
Sifat mekanis : Lunak
Kekerasan : ± 180-250 HVN



FERRIT

Kadar karbon : 0,025% pada suhu 723°C dan 0,008% di temperatur kamar.
Struktur kristal : BCC
Sifat mekanis : Lunak dan ulet (kondisi anil)
Kekerasan : 140 - 180 HVN

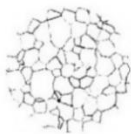
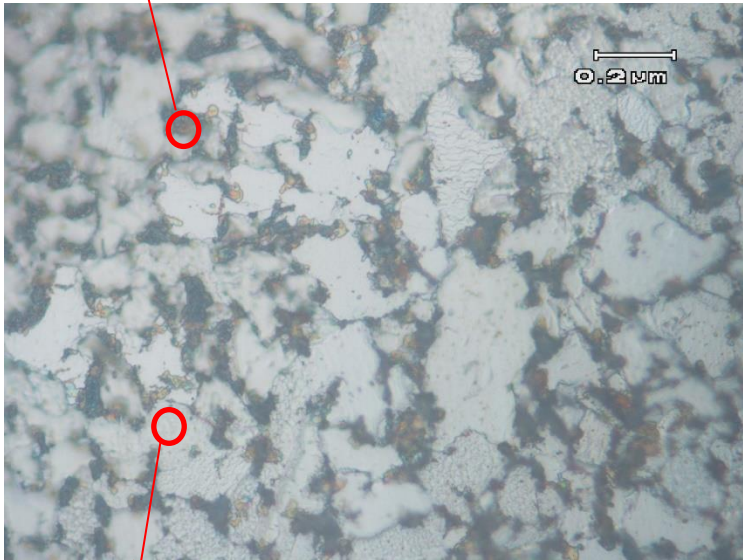
Gambar 4.11 Struktur Mikro *Weld Metal* 100 A

Foto Struktur Mikro *Base Metal* pada Pengelasan
120 Ampere (10,0)



PEARLITE

Kadar karbon : 0,8% dan terbentuk pada suhu 723°C
Struktur kristal : Struktur duplek dari ferrite dan cementite.
Sifat mekanis : Lunak
Kekerasan : ± 180-250 HVN



FERRIT

Kadar karbon : 0,025% pada suhu 723°C dan 0,008% di temperatur kamar.
Struktur kristal : BCC
Sifat mekanis : Lunak dan ulet (kondisi anil)
Kekerasan : 140 - 180 HVN

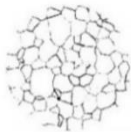
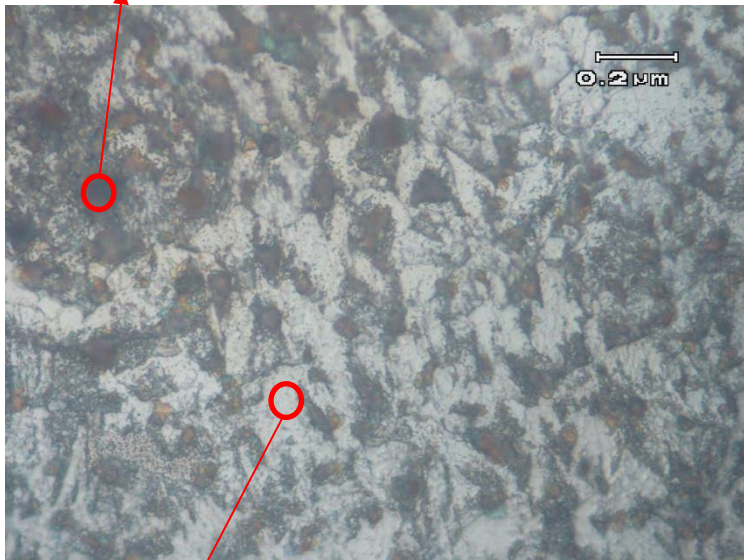
Gambar 4.12 Struktur Mikro *Base Metal* 120 A

Foto Struktur Mikro HAZ pada Pengelasan 120 Ampere (6,0)



PEARLITE

Kadar karbon : 0,8% dan terbentuk pada suhu 723°C
Struktur kristal : Struktur duplek dari ferrite dan cementite.
Sifat mekanis : Lunak
Kekerasan : ± 180-250 HVN



FERRIT

Kadar karbon : 0,025% pada suhu 723°C dan 0,008% di temperatur kamar.
Struktur kristal : BCC
Sifat mekanis : Lunak dan ulet (kondisi anil)
Kekerasan : 140 - 180 HVN

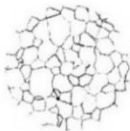
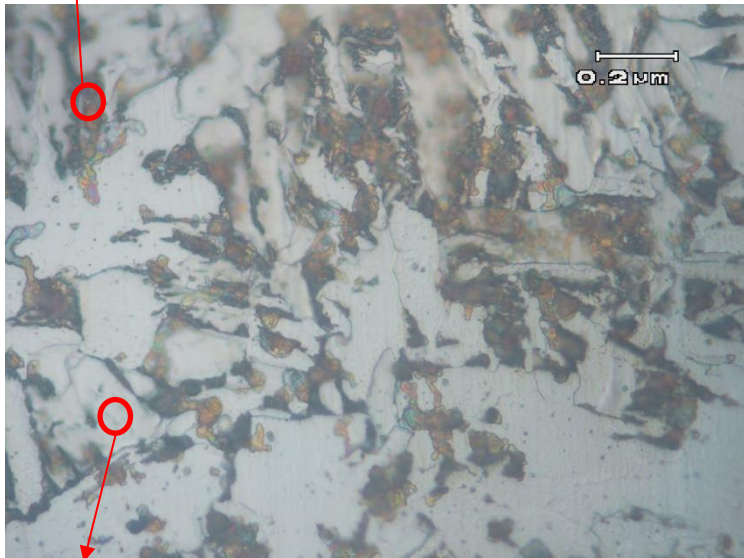
Gambar 4.13 Struktur Mikro HAZ 120 A

Foto Struktur Mikro *Weld Metal* pada Pengelasan 120 Ampere (0,0)



PEARLITE

Kadar karbon : 0,8% dan terbentuk pada suhu 723°C
Struktur kristal : Struktur duplek dari ferrite dan cementite.
Sifat mekanis : Lunak
Kekerasan : ± 180-250 HVN



FERRIT

Kadar karbon : 0,025% pada suhu 723°C dan 0,008% di temperatur kamar.
Struktur kristal : BCC
Sifat mekanis : Lunak dan ulet (kondisi anil)
Kekerasan : 140 - 180 HVN

Gambar 4.14 *Struktur Mikro Weld Metal 120*

4.1.3 Hasil Pengujian Tarik

Setelah melakukan pengujian tarik sesuai dengan standart yang telah di tentukan maka di dapatkan data sebagai berikut :



Gambar 4.15 Hasil Pengujian Tarik 80 Ampere



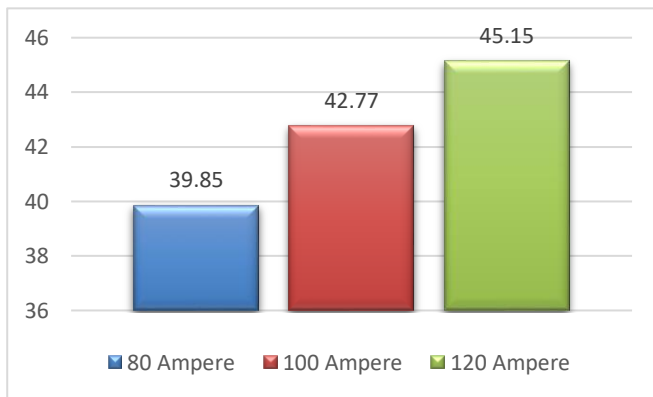
Gambar 4.16 Hasil Pengujian Tarik 100 Ampere



Gambar 4.17 Hasil Pengujian Tarik 120 Ampere

Tabel 4.4 Data Pengujian Tarik

Arus	No.	Area (mm ²)	Yield Point (kgf)	Yield Strength (kgf/mm ²)	Max Load (kgf)	Ultimate Tensile Strength (kgf/mm ²)	Patahan
80A	1	156	5186.52	33.25	6081.75	40.5	WM
	2	159.2	5192.88	32.62	7089.73	42.3	WM
	3	146.4	4911.11	33.55	6631.52	36.75	WM
Rata-rata		153.87	5096.84	33.14	6601	39.85	
100A	1	146.4	4677.24	31.95	6192.4	38.99	WM
	2	155.2	5217.99	33.62	6286.14	44.79	WM
	3	153.6	5316.4	34.61	5644.52	44.53	BM
Rata-rata		151.73	5070.54	33.39	6041.02	42.77	
120A	1	150.4	5083.96	33.8	6729.57	44.74	BM
	2	150.4	5142.56	34.19	6736.77	45.3	BM
	3	152.8	5196.79	34.01	6939.39	45.41	BM
Rata-rata		151.2	5141.1	34	6801.91	45.15	



Gambar 4.18 Grafik Hasil Rata-rata Pengujian Tarik

4.2 Pembahasan Hasil Pengujian

4.2.1 Pembahasan Hasil Pengujian Kekerasan

Data yang didapat dari hasil penelitian, kekerasan pada arus terendah yaitu 80 ampere memiliki kekerasan yang paling besar dikarenakan memiliki pendinginan yang cepat dan kekerasan pada arus terbesar yaitu 120 ampere memiliki kekerasan yang paling kecil dikarenakan memiliki pendinginannya yang lambat. Hal tersebut dipengaruhi oleh masukan panas yang digunakan sehingga laju pendinginannya berbeda.

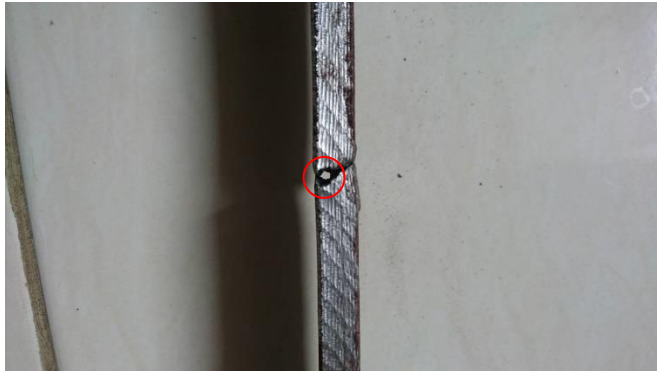
4.2.2 Pembahasan Hasil Pengujian Mikro Etsa

Adanya masukan panas pada saat pengelasan menyebabkan terjadinya perubahan struktur mikro. Struktur mikro pada arus 80 ampere di daerah *Weld Metal* memiliki jumlah ferrit 70% dan pearlite 30%, struktur mikro pada arus 100 ampere di daerah *Weld Metal* memiliki jumlah ferrit 75% dan pearlite 25%, dan struktur mikro pada arus 120 ampere di daerah *Base Metal* memiliki jumlah ferrit 43% dan jumlah pearlite 57 %.

4.3.3 Pembahasan Hasil Pengujian Tarik

Pada pengelasan dengan arus 80 dan 100 ampere mengalami cacat *Incomplete Fusion* sehingga sambungan las terdapat lubang yang disebabkan oleh tidak mencairnya flux. Hasil dari pengujian tarik spesimen dengan 80 mengalami patah di daerah logam las. Pada arus 100 ampere 2 spesimen patah di logam las dan satu spesimen patah di base metal sehingga dengan arus 100 ampere sudah cukup apabila tidak mengalami cacat *Incomplete fusion*. Berbeda dengan pengelasan dengan 120 ampere. Hasil lasannya tidak terdapat cacat *Incomplete Fusion*. Hasil dari pengujian tarik spesimen dengan arus 120 ampere mengalami patah di daerah *Base Metal*.

Pada spesimen yang mengalami cacat *Incomplete Fusion* mengalami patah di logam las dikarenakan adanya daerah yang tidak terisi sehingga luasan pada logam las tersebut semakin kecil sehingga regangan meningkat dan membuat patah di logam las.



Gambar 4.19 Cacat *Incomplete Fusion* pada 80 Ampere



Gambar 4.20 Cacat *Incomplete Fusion* pada 100 Ampere

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB V

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Dari hasil penelitian riset dan percobaan perbedaan variasi arus pada pengelasan SMAW dengan dilakukannya pengujian tarik, kekerasan, dan makro etsa, maka dapat disimpulkan antara lain :

1. Hasil pengujian pengelasan dengan variasi 80 A dan 100 A mengalami cacat las *Incomplete Fusion* pada 80 A mengalami putus di area logam las dengan kekuatan tarik sebesar 39.85 kgf/mm² dan pada 100 A 2 spesimen putus di daerah logam las dan 1 spesimen mengalami putus di daerah *base metal* dengan kekuatan tarik sebesar 42.77 kgf/mm² sedangkan kekuatan tarik pada 120 A mencapai 45.15 kgf/mm² .
2. Berdasarkan pengujian yang telah dilakukan didapatkan nilai kekerasan pada masing-masing material pengujian, nilai kekerasan yang paling tinggi didapatkan dari proses pengelasan dengan arus 80 A dan nilai kekerasan paling rendah didapatkan dari proses pengelasan dengan arus 120 A.
3. Berdasarkan hasil pengujian yang telah dilakukan dengan makro etsa terlihat bahwa lebar HAZ paling besar dengan arus 120 A dan lebar HAZ paling kecil dengan arus 80 A. Hal tersebut dikarenakan makin besar heat input maka makin besar pula lebar HAZ yang dihasilkan.

5.2 Saran

1. Untuk penelitian selanjutnya sebaiknya lebih teliti ada cacat pada pengelasan atau tidak.

DAFTAR PUSAKA

Sonawan, Hery. 2003. *Pengantar Untuk Memahami Proses Pengelasan Logam*. Alfabeta, cv.

American Society of Mechanical Engineers Section IX, *Boiler And Pressure Vessel Code An International Code, Materials*, Edition July 2015.

American Standart Testing and Material Vol 14, *Standard Specification for Carbon Structural Steel shapes*. Edition Desember 2014

Kobelco ARC Welding Electrode

Prof.Dr.Ir.Harsono Wiryosumarto, Prof.Dr.Toshie Okumura, *Teknologi Pengelasan Logam*, P.T. Pradya Paramita, Jakarta, 1981

Sindo Kou, PhD. 2002. *Welding Metallurgy*, 2nd Edition

Lampiran 1

Mill Certificate

PT. GUNAWAN DIANJAYA STEEL Tbk
Surabaya - Indonesia

MILL TEST CERTIFICATE
ACC. TO EN10204 3004 3.1

PT. BENTENG ANUGERAH SEAJHTERA
Jl. Tanggaman No. 44-B RT.001 RW.016 Shonggo, Sukomuningsari Surabaya Jawa Timur 60181
D. 043 - 3071 PR1701-01/08
POND: PR1701-01/08
ASTM A572-1
ASTM A572-14

Page : 1 of 2

Head Office :
Jl. Mangrove No. 29 A, Surabaya 60184
Phone : (62-31) 7460598 (Planting)
Fax : (62-31) 7460581
E-mail : gds@gunawansteel.com
http://www.gunawansteel.com

Certificate No. : GDS-CC-2017-0524
Date : February 23, 2017
Despatch Address No. : LDO-1702-00344

Plate Number	Dimensions (mm)			Weight (kg)	Tensile Test										Impact Value in Joule			Rolled									
	T	W	L		C	SI	Min	P	S	Nb	Cr	Mn	Mo	V	Al	Ti	N		Y.S	T.S	El %	Yield Point	Charpy	Test	I	II	III	Avg
					x 10 ⁻²				x 10 ⁻²									Min	Max	Min	Max	Min	Max				
- 43-45 3	6	1500	6080	1,290	12	23	74	13	8	1	2	0	2	9	3	48	1	6	M3	345	453	26					
- 61-65 5				2,150															F6	333	433	33					
A 41 1				0,430															G6	353	446	30					
A 61-65 5				2,150															H6	319	431	26					
V 41-45 5				2,150																							
V 61-65 5				2,150	22	71	112	4	1	1	1	3	6	4	37	1	5										
F 41-45 5				2,150	12	20	69	12	5	1	1	2	8	2	38	1	6										
D 61-65 5				2,150	12	20	69	12	5	1	1	2	8	2	38	1	6										
L 41-45 5				2,150	13	21	72	11	6	1	2	0	2	9	2	45	1	6									
L 62-65 4				1,720	12	21	65	14	10	1	0	2	11	3	44	1	5										
M 61-65 5				2,150	13	25	71	16	4	1	2	0	3	8	3	43	1	6									
I 62-64 3				1,290	13	25	71	16	4	1	2	0	3	8	3	43	1	6									
H 41-45 5				2,150	13	23	77	10	5	1	2	1	2	10	2	44	1	5									
J 41-45 5				2,150	14	18	72	12	7	1	1	0	2	11	2	48	1	6									
L 41-44 4				1,720	14	18	72	12	7	1	1	0	2	11	2	48	1	6									
L 61-64 4				1,720	12	25	72	12	3	1	1	2	10	2	37	1	6										
M 41-45 5				2,150	12	25	72	12	3	1	1	2	10	2	37	1	6										
M 63-65 3				1,290	13	22	74	13	3	1	1	0	2	7	3	42	1	6									
L 61-65 5				2,150	12	21	67	13	3	1	1	0	3	10	4	48	1	6									
H 41-45 5				2,150	12	21	67	13	3	1	1	0	3	10	4	48	1	6									
I 51-54 4				1,720																							

WE HEREBY CERTIFY THAT THE MATERIAL HEREIN HAS BEEN MADE AND TESTED IN ACCORDANCE WITH THE ABOVE SPECIFICATION AND ALSO WITH THE REQUIREMENT CALLED FOR BY THE ABOVE ORDER



PT. GUNAWAN DIANJAYA STEEL Tbk
General Quality Control Manager

Lampiran 2

Tabel ASTM A 36

TABLE 3 Tensile Requirements^A

Plates, Shapes, ^B and Bars:	
Tensile strength, ksi [MPa]	58–80 [400–550]
Yield point, min, ksi [MPa]	36 [250] ^C
Plates and Bars ^{D,E} :	
Elongation in 8 in. [200 mm], min, %	20
Elongation in 2 in. [50 mm], min, %	23
Shapes:	
Elongation in 8 in. [200 mm], min, %	20
Elongation in 2 in. [50 mm], min, %	21 ^B

^A See Specimen Orientation under the Tension Tests section of Specification A 6/A 6M.

^B For wide flange shapes over 426 lb/ft [634 kg/m], the 80 ksi [550 MPa] maximum tensile strength does not apply and a minimum elongation in 2 in. [50 mm] of 19 %, applies.

^C Yield point 32 ksi [220 MPa] for plates over 8 in. [200 mm] in thickness.

^D Elongation not required to be determined for floor plate.

^E For plates wider than 24 in. [600 mm], the elongation requirement is reduced two percentage points. See elongation requirement adjustments under the Tension Tests section of Specification A 6/A 6M.

Product	Shapes ^A	Plates ^B				
		To ¼ [20], incl	Over ¼ to 1½ [20 to 40], incl	Over 1½ to 2 ½ [40 to 65], incl	Over 2½ to 4 [65 to 100], incl	Over 4 [100]
Thickness, in. [mm]	All					
Carbon, max, %	0.26	0.25	0.25	0.26	0.27	0.29
Manganese, %	—	—	0.80–1.20	0.80–1.20	0.85–1.20	0.85–1.20
Phosphorus, max, %	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04
Sulfur, max, %	0.05	0.05	0.05	0.05	0.06	0.05
Silicon, %	0.40 max	0.40 max	0.40 max	0.15–0.40	0.15–0.40	0.15–0.40
Copper, min, % when copper steel is specified	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20

Lampiran 3

Spesifikasi Filler E6013 Kobelco

Weldability

Mechanical Properties of All Weld Metal

Table 2: Typical Mechanical Properties of All Weld Metal

	Yield Point		Tensile Strength		Elongation
	MPa	(ksi)	MPa	(ksi)	(%)
Example	450	(65)	510	(74)	25
Guaranty	≥330	(≥48)	≥410	(≥60)	≥17

Chemical Composition of All Weld Metal

Table 3: Typical Chemical Composition of All Weld Metal (mass%)

C	Mn	Si	P	S
0.08	0.37	0.30	0.012	0.010

RB-26 is a high titania oxide type welding electrode for mild steel. It is widely used for welding sheets of ships, rolling stocks and automobiles, for ornamental surfacing of thick plates.

General Characteristics

Workability

RB-26 possesses the following merits.

- As the arc is stable and penetration is shallow, it enables welding of 0.8mm sheets.
- Since spatter is rarely caused, beautiful beads can be obtained.
- Slag detachability is good.
- Downward welding in the vertical position becomes easy to carry out with this electrode and results in a beautiful bead appearance.
- Both AC and DC can be used.

Production Sizes and Recommended Welding Current

Table 1: Production sizes and recommended welding current (AC or DC ±)

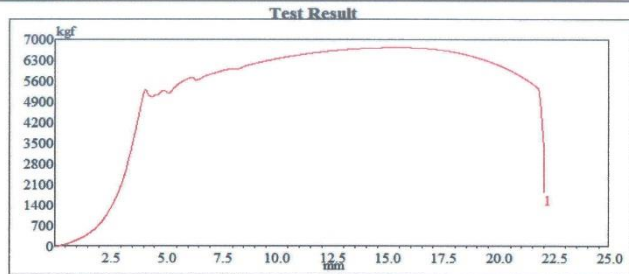
Electrode Diameter (mm)	2.6	3.2	4.0	5.0	
Electrode Length (mm)	350	350	400	400	
Current Range (Amp)	Flat Position	45 ~ 95	60 ~ 125	105 ~ 170	150 ~ 220
	Vertical & Overhead	45 ~ 95	60 ~ 125	100 ~ 150	125 ~ 190

Lampiran 8

Grafik Uji Tarik Benda 2 Arus 100 A



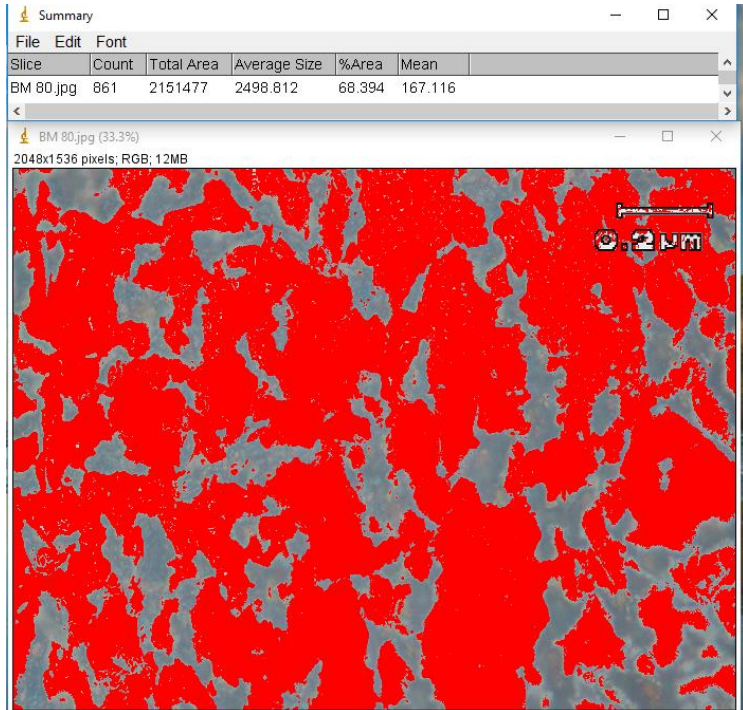
Laboratorium Metalurgi
 Departemen Teknik Material dan Metalurgi
 Fakultas Teknologi Industri
 Institut Teknologi Sepuluh Nopember - Surabaya



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
100 B2	18.80	8.00	150.40	5142.56	34.19	6736.77	44.79	BM
---	---	---	---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---	---	---	---

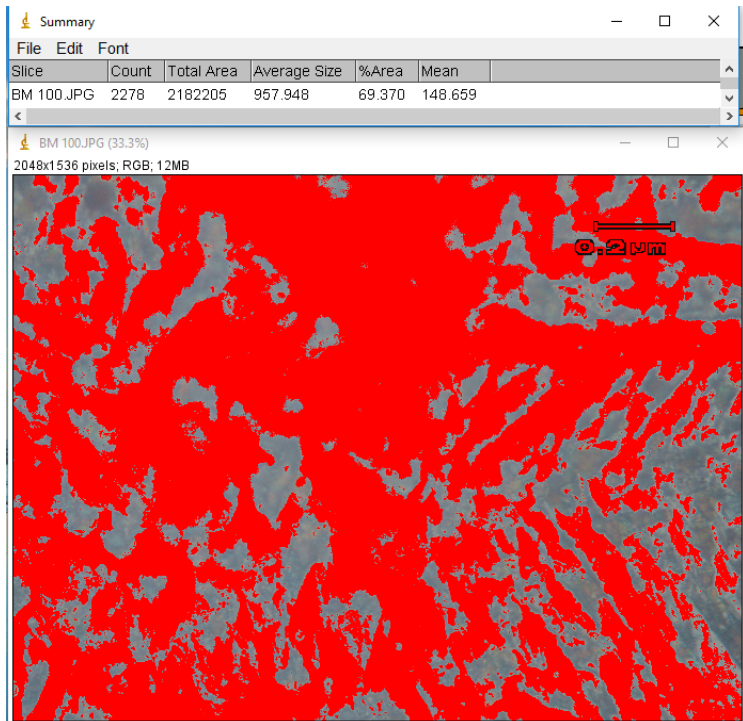
Lampiran 13

Foto ImageJ Struktur Mikro *Base Metal* pada Pengelasan 80 Ampere



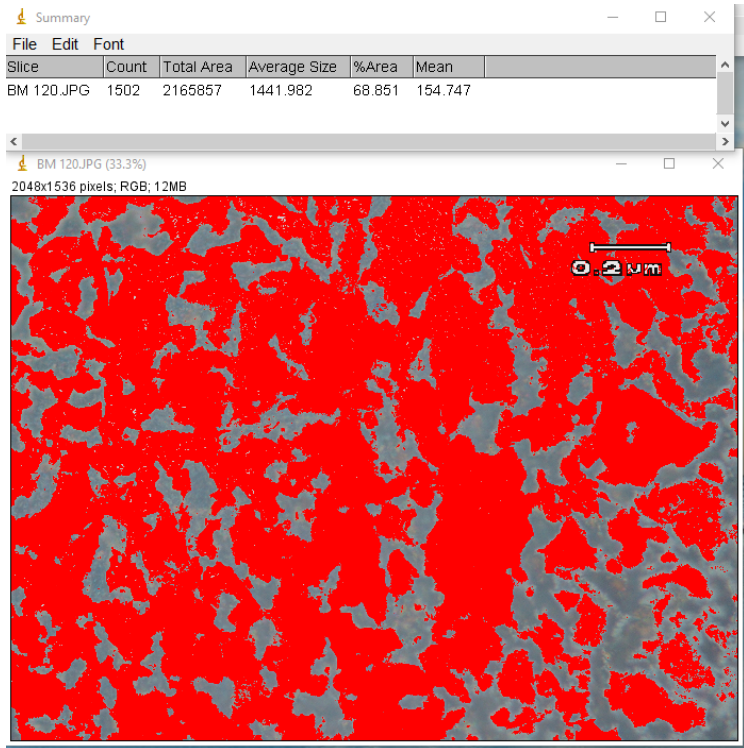
Lampiran 14

Foto ImageJ Struktur Mikro *Base Metal* pada Pengelasan 100 Ampere



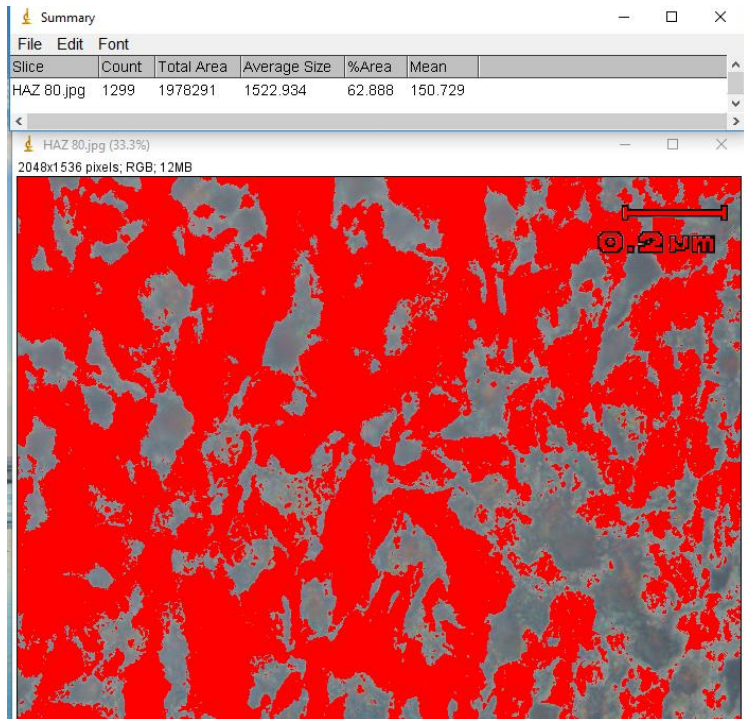
Lampiran 15

Foto ImageJ Struktur Mikro *Base Metal* pada Pengelasan 120 Ampere



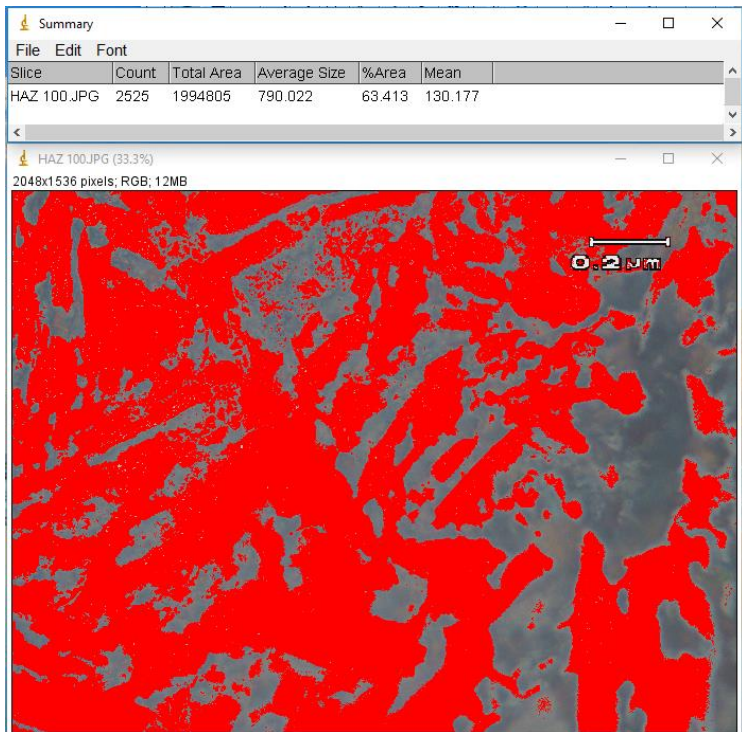
Lampiran 16

Foto ImageJ Struktur Mikro *HAZ* pada Pengelasan 80 Ampere



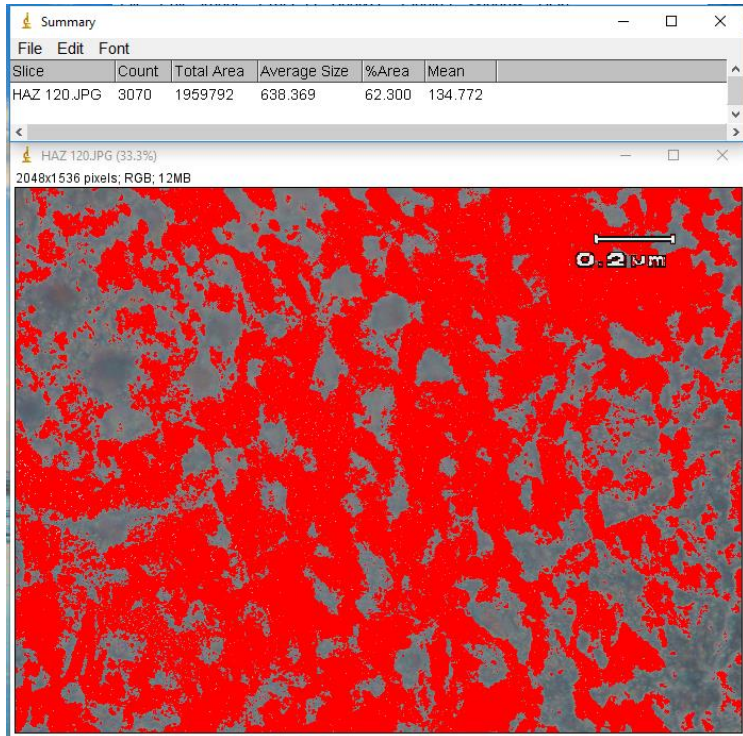
Lampiran 17

Foto ImageJ Struktur Mikro *HAZ* pada Pengelasan 100 Ampere



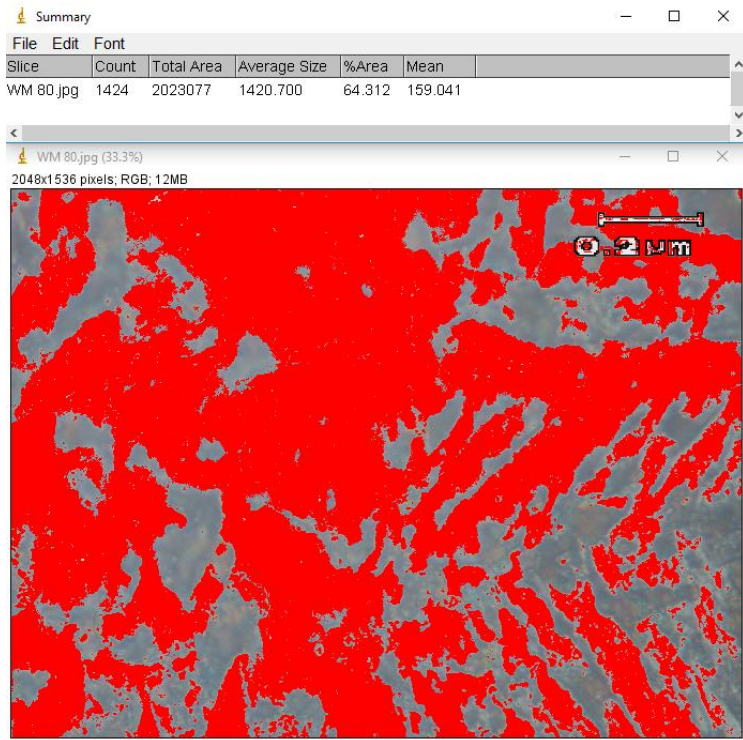
Lampiran 18

Foto ImageJ Struktur Mikro *HAZ* pada Pengelasan 120 Ampere



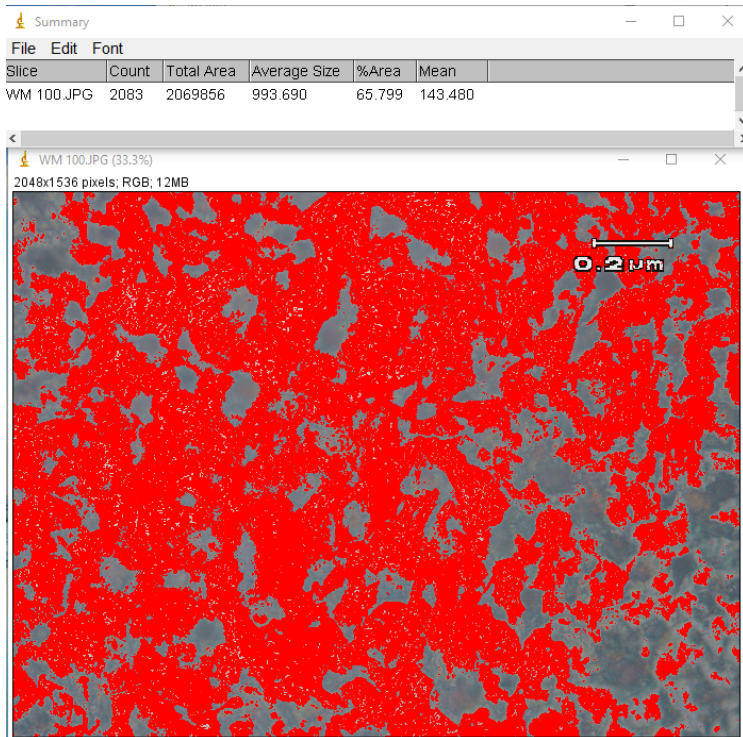
Lampiran 19

Foto ImageJ Struktur Mikro *Weld Metal* pada Pengelasan 80 Ampere



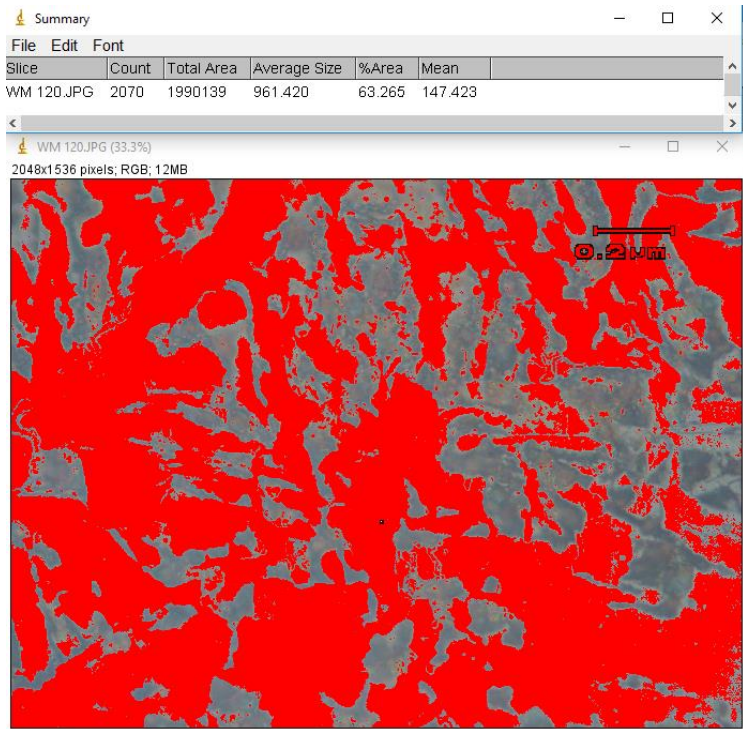
Lampiran 20

Foto ImageJ Struktur Mikro *Weld Metal* pada Pengelasan 100 Ampere



Lampiran 21

Foto ImageJ Struktur Mikro *Weld Metal* pada Pengelasan 120 Ampere



BIODATA PENULIS



Penulis yang memiliki nama lengkap Shafwan Dzakwan dilahirkan di Kota Jakarta, 11 Januari 1996. Penulis merupakan anak ketiga dari enam bersaudara. Penulis telah menempuh pendidikan formal yaitu, SDIT Iqro Bekasi, SMP Putra 1 Jakarta, dan SMA Negeri 5 Bekasi. Pada tahun 2015 Penulis diterima di Jurusan D3 Teknik Mesin Industri FV-ITS dalam bidang studi manufaktur. Penulis sempat melakukan Kerja Praktek di PT. CNC CONTROLLER INDONESIA yang merupakan pabrik manufaktur pemesinan di Bekasi selama 1 bulan.

Penulis juga sempat aktif di beberapa kegiatan yang diadakan oleh Himpunan D3 Teknik Mesin ITS, mulai dari pelatihan sebagai peserta maupun panitia. Kegiatan yang pernah diikutinya antara lain : Menjadi Staff Ahli Hubungan Luar HMDM FV-ITS Periode 2016-2017 dan menjadi bagian dari Kru ITS TV Periode 2016-2018.

Pelatihan yang pernah diikuti penulis : Pelatihan Karya Tulis Ilmiah HMDM FTI-ITS (2015), Pelatihan Motor Bakar HMDM FTI-ITS (2015), Pelatihan LKMM Pra-Tingkat Dasar (Pra-TD) FTI-ITS (2015), Pelatihan Jurnarlistik Tingkat Dasar (PJTD) HMDM FTI-ITS (2015), Pelatihan LKMM Tingkat Dasar (TD) IX HMDM FTI-ITS (2016), Pelatihan Jurnarlistik Tingkat Lanjut (PJTL) FTI_ITS (2016)

Email : shofwandzak@gmail.com