

**STUDI PENGARUH VARIASI ARUS E420-13 LOKAL DAN
E6013 IMPOR TERHADAP SIFAT MEKANIK DAN
STRUKTUR MIKRO PADA PLAT ASTM A36 DENGAN
METODE PENGELASAN SMAW**

SKRIPSI

Dibuat untuk memenuhi syarat mendapatkan gelar Sarjana Teknik dari Jurusan
Teknik Metalurgi Universitas Sultan Ageng Tirtayasa



Oleh:

MUHAMMAD AE HAZIEMILL AKBAR
3334190101

**JURUSAN TEKNIK METALURGI FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS SULTAN AGENG TIRTAYASA
CILEGON - BANTEN**

2024

LEMBAR PENGESAHAN

**STUDI PENGARUH VARIASI ARUS E420-13 LOKAL DAN
E6013 IMPOR TERHADAP SIFAT MEKANIK DAN
STRUKTUR MIKRO PADA PLAT ASTM A36 DENGAN
METODE PENGELASAN SMAW**

SKRIPSI

Disusun untuk memenuhi syarat mendapat gelar Sarjana Teknik dari Jurusan
Teknik Metalurgi Universitas Sultan Ageng Tirtayasa

Disetujui untuk Jurusan Teknik Metalurgi oleh:

Pembimbing I



Yeni Muriani Zulaida S.T., M.T
NIP. 197401032005012001

Pembimbing II



Dr.-Ing. H. Agus Suhartono
NIP. 196709031992021001

LEMBAR PERSETUJUAN

**STUDI PENGARUH VARIASI ARUS E420-13 LOKAL DAN
E6013 IMPOR TERHADAP SIFAT MEKANIK DAN
STRUKTUR MIKRO PADA PLAT ASTM A36 DENGAN
METODE PENGELASAN SMAW**

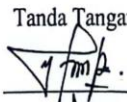

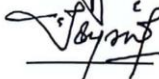
SKRIPSI

Disusun dan diajukan oleh:

Muhammad Ae Haziemill Akbar

3334190101

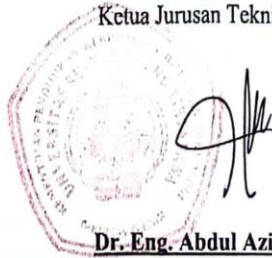
Telah disidangkan di depan dewan penguji pada tanggal 19 Januari 2024

	Susunan Dewan Penguji	Tanda Tangan
Penguji I	: Yeni Muriani Zulaida S.T., M.T.	
Penguji II	: Dr.-Ing. H. Agus Suhartono	
Penguji III	: Suryana S.T., M.Si.	

Skripsi ini telah diterima sebagai salah satu persyaratan untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik

Mengetahui,

Ketua Jurusan Teknik Metalurgi



Dr. Eng. Abdul Aziz S.T., M.T.
NIP. 198003072005011002

LEMBAR PERNYATAAN

Dengan ini saya sebagai penulis Skripsi berikut:

Judul : Studi Pengaruh Variasi Arus E420-13 Lokal dan E6013 Impor Terhadap Sifat Mekanik dan Struktur Mikro pada Plat ASTM A36 Dengan Metode Pengelasan SMAW

Nama Mahasiswa : Muhammad Ae Haziemill Akbar

NIM : 3334190101

Fakultas : Teknik

Menyatakan dengan sesungguhnya bahwa Skripsi tersebut di atas adalah benar-benar hasil karya asli saya dan tidak memuat hasil karya orang lain, kecuali dinyatakan melalui rujukan yang benar dan dapat dipertanggungjawabkan. Apabila dikemudian hari ditemukan hal-hal yang menunjukkan bahwa sebagian atau seluruh karya ini bukan karya saya, maka saya bersedia dituntut melalui hukum yang berlaku. Saya juga bersedia menanggung segala akibat hukum yang timbul dari pernyataan yang secara sadar dan sengaja saya nyatakan melalui lembar ini.

Cilegon, 19 Februari 2024



Muhammad Ae Haziemill Akbar

NIM. 3334190101

ABSTRAK

Pertumbuhan industri kawat las saat ini sedang berkembang dengan pesat. Industri kawat las dalam negeri dengan berbagai produsen seperti E6013 Impor merupakan salah satu market *leader* di Indonesia. Mengingat meningkatnya pertumbuhan industri kawat las dalam negeri yang memasuki pasar antara lain E420-13 Lokal. Pada industri kawat las masih banyak elektroda yang belum terstandarisasi sesuai dengan standar yang mengacu kepada standar AWS A5.1 Elektroda disebut dengan kawat las yang merupakan sebuah benda yang berbentuk stick yang digunakan dalam proses pengelasan untuk proses penyambungan dua logam dengan menggunakan energi listrik. Jenis elektroda akan mempengaruhi hasil pengelasan dan kuat arus akan mempengaruhi hasil pengelasan, dikarenakan arus yang tepat akan menghasilkan penetrasi yang baik.

Penelitian ini dilakukan pada elektroda yang masih belum terstandarisasi dan dibandingkan dengan elektroda yang sudah terstandarisasi sesuai dengan standar. Pada penelitian ini menggunakan elektroda sesuai dengan standar AWS E6013 menggunakan plat ASTM A36 dengan menggunakan variasi arus 120 A, 155 A dan 190 A. Hal tersebut dilakukan untuk mengetahui perbandingan dan mengetahui kualitas hasil sambungan lasan dari kedua elektroda dan variasi arus yang digunakan. Pengujian dilakukan pada hasil sambungan lasan, pengujian yang dilakukan adalah pengujian XRF untuk mengetahui persentase *flux*, pengujian radiografi untuk mengetahui cacat yang dihasilkan pada proses pengelasan, pengujian mekanik seperti pengujian tarik, dampak, dan bending, dan pengujian metalografi untuk mengetahui fasa strukturmikro yang terbentuk pada hasil sambungan lasan. Dari hasil yang didapatkan bahwa elektroda E6013 Impor lebih baik memiliki karakteristik yang lebih baik dibandingkan dengan E420-13 Lokal

***Kata kunci:* E420-13, E6013, SMAW, Arus, Flux**

KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis ucapkan kehadirat Tuhan Yang Maha Esa atas berkat dan karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi ini. Penyusunan skripsi ini dilaksanakan guna memenuhi syarat mendapatkan gelar Sarjana Teknik dari jurusan Teknik Metalurgi Universitas Sultan Ageng Tirtayasa. Penulis menyadari bahwa tanpa adanya bantuan dari berbagai pihak sangatlah sulit bagi penulis untuk menyelesaikan skripsi ini. Maka dari itu, penulis mengucapkan banyak terima kasih kepada:

1. Kedua orang tua penulis Ayahanda alm. Anhar A.K dan Ibunda almh. Ema Suryani yang tercinta yang telah melahirkan, membesarkan dan mendidik penulis tidak henti-hentinya membantu dalam penyelesaian Skripsi ini.
2. Bapak Adhitya Trenggono, S.T., M.Sc. selaku Ketua Jurusan Teknik Metalurgi, Fakultas Teknik Universitas Sultan Ageng Tirtayasa;
3. Ibu Yeni Muriani Zulaida, S.T., M.T. sebagai Pembimbing I dan Bapak Dr.-Ing. H. Agus Suhartono sebagai pembimbing II dari Badan Riset dan Inovasi Nasional (BRIN) Serpong yang telah membantu dalam pengerjaan skripsi ini.
4. Ibu Ir. Soesaptri Oediyani, M.E. sebagai Dosen Pembimbing Akademik yang telah membantu penulis dalam bidang akademik dan membantu dalam skripsi penulis.
5. Phutree Anggia dan Putra Nikita sebagai kakak kandung penulis yang selalu memberikan semangat kepada penulis selama proses pengerjaan skripsi ini.
6. Keluarga besar penulis yang senantiasa mendoakan dan memberikan dukungan kepada penulis selama proses pengerjaan skripsi ini.
7. Teman-teman seperjuangan Teknik Metalurgi angkatan 2019 yang sudah membantu dalam menyelesaikan proposal skripsi ini dan memberikan semangat serta dukungan kepada penulis.

Penulis menyadari bahwa masih terdapat kesalahan serta kekurangan. Untuk itu, penulis mengharapkan kritik serta saran dari pembaca agar skripsi ini menjadi lebih baik. Penulis berharap semoga skripsi ini dapat bermanfaat bagi pembaca atau sebagai bahan kajian serta studi sebagai sumber referensi. Atas perhatiannya, penulis mengucapkan terima kasih.

Cilegon, 19 Februari 2024



Muhammad Ae Haziemill Akbar

DAFTAR ISI

	Halaman
HALAMAN JUDUL.....	i
LEMBAR PENGESAHAN.....	ii
LEMBAR PERSETUJUAN.....	iii
LEMBAR PERNYATAAN.....	iv
ABSTRAK.....	vi
KATA PENGANTAR.....	vii
DAFTAR ISI.....	viii
DAFTAR TABEL.....	xi
DAFTAR GAMBAR.....	xii
 BAB I PENDAHULUAN	
1.1 LatarBelakang.....	1
1.2 Identifikasi Masalah	4
1.3 Tujuan Penelitian.....	4
1.4 Ruang Lingkup Penelitian.....	5
1.6 Sistematika Penulisan.....	5
 BAB II TINJAUAN PUSTAKA	
2.1 Baja.....	7
2.2 Sifat Mekanik	9
2.3 Pengelasan.....	11
2.3.1 Arus Pengelasan.....	12
2.3.2 Polaritas	13
2.3.3 Sudut Kampuh V	15

2.3.4 Sambungan V <i>Butt Joint</i>	16
2.3.5 Posisi Pengelasan.....	16
2.4 <i>Shielded Arc Metal Welding</i> (SMAW).....	17
2.4.1 Parameter Proses SMAW.....	19
2.4.2 Keuntungan Menggunakan Proses SMAW.....	21
2.4.3 Cacat Pengelasan SMAW.....	21
2.5 Elektroda E6013.....	25
2.5.1 Karakteristik <i>Flux</i>	28
2.5.2 Karakteristik Oksida Logam.....	30
2.6 Pengujian Tarik.....	33
2.7 Pengujian Impak.....	35
2.8 Pengujian <i>Bending</i>	36

BAB III METODE PENELITIAN

3.1 Diagram Alir Penelitian.....	38
3.2 Alat dan Bahan.....	39
3.2.1 Alat yang digunakan.....	39
3.2.2 Bahan yang digunakan.....	40
3.3 Prosedur Penelitian.....	41

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Pengujian Komposisi <i>Flux</i> E420-13 Lokal dan E6013 Impor.....	47
4.2 Pengujian Radiografi E420-13 Lokal dan E6013 Impor.....	49
4.3 Pengujian Tarik E420-13 Lokal dan E6013 Impor.....	58
4.4 Pengujian Impak E420-13 Lokal dan E6013 Impor.....	60
4.5 Pengujian <i>Bending</i> E420-13 Lokal dan E6013 Impor.....	67
4.6 Pengujian Metalografi E420-13 Lokal dan E6013 Impor.....	70

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan	78
5.2 Saran.....	79
DAFTAR PUSTAKA.....	80
LAMPIRAN A PERHITUNGAN.....	83
LAMPIRAN B DATA HASIL PENELITIAN.....	89
LAMPIRAN C GAMBAR ALAT DAN BAHAN.....	92

DAFTAR TABEL

Tabel	Halaman
Tabel 2.1 Klasifikasi Baja Karbon	7
Tabel 2.2 Komposisi Kimia Plat ASTM A36	8
Tabel 2.3 Sifat Mekanik Plat ASTM A36	9
Tabel 2.4 Spesifikasi besar arus menurut tipe elektroda	12
Tabel 2.5 Spesifikasi Proses Pengelasan	18
Tabel 2.6 Klasifikasi Elektroda	27
Tabel 4.1 Komposisi Elektroda E420-13 Lokal	47
Tabel 4.2 Komposisi Elektroda E6013 Impor	48
Tabel 4.3 Data Cacat Pengelasan E420-13 Lokal 120 A	50
Tabel 4.4 Data Cacat Pengelasan E420-13 Lokal 155 A	52
Tabel 4.5 Data Cacat Pengelasan E420-13 Lokal 190 A	53
Tabel 4.6 Data Cacat Pengelasan E6013 Impor 120 A	55
Tabel 4.7 Data Cacat Pengelasan E6013 Impor 155 A	56
Tabel 4.8 Data Cacat Pengelasan E6013 Impor 190 A	57
Tabel 4.9 Hasil Pengujian Tarik	58
Tabel 4.10 Hasil Pengujian Impak Suhu -20	61
Tabel 4.11 Hasil Pengujian Impak Suhu 0	62
Tabel 4.12 Hasil Pengujian Impak Suhu 20	62
Tabel 4.13 Hasil Pengujian <i>Bending</i>	68

DAFTAR GAMBAR

Gambar	Halaman
Gambar 1.1 (a) E420-13 Lokal (b) E6013 Impor	2
Gambar 2.1 Daerah Lasan	11
Gambar 2.2 Tipe Sambungan Las <i>Single V-Butt Joint</i>	16
Gambar 2.3 Posisi Pengelasan 1G	17
Gambar 2.4 Proses Pengelasan SMAW	18
Gambar 2.5 <i>Lack of fusion</i>	22
Gambar 2.6 <i>Slag Inclusion</i>	22
Gambar 2.7 <i>Overlap</i>	23
Gambar 2.8 <i>Undercut</i>	23
Gambar 2.9 <i>Underfill</i>	23
Gambar 2.10 <i>Porosity</i>	24
Gambar 2.11 <i>Pin hole</i>	24
Gambar 2.12 <i>Spatter</i>	25
Gambar 2.13 Elektroda Las	26
Gambar 2.14 Skema Peralatan Uji Tarik	34
Gambar 2.15 Kurva Parameter Uji Tarik	34
Gambar 2.16 Contoh Hasil Kurva Uji Tarik	35
Gambar 2.17 Skema Uji Impak	37
Gambar 2.18 Skema Uji <i>Bending</i>	38
Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian	39
Gambar 3.2 Sketsa Pemotongan Sampel	41
Gambar 3.3 Sketsa Spesimen	42
Gambar 3.4 Spesimen Uji Tarik	44
Gambar 3.5 Spesimen Uji Impak	45
Gambar 3.6 Sketsa Uji <i>Bending</i>	46
Gambar 4.1 Hasil Radiografi E420-13 Lokal 120 A	51

Gambar 4.2 Hasil Radiografi E420-13 Lokal 155 A	52
Gambar 4.3 Hasil Radiografi E420-13 Lokal 190 A	54
Gambar 4.4 Hasil Radiografi E6013 Impor 120 A	55
Gambar 4.5 Hasil Radiografi E6013 Impor 155 A	56
Gambar 4.6 Hasil Radiografi E6013 Impor 190 A	57
Gambar 4.7 Pengaruh Arus Terhadap <i>Ultimate Strength</i> E420-13 Lokal	59
Gambar 4.8 Pengaruh Arus Terhadap <i>Ultimate Strength</i> E6013 Impor	59
Gambar 4.9 Grafik Harga Impak Terhadap Temperatur E420-13 Lokal dan E6013 Impor 120 A	63
Gambar 4.10 Grafik Harga Impak Terhadap Temperatur E420-13 Lokal dan E6013 Impor 155 A	64
Gambar 4.11 Grafik Harga Impak Terhadap Temperatur E420-13 Lokal dan E6013 Impor 190 A	65
Gambar 4.12 Permukaan Patahan Pada Elektroda E420-13 Lokal	66
Gambar 4.13 Permukaan Patahan Pada Elektroda E6013 Impor	67
Gambar 4.14 Retak Pada E420-13 Lokal	69
Gambar 4.15 Sketsa Retak Pada E6013 Impor	69
Gambar 4.16 Hasil Metalografi E6013 Impor	73
Gambar 4.17 Hasil Metalografi E420-13 Lokal	74
Gambar 4.18 (a) Daerah <i>Base Metal</i> (b) Daerah HAZ (c) Daerah <i>Weld Metal</i> E6013 Impor	75
Gambar 4.19 (a) Daerah <i>Base Metal</i> (b) Daerah HAZ (c) Daerah <i>Weld Metal</i> E420-13 Lokal	78
Gambar B1. Data Uji <i>Bending</i> E6013 Impor	90
Gambar B2. Data Uji <i>Bending</i> E420-13 Lokal	90
Gambar B3. Data Uji Tarik E6013	90
Gambar B4. Data Uji Tarik E6013	90
Gambar B5. E420-13 Lokal 120 A	90
Gambar B6. E420-13 Lokal 155 A	90

Gambar B7. E420-13 Lokal 190A	91
Gambar B8. E6013 Impor 120A	91
Gambar B9. E6013 Impor 155A	91
Gambar B10. E6013 impor 190A	91
Gambar B11. <i>Mounting</i> E420-13 Lokal	91
Gambar B12. <i>Mounting</i> E6013 Impor	91
Gambar C1. Apron Las	93
Gambar C2. Gerinda	93
Gambar C3. Helm Las	93
Gambar C4. Meja Las	93
Gambar C5. Mesin <i>Cutting</i>	93
Gambar C6. Mesin <i>Grinding</i>	93
Gambar C7. Mesin Las	94
Gambar C8. Mikroskop Optik	94
Gambar C9. <i>Oven</i>	94
Gambar C10. Palu	94
Gambar C11. Radiografi	94
Gambar C12. Sarung Tangan	94
Gambar C13. Tang Ampere	95
Gambar C14. <i>Thermogun</i>	95
Gambar C15. Uji <i>Bending</i>	95
Gambar C16. Uji Impak	95
Gambar C17. Uji Tarik	95
Gambar C18. Uji XRF 90	95
Gambar C.19 <i>Clarocit Liquid</i>	96
Gambar C20. <i>Clarocit Powder</i>	96
Gambar C21. <i>Developer</i>	96
Gambar C22. <i>DP-Paste 6</i>	96
Gambar C23. <i>DP-Paste ¼</i>	96
Gambar C24. E420-13 Lokal	96
Gambar C25. <i>Fixer</i>	96

Gambar C26. Plat ASTM A36

96

Gambar C27 E6013 Impor

97

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Dalam era pembangunan yang pesat seperti saat ini teknologi pengelasan telah banyak dipergunakan secara luas pada penyambungan logam baik dibidang industri manufaktur maupun pembangunan infrastruktur. Agar mampu bersaing maka setiap industri harus menghasilkan suatu produk yang berkualitas. Salah satu penunjang faktor kualitas suatu produk adalah material sebagai bahan baku dalam industri manufaktur maupun infrastruktur. Pertumbuhan Pembangunan konstruksi logam pada masa sekarang ini banyak melibatkan unsur pengelasan, khususnya bidang rancang bangunan karena sambungan las merupakan salah satu pembuatan sambungan secara teknis memerlukan keterampilan khusus. Penggunaan teknik pengelasan dalam konstruksi sangat luas meliputi perkapalan, jembatan, rangka baja, bejana tekan, sarana transportasi, rel kereta api, pipa saluran dan lain sebagainya.

Pertumbuhan industri kawat las saat ini sedang berkembang dengan pesat. Industri kawat las dalam negeri dengan berbagai produsen seperti E6013 Impor merupakan salah satu market *leader* di Indonesia. Mengingat meningkatnya pertumbuhan industri kawat las dalam negeri yang memasuki pasar antara lain E420-13 Lokal. Semakin banyak produsen kawat las dengan berbagai tipe yang dikeluarkan menyebabkan konsumen akan menentukan pilihannya pada produsen tertentu dengan faktor pertimbangan seperti harga, kualitas, pelayanan penjualan,

pengiriman dan sebagainya (Amin, 2019).

E420-13 Lokal merupakan salah satu perusahaan yang masuk ke dalam industri kawat las dengan menjual produk seperti elektroda E6013. Fenomena pada penelitian ini terdapat pada elektroda E420-13 Lokal. Elektroda tersebut dapat dikatakan tidak seperti elektroda pada jenis *high titania* pada umumnya. Dapat dilihat dari perbedaan warna dari E420-13 Lokal dan E6013 Impor. Elektroda E420-13 Lokal masih belum tersertifikasi dan belum bisa di pasarkan kepada konsumen, dikarenakan membutuhkan pengujian terhadap elektroda tersebut dengan melakukan proses pengelasan pada material baja karbon rendah dengan menggunakan variasi kuat arus yang sesuai pada standar AWS A5.1 serta melakukan beberapa pengujian sifat mekanik untuk melihat hasil sambungan las elektroda tersebut sudah memenuhi kriteria sesuai dengan SNI 07-0049-1987. Pada penelitian ini pun terlihat ketidakstabilan pada elektroda E420-13 Lokal pada saat proses pengelasan yang disebabkan komposisi *flux* yang berbeda dengan jenis elektroda yang sudah tersertifikasi seperti E6013 Impor.



(a)



(b)

Gambar 1.1 (a) E420-13 Lokal (b) E6013 Impor

Pada penelitian ini menggunakan bahan material baja karbon rendah yaitu pelat ASTM A36 dengan sudut kampuh yang digunakan 45° dan menggunakan posisi pengelasan 1G (*Down Hand*). Elektroda E420-13 Lokal dan E6013 Impor

dengan menggunakan metode pengelasan *Shielded Metal Arc Welding* (SMAW) yang merupakan proses pengelasan menggunakan kawat elektroda yang terbungkus *flux*. *Flux* digunakan untuk melapisi elektroda, sehingga akan mencair dan membentuk terak dan gas yang akan melindungi logam cair yang terkumpul pada sambungan dan benda kerja sebagai penghalang oksida (Rusnaldy, 2017).

Berdasarkan uraian di atas, salah satu faktor utama yaitu pengaruh jenis elektroda yang digunakan dalam proses pengelasan pada material baja karbon rendah terhadap sifat mekanik. Untuk mengetahuinya, maka dilakukan beberapa pengujian sifat mekanik yang sesuai dengan standar SNI 07-0049-1987. Dari hasil pengelasan dengan menggunakan elektroda E420-13 Lokal dan E6013 Impor dengan menggunakan variasi arus 120 A, 155 A dan 190 A yang sesuai dengan standar AWS D1.1.

Tujuan penelitian ini untuk mengetahui karakteristik komposisi *flux* pada E420-13 Lokal pada hasil sambungan lasan dan dibandingkan dengan E6013 Impor yang sudah tersertifikasi, sebagai acuan untuk E420-13 Lokal. Penelitian ini fokus untuk mengetahui karakteristik komposisi *flux*, sifat mekanik dan struktur mikro elektroda E420-13 Lokal yang akan diteliti, apakah sudah memenuhi kriteria sesuai standar SNI 07-0049-1987. Hipotesis penelitian ini adalah karakteristik komposisi *flux* pada elektroda E420-13 Lokal akan mempengaruhi hasil sambungan lasan yang terdapat cacat pengelasan serta mengubah kekuatan sifat mekanik dan fasa yang terbentuk pada pengujian metalografi.

1.2 Identifikasi Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah diuraikan, maka identifikasi masalah yang akan dilihat pada penelitian ini antara lain:

1. Menurut Rosidi, Elektroda E6013 SNI dan elektroda E420-13 Non SNI dengan standar AWS E6013 mempunyai sifat mekanis yang berbeda ditandai dengan penetrasi, kekuatan tarik, dampak dan struktur mikro yang berbeda. Hasil pengujian sifat mekanis dengan elektroda E6013 Impor SNI lebih baik dibandingkan E420-13 Lokal Non SNI.
2. Menurut Amin Suhadi, Struktur mikro untuk sampel non SNI pada daerah HAZ memiliki butiran *ferrite* yang lebih besar dan kasar dibandingkan dengan sampel SNI, pada daerah inti las juga terlihat *pearlite* dengan ukuran yang besar dan berbentuk runcing. Ini mengindikasikan bahwa di sekitar batas butir fasa ini memiliki kekerasan yang lebih tinggi dibandingkan fasa yang ada ditengahnya. Hal ini akan menyebabkan konsentrasi tegangan lebih besar di daerah tersebut, sehingga terjadi patahan tanpa adanya pergeseran butir dan keuletannya akan menurun dibandingkan dengan sampel SNI.

1.3 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan penelitian yang ingin dicapai pada penelitian ini antara lain:

1. Mengetahui pengaruh variasi arus pada elektroda E420-13 Lokal dan E6013 Impor pada sambungan las terhadap sifat mekanik yang meliputi uji tarik, uji dampak dan uji *bending*.
2. Mengetahui pengaruh variasi arus serta komposisi *flux* pada elektroda E420-

13 Lokal dan E6013 Impor pada sambungan las terhadap struktur mikro dengan menggunakan metode pengelasan SMAW.

3. Mengetahui pengaruh komposisi *flux* elektroda E420-13 Lokal dan E6013 Impor terhadap cacat pada pengelasan sesuai dengan standar SNI 07-0049-1987.

1.4 Ruang Lingkup Penelitian

Ruang lingkup pada penelitian ini antara lain:

1. Penelitian ini dilakukan di Balai Besar Pelatihan Vokasi dan Produktivitas (BBPVP) Serang dan di Laboratorium Teknologi Kekuatan Struktur
2. Pengelasan ini dilakukan dengan posisi 1G (*Down Hand*) menggunakan metode pengelasan SMAW dengan menggunakan elektroda E420-13 Lokal dan E6013 Impor.
3. Bahan yang digunakan pada penelitian ini yaitu baja karbon rendah ASTM A36 dengan ketebalan material 10 mm.
4. Penelitian ini menggunakan variasi arus sebesar 120 A, 155 A, dan 190 A sesuai dengan standar AWS A5.1.
5. Sambungan las yang digunakan pada penelitian ini yaitu *Single V Butt Joint* dengan sudut kampuh 45°.

1.5 Sistematika Penulisan

Sistematika penulisan skripsi ini terdiri dari 5 bab. Bab I terdiri atas latar belakang penelitian, tujuan percobaan, rumusan masalah, hipotesis penelitian dan sistematika penulisan. Bab II merupakan tinjauan pustaka berisi teori dasar dari

literatur pengelasan SMAW, baja karbon rendah ASTM A36, elektroda E6013, faktor-faktor yang mempengaruhi proses pengelasan, posisi pengelasan dan parameter proses pengelasan SMAW sebagai penunjang penelitian ini. Bab III merupakan metode penelitian berisi diagram alir penelitian dan prosedur yang digunakan saat penelitian. Bab IV menjelaskan mengenai hasil penelitian dan analisis hasil dari data yang sudah didapatkan. Bab V merupakan kesimpulan pada penelitian serta saran untuk penelitian lebih lanjut. Daftar pustaka berisi buku, jurnal dan yang digunakan sebagai referensi dalam penyusunan laporan penelitian tugas akhir ini. Lampiran berisi contoh perhitungan dari data hasil penelitian yang telah dilakukan, gambar alat, dan bahan yang digunakan untuk menunjang dalam penelitian.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Baja

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 (Jordi, 2017). Dapat dilihat pada Tabel 2.1 klasifikasi baja karbon.

Tabel 2.1 Klasifikasi Baja Karbon (BSN. 2016)

Jenis	Kadar Karbon (%)	Kekuatan Luluh (Kg.mm ²)	Kekuatan Tarik (Kg.mm ²)	Kekuatan 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	112-115	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

1. Baja Karbon Rendah (*Low Carbon Steel*)

Baja karbon rendah mengandung karbon antara 0,10% sampai dengan 0,30% C. Baja karbon ini dalam penjualan kepada konsumen dibuat dalam plat baja, baja strip dan baja batangan.

2. Baja Karbon Sedang (*Medium Carbon Steel*)

Baja karbon sedang mengandung karbon antara 0,30% sampai dengan 0,60% C. Baja karbon sedang ini banyak digunakan untuk keperluan alat-alat perkakas bagian mesin jugsan dapat digunakan untuk industri kendaraan, roda gigi, pegas, dan sebagainya.

3. Baja Karbon Tinggi (*High Carbon Steel*)

Baja karbon tinggi mengandung kadar karbon antara 0,60% sampai dengan 1,7% C. Baja ini mempunyai kekuatan tarik paling tinggi dan banyak digunakan untuk *material tools*. Salah satu aplikasi dari baja ini adalah dalam pembuatan kawat baja dan kabel baja. Berdasarkan jumlah karbon yang terkandung didalam baja maka baja karbon ini banyak digunakan dalam pembuatan pegas, alat-alat perkakas seperti: palu, gergaji atau pahat potong.

Tabel 2.2 Komposisi Kimia Plat ASTM A36 (ASTM, 2019)

Kandungan Unsur	Nilai (%)
C	$\leq 0,29$
Mn	0,6-0,9
P	$\leq 0,04$
S	$\leq 0,05$
Si	$\leq 0,4$

Dapat dilihat pada Tabel 2.2 merupakan komposisi pada plat ASTM A36 yang di gunakan pada penelitian kali ini dengan kandungan unsur C, Mn, P, S, dan Si. Jenis plat ASTM A36 ini termasuk ke dalam jenis baja karbon rendah.

Tabel 2.3 Sifat Mekanik Plat ASTM A36 (ASTM, 2019)

<i>Tensile Strength</i> (Mpa)	<i>Yield Strength</i> (Mpa)	<i>Elongation</i> (%)
400-550	>250	>23

Dapat dilihat pada Tabel 2.3 merupakan komposisi sifat mekanik plat ASTM A36 dengan memiliki kekuatan tarik sebesar 400-550 Mpa, Yield Strength sebesar 250 Mpa dan Persen elongasi sebesar 23%.

2.2 Sifat Mekanik Baja

Material memiliki sifat diantaranya sifat mekanik yaitu sifat yang menyatakan kemampuan suatu material untuk menerima beban, gaya dan energi tanpa menimbulkan kerusakan pada material tersebut. Sifat mekanik adalah sifat yang menunjukkan kelakuan material apabila material tersebut diberikan beban mekanik (statik atau dinamik). Sifat mekanik diantaranya adalah: (Hidayat, 2019)

1. Kekuatan (*Strength*)

Merupakan kemampuan suatu material untuk menerima tegangan tanpa menyebabkan material menjadi patah. Berdasarkan pada jenis beban yang bekerja, kekuatan dibagi dalam beberapa macam yaitu kekuatan tarik, kekuatan geser, kekuatan tekan, kekuatan torsi, dan kekuatan lengkung.

2. Kekakuan (*Stiffness*)

Adalah kemampuan suatu material untuk menerima tegangan/beban tanpa mengakibatkan terjadinya deformasi atau difleksi.

3. Elastisitas (*Elasticity*)

Didefinisikan sebagai kemampuan material untuk menerima tegangan tanpa mengakibatkan terjadinya perubahan bentuk yang permanen setelah tegangan dihilangkan, atau dengan kata lain kemampuan material untuk kembali ke bentuk dan ukuran semula setelah mengalami deformasi (perubahan bentuk).

4. Plastisitas (*Plasticity*)

Adalah kemampuan material untuk mengalami deformasi plastik (perubahan bentuk secara permanen) tanpa mengalami kerusakan. Material yang mempunyai plastisitas tinggi dikatakan sebagai material yang ulet (*ductile*), sedangkan material yang mempunyai plastisitas rendah dikatakan sebagai material yang getas (*brittle*).

5. Keuletan (*Ductility*)

Adalah suatu sifat material yang digambarkan seperti kabel dengan aplikasi kekuatan tarik. Material ductile ini harus kuat dan lentur. Keuletan biasanya diukur dengan suatu periode tertentu, persentase keregangan. Sifat ini biasanya digunakan dalam bidang perteknikan, dan bahan yang memiliki sifat ini antara lain besi lunak, tembaga, aluminium, nikel, dll.

6. Ketangguhan (*Toughness*)

Merupakan kemampuan material untuk menyerap sejumlah energi tanpa

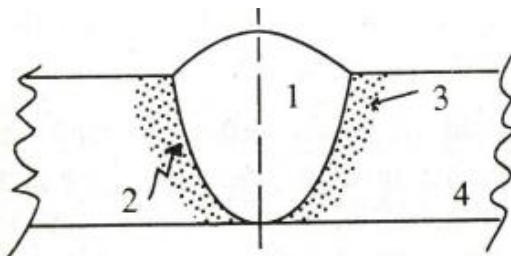
mengakibatkan terjadinya kerusakan.

7. Kegetasan (*Brittleness*)

Adalah suatu sifat bahan yang mempunyai sifat berlawanan dengan keuletan. Kerapuhan ini merupakan suatu sifat pecah dari suatu material dengan sedikit pergeseran permanent. Material yang rapuh ini juga menjadi sasaran pada beban regang, tanpa memberi regangan yang terlalu besar.

2.3 Pengelasan

Lasan ditentukan oleh *American Welding Society* (AWS) sebagai koalesensi lokal (fusi atau tumbuh bersama dari struktur butir bahan yang dilas) dari logam atau non logam yang diproduksi baik dengan memanaskan bahan ke suhu pengelasan yang diperlukan dengan penerapan tekanan atau tanpa bahan pengisi. Pengelasan didefinisikan sebagai proses penggabungan yang menghasilkan koalesensi bahan dengan memanaskannya ke suhu pengelasan dengan menggunakan logam pengisi (D1.1, 2020). Dari definisi tersebut dapat dijelaskan lebih lanjut bahwa las adalah suatu proses dimana bahan dengan jenis yang sama digabungkan menjadi satu sehingga terbentuk suatu sambungan melalui ikatan kimia yang dihasilkan dari pemakaian panas dan tekanan (Putri, 2010).



Gambar 2.1 Daerah Lasan (Putri, 2010)

Dapat dilihat pada Gambar 2.1 daerah lasan umumnya dibagi menjadi tiga

daerah yaitu daerah *base metal* (BM), daerah HAZ, dan *weld metal* (WM) adalah sebagai berikut (Putri, 2010).

1. Daerah logam las (*Weld Metal*) adalah daerah dimana logam mencair pada saat proses pengelasan dan suhunya di atas titik cair (pada logam murni) atau di atas garis cair (*liquidus line*)
2. Daerah Fusi (*Fusion Line*) merupakan garis batas antara logam yang mencair dan daerah terpengaruh panas (HAZ).
3. Daerah terpengaruh panas (HAZ) merupakan daerah logam induk yang dipengaruhi oleh panas, tetapi panas yang terjadi tidak sampai mencairkan logam induk. Daerah HAZ mengalami siklus termal pemanasan dan pendinginan cepat, sehingga menghasilkan daerah butir halus (*fine grain*) dan butir kasar (*coarse grain*).
4. Daerah logam induk (*Base Metal*) memiliki sifat-sifat sama sebelum maupun sesudah proses pengelasan. Di daerah ini, panas yang terjadi cukup rendah sehingga tidak menyebabkan perubahan pada struktur mikro. Sifat mampu las baja ditentukan oleh komposisi logam induk.

2.3.1 Arus Pengelasan

Arus pengelasan adalah besarnya aliran atau arus listrik yang keluar dari mesin las. Besar kecilnya arus pengelasan dapat diatur dengan alat yang ada pada mesin las. Arus las harus disesuaikan dengan jenis bahan dan diameter elektroda yang digunakan dalam pengelasan (Putri, 2010). Dapat dilihat pada Tabel 2.4. spesifikasi besar arus berdasarkan tipe elektroda yang digunakan pada proses pengelasan.

Tabel 2.4 Spesifikasi besar arus menurut tipe elektroda (AWS, 2020)

Diameter elektroda (mm)	Tipe elektroda dan besarnya arus (Ampere)					
	E6010	E6013	E6014	E7018	E7024	E7028
2,0	-	30-80	80-110	70-100	-	-
2,6	-	70-110	110-160	110-160	-	-
3,2	80-120	80-140	140-180	120-170	140-190	140-190
4	120-160	120-190	140-210	150-220	180-250	180-250
5,0	150-200	200-275	200-275	200-275	230-305	230-305
6,3	-	330-415	315-400	335-430	300-420	335-430
8	-	-	390-500	375-475	-	335-430

Penggunaan arus yang terlalu kecil akan mengakibatkan penembusan atau penetrasi las yang rendah, sedangkan arus yang terlalu besar akan mengakibatkan terbentuknya manik las yang terlalu lebar dan deformasi dalam pengelasan (Putri, F. 2010)

2.3.2 Polaritas

a. Mesin las arus bolak balik (*Alternating Current*)

Arus listik bolak-balik atau arus AC yang dihasilkan pembangkit listrik (PLN atau generator AC) dapat digunakan sebagai sumber tenaga dalam proses pengelasan. Tegangan listrik yang berasal dari pembangkit listrik belum sesuai dengan tegangan yang digunakan untuk pengelasan. Bisa terjadi tegangan terlalu tinggi atau terlalu rendah, sehingga besarnya tegangan perlu disesuaikan terlebih dahulu dengan cara menurunkan atau menaikkan tegangan. Alat yang digunakan untuk menaikkan atau menurunkan tegangan disebut transformator atau trafo. Kebanyakan trafo yang digunakan pada peralatan las adalah trafo step down yaitu trafo yang

berfungsi untuk menurunkan tegangan. Hal ini disebabkan listrik dari pembangkit listrik mempunyai tegangan yang tinggi (110volt sampai 240volt), padahal kebutuhan tegangan yang dikeluarkan oleh mesin las untuk pengelasan hanya 55volt sampai 85 volt (Wandri, 2016).

Arus AC adalah arus yang sifatnya mempunyai dua arah atau biasa disebut dengan arus bolak-balik yang tidak memiliki sisi negatif. Proses pengelasan menggunakan arus AC dimulai dari digoreskannya elektroda ke material dasar sehingga terjadi hubungan pendek dan saat terjadi hubungan pendek tersebut welder menarik elektroda sehingga terbentuk busur listrik yaitu lompatan ion yang menimbulkan panas (Wandri, 2016)

b. Mesin las arus searah (*Dirrect Current*)

Arus listrik yang digunakan untuk memperoleh nyala busur listrik adalah arus searah. Arus searah ini berasal dari mesin las yang berupa dinamo listrik searah. Dinamo dapat digerakkan oleh motor listrik, motor bensin, motor diesel, dan penggerak mula lainnya. Mesin arus searah yang menggunakan penggerak mula memerlukan peralatan yang berfungsi sebagai penyearah arus. Penyearah atau *rectifier* berfungsi untuk mengubah arus bolak-balik (AC) menjadi arus searah (DC) (Wandri, 2016).

Arus DC (*Direct Current*) adalah merupakan arus searah dimana arus ini harus benar-benar searah dan memiliki kutub positif dan negatif atau lebih dikenal lagi plus minusnya dengan simbol + dan simbol (-), Arus DC disini benar-benar sudah disearahkan dengan menggunakan rangkaian penyearah seperti adaptor, fungsi penyearah disini dipakai untuk

komponen-komponen elektronika seperti: IC, *Resistor*, *Capasitor*, *Transistor* dan lainnya yang semuanya itu menggunakan arus searah (Wandri, 2016).

Perlu adanya pengaturan kecepatan pengumpanan kawat las yang dapat diubah-ubah untuk mendapatkan panjang busur yang diperlukan. Bila menggunakan sumber listrik DC dengan tegangan tetap, kecepatan pengumpanan dapat dibuat tetap dan biasanya menggunakan polaritas balik (DCRP). Mesin las dengan listrik DC memiliki percikan api yang lebih kecil bila di bandingkan dengan mesin las listrik AC. Sehingga las listrik DC sangat cocok untuk pengelasan konstiksi bangunan, karena memiliki tingkat keamanan yang lebih tinggi (Wandri, 2016).

2.3.3 Sudut Kampuh V

Hasil penyambungan logam melalui pengelasan hendaknya menghasilkan sambungan yang berkualitas dari segi kekuatan dan lapisan las dari bahan atau logam yang dilas, di mana untuk menghasilkan sambungan las yang berkualitas hendaknya kedua ujung atau bagian logam yang akan dilas perlu di berikan suatu bentuk kampuh las tertentu.

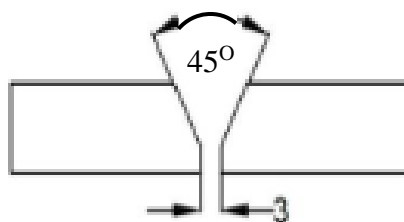
Tujuan utama dari pengelasan adalah untuk mendukung beban, sebagian beban mekanis dan sebagian untuk mencapai hasil pengelasan dengan kekuatan yang bisa di jamin, maka perlu di kembangkan sebagai bentuk *groove* (Lawrance, 1991) Untuk memperoleh kekuatan hasil pengelasan yang dapat di jamin kualitasnya, pengelasan sebaiknya menggunakan berbagai bentuk kampuh yang sudah dikembangkan.

Pengerjaan kampuh las terdiri dari empat jenis yaitu sambungan kampuh sisi, sambungan berimpit, sambungan sudut dan sambungan T. Sambungan atau kampuh menumpu adalah sambungan las yang dilakukan dengan jalan mengelas bagian tepi atau ujung dari logam yang akan dilas. Adapun sambungan atau kampuh menumpu terdiri dari sambungan I, V, X, dan $\frac{1}{2}$ V, $\frac{1}{2}$ X, U (Baghel, 2022)

Menurut Arifin Syamsul, kampuh V dipergunakan untuk menyambung logam/plat yang tebalnya antara 3,5-10 mm, dengan sudut kampuh 60^o -80^o dan jarak/celah kampuh sekitar 1- 3 mm. Pada waktu mengelas kampuh V diberi plat penahan cairan sepanjang kampuh yang gunanya untuk mencegah cairan bertumpuk sebelah bawah kampuh dan plat penahan tersebut dapat dibuka bila di perlukan (Syamsul, 1977)

2.3.4 Sambungan V *Butt Joint*

Pembuatan struktur las terdiri dari beberapa proses pemotongan material sesuai dengan ukuran, lengkungannya, dan menyambungkan satu sama lain. Tiap-tiap daerah yang disambung disebut dengan sambungan. Beberapa variasi sambungan las sebagai pilihan berdasarkan ketebalan, kualitas material, metode pengelasan, bentuk struktur dan sebagainya. (Hidayat, 2020)

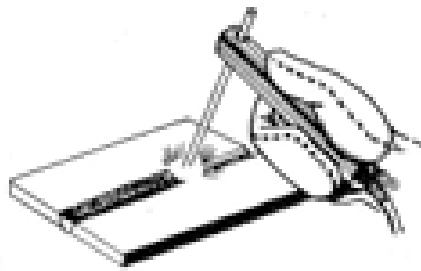


Gambar 2.2 Tipe Sambungan Las *Single V-Butt Joint* (Hidayat, 2020)

Dapat dilihat pada Gambar 2.2 merupakan jenis sambungan *single V-Butt Joint*. Penelitian ini menggunakan tipe sambungan *single V* dengan sudut kampuh 45° . ada beberapa jenis tipe sambungan *Butt Joint* yaitu *square butt joint, single V-butt joint, single U-butt joint, double V-butt joint dan double U-butt joint* (Hidayat, 2020).

2.3.5 Posisi Pengelasan

Posisi atau sikap pengelasan yaitu pengaturan posisi atau letak gerakan elektroda las. Posisi pengelasan yang digunakan biasanya tergantung dari letak kampuh-kampuh atau celah-celah benda kerja yang akan dilas. Posisi pengelasan terdiri dari posisi pengelasan di bawah tangan (*down hand position*), posisi pengelasan mendatar (*horizontal position*) posisi pengelasan tegak (*vertical position*), dan posisi pengelasan di atas kepala (*overhead position*) (Bintoro, A.G. 2000)



Gambar 2.3 Posisi Pengelasan 1G (Bintoro, 2000).

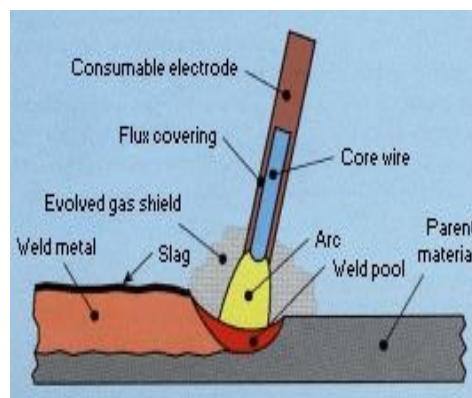
Dapat dilihat pada gambar 2.3 merupakan posisi pengelasan 1G (*Down Hand*) atau pengelasan di bawah tangan. Posisi pengelasan ini dilakukan untuk pengelasan pada permukaan datar atau permukaan agak miring, yaitu letak elektroda berada diatas benda kerja. Posisi pengelasan di bawah tangan (*down hand*) memungkinkan penetrasi dan cairan logam tidak

keluar dari kampuh las serta kecepatan pengelasan yang lebih besar dibanding lainnya (Bintoro, 2000).

2.4 *Shielded Arc Metal Welding (SMAW)*

Salah satu proses paling umum adalah pengelasan dengan busur logam terlindung. Ini sering disebut dengan pengelasan pada lokasi tertentu karena kekuatan, efisiensi dan peralatannya yang lebih sedikit dengan menggunakan elektroda pelapis yang membentuk terak dan mencegah hasil lasan dari oksidasi dan menghilangkan kotoran (Groover, 2007).

Lapisan *flux* memiliki peran penting pada pengelasan SMAW, karena menghilangkan kontaminasi atmosfer dan menstabilkan busur. Pengelasan logam pelindung yang menggunakan peralatan seperti sumber listrik, elektroda telah digambarkan pada Gambar 2.4. Variabel proses pada pengelasan SMAW adalah posisi elektroda, panjang, kecepatan pengelasan, temperatur dan ampere yang digunakan (Agarwal, 1992).



Gambar 2.4 Proses Pengelasan SMAW (Groover. 2007).

Variabel ini mempengaruhi sifat material, memilih bahan elektroda yang tepat menggambarkan sifat-sifat suatu bahan. Lapisan elektroda memainkan peran

penting sebagai tambahan logam paduan pada daerah las dan memainkan peran penting dalam pengelasan fusi tidak hanya pada logam yang serupa namun dapat pada logam yang berbeda (Baghel, 2022). Dapat dilihat pada Tabel 2.5 spesifikasi proses pengelasan pada penelitian ini.

Tabel 2.5 Spesifikasi Proses Pengelasan

Nama	Keterangan
Material	ASTM A36
Tebal Material	10 mm
Standar	Standar AWS A5.1
Arus	120 A, 155 A, dan 190 A
Posisi	1G (<i>Down Hand</i>)

2.4.1 Parameter Proses SMAW

a. Arus

Selama proses pengelasan, ketika terjadi pada periode pengelasan, arus yang digunakan untuk menghasilkan busur untuk pemanasan dan peleburan disebut arus pengelasan. Arus memiliki fungsi dalam mengendalikan masukan panas. Semakin tinggi arus, semakin tinggi masukan panas. Tingkat arus yang optimal membuat masukan panas optimal yang menghasilkan struktur yang lebih homogen. Dengan meningkatnya arus, produk yang dihasilkan dapat digunakan untuk melelehkan logam yang berbeda, namun logam tertentu perlu dibersihkan dulu untuk menghilangkan lapisan oksidanya, lalu logam tersebut dapat dilebur (Baghel, 2022).

b. Tegangan

Tegangan busur mempengaruhi panjang busur. Panjang busur bertambah, pemanasan dan peleburan berkurang seiring dengan tercapainya temperatur yang lebih rendah, karena busur berada dalam kontak yang lebih lama dengan atmosfer sehingga menyebabkan menurunnya temperatur, pemanasan dan peleburan. Tegangan busur meningkat sehingga panjang busur bertambah namun arus pengelasan tetap sama sehingga penetrasi las tidak terpengaruh (kedalam) (Baghel, 2022).

c. Diameter Elektroda

Diameter elektroda harus sesuai dengan celah (*root gap*) antara dua material yang akan disambung (Baghel, 2022).

d. Polaritas

Elektroda searah dengan arus positif (DCEP) dan elektroda bolak balik dengan arus negatif (DCEN) adalah dua polaritas pada mesin pengelasan (Baghel, 2022).

e. Kecepatan Pengelasan

Kecepatan pengelasan memiliki peranan penting untuk mengendalikan kualitas geometri manik. Semakin tinggi kecepatan pengelasan, semakin rendah masukan panas yang dapat menyebabkan kurangnya penetrasi. Semakin kecil kecepatan pengelasan, semakin tinggi masukan panas. Semakin banyak waktu bagi butiran untuk menyerap panas sehingga terbentuk struktur

logam yang tidak seragam. Oleh karena itu, kecepatan pengelasan yang optimum agar strukturnya lebih halus dan homogen (Baghel, 2022).

f. Sudut *bevel*

Semakin tinggi sudut *bevel*, maka jumlah *layer* pada las yang terbentuk akan semakin banyak, sehingga homogenisasinya akan semakin tinggi, laju pendinginan akan semakin optimal sehingga dapat meningkatkan kekuatan sambungan (Baghel, 2022).

g. Sudut Elektroda

Sudut elektroda memiliki peran penting. Semakin tinggi sudut elektroda, semakin banyak akumulasi panas yang terjadi sehingga menghasilkan pencampuran yang homogen karena semakin banyak panas yang tersedia untuk melelehkan bahan sehingga membentuk campuran bahan dasar yang seragam (Baghel, 2022).

2.4.2 Keuntungan Menggunakan Proses Pengelasan SMAW

Keuntungan menggunakan proses pengelasan SMAW:(Baghel, 2022).

1. Biaya pemeliharaan dan peralatan yang rendah dibandingkan dengan proses GTAW, FCAW, dan GMAW karena hanya elektroda dan mesin las dengan catu daya yang digunakan
2. Perubahan elektroda yang cepat dari satu bahan ke bahan lainnya.
3. Prosesnya mengarah pada pengelasan ditempat terbatas dengan

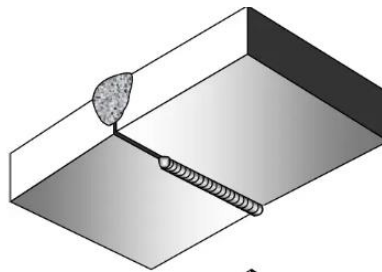
posisi yang bervariasi dan sedikit masalah yang ditimbulkan.

4. Tingkat deposisi lebih cepat dibandingkan dengan proses GTAW.
5. Memiliki portabilitas yang baik dibandingkan dengan proses pengelasan lainnya.

2.4.3 Cacat Pengelasan SMAW

Cacat pengelasan pada proses pengelasan SMAW antara lain: (Baghel, 2022)

- a. *Lack of fusion*, sering kali terjadi disebabkan oleh posisi elektroda yang tidak seragam dan sering menjadi masalah pada proses manual. Lasan yang tidak menembus dan tidak mencukupi disebut dengan pengelasan penetrasi sambungan. Cacat pengelasan ini dapat dilihat pada Gambar 2.5



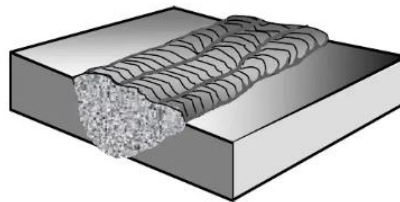
Gambar 2.5 *Lack of fusion* (Tarkono. 2010).

- b. *Slag Inclusion*, merupakan masalah umum yang terjadi dalam proses pengelasan SMAW. Jika tidak dibersihkan akan menimbulkan cacat pada hasil lasan yang dapat diperiksa dengan uji radiografi, uji tarik dan uji *bending*. Hal ini dapat dihindari dengan memberikan posisi kerja elektroda positif (DCEP) seperti pada *lack of fusion*. Cacat pengelasan ini dapat dilihat pada Gambar 2.6



Gambar 2.6 *Slag Inculison* (Sahlan. 2015).

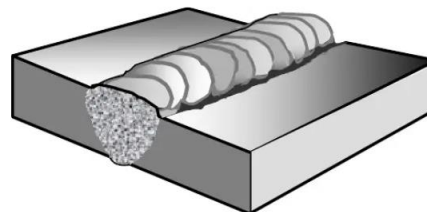
- c. *Overlap*, jika sudut kerja melebihi titik penyetelan, kemungkinan terjadi *overlap* pada permukaan hasil lasan. *Overlap* adalah cacat yang tidak dapat diterima pada hasil lasan. Hal ini karena membuat area melingkar yang terkena tegangan berubah menjadi akumulasi tegangan pada lokasi tertentu dan menyebabkan lokasi inisiasi retak ketika beban diterapkan pada lokasi tersebut. Cacat pengelasan ini dapat dilihat pada Gambar 2.7



Gambar 2.7 *Overlap* (Tarkono. 2010).

- d. *Undercut*

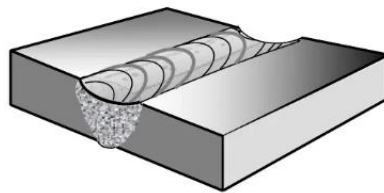
Kondisi dimana hasil pengelasan mengalami cacat berupa terdapat cacat disisi area pengelasan yang melebihi batas toleransi. Cacat pengelasan ini dapat dilihat pada Gambar 2.8



Gambar 2.8 *Undercut* (Tarkono. 2010).

e. *Underfill*

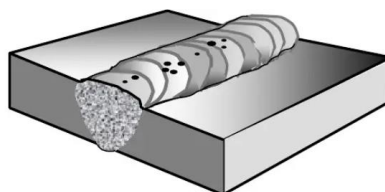
Kondisi dimana hasil pengelasan mengalami cacat berupa tinggi pengelasan atau biasa disebut dengan reinforcement lebih rendah bahkan tidak muncul sama sekali yang melebihi batas toleransi. Cacat pengelasan ini dapat dilihat pada Gambar 2.9



Gambar 2.9 *Underfill* (Tarkono. 2010).

f. *Porosity*

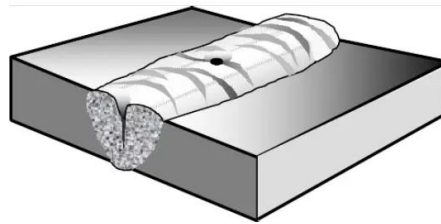
Kondisi dimana hasil pengelasan mengalami cacat berupa terdapat sekumpulan rongga-rongga diarea lasan yang disebabkan oleh udara yang terperangkap pada saat proses pengelasan berlangsung. Cacat pengelasan ini dapat dilihat pada Gambar 2.10



Gambar 2.10 *Porosity* (Tarkono. 2010).

g. *Pin Hole*

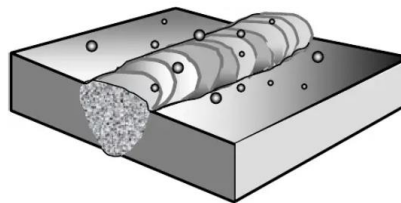
Kondisi dimana hasil pengelasan mengalami cacat berupa lubang kecil yang terjadi akibat udara yang terperangkap pada area lasan. Cacat pengelasan ini dapat dilihat pada Gambar 2.11



Gambar 2.11 *Pin hole* (Tarkono, 2010).

h. *Spatter*

Kondisi dimana hasil pengelasan mengalami cacat berupa partikel logam yang terpercik saat proses pengelasan berlangsung berupa butiran-butiran logam kecil yang menempel pada material. Cacat pengelasan ini dapat dilihat pada Gambar 2.12



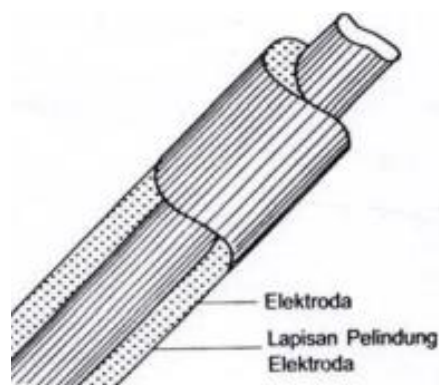
Gambar 2.12 *Spatter* (Tarkono, 2010).

2.5 Elektroda E6013

Menurut Harsono Wiryosumarto dan Toshie Okumura (Arus AC dan DC) Pemilihan elektroda harus didasarkan pada jenis dan sifat logam induk serta kegunaan sambungannya (Harsono, 1986). Elektroda berfungsi sebagai logam pengisi pada bahan logam yang akan di las, untuk itu pemilihan jenis elektroda harus disesuaikan dengan bahan logam yang akan dilas. Pengelasan dengan menggunakan las busur listrik memerlukan kawat las (Elektroda) yang terdiri dari suatu inti terbuat dari suatu logam di lapiasi oleh lapisan yang terbuat dari campuran zat kimia, elektroda berfungsi sebagai bahan tambah.

Elektroda terdiri dari dua jenis bagian yaitu bagian yang bersalut (*flux*) dan tidak bersalut yang merupakan pangkal 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.

Pada dasarnya bila di tinjau dari logam yang dilas, kawat elektroda dibedakan menjadi elektroda untuk baja lunak, baja karbon tinggi, baja paduan, besi tuang, dan logam *non ferro*. Bahan elektroda harus mempunyai kesamaan sifat dengan logam (Putri, 2010). Pemilihan elektroda pada pengelasan baja karbon sedang dan baja karbon tinggi harus benar-benar diperhatikan apabila kekuatan las diharuskan sama dengan kekuatan material.



Gambar 2.13 Elektroda Las (Putri, 2010)

Dapat dilihat pada Gambar 2.13 penggolongan elektroda diatur berdasarkan standar system AWS (*American Welding Society*) dan ASTM (*American Society Testing Material*). Elektroda jenis E6013 dapat dipakai dalam semua posisi pengelasan dengan arus las AC maupun DC. Rigi-rigi yang dihasilkan akan sangat halus maka terak yang ada akan mudah untuk di bersihkan dan busurnya dapat di kendalikan dengan mudah. Elektroda dengan kode E6013 untuk setiap huruf dan setiap angka mempunyai arti masing- masing yaitu: (AWS, A. 2008)

- E = Elektroda untuk las busur listrik
- 60 = Menyatakan nilai tegangan tarik minimum hasil pengelasan 60.000 psi.
- 1 = Menyatakan posisi pengelasan dapat digunakan untuk semua posisi.
- 3 = Elektroda dengan penembusan dangkal bahan dari selaput serbuk rutil kalium dengan arus AC atau DC.

Tabel 2.6 Klasifikasi Elektroda Las (BSN, 1987)

Seri E-420, Kuat Tarik Minimum Deposit Bahan Las 420 MPa (42,8 Kgf/mm ²)			
Kelas	Jenis Pembungkus	Posisi Las	Arus Listrik
1	2	3	4
E 420-10	Natrium selulosa tinggi	F, H, V, OH	DC+
E 420-11	Kalium selulosa tinggi	F, H, V, OH	AC atau DC ±
E 420-12	Natrium titan tinggi	F, H, V, OH	AC atau DC-
E 420-13	Kalium titania tinggi	F, H, V, OH	AC atau DC ±
E 420-20	Oksida besi tinggi	F, H-las sudut	AC atau DC-
E 420-22	Oksida besi tinggi	F, H-las sudut	AC atau DC ±
E 420-27	Serbuk besi, Oksida tinggi	H-las sudut	AC atau DC-

Dapat dilihat pada Tabel 2.6 Angka pertama dibelakang 420 menunjukkan posisi las. Umpamanya 1 pada elektroda E420-13 menandakan elektroda dapat digunakan pada semua posisi las (F, V, H, OH). Posisi las F, menandakan menggunakan posisi pengelasan dibawah tangan/datar. V, menandakan posisi pengelasan vertikal. H, menandakan posisi pengelasan horizontal. H-las sudut, menandakan posisi pengelasan horizontal las sudut dan OH, menandakan posisi pengelasan di atas kepala (SNI, 1987).

Elektroda berselaput yang dipakai pada las busur listrik mempunyai perbedaan komposisi selaput maupun kawat inti. Pelapisan *fluxi* pada kawat inti dapat dengan cara destrusi, semprot ataupun celup. Ukuran standar diameter kawat

inti dari 1,5 mm sampai 7 mm dengan panjang antara 350 mm sampai 450 mm. Jenis-jenis selaput *fluxi* pada elektroda misalnya selulosa, kalsium karbonat (CaCO_3), titanium dioksida (rutil), kaolin, kalium oksida, mangan, Elektroda berselaput yang dipakai pada las busur listrik mempunyai perbedaan komposisi selaput maupun kawat inti. Pelapisan *flux* pada kawat inti dapat dengan cara destrusi, semprot ataupun celup. Ukuran standar diameter kawat inti dari 1,5 mm sampai 7 mm dengan panjang antara 350 mm sampai 450 mm. Jenis-jenis selaput *fluxi* pada elektroda misalnya selulosa, kalsium karbonat (CaCO_3)₂ titanium dioksida (rutil), kaolin, kalium oksida, mangan.

2.5.1 Karakteristik *Flux*

Shielded Metal Arc Welding (SMAW) atau *Stick welding* adalah proses penyambungan logam dengan elektroda berbentuk *stick* yang terbungkus *fluks*. Bagian luar (*coating fluks*) elektroda akan terbakar pada saat proses pengelasan berlangsung dan sebagian menghasilkan gas yang melindungi proses pengelasan terhadap kontaminasi udara luar. Sebagian dari fluks kemudian membentuk slag dan berfungsi untuk menghambat laju pendinginan, sehingga kualitas sambungan lasan menjadi baik. Inti elektroda berfungsi sebagai *filler metal* (logam isian). Jika elektroda digerakkan pada benda kerja dengan kecepatan yang tepat dan goyangan yang sesuai akan diperoleh deposit lasan seragam disebut dengan *weld bead* (manik las). Busur terbentuk di antara logam induk dan ujung elektroda yang menghasilkan panas sehingga logam induk dan ujung elektroda mencair kemudian membeku bersamaan. Bagian *fluks* yang mencair

berfungsi sebagai penambah unsur paduan pada logam las dan sebagian besar menjadi terak di permukaan untuk melindungi logam yang masih panas dari kontaminasi atmosfer dan menghambat laju pendinginan. Secara detail fungsi *fluks* berfungsi sebagai: (Affi, 2007)

1. Pemantap busur

Pembakaran oksida mempengaruhi intensitas loncatan elektron dari elektroda ke logam induk dan ion dari logam induk ke elektroda. Loncatan ion dan elektroda terjadi pada busur yang disebut plasma. Semakin tinggi intensitas semakin banyak energi yang dibawa dan semakin tinggi kemampuan mencairkan logam akan semakin baik terhadap kedalaman penetrasi atau lebar manik las. Masing-masing komponen *fluks* mempunyai efek yang berbeda.

2. Penghasil gas pelindung

Fluks akan terbakar menghasilkan gas yang berfungsi sebagai pelindung busur dan logam cair dari kontaminasi udara luar. Dua jenis gas yang berbahaya bila menyusup adalah oksigen dan hidrogen. Kelarutan gas oksigen dan hidrogen dalam keadaan padat lebih rendah dibanding dalam keadaan cair. Dengan pendinginan yang cepat dikhawatirkan pelepasan gas akibat penurunan batas kelarutan lebih lambat dibanding laju pendinginan yang menyebabkan gas-gas terperangkap. Oksigen terperangkap membentuk keropos dan hidrogen terperangkap menghasilkan penggetasan

3. Elemen paduan tambahan

Fluks yang digunakan pada pengelasan sebagian akan masuk ke dalam logam lasan, hal ini akan mempengaruhi sifat mekanik dari logam lasan sesuai dengan karakteristik dari bahan yang terkandung pada *fluks* yang digunakan.

4. Sebagai penghasil *slag*

Slag terbentuk dari pembakaran *fluks* dan membentuk *slag* cair. Temperatur cair *slag* lebih tinggi dari logam sehingga pada pendinginan akan membeku lebih dulu. Berat jenis *slag* jauh lebih rendah dari logam cair dan mudah mengapung di permukaan. *Slag* padat akan melindungi logam yang masih panas dari kontaminasi udara luar sekaligus menghambat laju perpindahan panas logam untuk tujuan memperlambat laju pendinginan. Laju pendinginan lambat lebih diutamakan untuk logam-logam yang mudah membentuk fasa keras dan rapuh seperti martensit dan karbida lainnya.

5. Mempengaruhi efek penetrasi

Kedalaman penetrasi pengelasan dipengaruhi oleh *fluks*, hal ini juga berhubungan dengan fungsi *fluks* sebagai pemantap busur, dimana jika busur yang dihasilkan baik maka penetrasinya akan semakin baik.

Fluks terdiri dari komposisi bahan-bahan tertentu. Bahan-bahan yang digunakan dapat digolongkan ke dalam bahan pemantapan busur, pembuat terak, penghasil gas, unsur paduan dan bahan pengikat. Bahan-bahan tersebut antara lain oksida-oksida logam, karbonat, silikat, fluorida, zat organik, baja paduan dan serbuk besi. Proses pemindahan logam dari elektroda terjadi pada saat ujung

elektroda mencair dan membentuk butir-butir yang terbawa oleh arus busur listrik. Jika arus listrik yang digunakan besar maka butiran logam cair yang terbawa menjadi halus, sebaliknya arus listrik yang kecil menyebabkan butiran logam cair yang terbawa menjadi kasar. Pola pemindahan logam cair mempengaruhi bentuk manik las dan kedalaman penetrasi.

2.5.2 Karakteristik Oksida Logam

Pada elektroda yang diproduksi dari pabrik memiliki komposisi fluks yang tidak diketahui secara pasti. Elektroda tersebut dapat dilapisi oleh fluks tunggal yang biasanya berupa oksida logam yang memiliki karakteristik yang disukai agar bisa menghasilkan perubahan sifat mekanik yang diinginkan. Ada beberapa karakteristik oksida logam antara lain: (Affi, 2007)

1. TiO_2 (*Titanium Dioksida*)

Titanium dioksida merupakan suatu oksida logam yang jika digunakan sebagai fluks tambahan pada permukaan elektroda dapat berfungsi sebagai penghasil slag yang baik. Slag yang dihasilkan oleh fluks ini sangat baik dalam melindungi lasan dari kontaminasi udara luar dan mencegah udara masuk ke dalam lasan. Selain itu fluks yang mengandung TiO_2 juga berfungsi sebagai penstabil busur yang baik, sehingga dapat memperbaiki penetrasi pengelasan. Manik las yang dihasilkan oleh fluks ini sangat halus sehingga kekuatannya meningkat. Karakteristik dari fluks ini dapat meningkatkan kualitas sambungan las yang diindikasikan dengan meningkatnya sifat mekanik logam lasan

2. MnO (*Manganese Okside*)

Fungsi utama dari fluks MnO adalah penghasil slag yang baik, lapisan slag dari fluks MnO melindungi logam lasan dari kontak dengan udara luar sehingga dapat mencegah masuknya hidrogen maupun oksigen ke dalam logam lasan. *Weld bead* dari fluks MnO juga halus sehingga kekuatan dari logam lasan meningkat. Fluks MnO juga berperan sebagai deoksidator yang baik.

3. Al₂O₃ (*Aluminium Dioksida*)

Oksida logam Al₂O₃ merupakan suatu oksida logam yang selain berfungsi sebagai penghasil slag yang baik juga berfungsi sebagai deoksidator pada proses pengelasan. Dimana oksida logam Al₂O₃ dapat mengikat hidrogen dengan baik sehingga produk lasan memiliki cacat yang sedikit. Akan tetapi fluks Al₂O₃ tidak begitu berperan sebagai penstabil busur sehingga penetrasi yang didapatkan tidak begitu meningkat dibandingkan tanpa menggunakan fluks tambahan. Oleh karena itu penggunaan dari fluks ini baik pada proses pengelasan plat baja tipis.

4. K₂O (Kalium Oksida)

Kalium oksida berfungsi sebagai penstabil elektroda dalam proses pengelasan selain berfungsi sebagai penstabil laju elektroda, elektroda ini berfungsi sebagai mencegah banyak percikan saat proses pengelasan. Oleh sebab itu, senyawa ini memiliki fungsi yang sangat penting pada komposisi *flux* elektroda.

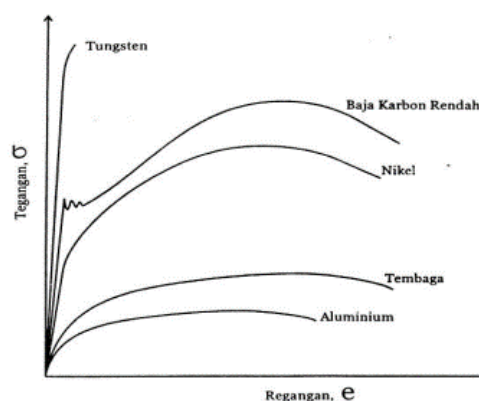
Selain bahan – bahan penyusun fluks, elektroda juga mengandung senyawa – senyawa kimia yang menyusun logam las yang menjadi bahan utama untuk menyambung pada proses pengelasan. Bahan – bahan tersebut antara lain: (Azwinur, 2019)

1. *Manganese (Mn)*: Mangan meningkatkan kekerasan dan kekuatan tarik baja, tetapi pada tingkat lebih rendah dari karbon. Untuk tujuan pengelasan, rasio mangan untuk sulfur minimal 10 berbanding. Fungsi dari unsur Mn adalah untuk dapat mengikat karbon (C) membentuk karbida mangan (Mn_3C) yang dapat menaikkan kekuatan, ketangguhan baja dan kekerasan.
2. *Phosphorus (P)*: Fosfor meningkatkan kekuatan dan kekerasan, tetapi dengan mengurangi elastisitas dan dampaknya terhadap ketangguhan, terutama pada baja karbon tinggi yang di-*quenching* dan *tempering*.
3. *Sulphur (S)*: Untuk pengelasan, mampu las menurun seiring peningkatan kandungan sulfur. Sulfur merugikan kualitas permukaan karbon rendah dan baja mangan rendah dan meningkatkan *hot shortness* di las dengan peningkatan sulfur.
4. *Silicon (Si)*: *Silicon* meningkatkan kekuatan dan kekerasan, tetapi pada tingkat lebih rendah daripada mangan. Dalam pengelasan, silikon merugikan kualitas permukaan, terutama di karbon rendah. Hal ini dapat memperburuk kecenderungan retak ketika kandungan karbon cukup tinggi. Untuk kondisi pengelasan terbaik, isi silikon tidak boleh melebihi 0,10%

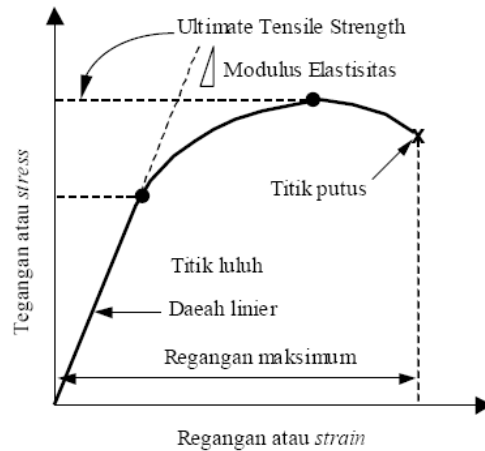
2.6 Pengujian Tarik

Salah satu yang bisa menyebabkan kegagalan pada elemen sebuah konstruksi mesin adalah beban yang bekerja pada elemen mesin besarnya melebihi kekuatan material. Kekuatan merupakan sifat yang dimiliki oleh setiap material. Kekuatan pada material dibagi menjadi dua bagian yaitu kekuatan tarik dan kekuatan mulur. Kekuatan material bias diperoleh dari sebuah pengujian yang dikenal dengan nama uji tarik (Haris. B, 2016).

Dari Gambar 2.14 dapat dilihat beberapa komponen utama yang terdapat pada mesin uji tarik. Komponen utama tersebut terdiri dari alat pencatat gaya (*load cell*), alat pencatat pertammaterial panjang spesimen (*extensometer*), batang penarik (*moving crosshead*), dan spesimen. *Load cell* digunakan untuk mencatat besarnya pembebanan (F) yang dialami oleh spesimen, sedangkan *extensometer* digunakan untuk mencatat besarnya pertammaterial panjang (ΔL) yang terjadi pada spesimen. Hubungan antara gaya (F) terhadap pertammaterial panjang (ΔL) inilah yang nantinya akan dikonversikan ke dalam kurva tegangan (σ) terhadap regangan teknik (e). Setiap logam yang diuji tarik akan memperlihatkan perilaku yang berbeda dalam arti mempunyai empat besaran/parameter yang berbeda.



Gambar 2.14 Kurva Parameter Uji Tarik (Haris, 2016).

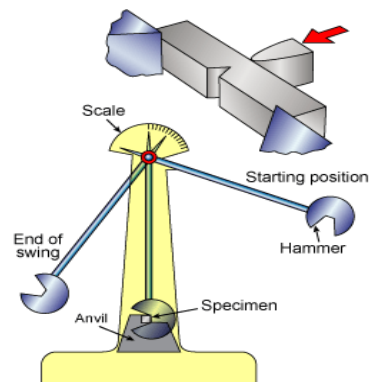


Gambar 2.15 Contoh Hasil Kurva Uji Tarik (Haris, 2016).

Dapat dilihat pada Gambar 2.15 Kurva uji tarik dapat diperoleh beberapa sifat mekanik material. Beberapa sifat mekanik material yang dimaksud yaitu Dari kekuatan tarik, keuletan, dan elastisitas. Contoh kurva hasil uji tarik dapat dilihat pada gambar 2.16 menjelaskan kekuatan material dan perpanjangan regangan yang terjadi pada material yang diuji dan mengetahui material tersebut termasuk kedalam material yang ulet atau getas.

2.7 Pengujian Impak

Pengujian bahan adalah suatu metode yang digunakan untuk menguji kekuatan suatu bahan/material dengan cara memberikan beban gaya yang sesumbu. Pengujian impak bertujuan untuk mengetahui spesimen menyerap energi yang diberikan. Pengujian impak merupakan salah satu proses pengukuran terhadap sifat kerapuhan bahan. Sifat keuletan atau *toughness* dari suatu bahan yang tidak dapat terdeteksi oleh pengujian lain jika dua buah bahan akan memiliki sifat yang mirip. Pengujian impak dilakukan untuk mengetahui kekuatan bahan terhadap pembebanan kejut (Fakri, 2019).



Gambar 2.16 Skema Uji Impak (Fakri, 2019)

Dapat dilihat pada Gambar 2.16 pengujian standar *charpy*, dirancang dan digunakan untuk mengukur energi impact yang dikenal dengan ketangguhan takik. Spesimen *charpy* berbentuk batang dengan penampang lintang bujur sangkar dengan takikan V oleh proses pemesinan pembebanan dalam proses pengujian impact diberikan oleh ayunan pendulum dengan berat (G) dan jarak terhadap sumbu putar (R) yang bergerak dari ketinggian (h_1) pada sudut awal (α) (Fakri, 2019).

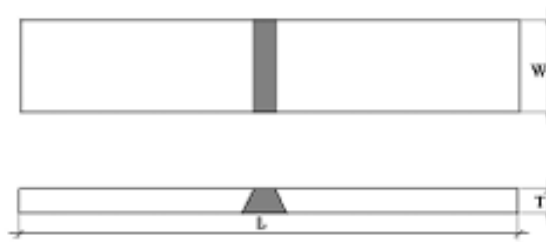
Pada uji impact, energi yang diserap untuk mematahkan benda uji harus diukur. Setelah bandul dilepas maka benda uji akan patah, setelah itu bandul akan berayun kembali, semakin besar energi yang terserap maka semakin rendah ayunan kembali dari bandul. Energi yang terserap biasanya dapat dibaca langsung pada skala penunjuk yang telah dikalibrasi yang terdapat pada mesin pengujian.

2.8 Pengujian *Bending*

Pengujian tekuk (*bending test*) merupakan salah satu bentuk pengujian untuk menentukan mutu suatu material secara visual. Selain itu uji *bending* digunakan untuk mengukur kekuatan material akibat pembebanan dan kelenturan sambungan las baik di *weld metal* maupun pada daerah HAZ. Dalam pemberian

beban dan penentuan dimensi mandrel ada beberapa faktor yang harus diperhatikan yaitu kekuatan tarik, komposisi kimia, struktur mikro dan tegangan luluh (Naufal A, 2016).

Dapat dilihat pada Gambar 2.17 metode yang digunakan pada pengujian bending menggunakan *face transversal bending*. Dikatakan *face bend* karena *bending* dilakukan sehingga permukaan las mengalami tegangan tarik dan dasar las mengalami tegangan tekan. Pengamatan dilakukan pada permukaan las yang mengalami tegangan tarik. Apakah timbul retak atau tidak. Jika timbul retak dimanakah letaknya, di *weld metal*, HAZ atau di *fusion line* (garis pembatasan WM dan HAZ) (Saduk, 2017).



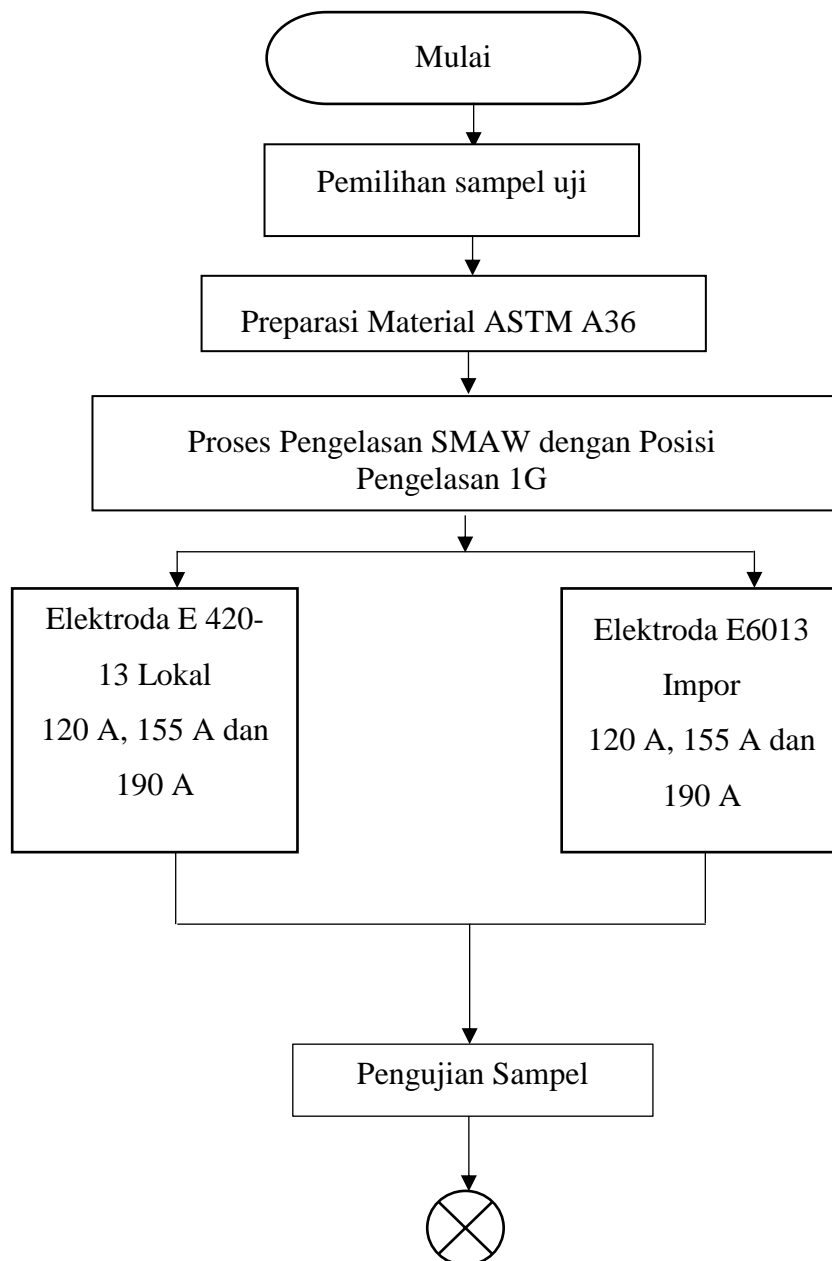
Gambar 2.17 Skema Uji *Bending* (Saduk, 2017).

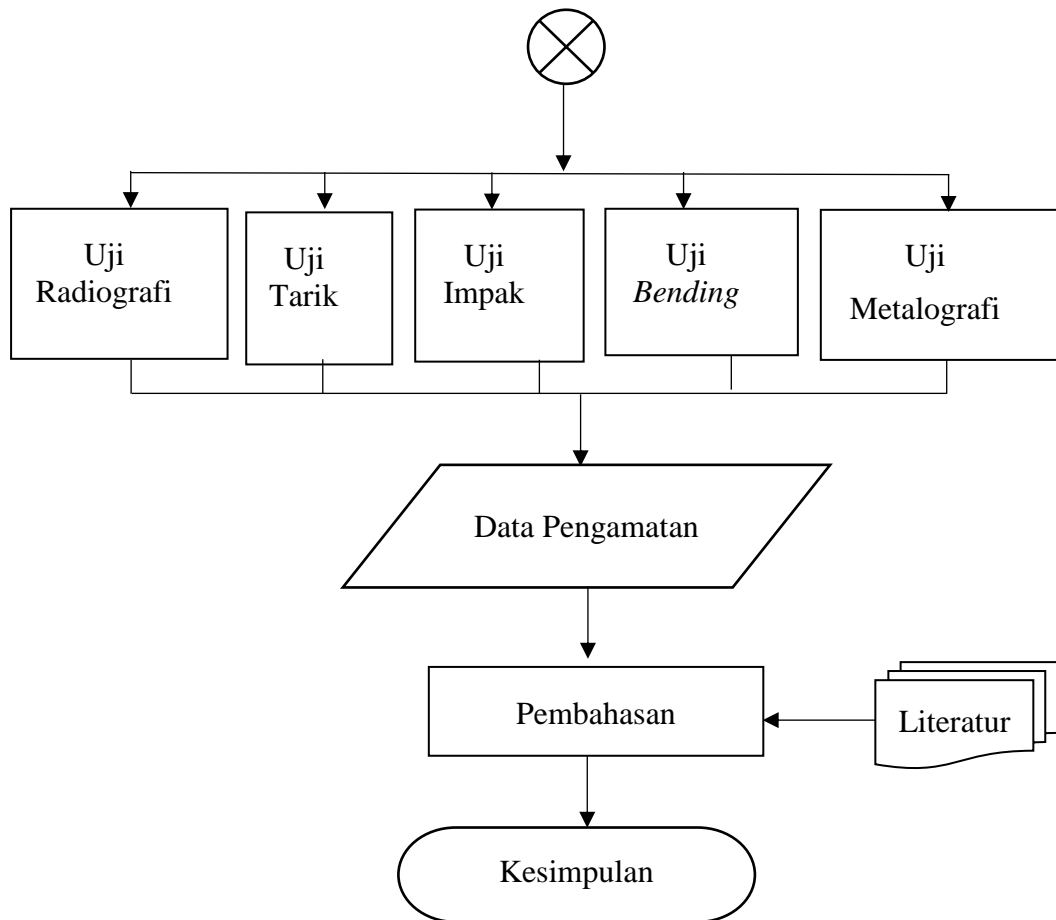
BAB III

METODE PENELITIAN

3.1 Diagram Alir Penelitian

Berikut ini merupakan prosedur percobaan penelitian yang dapat dijelaskan melalui diagram alir penelitian pada Gambar 3.1





Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian

3.2 Alat dan Bahan

3.2.1 Alat yang Digunakan

Adapun alat-alat yang digunakan dalam penelitian ini diantaranya sebagai berikut:

1. Alat Uji *Bending*
2. Alat Uji Impak
3. Alat Uji Tarik
4. Alat XRF
5. *Form Run Sheet*

6. *Hair dryer*
7. Jangka Sorong
8. Meja Las
9. Mesin Gas *Cutting*
10. Mesin Gerinda
11. Mesin *Grinding*
12. Mesin Las SMAW
13. Mesin *Polishing*
14. Mikroskop Optik
15. Palu
16. Penggaris
17. Sarung Tangan
18. Tang *Ampere*
19. *Welding Gauge*

3.2.2 Bahan yang Digunakan

Adapun bahan-bahan yang digunakan dalam penelitian ini diantaranya sebagai berikut:

1. *Developer*
2. Elektroda Impor Steel E 6013
3. Elektroda Lokal E 420-13
4. *Etanol*
5. *Fixer*
6. Kertas Ampelas 200, 400 ,600, 700, 800, 1000 dan 1200#

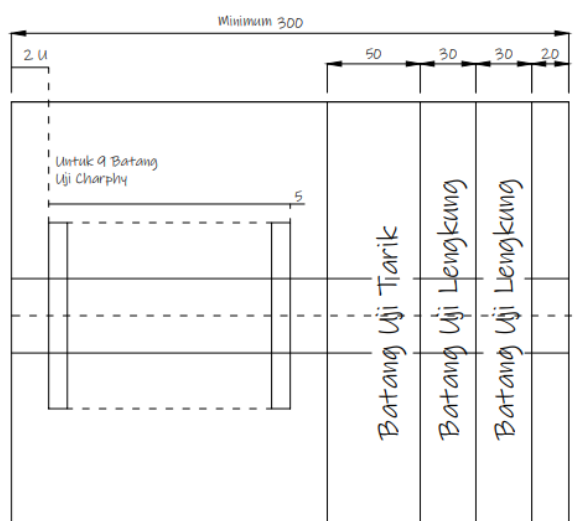
7. Larutan nital 2%
8. Pasta Alumina
9. Pelat Baja Karbon ASTM A36
10. Tisu
11. *Penetrant*

3.3 Prosedur Penelitian

Adapun beberapa prosedur yang dilakukan pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Pemilihan Sampel Uji

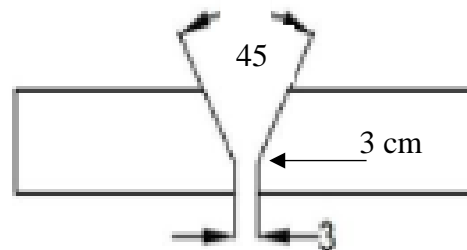
Material yang digunakan pada penelitian ini yaitu baja karbon rendah dengan menggunakan plat baja ASTM A36 yang tergolong ke dalam baja karbon rendah dengan ukuran yang digunakan yaitu 300 x 200 x 10(mm) dapat dilihat pada Gambar 3.2 Sketsa sampel uji yang digunakan pada proses pengelasan serta pengujian sifat mekanik.



Gambar 3.2 Sketsa Pemotongan Sampel

2. Preparasi Material ASTM A36

Dapat dilihat pada Gambar 3.3 tahapan awal untuk memulai penelitian ini adalah pembuatan sampel yang terdiri dari 12 plat ASTM A36 dengan ukuran pelat sebesar 300 x 200 x 10 (mm) dan sudut kampuhnya sebesar 45° dengan lebar *root gap* 3 mm dan *root face* sebesar 3 mm.



Gambar 3.3 Sketsa Spesimen

3. Pengelasan SMAW

Melakukan pengelasan dengan menggunakan proses pengelasan SMAW dengan variasi arus 120 A, 155 A, dan 190 A pada elektroda E6013 Impor Steel dan E420-13 Lokal sesuai dengan standar AWS A5.1. Pada proses pengelasan ini menggunakan elektroda dengan ukuran 4 mm. dan polaritas yang digunakan adalah DCEN (*Direct Current Electrode Negative*) dikarenakan elektroda E6013 dan E6013 merupakan elektroda dengan jenis pembungkus rutil. Elektroda yang digunakan berupa kawat yang dibungkus pelindung berupa *flux*. Elektroda ini selama pengelasan mengalami pencairan bersama logam induk dan membeku bersama, menjadi kampuh las. Proses pengelasan bergantian, lapisan pertama dengan arah kiri. Tiap tiap lapisan las yang selesai harus didinginkan terlebih dahulu pada udara yang tenang

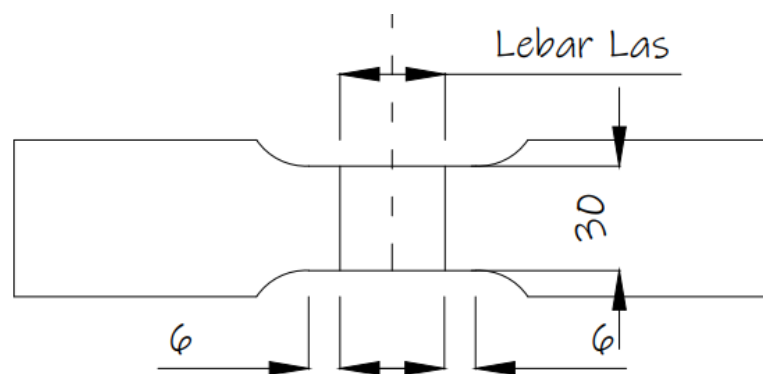
sampai temperatur kurang dari 250°C sebelum memulai dengan lapisan sebelumnya. Pengukuran suhu dilakukan pada bagian tengah permukaan las dengan menggunakan *thermogun*.

4. Pengujian Radiografi

Pengujian radiografi ini bertujuan untuk mengetahui jenis dan banyaknya cacat yang ada setelah dilakukan pengelasan, selain itu pengujian ini dapat menemukan cacat yang ada di dalam pengelasannya. Hasil cacat yang didapat akan dibandingkan dengan komposisi sampel elektroda yang digunakan. Pada prosesnya, sampel akan diukur dimensi plat yang digunakan lalu mengukur dengan menggunakan diagram *exposure time* sehingga akan mendapatkan hasil waktu penembakan sinar X pada material yang disimpan dalam film. lama penyinaran sinar X dengan menggunakan diagram *exposure time* dengan menggunakan mesin 140-5 kV-mA dan dicuci dengan menggunakan larutan *developer* sebesar 5 liter dengan air sebesar 10 liter dan dicuci kembali menggunakan larutan *fixer* sebesar 5 liter dan air sebesar 20 liter. Agar dapat dapat dibaca oleh *digital radiographic scanner*. Standard yang digunakan untuk pengujian ini adalah SNI 07-0049-1987 dengan kriteria porositas maksimum berjumlah 27 buah dengan ukuran besar dengan diameter (1,2 - 1,6 mm) 3 buah, ukuran sedang diameter (0,8 - 1,2 mm) 8 buah, dan ukuran kecil dengan diameter (0,4 – 0,8 mm) 16 buah. Pada penelitian ini menggunakan standar *Image Quality Indicator (IQI) 1B ASTM 11*.

5. Pengujian Tarik

Pengujian uji tarik dilakukan bertujuan untuk menarik bahan untuk mengetahui sejauh mana material ini bertambah panjang dengan membandingkan komposisi dari setiap sampel. Alat eksperimen untuk uji tarik ini harus memiliki cengkeraman (*grip*) yang kuat dan kekakuan yang tinggi (*highly stiff*). Pengujian Uji Tarik ini dilakukan menggunakan alat uji tarik dengan dimensi standar yang sudah ditentukan pada standar SNI 07-0049-1987 dapat dilihat pada Gambar 3.4 sketsa spesimen uji tarik berdasarkan standar SNI 07-0049-1987.

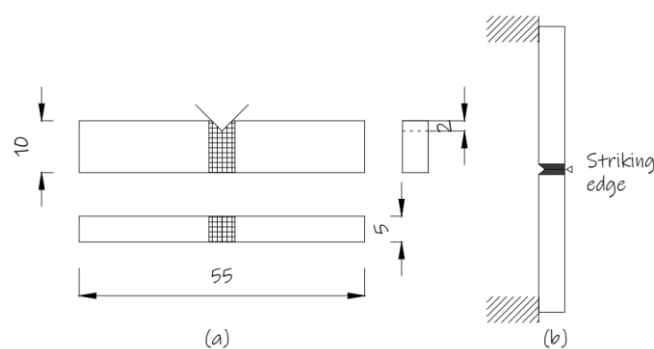


Gambar 3.4 Spesimen Uji Tarik

6. Pengujian Impak

Pengujian uji impact dilakukan bertujuan untuk mengetahui ketangguhan dari material yang diuji dan pada penelitian ini pengujian impact dilakukan untuk mengetahui ketangguhan pada *weld metal* dari masing – masing sampel elektroda yang diuji dengan membandingkan komposisi kimianya. Pada pengujian ini, sampel yang sudah dilas akan dipreparasi sesuai standar SNI 07-0049-1987 lalu dilakukan pemberian secara tiba tiba pada daerah takikan yang ada di *weld metal*. Hasil dari

pengujian ini berupa energi yang dihasilkan dari pembebanan tersebut dan klasifikasi patahan yang ada. Metode yang digunakan pada pengujian impak ini adalah metode *charpy* yang dimana specimen uji pada posisi *horizontal* dan arah pembebanannya berlawanan arah dengan arah takikan. pengujian menunjukkan bahwa semakin rendah suhu pengujian maka nilai ketangguhan dari sambungan las semakin rendah, dan semakin tinggi suhu pengujian maka semakin besar nilai ketangguhan sambungan las. Pada pengujian temperatur terendah masukan panas relatif tidak mempengaruhi ketangguhan las karena pada kurva terlihat kecil sekali perubahannya. Menggunakan temperatur uji sesuai dengan standar SNI 07-0049-1987 dengan temperatur $+20^{\circ}\text{C}$, 0°C dan -20°C . Dapat dilihat pada Gambar 3.5 Sketsa spesimen pengujian impak berdasarkan standar SNI 07-0049-1987

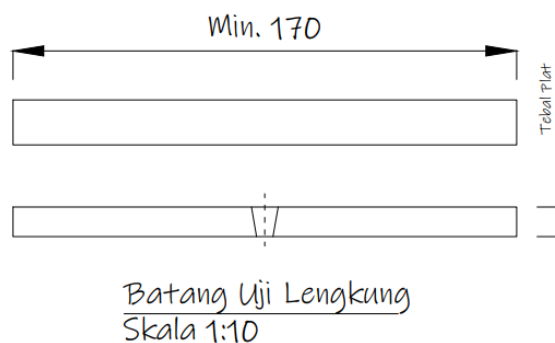


Gambar 3.5 Spesimen Uji Impak.

7. Pengujian *Bending*

Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui ketahanan retak geser yang terjadi pada *weld* metal, dengan mempersiapkan sampel sesuai standard SNI 07-0049-1987 lalu diberi pembebanan dari *root*, *face* dan *capping*

dari *weld metal*. Hasil dari pengujian ini berupa keretakan pada daerah yang diuji yang dimana menandakan adanya pengaruh komposisi ataupun cacat yang terdapat pada daerah *weld metal*. Dapat dilihat pada Gambar 3.6 sketsa spesimen pengujian bending berdasarkan standar SNI 07-0049-1987



Gambar 3.6 Sketsa Uji *Bending*

8. Pengujian Metalografi

Pengujian Metalografi merupakan suatu proses yang bertujuan untuk memperoleh gambar yang menunjukkan struktur mikro sebuah logam atau paduan. Melalui Proses ini kita dapat mengetahui struktur dari suatu logam atau paduan dengan memperjelas batas-batas butir logam sehingga dapat langsung dilihat dengan menggunakan mikroskop dan diambil gambarnya. Pengujian mikrografi dimaksudkan untuk melihat perubahan struktur pada sebuah logam atau paduan setelah dilakukan pengelasan dari logam murni. Dengan pemotongan sampel pada benda uji impak, benda uji di-*mounting* dan di-*grinding* sampai permukaan halus dengan menggunakan kertas ampelas dengan ukuran 200#, 400#, 700#, 800#, 1000#, dan 1200#. Setelah permukaan halus, benda uji dilakukan proses polishing agar permukaan mengkilap dan proses

terakhir dilakukan proses etsa yang bertujuan agar memudahkan pada saat analisis struktur mikro dengan menggunakan mikroskop optik.

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Pengaruh Komposisi *Flux* E420-13 Lokal dan E6013 Impor

Pada pengujian XRF ini digunakan untuk mengetahui komposisi dari masing-masing elektroda, dimana elektroda E6013 Impor sebagai acuan untuk elektroda E420-13 Lokal agar elektroda tersebut dapat terstandarisasi. Pada komposisi elektroda E420-13 Lokal dan E6013 Impor memiliki 4 senyawa yang berbeda yaitu K_2O , TiO_2 , MnO dan Fe_2O_3 .

Tabel 4.1 Komposisi Elektroda E420-13 Lokal

No.	Senyawa	Persentase (%)	No.	Senyawa	Persentase (%)
1.	Na_2O	6,6368	17.	CuO	0,0051
2.	MgO	1,3377	18.	ZnO	0,0254
3.	Al_2O_3	12,831	19.	Ga_2O_3	0,0000
4.	SiO_2	35,0485	20.	As_2O_3	0,0096
5.	P_2O_5	0,2905	21.	Rb_2O	0,0049
6.	SO_3	0,0619	22.	SrO	0,0090
7.	Cl	0,1406	23.	Y_2O_3	0,0006
8.	K_2O	0,4527	24.	ZrO_2	0,0361
9.	CaO	9,4822	25.	Nb_2O_5	0,0188
10.	Sc_2O_3	0,0632	26.	SnO_2	0,0177
11.	TiO_2	14,1020	27.	HfO_2	0,0000
12.	V_2O_5	0,2958	28.	Ta_2O_5	0,0182
13.	Cr_2O_3	1,2784	29.	HgO	0,0044
14.	MnO	0,4284	30.	PbO	0,0000
15.	Fe_2O_3	18,0190	31.	Bi_2O_3	0,0085
16.	NiO	0,0113		Total	100

Tabel 4.2 Komposisi Elektroda E6013 Impor

No.	Senyawa	Persentase (%)	No.	Senyawa	Persentase (%)
1.	Na ₂ O	4,4616	16.	NiO	0,0076
2.	MgO	1,0361	17.	CuO	0,0007
3.	Al ₂ O ₃	12,1906	18.	ZnO	0,0098
4.	SiO ₂	36,1320	19.	Ga ₂ O ₃	0,0021
5.	P ₂ O ₅	0,0272	20.	As ₂ O ₃	0,0085
6.	SO ₃	0,0632	21.	Rb ₂ O	0,0329
7.	Cl	0,1274	22.	SrO	0,0050
8.	K ₂ O	4,9128	23.	Y ₂ O ₃	0,0012
9.	CaO	6,6628	24.	ZrO ₂	0,3697
10.	Sc ₂ O ₃	0,0050	25.	Nb ₂ O ₅	0,1658
11.	TiO ₂	19,7392	26.	HfO ₂	0,0262
12.	V ₂ O ₅	0,4322	27.	Ta ₂ O ₅	0,0285
13.	Cr ₂ O ₃	0,0311	28.	PbO	0,0051
14.	MnO	7,7532	29.	Bi ₂ O ₃	0,0052
15.	Fe ₂ O ₃	5,7569		Total	100

Dapat dilihat pada Tabel 4.1 dan Tabel 4.2 hasil komposisi elektroda E420-13 Lokal memiliki komposisi *flux* K₂O sebesar 0,4527%, TiO₂ sebesar 14,1020%, MnO sebesar 0,4284% dan Fe₂O₃ sebesar 18,0190%. Sedangkan, hasil komposisi elektroda E6013 Impor memiliki komposisi *flux* K₂O sebesar 4,9128%, TiO₂ sebesar 19,7392%, MnO sebesar 7,7532% dan Fe₂O₃ sebesar 5,7569%. Pada komposisi tersebut memiliki fungsi yang berbeda sehingga akan mempengaruhi kualitas dari sambungan lasan.

Menurut Jon Affi, paduan TiO₂ (*Titanium Dioksida*) merupakan suatu oksida logam yang digunakan sebagai *flux* yang berfungsi sebagai penghasil slag

yang baik. Slag yang oleh *flux* ini sangat baik dalam melindungi lasan dari kontaminasi udara luar dan mencegah udara masuk ke dalam lasan. Selain itu fungsi dari TiO_2 berfungsi sebagai penstabil busur yang baik, sehingga dapat memperbaiki penetrasi pengelasan. Karakteristik dari *flux* ini dapat meningkatkan kualitas sambungan las yang diindikasikan dengan meningkatnya sifat mekanik logam.

Fungsi utama dari fluks MnO adalah penghasil slag yang baik, lapisan slag dari fluks MnO melindungi logam lasan dari kontak dengan udara luar sehingga dapat mencegah masuknya hidrogen maupun oksigen ke dalam logam lasan. *Weld bead* dari fluks MnO juga halus sehingga kekuatan dari logam lasan meningkat. Fluks MnO juga berperan sebagai deoksidator yang baik.

Kalium oksida (K_2O) berfungsi sebagai penstabil elektroda dalam proses pengelasan selain berfungsi sebagai penstabil laju elektroda, elektroda ini berfungsi sebagai mencegah banyak percikan saat proses pengelasan. Oleh sebab itu, senyawa ini memiliki fungsi yang sangat penting pada komposisi *flux* elektroda.

Menurut Syamsul Rizal, Paduan *flux* Fe_2O_3 dapat digunakan sebagai bahan dari elektroda pengelasan, terutama dalam jenis pengelasan yang menggunakan elektroda berlapis *flux* (*flux-coated electrodes*) fungsi utama flux ini dapat melindungi logam cair, mengurangi oksidasi, stabilisasi busur serta dapat membentuk slag yang baik.

4.2 Pengujian Radiografi E420-13 Lokal dan E6013 Impor

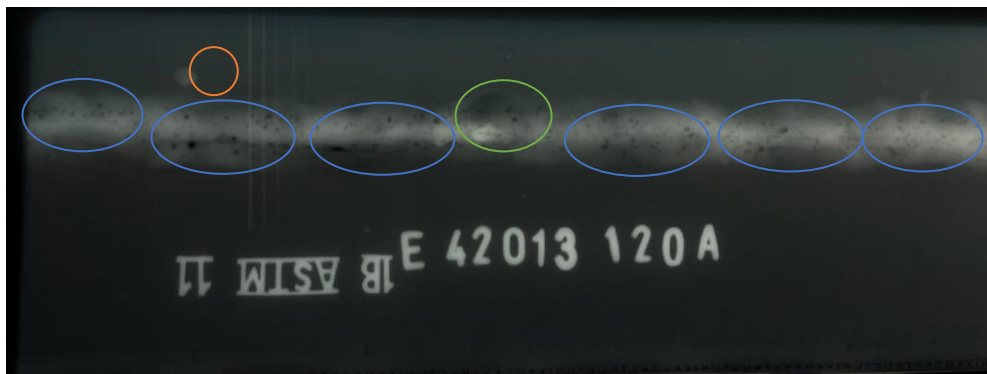
Pengujian radiografi ini bertujuan untuk mengetahui jenis dan banyaknya cacat yang ada setelah dilakukan pengelasan, *Standard* yang digunakan untuk

pengujian ini adalah SNI 07-0049-1987 Pada penelitian ini menggunakan standar *Image Quality Indicator (IQI) 1B ASTM 11*.

Tabel 4.3 Data Cacat Pengelasan E420-13 Lokal 120 A

Jarak Inspeksi Cacat (mm)	Kuat Arus E420-13 Lokal 120 A			<i>Accepted criteria</i>
	Cacat Porositas	Cacat <i>Incompleted Fusion</i>	Cacat <i>Spatter</i>	
0-20	10	-	1	No Acc
21-40	11	-	-	No Acc
41-60	12	-	-	No Acc
61-80	10	-	-	No Acc
81-100	9	1	-	No Acc
101-120	11	-	-	No Acc
121-140	20	-	-	No Acc
141-160	5	-	-	No Acc
Total	68	1	1	
Hasil Inspeksi				No Acc

Dapat dilihat pada Tabel 4.3 data cacat pengelasan menggunakan elektroda E420-13 Lokal dengan arus 120 A memiliki total cacat porositas pada variasi arus 120 A sebanyak 68 buah, pada cacat *incompleted fusion* sebanyak 1 buah dan cacat *spatter* sebanyak 1 buah. Berdasarkan standar SNI 07-0049-1987 Tingkat porositas II, porositas ukuran maksimum sebesar 44 buah namun pada variasi arus 120 A memiliki total cacat porositas sebanyak 68 dan tidak masuk kedalam *accepted criteria* SNI 07-0049-1987.



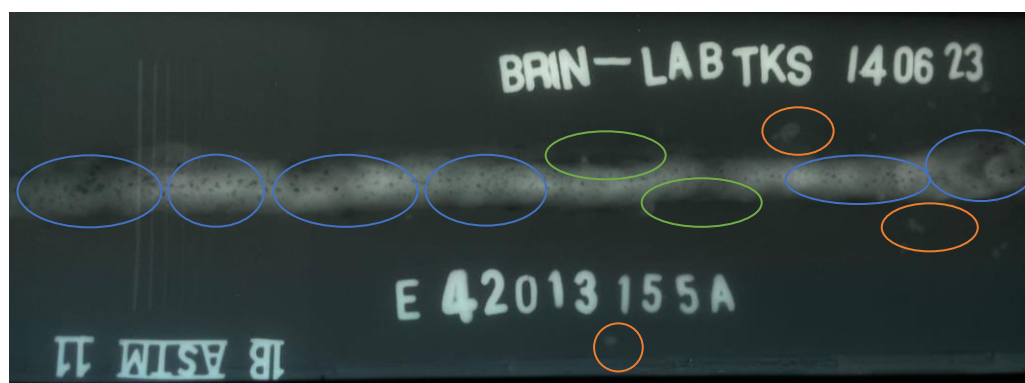
Gambar 4.1 Hasil Radiografi E420-13 120 A

Dapat dilihat pada Gambar 4.1 menggunakan elektroda E420-13 Lokal dengan arus 120 A dengan memiliki cacat porositas, *incompleted fusion*, dan *spatter*. Pada cacat porositas ditandai lingkaran berwarna biru dengan menggunakan elektroda E420-13 Lokal dengan arus 120 A ini disebabkan oleh adanya udara masuk, kerusakan pada elektroda dan material yang kotor dan tidak bersih. Pada cacat *incompleted fusion* ditandai warna lingkaran hijau disebabkan oleh ketidakstabilan tangan, sudut *bevel* terlalu sempit dan kecepatan pengelasan terlalu tinggi. Sedangkan pada cacat *spatter* ditandai lingkaran berwarna *orange* disebabkan oleh arus yang terlalu tinggi, *arc length* terlalu jauh dan elektroda lembab dan juga lapuk.

Dapat dilihat pada Tabel 4.4 data cacat pengelasan menggunakan elektroda E420-13 Lokal dengan arus 155 A memiliki total cacat porositas pada variasi arus 155 A sebanyak 104 buah, pada cacat *incompleted fusion* sebanyak 2 buah dan cacat *spatter* sebanyak 11 buah. Berdasarkan standar SNI 07-0049-1987 Tingkat porositas II, porositas ukuran maksimum sebesar 44 buah namun pada variasi arus 155 A memiliki total cacat porositas sebanyak 104 dan tidak masuk kedalam *accepted criteria* SNI 07-0049-1987.

Tabel 4.4 Data Cacat Pengelasan E420-13 Lokal 155 A

Inspeksi Cacat (mm)	Kuat Arus E420-13 Lokal 155 A			Accepted criteria
	Cacat Porositas	Cacat <i>Incompleted Fusion</i>	Cacat <i>Spatter</i>	
0-20	12	1	5	No Acc
21-40	15	-	-	No Acc
41-60	12	-	-	No Acc
61-80	16	-	-	No Acc
81-100	14	1	-	No Acc
101-120	11	-	2	No Acc
121-140	10	-	1	No Acc
141-160	14	-	3	No Acc
Total	104	2	11	
Hasil Inspeksi				No Acc

**Gambar 4.2** Hasil Radiografi E420-13 I55 A

Dapat dilihat pada Gambar 4.2 menggunakan elektroda E420-13 Lokal dengan arus 155 A dengan memiliki cacat porositas, *incompleted fusion*, dan *spatter*. Pada cacat porositas ditandai lingkaran berwarna biru dengan menggunakan elektroda E420-13 Lokal dengan arus 155 A ini disebabkan oleh

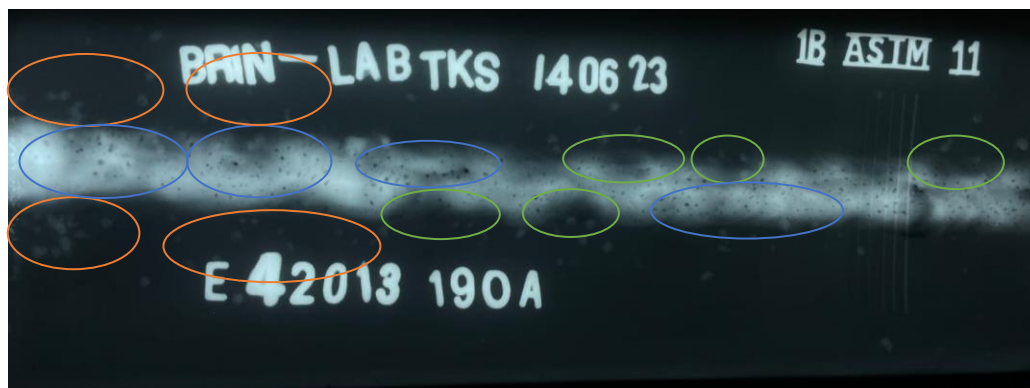
adanya udara masuk, kerusakan pada elektroda dan material yang kotor dan tidak bersih. Pada cacat *incompleted fusion* ditandai lingkaran berwarna hijau yang disebabkan oleh ketidakstabilan tangan, sudut *bevel* terlalu sempit dan kecepatan pengelasan terlalu tinggi. Sedangkan pada cacat *spatter* ditandai lingkaran berwarna *orange* yang disebabkan oleh arus yang terlalu tinggi, *arc length* terlalu jauh dan elektroda lembab dan juga lapuk.

Tabel 4.5 Data Cacat Pengelasan E420-13 Lokal 190 A

Jarak Inspeksi Cacat (mm)	Kuat Arus E420-13 Lokal 190 A			Accepted criteria
	Cacat Porositas	Cacat <i>Incompleted Fusion</i>	Cacat <i>Spatter</i>	
0-20	9	-	11	No Acc
21-40	16	-	11	No Acc
41-60	15	-	6	No Acc
61-80	25	1	7	No Acc
81-100	13	1	8	No Acc
101-120	21	1	6	No Acc
121-140	22	1	6	No Acc
141-160	26	1	3	No Acc
Total	147	5	58	
Hasil Inspeksi				No Acc

Dapat dilihat pada Tabel 4.5 data cacat pengelasan menggunakan E420-13 Lokal dengan arus 190 A memiliki total cacat porositas pada variasi arus 190 A sebanyak 147 buah, pada cacat *incompleted fusion* sebanyak 5 buah dan cacat *spatter* sebanyak 58 buah. Berdasarkan standar SNI 07-0049-1987 Tingkat porositas II, porositas ukuran maksimum sebesar 44 buah namun pada variasi arus 190 A memiliki total cacat porositas sebanyak 147 dan tidak masuk kedalam

accepted criteria SNI 07-0049-1987.



Gambar 4.3 Hasil Radiografi E420-13 190 A

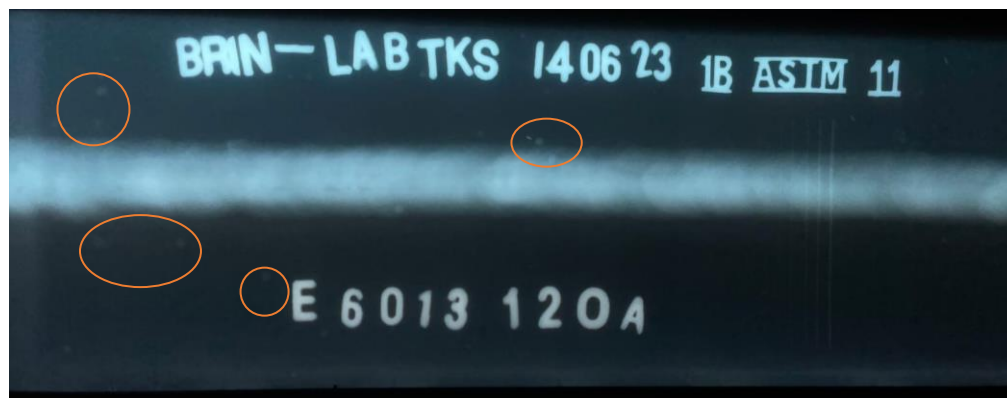
Dapat dilihat pada Gambar 4.3 menggunakan elektroda E420-13 Lokal dengan arus 190 A dengan memiliki cacat porositas, *incompleted fusion*, dan *spatter*. Pada cacat porositas ditandai lingkaran berwarna biru dengan menggunakan elektroda E420-13 Lokal dengan arus 190 A ini disebabkan oleh adanya udara masuk, kerusakan pada elektroda dan material yang kotor dan tidak bersih. Pada cacat *incompleted fusion* ditandai dengan lingkaran berwarna hijau yang disebabkan oleh ketidakstabilan tangan, sudut *bevel* terlalu sempit dan kecepatan pengelasan terlalu tinggi. Sedangkan pada cacat *spatter* ditandai lingkaran berwarna *orange* yang disebabkan oleh arus yang terlalu tinggi, *arc length* terlalu jauh dan elektroda lembab dan juga lapuk.

Dapat dilihat pada Tabel 4.6 data cacat pengelasan menggunakan elektroda E6013 Impor dengan arus 120 A memiliki total cacat porositas pada variasi arus 120 A sebanyak 0 buah, pada cacat *incompleted fusion* sebanyak 0 buah dan cacat *spatter* sebanyak 11 buah. Berdasarkan SNI 07-0049-1987 dengan *accepted criteria* Tingkat II, hasil pengelasan dapat dinyatakan *accepted* dikarenakan pada standar SNI 07-0049-1987 dengan porositas ukuran kecil maksimum berjumlah 44

buah.

Tabel 4.6 Data Hasil Cacat Pengelasan E6013 Impor 120 A

Jarak Indikasi Cacat (mm)	Kuat Arus E6013 Impor 120 A			Accepted criteria
	Cacat Porositas	Cacat <i>Incompleted Fusion</i>	Cacat <i>Spatter</i>	
0-20	-	-	5	Acc
21-40	-	-	2	Acc
41-60	-	-	1	Acc
61-80	-	-	1	Acc
81-100	-	-	2	Acc
101-120	-	-	-	Acc
121-140	-	-	-	Acc
141-160	-	-	-	Acc
Total	0	0	11	
Hasil Inspeksi				Acc



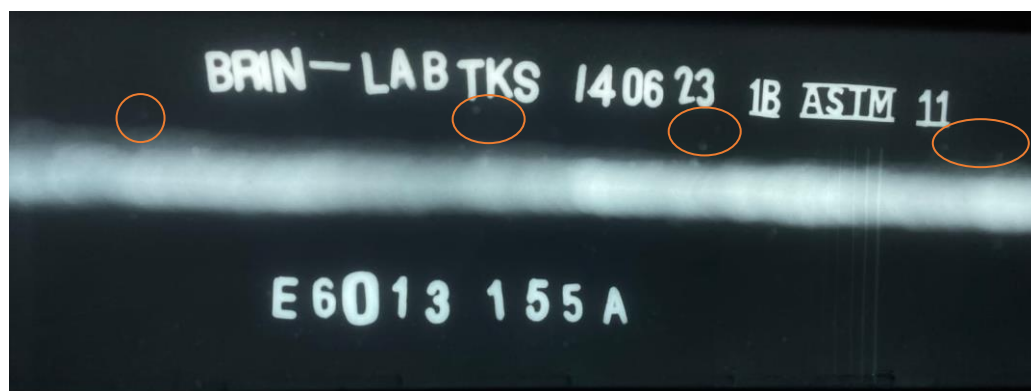
Gambar 4.4 Hasil Radiografi E6013 Impor 120 A

Dapat dilihat pada Gambar 4.4 menggunakan elektroda E6013 impor dengan arus 120 A. Pada cacat *spatter* ditandai dengan lingkaran berwarna *orange* yang disebabkan oleh arus yang terlalu tinggi, *arc length* terlalu jauh dan elektroda lembap dan juga lapuk.

Dapat dilihat pada Tabel 4.7 data cacat pengelasan menggunakan elektroda E6013 Impor dengan arus 155 A memiliki total cacat porositas pada variasi arus 120 A sebanyak 0 buah, pada cacat *incompleted fusion* sebanyak 0 buah dan cacat *spatter* sebanyak 11 buah. Berdasarkan SNI 07-0049-1987 dengan *accepted criteria* Tingkat II, hasil pengelasan dapat dinyatakan *accepted* dikarenakan pada standar SNI 07-0049-1987 dengan porositas ukuran kecil maksimum berjumlah 44 buah.

Tabel 4.7 Data Cacat Pengelasan E6013 Impor 155 A

Jarak Inspeksi Cacat (mm)	Kuat Arus E6013 Impor 155 A			<i>Accepted criteria</i>
	Cacat Porositas	Cacat <i>Incompleted Fusion</i>	Cacat <i>Spatter</i>	
0-20	-	-	2	Acc
21-40	-	-	-	Acc
41-60	-	-	-	Acc
61-80	-	-	1	Acc
81-100	-	-	-	Acc
101-120	-	-	1	Acc
121-140	-	-	1	Acc
141-160	-	-	1	Acc
Total	0	0	6	
Hasil Inspeksi				Acc



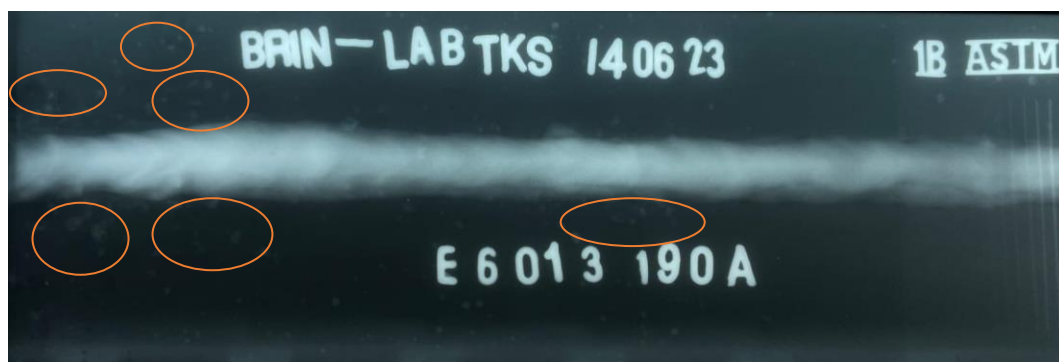
Gambar 4.5 Hasil Radiografi E6013 155 A

Dapat dilihat pada gambar 4.5 menggunakan elektroda E6013 impor dengan arus 155 A. Pada cacat *spatter* ditandai dengan lingkaran berwarna *orange* yang disebabkan oleh arus yang terlalu tinggi, *arc length* terlalu jauh dan elektroda lembap dan juga lapuk.

Tabel 4.8 Data Cacat Pengelasan E6013 Impor 190 A

Jarak Indikasi Cacat (mm)	Kuat Arus E6013 Impor 190 A			<i>Accepted criteria</i>
	Cacat Porositas	Cacat <i>Incompleted Fusion</i>	Cacat <i>Spatter</i>	
0-20	-	-	11	Acc
21-40	-	-	10	Acc
41-60	-	-	2	Acc
61-80	-	-	3	Acc
81-100	-	-	3	Acc
101-120	-	-	6	Acc
121-140	-	-	-	Acc
141-160	-	-	1	Acc
Total	0	0	36	
Hasil Inspeksi				Acc

Dapat dilihat pada Tabel 4.8 data cacat pengelasan menggunakan elektroda E6013 Impor dengan arus 190 A memiliki total cacat porositas pada variasi arus 190 A sebanyak 0 buah, pada cacat *incompleted fusion* sebanyak 0 buah dan cacat *spatter* sebanyak 36 buah. Berdasarkan SNI 07-0049-1987 dengan *accepted criteria* Tingkat II, hasil pengelasan dapat dinyatakan *accepted* dikarenakan pada standar SNI 07-0049-1987 dengan porositas ukuran kecil maksimum berjumlah 44 buah.



Gambar 4.6 Hasil Radiografi E6013 190 A

Dapat dilihat pada Gambar 4.6 dan Tabel 4.8 data cacat pengelasan menggunakan elektroda E6013 impor dengan arus 190 A dengan memiliki cacat *spatter*. Pada cacat *spatter* ditandai dengan lingkaran berwarna *orange* yang disebabkan oleh arus yang digunakan terlalu tinggi, *arc length* terlalu jauh dan elektroda lembap dan juga lapuk.

4.3 Pengujian Tarik E420-13 Lokal dan E6013 Impor

Pengujian tarik adalah suatu metode yang digunakan untuk menguji kekuatan suatu bahan atau material dengan cara memberikan beban gaya yang berlawanan dengan arah dalam satu garis lurus. Hasil yang didapatkan dari

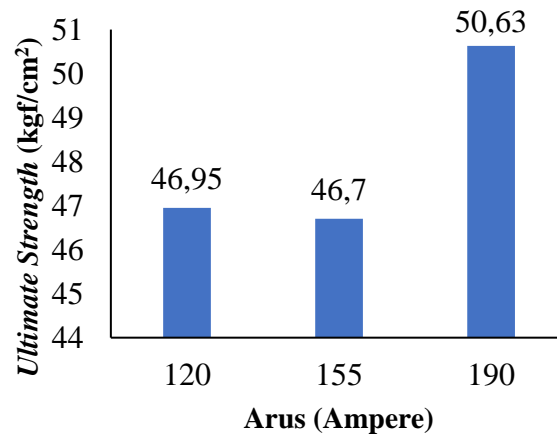
pengujian tarik sangat penting untuk rekayasa teknik dan desain suatu produk karena menghasilkan data kekuatan suatu bahan atau material.

Tabel 4.9 Hasil Pengujian Tarik E420-13 Lokal dan E6013 Impor

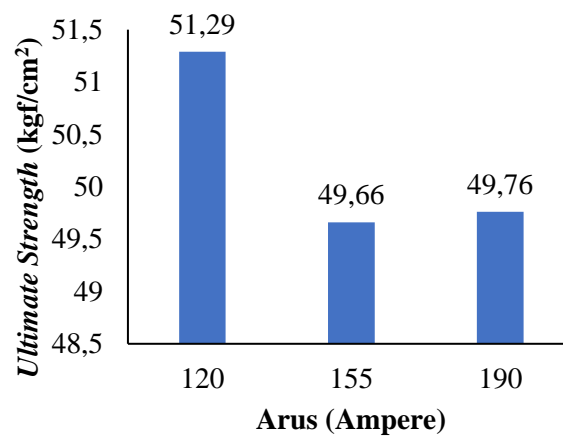
Sampel	Arus	A ₀ (mm ²)	F _y (kN)	F _m (kN)	σ _y		σ _u	
					(N/mm ²)	(kgf/mm ²)	(N/mm ²)	(kgf/mm ²)
E420-13	120	184,55	60,0	85,0	325	33,14	461	46,95
E420-13	155	179,15	60	82,0	335	34,16	458	46,70
E420-13	190	181,29	72,5	90,0	400	40,77	496	50,61
E6013	120	178,88	67,5	90,0	377	38,44	503	51,29
E6013	155	189,93	67,5	92,5	355	36,19	487	49,66
E6013	190	179,38	60	87,5	334	34,05	488	49,76

Dapat dilihat pada Tabel 4.9 Pengujian tarik digunakan untuk mengukur ketahanan suatu bahan atau material terhadap gaya statis yang diberikan secara perlahan. Benda yang diuji tarik diberikan pembebanan pada kedua arah sumbunya. Pemberian beban pada kedua sumbunya diberi beban yang di uji ditransmisikan pada pegangan beban yang di uji.

Dapat dilihat pada Gambar 4.7 bahwa berdasarkan standar SNI 07-0049-1987 menjelaskan bahwa untuk seri E 420-13 kuat tariknya diperkenankan sebesar 450 MPa (45,9 kgf/mm²) dan batas alur minimum sebesar 365 MPa (37,2 kgf/mm²). Pada elektroda E420-13 Lokal dengan arus 120 A memiliki nilai kuat tariknya sebesar 46,95 kgf/mm². Pada arus 155 A memiliki nilai kuat tarik sebesar 46,70 kgf/mm². Dan pada arus 190 A memiliki nilai kuat tarik sebesar 50,61 kgf/mm².



Gambar 4.7 Pengaruh Arus Terhadap *Ultimate Strength* E420-13 Lokal



Gambar 4.8 Pengaruh Arus Terhadap *Ultimate Strength* E6013 Impor

Dapat dilihat pada Gambar 4.8 Pada elektroda E6013 impor dengan arus 120 A memiliki nilai kuat tariknya sebesar 51,29 kgf/mm². Hal ini tidak sesuai dengan literatur dikarenakan pada arus 120 A memiliki ketidakseragaman pada material sehingga nilai kekuatan tariknya berbeda dengan arus 155 dan 190 A. Pada arus 155 A memiliki nilai kuat tarik sebesar 49,66 kgf/mm². Dan pada arus 190 A memiliki nilai kuat tarik sebesar 49,76 kgf/mm². Dari hasil pengujian dengan menggunakan elektroda E420-13 Lokal dan E6013 Impor masih termasuk standar SNI 07-0049-1987.

Menurut Baghel P.K, Selama proses pengelasan, ketika terjadi pada periode pengelasan, arus yang digunakan untuk menghasilkan busur untuk pemanasan dan peleburan disebut arus pengelasan. Arus memiliki fungsi dalam mengendalikan masukan panas. Semakin tinggi arus, semakin tinggi masukan panas. Tingkat arus yang optimal membuat masukan panas optimal yang menghasilkan struktur yang lebih homogen (Baghel, 2022).

Dari hasil pengujian tarik dengan menggunakan elektroda E420-13 Lokal dan elektroda E6013 Impor, bahwa hasil perbandingan pengujian tarik menggunakan elektroda E6013 Impor lebih baik dibandingkan dengan elektroda E420-13 Lokal. Hal ini disebabkan oleh komposisi *flux* yang berbeda antara kedua elektroda tersebut. Salah satu faktor penyebab hasil pengujian tarik dengan menggunakan elektroda E6013 Impor lebih baik dibandingkan dengan elektroda E420-13 Lokal adalah komposisi *flux* TiO_2 yang digunakan pada elektroda E6013 Impor lebih baik dibandingkan dengan elektroda E420-13 Lokal. Oleh sebab itu, hasil dari sifat mekanik dengan menggunakan elektroda E6013 Impor lebih baik.

4.4 Pengujian Impak E420-13 Lokal dan E6013 Impor

Pengujian impak merupakan salah satu pengujian yang mengukur ketahanan bahan terhadap beban kejut. Hal ini yang membedakan pengujian impak dan pengujian tarik, dimana beban diberikan secara perlahan-lahan. Pengujian impak merupakan salah satu uji mekanik yang dapat digunakan untuk menganalisis karakteristik mekanik bahan seperti kemampuan bahan terhadap benturan dan karakteristik ulet-getas terhadap perubahan suhu

Berikut adalah data hasil pengujian impak pada plat ASTM A36

menggunakan elektroda E6013 Impor dan E420-13 Lokal. Pada penelitian ini menggunakan beberapa variasi suhu yaitu sebesar -20, 0 dan 20. Hal ini dilakukan mengetahui kekuatan impact dengan variasi suhu yang berbeda yang digunakan untuk sebagai perbandingan antara energi yang diserap dan nilai impact yang didapatkan.

Tabel 4.10 Hasil Pengujian Impact Suhu -20

Sampel	Arus (Ampere)	Suhu (°C)	Luas Penampang (cm ²)	Energi (J)	Nilai Impact (J/cm ²)
E 420-13	120	-20	0,7958	10	12,57
E 420-13	155	-20	0,7873	25	31,75
E 420-13	190	-20	0,7405	15	20,26
E 6013	120	-20	0,7699	35	45,46
E 6013	155	-20	0,7865	110	139,86
E 6013	190	-20	0,8015	47	58,64

Dapat dilihat pada Tabel 4.10 hasil pengujian impact pada suhu -20°C didapatkan energi terserap yang tertinggi sebesar 110 *Joule* pada elektroda E6013 impor dengan menggunakan arus 155 A sehingga mendapatkan nilai harga impact sebesar 139,86 J/cm². Dan energi terserap yang terkecil sebesar 10 *Joule* pada elektroda E420-13 Lokal dengan menggunakan arus 120 A sehingga mendapatkan nilai impact sebesar 12,57 J/cm².

Tabel 4.11 Hasil Pengujian Impak Suhu 0

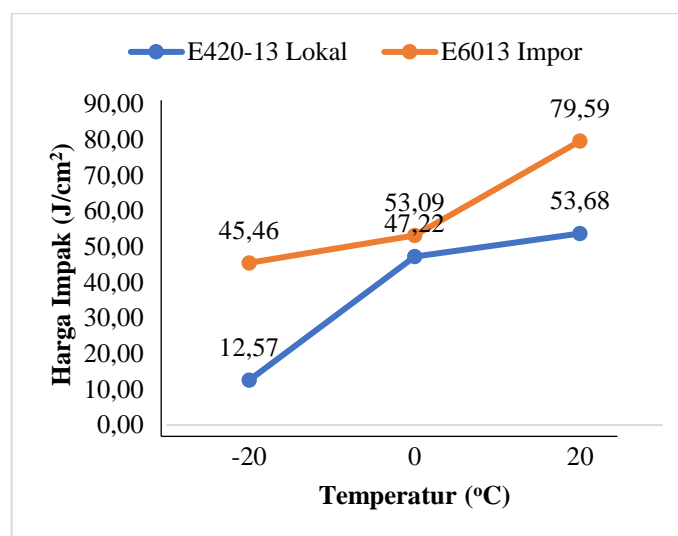
Sampel	Arus (Ampere)	Suhu (°C)	Luas Penampang (cm ²)	Energi (J)	Nilai Impak (J/ cm ²)
E 420-13	120	0	0,8047	38	47,22
E 420-13	155	0	0,7988	40	50,08
E 420-13	190	0	0,7935	17	21,42
E 6013	120	0	0,8099	43	53,09
E 6013	155	0	0,8015	121	150,97
E 6013	190	0	0,8078	32	39,61

Dapat dilihat pada Tabel 4.11 hasil pengujian impak pada suhu 0°C didapatkan energi terserap yang tertinggi sebesar 121 *Joule* pada elektroda E6013 impor dengan menggunakan arus 155 A sehingga mendapatkan nilai harga impak sebesar 150,97 J/cm². Dan energi terserap yang terkecil sebesar 17 *Joule* pada elektroda E420-13 Lokal dengan menggunakan arus 190 A sehingga mendapatkan nilai impak sebesar 21,42 J/cm².

Tabel 4.12 Hasil Pengujian Impak Suhu 20

Sampel	Arus (Ampere)	Suhu (°C)	Luas Penampang (cm ²)	Energi (J)	Nilai Impak (J/ cm ²)
E 420-13	120	20	0,7824	42	53,68
E 420-13	155	20	0,7943	38	47,84
E 420-13	190	20	0,8165	54	66,14
E 6013	120	20	0,8041	64	79,59
E 6013	155	20	0,8195	84	102,50
E 6013	190	20	0,8161	81	99,25

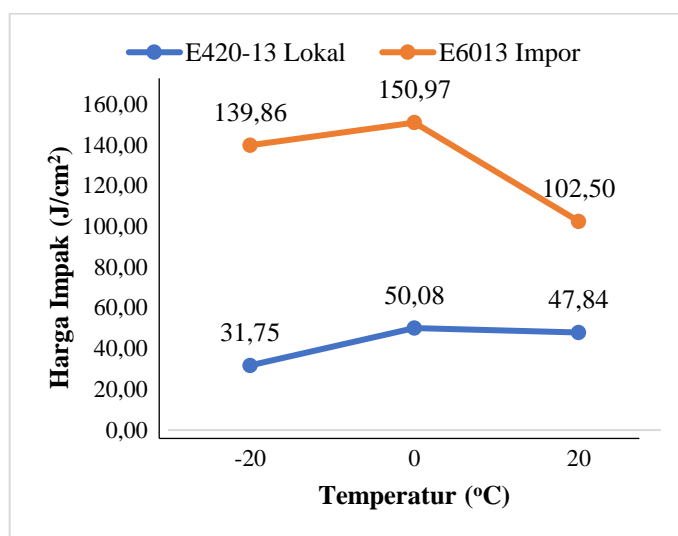
Dapat dilihat pada Tabel 4.12 hasil pengujian impact pada suhu 20°C didapatkan energi terserap yang tertinggi sebesar 84 *Joule* pada elektroda E6013 impor dengan menggunakan arus 155 A sehingga mendapatkan nilai harga impact sebesar 102,50 J/cm². Dan energi terserap yang terkecil sebesar 38 *Joule* pada elektroda E420-13 Lokal dengan menggunakan arus 155 A sehingga mendapatkan nilai impact sebesar 47,84 J/cm².



Gambar 4.9 Grafik Harga Impact Terhadap Temperatur E420-13 Lokal dan E6013 Impor 120 A

Dari Gambar 4.9 dapat dijelaskan bahwa semakin besar temperatur perlakuan, semakin besar pula harga kekuatan impact atau dengan kata lain harga impact meningkat seiring dengan naiknya temperatur. Kenaikan tersebut, terjadi secara *linear*. Pada elektroda E6013 Impor memiliki jenis patahan ulet yang dapat dilihat pada temperatur -20°C sampai dengan 20°C. Sedangkan pada elektroda E420-13 Lokal mulai dari temperatur -20°C memiliki jenis patahan getas dan mulai pada temperatur 0°C naik secara signifikan sampai dengan temperatur 20°C yang memiliki jenis patahan ulet. Hal ini menjelaskan bahwa untuk bahan baja

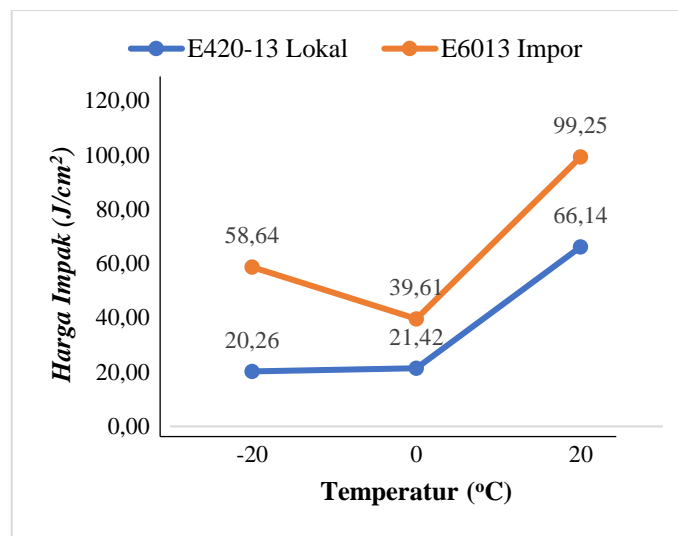
karbon rendah seperti ASTM A36 dengan menggunakan elektroda E420-13 Lokal akan menjadi sangat getas pada temperatur dibawah 0°C atau pada temperatur ekstrim. Dan sampai pada temperatur 20°C bahan bersifat ulet karena dibutuhkan energi yang besar untuk mematahkan spesimen akibat vibrasi atom yang juga meningkat pada suhu tinggi.



Gambar 4.10 Grafik Harga Impak Terhadap Temperatur E420-13 Lokal dan E6013 Impor 155 A

Dari Gambar 4.10 dapat dijelaskan bahwa semakin besar temperatur perlakuan, semakin besar kekuatan impak atau dengan kata lain harga impak akan meningkat seiring naiknya temperatur. Kenaikan tersebut, terjadi secara tidak *linear* pada elektroda E6013 Impor dikarenakan pada temperatur -20°C dan 0°C spesimen uji impak tidak mengalami patah. Hal ini disebabkan beberapa faktor seperti peletakan spesimen tidak berada diposisi tengah arah bandul. Pada elektroda E6013 Impor memiliki jenis patahan ulet pada masing-masing temperatur. Sedangkan pada elektroda E420-13 pada temperatur -20°C memiliki patahan getas dan pada temperatur 0°C sampai 20°C memiliki jenis patahan yang ulet. Hal in menjelaskan

bahwa untuk bahan baja karbon rendah seperti ASTM A36 dengan menggunakan elektroda E420-13 Lokal akan getas pada temperatur -20°C . dan sampai temperatur 20°C bahan bersifat ulet karena dibutuhkan energi yang besar untuk mematahkan spesimen akibat vibrasi atom yang meningkat pada suhu tinggi.



Gambar 4.11 Grafik Harga Impak Terhadap Temperatur E420-13 Lokal dan E6013 Impor 190 A

Dari Gambar 4.11 dapat dijelaskan bahwa semakin besar temperatur perlakuan, semakin besar kekuatan impak atau dengan kata lain harga impak akan meningkat seiring naiknya temperatur. Kenaikan tersebut, terjadi secara tidak *linear* pada elektroda E6013 Impor jenis patahan yang didapatkan yaitu patahan ulet pada temperatur -20°C dan 20°C . Namun pada temperatur 0°C spesimen uji impak mengalami patah getas. Hal ini disebabkan beberapa faktor seperti peletakan spesimen tidak berada diposisi tengah arah bandul. Sedangkan pada elektroda E420-13 pada temperatur -20°C memiliki patahan getas dan pada temperatur 0°C sampai 20°C memiliki jenis patahan yang ulet. Hal in menjelaskan bahwa untuk bahan baja karbon rendah seperti ASTM A36 dengan menggunakan elektroda

E420-13 Lokal akan getas pada temperatur -20°C . dan sampai temperatur 20°C bahan bersifat ulet karena dibutuhkan energi yang besar untuk mematahkan spesimen akibat vibrasi atom yang meningkat pada suhu tinggi.

Ketangguhan suatu bahan dapat diperkirakan dengan dengan mengamati bentuk patahan yang terjadi. Semakin banyak persentase perpatahan berserat atau berbentuk *dimple* menandakan bahan tersebut semakin ulet yang berarti semakin tangguh. Sebaliknya, semakin halus dan datar permukaannya, maka material tersebut akan semakin getas dan rapuh (Zuhaimi. 2016). Berikut ini ditunjukkan permukaan perpatahan pada bahan dengan menggunakan elektroda E420-13 Lokal dan E6013 Impor.



Gambar 4.12 Permukaan Patahan Pada Elektroda E420-13 Lokal

Dapat dilihat pada Gambar 4.12 merupakan salah satu sampel hasil dari pengujian impak dengan menggunakan temperatur ekstrim -50° , pada temperatur ini dapat dilihat bahwa patahan yang terjadi pada bahan dengan menggunakan elektroda E420-13 Lokal adalah patah getas. Dikarenakan patahannya halus pada bagian permukaan. Menurut Ahmad (Ahmad. 2009), perpatahan getas dihasilkan oleh mekanisme pembelahan (*cleavage*) pada butir-butir dari bahan yang rapuh (*brittle*) ditandai dengan permukaan patahan yang datar dan mampu memberikan daya pantul cahaya yang tinggi.



Gambar 4.13 Permukaan Patahan Pada Elektroda E6013 Impor

Dapat dilihat pada Gambar 4.13 merupakan salah satu sampel hasil pengujian impak dengan temperatur ekstrim sebesar -50° , pada temperatur ini dapat dilihat patahan yang terjadi pada bahan menggunakan elektroda E6013 Impor adalah patah ulet. Dikarenakan, pada bagian permukaan patahan terdapat serat. Namun, pada arus 155 A sampel tidak patah dikarenakan pada saat pengujian ini, letak *weld metal* tidak berada ditengah takikan, hal ini diketahui ketika proses etsa pada proses pengujian metalografi sehingga pada arus 155 A mengalami patahan campuran.

Menurut Ahmad (Ahmad. 2009), perpatahan ulet, berserat yang melibatkan mekanisme pergeseran bidang-bidang kristal didalam bahan yang ulet (*ductile*). Ditandai dengan permukaan patahan berserat yang berbentuk *dimple* yang menyerap cahaya. Sedangkan, perpatahan campuran (berserat dan *granular*) merupakan kombinasi dari dua jenis perpatahan ulet dan getas.

4.5 Pengujian *Bending* E420-13 Lokal dan E6013 Impor

Pengujian *bending* merupakan salah satu bentuk pengujian untuk menentukan mutu suatu material secara visual. Selain itu uji *bending* digunakan untuk mengukur kekuatan material akibat pembebanan dan kekuatan hasil sambungan las pada bagian daerah las (Airin. 2019). Pengujian *bending* pada

penelitian ini menggunakan standar SNI 07-0049-1987 untuk mengetahui kekuatan lentur (*bending*) suatu material dapat dilakukan dengan pengujian lentur terhadap specimen tersebut. Kekuatan *bending* merupakan tegangan *bending* yang terbesar akibat pembebanan luar tanpa mengalami deformasi yang besar. Besar kekuatan *bending* tergantung pada jenis spesimen dan pembebanan.

Dapat dilihat pada tabel 4.13 pada pengujian *bending* dengan menggunakan elektroda E420-13 Lokal mengalami retak pada arus 120 A, 155 dan 190 A dengan diberikan beban dengan sudut tekuk sebesar 120°C. Sedangkan pada arus 120 A dan 150 A dengan menggunakan elektroda E6013 Impor tidak mengalami retak. Namun pada arus 190 A mengalami retak dengan dengan sudut tekuk 120°C.

Tabel 4.13 Hasil Pengujian *Bending*

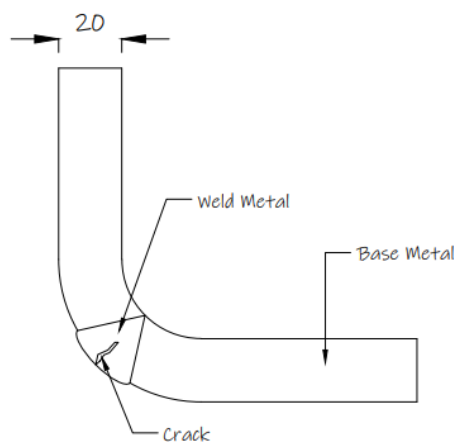
Benda Uji	Arus (Ampere)	Dimensi (mm)		Sudut Tekuk (°)	Keterangan
		Panjang	Tebal		
E6013 Impor	120	38,49	9,75	120	Tidak Retak
E6013 Impor	155	38,60	9,80	120	Tidak Retak
E6013 Impor	190	38,80	9,83	120	Retak
E420-13 Lokal	120	38,87	9,34	120	Retak
E420-13 Lokal	155	38,31	9,42	120	Retak
E420-13 Lokal	190	38,96	9,46	120	Retak

Dapat dilihat pada Gambar 4.14 pengaruh arus pada sudut tekuk. Pada elektroda E6013 Impor. Pada gambar ini dijelaskan dengan menggunakan arus 120 A dengan panjang spesimen sebesar 38,49 cm dengan ketebalan material 9,75 mm tidak mengalami retak pada bagian yang diberikan tegangan pada daerah las.

Dengan menggunakan arus 155 A dengan panjang spesimen sebesar 38,60 cm dan ketebalan material sebesar 9,8 mm tidak mengalami retak pada bagian daerah las. Sedangkan, pada arus 190 A dengan panjang spesimen 38,80 cm dan ketebalan material sebesar 9,83 mm mengalami retak akibat pembebanan pada bagian daerah las. Dengan menggunakan elektroda E6013 Impor pada arus 190 A mengalami retak. Hal ini disebabkan adanya cacat pengelasan pada permukaan hasil sambungan lasan sehingga akan menurunkan kekuatan sifat mekanik material tersebut



Gambar 4.14 Retak Pada E420-13 Lokal



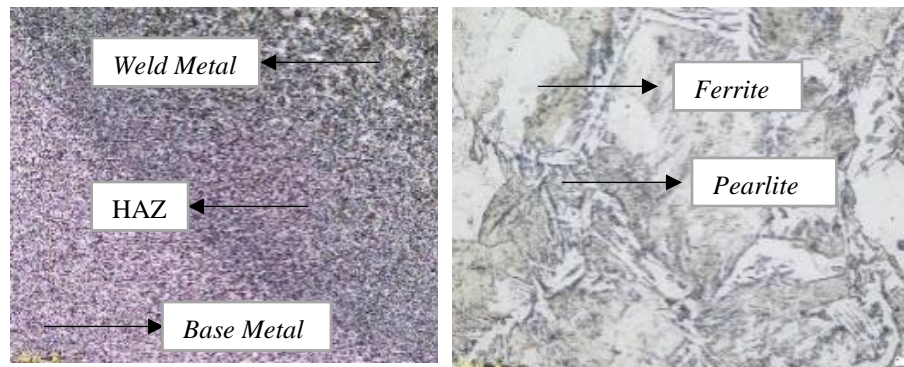
Gambar 4.15 Sketsa Retak Pada E6013 Impor 190 A.

Dapat dilihat pada Gambar 4.15 pengaruh arus terhadap sudut tekuk. Pada arus 120 A dengan panjang spesimen sebesar 38,87 cm dan ketebalan material sebesar 9,34 mm mengalami tidak retak pada bagian dasar las. Pada arus 155 A dengan panjang spesimen sebesar 38,31 cm dan ketebalan material sebesar 9,42 mm mengalami tidak retak pada bagian dasar las. Sedangkan, pada arus 190 A dengan panjang spesimen sebesar 38,96 cm dan ketebalan material sebesar 9,46 mm mengalami retak pada bagian dasar las. Dengan menggunakan elektroda E6013 Impor mengalami tidak retak pada arus 120 A dan 155 A. Namun pada arus 190 A mengalami retak dikarenakan dipengaruhi oleh proses pengelasan sehingga penetrasi tidak mencapai logam induk.

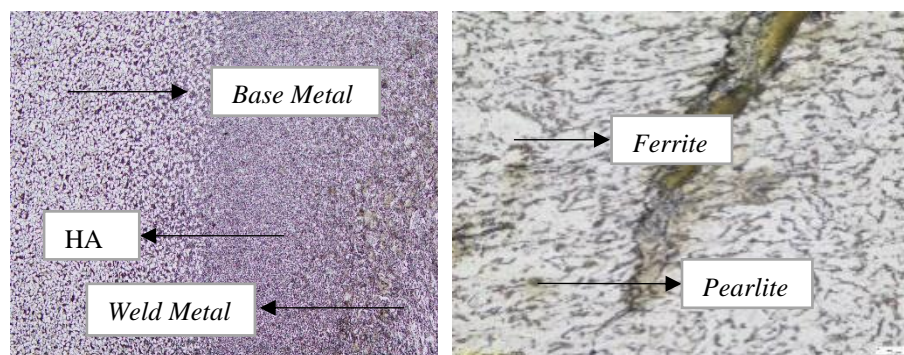
Menurut Rosidi (Rosidi, 2019), dari hasil pengujian lengkung tekan untuk mengidentifikasi bahwa keretakan yang terjadi sangat dipengaruhi oleh pengelasan dimana arus yang diberikan cukup besar dengan kecepatan *relative* cepat, sehingga penetrasi yang terjadi tidak mencapai dasar logam induk.

4.6 Pengujian Metalografi E420-13 Lokal dan E6013 Impor

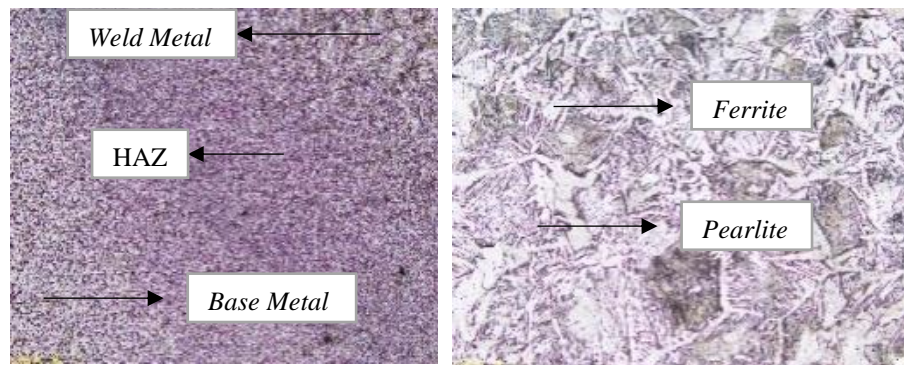
Pengujian metalografi ini dilakukan untuk mengetahui struktur mikro pada Baja A36 dengan menggunakan elektroda E420-13 Lokal dan E6013 Impor pada suhu ekstrim -50° . Sampel uji metalografi ini menggunakan sampel pengujian impact dengan variasi arus 120 A, 155 dan 190 A. Pada pengujian metalografi dengan menggunakan elektroda E420-13 Lokal dan E6013 Impor fasa yang terbentuk adalah fasa *ferrite* dan *pearlite*. Dapat dilihat pada Tabel 4.16 dan Tabel 4.17 hasil pengujian metalografi.



(a) Hasil metalografi E6013 Impor 120 A



(b) Hasil metalografi E6013 Impor 155 A

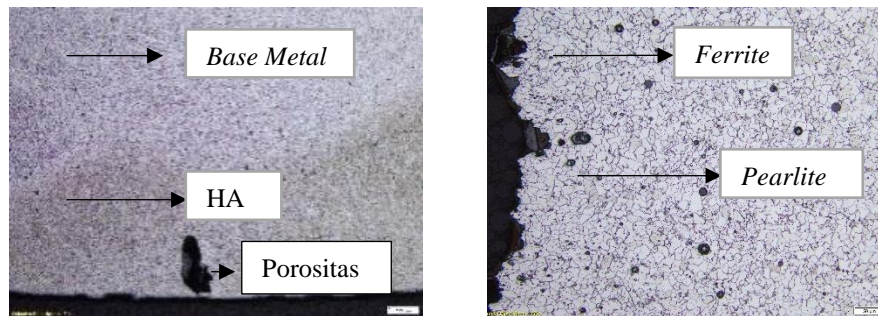


(c) Hasil metalografi E6013 Impor 190 A

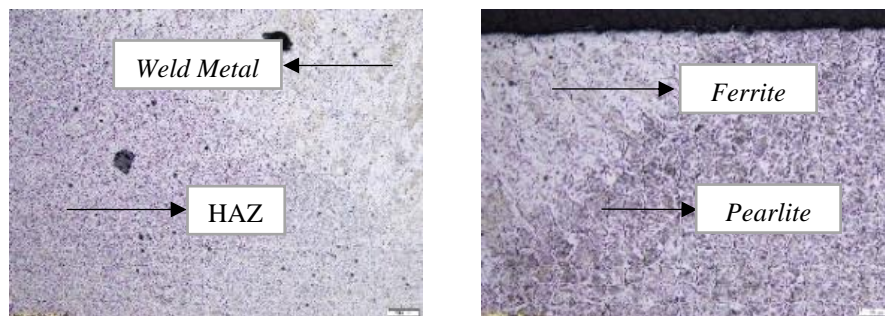
Gambar 4.16 Hasil pengujian metalografi E6013 Impor

Pengamatan yang dilakukan pada material dengan polaritas arus DC diketahui bahwa logam induk memiliki struktur mikro yang terdiri dari *ferrite* dan *pearlite*. *Ferrite* adalah fase larutan padat yang memiliki struktur BCC (*body centered cubic*). Pengamatan fasa-fasa pada *weld metal* diperoleh fasa *ferrite* lebih dominan dibanding *pearlite*. *Pearlite* merupakan fasa *ferrite* dan *cementite* terjadi

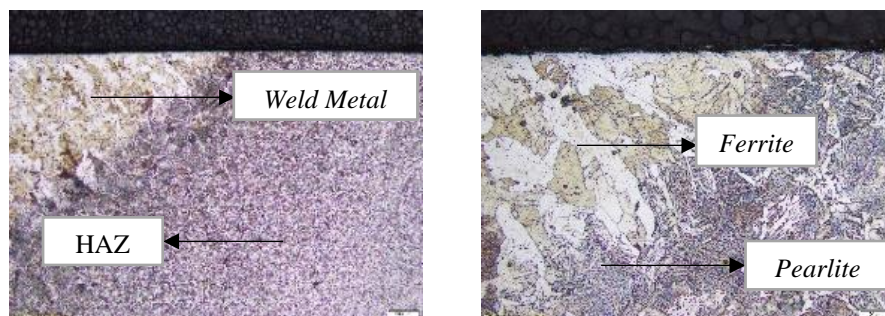
dengan reaksi tiga fasa *eutectoid*. Semakin sedikit jumlah *pearlite* menunjukkan kandungan karbon yang semakin rendah dari logam



(a) Hasil metalografi E420-13 Lokal 120 A



(b) Hasil metalografi E420-13 Lokal 155 A

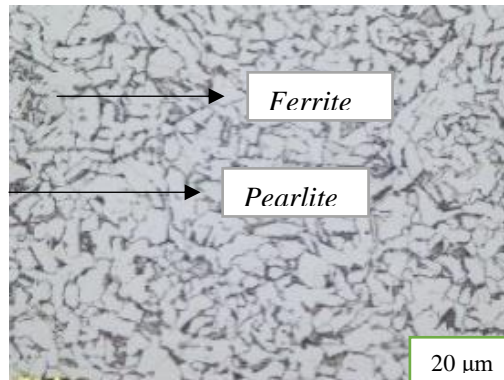


(c) Hasil metalografi E420-13 Lokal 190 A

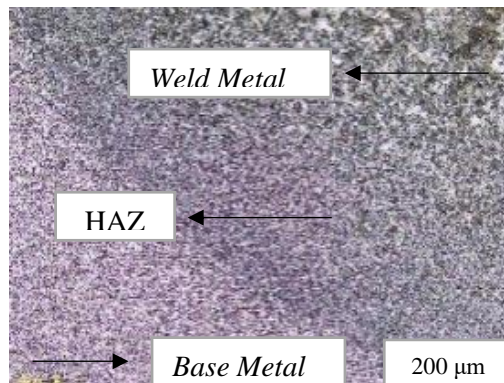
Gambar 4.17 Hasil Metalografi E420-13 Lokal

Dapat dilihat pada Gambar 4.17 hasil metalografi dengan menggunakan elektroda E420-13 Lokal pengamatan yang dilakukan pada material dengan polaritas arus DC diketahui bahwa logam induk memiliki struktur mikro yang terdiri dari *ferrite* dan *pearlite*. *Ferrite* adalah fase larutan padat yang memiliki

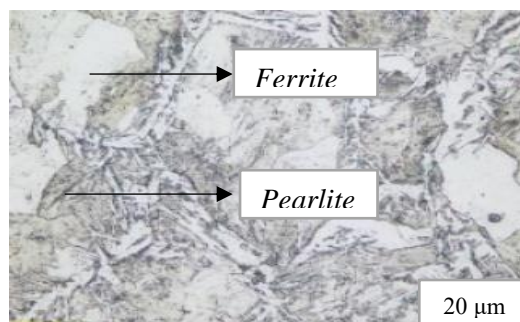
struktur BCC (*body centered cubic*). Pengamatan fasa-fasa pada *weld metal* diperoleh fasa *pearlite* lebih dominan dibanding *ferrite*. *Pearlite* merupakan fasa *ferrite* dan *cementite* terjadi dengan reaksi tiga fasa *eutectoid*. Semakin sedikit jumlah *pearlite* menunjukkan kandungan karbon yang semakin rendah dari logam



(a)



(b)



(c)

Gambar 4.18 (a) Daerah *Base Metal* (b) Daerah HAZ (c) Daerah *Weld Metal*

Dapat dilihat pada gambar 4.18 Struktur mikro dengan menggunakan elektroda E6013 Impor. Pengamatan struktur mikro ini untuk melihat perubahan struktur yang terjadi pada material baja ASTM A36. Pengamatan menggunakan mikroskop optik dengan perbesaran 200x pada *base metal*, 50x pada daerah HAZ dan 500x pada daerah *weld metal* Pengamatan dilakukan pada titik yang sama. Pengamatan dilakukan pada tiga titik yang berbeda yaitu pada daerah *base metal*, daerah HAZ dan daerah *weld metal*.

Ferrite ($Fe\alpha$) yaitu larutan padat dengan prosentase karbon 0,008% C pada suhu kamar dan kelarutan 0,025% C pada suhu 723°C. *Ferrit* bersifat lunak dan keuletan nya tinggi. *Cementite* adalah senyawa Fe + C Fe_3C (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 *cementite* dan *Pearlite* adalah *eutectoid mixture* dari *cementite* dan *ferrite* pada karbon 0,8%. Dan struktur mikronya berlapis – lapis antara *ferrite* dan *cementite*. Oleh karena itu sifat *pearlite* adalah gabungan antara sifat *ferrite* dan *cementite* yaitu agak keras dengan keuletan yang tinggi

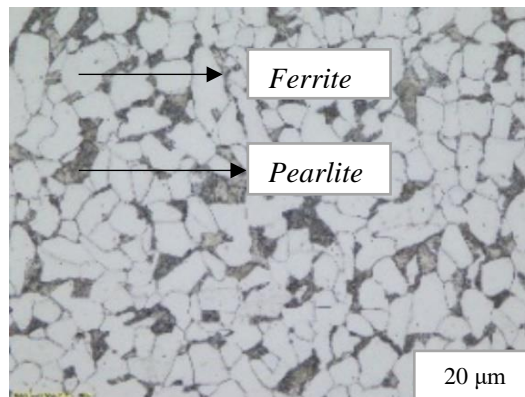
Pengamatan pada fasa-fasa pada hasil pengelasan menggunakan elektroda E6013 Impor diperoleh fasa *ferrite* lebih dominan dibandingkan dengan *pearlite*. Semakin sedikit jumlah *pearlite* menunjukkan kandungan karbon yang semakin rendah dari logam (Affi, J. 2007). Efek paling besar diberikan oleh paduan TiO₂ pada elektroda jenis kalium titania tinggi dengan ukuran butir paling kecil. Paduan TiO₂ mempunyai pengaruh yang signifikan pembentuk *ferrite* dan menekan jumlah *austenite*. Dengan kata lain, transformasi dari *austenite* ke *ferrite* dipercepat oleh *flux*

TiO₂. Jika proses transformasi difasilitasi oleh *flux* ini berarti kemungkinan pengintian fasa *ferrite* yang lebih banyak dan fasa menghasilkan fasa *ferrite*.

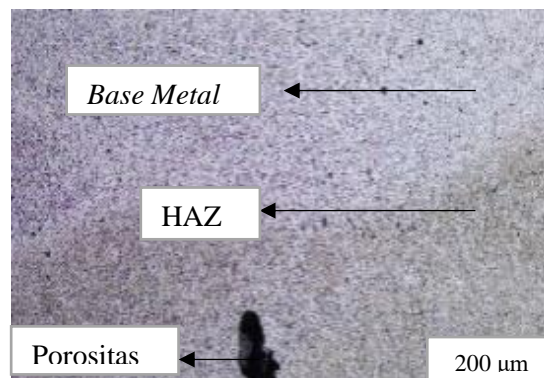
Menurut Rihyat, *ferrite* dalam keadaan setimbang dapat ditemukan pada temperature ruang, yaitu *alpha-ferrite* atau pada temperature tinggi, yaitu *delta-ferrite*. Secara umum fase ini bersifat lunak (*soft*), ulet (*ductile*), dan magnetik (*magnetic*) hingga temperature tertentu. Kelarutan karbon di dalam fase ini temperature lebih kecil dibandingkan dengan kelarutan karbon di dalam fase larutan padat lain di dalam baja, yaitu fase *Austenite*. Pada temperature ruang, kelarutan karbon di dalam *alpha-ferrite* hanyalah sekitar 0,05%. *Pearlite* adalah suatu campuran *lamellar* dari *ferrite* dan *cementite*. Konstituen ini terbentuk dari dekomposisi *Austenite* melalui reaksi *eutectoid* pada keadaan setimbang, dimana lapisan *ferrite* dan *cementite* terbentuk secara bergantian untuk menjaga keadaan kesetimbangan komposisi *eutectoid*. *Pearlite* memiliki struktur yang lebih keras daripada *ferrite*, yang terutama disebabkan oleh adanya fase *cementite* dalam bentuk lamel.

Dapat dilihat pada gambar 4.19 Struktur mikro dengan menggunakan eletkroda E420-13 Lokal. Pengamatan struktur mikro ini untuk melihat perubahan stuktur yang terjadi pada material baja ASTM A36. Pengamatan menggunakan mikroskop optik dengan perbesaran 200x pada *base metal*, 50x pada daerah HAZ dan 500x pada daerah *weld metal* Pengamatan dilakukan pada titik yang sama. Pengamatan dilakukan pada tiga titik yang berbeda yaitu pada daerah *base metal*, daerah HAZ dan daerah *weld metal*. Pada hasil pengamatan struktur mikro pada hasil sambungan lasan menggunakan elektroda E420-13 Lokal terdapat cacat

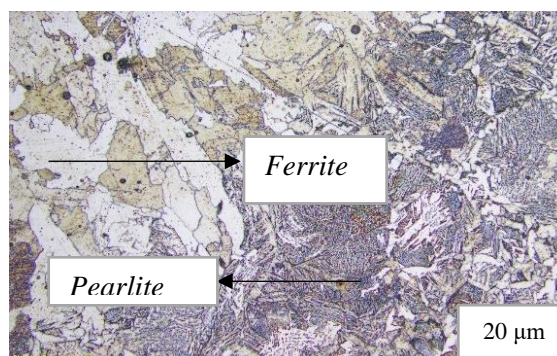
porositas terlihat pada hasil metalografi dengan perbesaran 50x pada daerah HAZ.



(a)



(b)



(c)

Gambar 4.19 (a) Daerah *Base Metal* (b) Daerah HAZ (c) Daerah *Weld Metal*

E420-13 Lokal

Ferit ($Fe\alpha$) yaitu larutan padat dengan prosentase karbon 0,008% C pada suhu kamar dan kelarutan 0,025% C pada suhu $723^{\circ}C$. Ferit bersifat lunak dan

keuletannya tinggi. *Cementite* adalah senyawa $Fe + C$ Fe_3C (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 *cementite* dan *Pearlite* adalah eutektoid *mixture* dari *cementite* dan ferit pada karbon 0,8%. Dan struktur mikronya berlapis – lapis antara ferit dan *cementite*. Oleh karena itu sifat perlit adalah gabungan antara sifat ferit dan *cementite* yaitu agak keras dengan keuletan yang tinggi.

Menurut Rihyat *ferrite* dalam keadaan setimbang dapat ditemukan pada temperature ruang, yaitu *alpha-ferrite* atau pada temperature tinggi, yaitu *deltaferrite*. Secara umum fase ini bersifat lunak (*soft*), ulet (*ductile*), dan magnetik (*magnetic*) hingga temperature tertentu. Kelarutan karbon di dalam fase ini temperature lebih kecil dibandingkan dengan kelarutan karbon di dalam fase larutan padat lain di dalam baja, yaitu fase *Austenite*. Pada temperature ruang, kelarutan karbon di dalam *alpha-ferrite* hanyalah sekitar 0,05%. Sementara *Pearlite* adalah suatu campuran lamellar dari *ferrite* dan *cementite*. Konstituen ini terbentuk dari dekomposisi *Austenite* melalui reaksi *eutectoid* pada keadaan setimbang, di mana lapisan *ferrite* dan *cementite* terbentuk secara bergantian untuk menjaga keadaan kesetimbangan komposisi *eutectoid*. *Pearlite* memiliki struktur yang lebih keras daripada *ferrite*, yang terutama disebabkan oleh adanya fasa *cementite* atau *carbide* dalam bentuk lamel-lamel.

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Dari hasil riset dari percobaan perbedaan variasi arus pada pengelasan SMAW dengan dilakukannya pengujian radiografi, tarik, impak, *bending* dan struktur mikro, maka dapat disimpulkan antara lain:

1. Hasil dari uji tarik dengan menggunakan variasi arus 120 A, 155 A, dan 190 A mengalami putus pada daerah lasan pada masing-masing arus menggunakan elektroda E420-13 Lokal dan E6013 Impor. Pada hasil uji impak dengan menggunakan variasi arus jenis patahan yang didapatkan elektroda E420-13 getas sedangkan elektroda E6013 Impor ulet. Dan pada uji *bending* dengan menggunakan variasi arus pada elektroda E420-13 Lokal mengalami retak pada masing-masing arus di daerah lasan. Sedangkan menggunakan elektroda E6013 Impor pada arus 120 A dan 155 A tidak mengalami retak. Namun pada arus 190 A mengalami retak di daerah lasan.
2. Hasil pengujian metalografi menggunakan variasi arus 120 A, 155, dan 190 A memiliki struktur mikro yang berbeda. Pada elektroda E420-13 Lokal memiliki fasa *pearlite* lebih dominan dibandingkan dengan *ferrite*. Sedangkan pada elektroda E6013 Impor memiliki fasa *ferrite* yang lebih dominan dibandingkan *pearlite*. Hal ini disebabkan adanya perbedaan dari komposisi *flux* pada kedua elektroda tersebut.

3. Hasil pengujian radiografi dengan pada sambungan lasan dengan menggunakan variasi arus 120 A, 155 A, dan 190 A pada elektroda E420-13 Lokal memiliki cacat pengelasan *clustered porosity*, *incompleted penetration*, dan *spatter*. Sedangkan pada elektroda E6013 Impor memiliki cacat pengelasan *spatter*. Hal ini disebabkan karena adanya perbedaan komposisi *flux* TiO₂ pada elektroda E420-13 Lokal dengan elektroda E6013 Impor.

5.2 Saran

Dari hasil penelitian yang telah didapatkan pada perbedaan arus dan jenis elektroda pada pengelasan SMAW maka didapatkan saran untuk penelitian selanjutnya antara lain:

1. Memastikan arus yang digunakan tidak melewati batas minimum dan maksimum pada proses pengelasan.
2. Memastikan temperatur *interpass* tidak melebihi standar sebesar 250°C.
3. Memastikan pada saat pembuatan sampel uji daerah logam las sesuai dengan standar yang digunakan.
4. Sebaiknya menggunakan ketebalan yang sesuai dengan Standar Nasional Indonesia (SNI) agar hasil pengujian sifat mekanik lebih baik dan akurat.
5. Sebaiknya komposisi *flux* E420-13 Lokal disesuaikan dengan E6013 Impor agar dapat terstandarisasi sesuai standar AWS E6013.

DAFTAR PUSTAKA

- Affi, J. (2007). *Pengaruh Lapisan Oksida Tambahan pada Elektroda E 6013 Terhadap Sifat Mekanik dan Struktur Mikro Lasan Baja Karbon Rendah*. Jurnal Teknik Mesin, 20.
- Agarwal, R. (1992). *Welding Engineering: A Textbook for Student, fourth ed.* New Delhi, India: Khanaa Publications.
- Amin, S. (2019). *Analisa Pengaruh Variasi Kuat Arus dan Kampuh Las Anatara Elektroda 6013 Merek X dan Y Terhadap Karakteristik Sambungan Las*. Jurnal Ilmiah Teknobiz, 1-11.
- ASTM. (2019). *ASTM A36: Standard Specification for Carbon*. Washington, D.C: American Society Testing Material.
- ASTM, E. (2013). *ASTM E23: Standar Test Method for Notched Bar Impact Testing of Metallic Materials*. American Nasional Standar, 1-26.
- ASTM, E. (2013). *ASTM E8: Standar Test Methods for Tension Testing of Metallic Materials*. American Nasional Standar, 1-28.
- AWS, A. (2008). *Procurement Guidlines For Consumables Welding an Allied Process Flux and Gas Shielded Electrical Welding Process*. American Nasional Standar.
- Azwinur. (2019). *Pengaruh Jenis Elektroda Pengelasan SMAW Terhadap Sifat Mekanik Material SS400*. Jurnal Polimesin, 19-25.
- Baghel, P. K. (2022). *Effect of SMAW process parameters on similar and dissimilar metal welds*. Heliyon 8, 1-14.
- Bintoro, A. (2000). *Dasar-dasar Pekerjaan Las*. Yogyakarta: Kanisisu.
- BSN. (1987). *Elektroda Las Terbungkus Elektroda Las Terbungkus Baja Karbon Renda, Mutu dan Syarat Uji*. Jakarta: Badan Standarisiasi Nasional.
- BSN. (2016). *Spesifikasi Baja Karbon Struktural*. Standar Nasional Indonesia, 1-32.
- D1.1, A. (2020). *Structural Welding Code Steel*. American Welding Society.
- DIN, 1. (2013). *Welding and Allied Process*. *Deutsches Institut für Normung*, 1-27.

- Fakri, Z. (2019). *Analisis Pengaruh Kuat Arus Pengelasan GMAW Terhadap Ketangguhan Sambungan Baja AISI 1050*. *Journal of Welding Technology*, 10.
- Groover. (2007). *Fundamental of Modern Manufacturing:Material, Process and System*. *Wiley Interscience*, 706-709.
- Haris Budiman. (2016). *Analisis Pengujian Tarik (Tensile Test) Pada Baja ST37 Dengan Alat Bantu Ukur Load Cell*. *Jurnal J-Esintec*, 13.
- Harsono, W. T. (1986). *Teknologi Pengelasan Logam*. Pradnya Paramita.
- Hidayat, K. (2020). *Analisis Sudut Kampuh Single V Butt Joint Las Mig pada Aluminium 6061 Terhadap Kekuatan Tarik dan Kekerasan*. Semarang: *Jurnal Teknik Perkapalan*.
- Hidayat, W. (2019). *Klasifikasi Dan Sifat Material Teknik Serta Pengujian Material*. *Jurnal Pendidikan Teknik Mesin*.
- HW, Ahmad. (2009). *Karakteristik Material 1 Pengujian Tidak Merusak*. *Jurnal Teknik Metalurgi*, 11.
- Jordi M, Y. H. (2017). *Analisa Pengaruh Proses Quenching Dengan Media Berbeda Terhadap Kekuatan Tarik dan Kekerasan Baja St 36 Dengan* . Semarang: *Jurnal Teknik Perkapalan*.
- Lawrance, V. V. (1991). *Ilmu Bahan dan Teknologi Bahan* . Jakarta: Erlangga.
- Ngafidudin, M. (2016). *Rancang Bangun pH Meter Dengan Sensor E-201C Berbasis Mikrokontroler Arduino Uno Untuk Diterapkan pada Mesin Pencuci Film Radiografi Sinar-X*. *Jurnal Fisika*, 15.
- Putri, F. (2010). *Analisa Pengaruh Variasi Kuat Arus Dan Jarak Pengelasan*. Palembang: *Jurnal Austenit*.
- Risal, S. (2019). *Perbandingan Hasil Uji Mekanik Kekuatan Tarik Pada Pengelasan SMAW dan MIG*. *Pendidikan Teknik Mesin*, 10.
- Rosidi. (2019). *Analisa Kuat Arus Elektroda E6013 Terhadap Sambungan Las Pada Pelat Baja Untuk Tabung Gas 3KG*. *Politeknologi*, 1-10.
- Saduk, Mesiani. (2017). *Analisis Kekuatan Bending dan Kekuatan Impak Komposit Epoxy Diperkuat Serat Pelepeh Lontar*. *Jurnal Rekayasa Mesin*, 121-127.

- Sahlan. (2015). *Analisis Cacat Pengelasan Incompleted Fusion dan Retak Memanjang pada Waterwall Tube Boiler*. Jurnal Ilmiah Semesta Teknik, 10-20.
- Suryaningsih, F. (2017). *Analisis Cacat pada Plat Carbon Steel Menggunakan Software ISEE Untuk Hasil FiLm Imaging Plate (IP)*. Pusat Rekayasa Nuklir - BATAN, 9.
- Syamsul, A. (1997). *Las Listrik dan Otogen*. Bandung: Ghailia Indonesia.
- Tarkono. (2010). *Studi Kekuatan Sambungan Las Baja AISI 1045 dengan Berbagai Cacat Pengelasan*. Jurnal Mechanical, 1-11.
- Wandri, D. (2016). *Effect On Current AC and DC Welding Result*. Padang: Jurnal Pendidikan Teknik Mesin.
- Zuhaimi. (2016). *Kekuatan Impak Baja ST 60 Dibawah Temperatur Ekstrim*. Jurnal Polimesin, 33-40.

LAMPIRAN A
PERHITUNGAN

Lampiran A. Perhitungan

A1. Pengujian Radiografi

- E420-13 Lokal (120 A)

$$T_{\text{material}} = 10,47 \text{ mm}$$

$$T_{\text{las}_1} = 13,45 \text{ mm}$$

$$T_{\text{las}_2} = 15,17 \text{ mm}$$

$$T_{\text{las}_3} = 11,75 \text{ mm}$$

$$\text{Rata-rata Tlas} = 13,46 \text{ mm}$$

Lama waktu dihitung dengan melihat diagram *exposure time*,

$$\text{Dengan Tlas} = 13,46 \text{ mm}$$

$$\text{Mesin} = 140 \text{ kV}$$

Waktu penyinaran = 72 detik.

- E6013 Impor (120 A)

$$T_{\text{material}} = 10,25 \text{ mm}$$

$$T_{\text{las}_1} = 13,15 \text{ mm}$$

$$T_{\text{las}_2} = 13,17 \text{ mm}$$

$$T_{\text{las}_3} = 13,11 \text{ mm}$$

$$\text{Rata-rata Tlas} = 13,14 \text{ mm}$$

Lama waktu dihitung dengan melihat diagram *exposure time*,

$$\text{Dengan Tlas} = 13,14 \text{ mm}$$

$$\text{Mesin} = 140 \text{ kV}$$

Waktu penyinaran = 78 detik.

A2. Pengujian Tarik

- E420-13 Lokal (120 A)

$$A_0 = 184,55 \text{ mm}^2$$

$$F_y = 60 \text{ kN}$$

$$F_m = 85 \text{ kN}$$

$$\sigma_y = \frac{F_y}{A_0}$$

$$\sigma_y = \frac{60}{184,55}$$

$$\sigma_y = 325 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_y = 3314 \text{ Kgf/cm}^2$$

$$\sigma_m = \frac{F_m}{A_0}$$

$$\sigma_m = \frac{85}{184,55}$$

$$\sigma_m = 461 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_m = 4695 \text{ Kgf/cm}^2$$

- E6013 Impor (120 A)

$$A_0 = 178,88 \text{ mm}^2$$

$$F_y = 67,5 \text{ kN}$$

$$F_m = 90 \text{ kN}$$

$$\sigma_y = \frac{F_Y}{A_0}$$

$$\sigma_y = \frac{67,5}{178,88}$$

$$\sigma_y = 377 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_y = 3844 \text{ Kgf/cm}^2$$

$$\sigma_m = \frac{F_m}{A_0}$$

$$\sigma_m = \frac{90}{178,88}$$

$$\sigma_m = 503 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_m = 5129 \text{ Kgf/cm}^2$$

A3. Pengujian Impak

- Pada variasi temperatur -20°

E6013 Impor 120 A

$$A = 0,7699 \text{ cm}^2$$

$$E = 35 \text{ J}$$

$$\text{Harga Impak} = \frac{E}{A}$$

$$\text{Harga Impak} = \frac{35}{0,7699}$$

$$\text{Harga Impak} = 45,46 \text{ J/cm}^2$$

E420-13 Lokal 120 A

$$A = 0,7958 \text{ cm}^2$$

$$E = 10 \text{ J}$$

$$\text{Harga Impak} = \frac{E}{A}$$

$$\text{Harga Impak} = \frac{10}{0,7958}$$

$$\text{Harga Impak} = 12,57 \text{ J/cm}^2$$

- Pada variasi temperatur 0°

E6013 Impor 120 A

$$A = 0,8099 \text{ cm}^2$$

$$E = 43 \text{ J}$$

$$\text{Harga Impak} = \frac{E}{A}$$

$$\text{Harga Impak} = \frac{43}{0,8099}$$

$$\text{Harga Impak} = 53,09 \text{ J/cm}^2$$

E420-13 Lokal 120 A

$$A = 0,8047 \text{ cm}^2$$

$$E = 38 \text{ J}$$

$$\text{Harga Impak} = \frac{E}{A}$$

$$\text{Harga Impak} = \frac{39}{0,8047}$$

$$\text{Harga Impak} = 47,22 \text{ J/cm}^2$$

- Pada variasi temperatur 20°

E6013 Impor 120 A

$$A = 0,8041 \text{ cm}^2$$

$$E = 64 \text{ J}$$

$$\text{Harga Impak} = \frac{E}{A}$$

$$\text{Harga Impak} = \frac{64}{0,8041}$$

$$\text{Harga Impak} = 79,59 \text{ J/cm}^2$$

E420-13 Lokal 120 A

$$A = 0,7824 \text{ cm}^2$$

$$E = 42 \text{ J}$$

$$\text{Harga Impak} = \frac{E}{A}$$

$$\text{Harga Impak} = \frac{42}{0,7824}$$

$$\text{Harga Impak} = 53,68 \text{ J/cm}^2$$

LAMPIRAN B
DATA HASIL PENELITIAN

Lampiran B. Data Hasil Penelitian

No.	NAMA BENDA UJI	DIMENSI (mm)	DIAHMETER PELENGKUNG (mm)	SOJUK TEKUK (T)	GAYA MARIKUM (kg/KN)	KODE / MEREK	PENAMPILAN	KETERANGAN
1	E 420-13	18,87 x 9,78	120	120	325	3314	Tidak Retak	120 A
2	E 420-13	18,87 x 9,78	120	120	400	4077	Tidak Retak	120 A
3	E 420-13	18,87 x 9,78	120	120	406	4136	Tidak Retak	120 A
4	E 420-13	18,87 x 9,78	120	120	405	4127	Tidak Retak	120 A
5								
6								
7								
8								
9								
10								

No.	NAMA BENDA UJI	DIMENSI (mm)	DIAHMETER PELENGKUNG (mm)	SOJUK TEKUK (T)	KODE / MEREK	PENAMPILAN	KETERANGAN
1	E 420-13	18,87 x 9,78	120	120	325	3314	Tidak Retak
2	E 420-13	18,87 x 9,78	120	120	400	4077	Tidak Retak
3	E 420-13	18,87 x 9,78	120	120	406	4136	Tidak Retak
4	E 420-13	18,87 x 9,78	120	120	405	4127	Tidak Retak
5							
6							
7							
8							
9							
10							

Gambar B1. Data Uji Bending E6013

Gambar B2. Data Uji Bending E6013

No	Dimensi (mm)		A _o (mm ²)	F _y (kN)	F _m (kN)	σ _y (N/mm ²)	σ _u (N/mm ²)	σ _y (kgf/cm ²)	σ _u (kgf/cm ²)
	Lebar	Tebal							
1	18,87	9,78	184,55	60,0	85,0	325	3314	481	4695
2	19,62	9,24	181,29	72,5	90,0	400	4077	496	5061
3	19,15	9,33	178,67	72,5	92,5	406	4136	518	5277
4	19,40	9,23	179,06	72,5	95,0	405	4127	531	5408

No.	NAMA BENDA UJI	DIMENSI (mm)	PALANG AWAL (mm)	PELUKSIAN PANJANG (mm)	GAYA YIELD (kg/KN)	GAYA MARIKUM (kg/KN)	KODE / MEREK	KETERANGAN
1	E 420-13	18,87 x 9,78	50	10	325	3314	3314	120 A
2	E 420-13	18,87 x 9,78	50	10	400	4077	4077	120 A
3	E 420-13	18,87 x 9,78	50	10	406	4136	4136	120 A
4	E 420-13	18,87 x 9,78	50	10	405	4127	4127	120 A
5								
6								
7								
8								
9								
10								

Gambar B3. Data Uji Tarik E6013

Gambar B4. Data Uji Tarik E6013



Gambar B5. E420-13 Lokal 120 A



Gambar B6. E420-13 Lokal 155 A



Gambar B7. E420-13 Lokal 190A



Gambar B8. E6013 Impor 120A



Gambar B9. E6013 Impor 155A



Gambar B10. E6013 Impor 190A



Gambar B11. Mounting E420-13 Lokal



Gambar B12. Mounting E6013 Impor

LAMPIRAN C
GAMBAR ALAT DAN BAHAN

Lampiran C. Gambar Alat dan Bahan**C1. Alat Penelitian****Gambar C1. Apron Las****Gambar C2. Gerinda****Gambar C3. Helm Las****Gambar C4. Meja Las****Gambar C5. Mesin Cutting****Gambar C6. Mesin Grinding**



Gambar C7. Mesin Las



Gambar C8. Mikroskop Optik



Gambar C9. Oven



Gambar C10. Palu



Gambar C11. Radiografi



Gambar C12. Sarung Tangan



Gambar C13. Tang Ampere



Gambar C14. Thermogun



Gambar C15. Uji Bending



Gambar C16. Uji Impak



Gambar C17. Uji Tarik

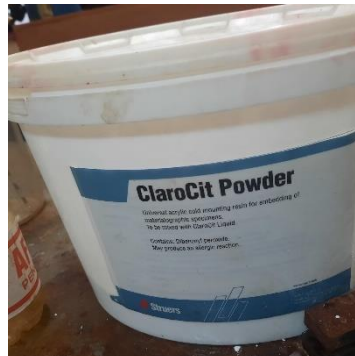


Gambar C18. Uji XRF

C2. Bahan Penelitian



Gambar C.19 *Clarocit Liquid*



Gambar C20. *Clarocit Powder*



Gambar C21. *Developer*



Gambar C22. *DP-Paste 6*



Gambar C23. *DP-Paste 1/4*



Gambar C24. *E420-13 Lokal*



Gambar C25. *Fixer*



Gambar C26. *Plat ASTM A36*



Gambar C27. E5013 Impor