

SKRIPSI

**Pengujian Kuat Tarik dan Kekerasan Pada Pengelasan SMAW Baja Karbon
Rendah Dengan Variasi Kuat Arus**



PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN (S1)

JURUSAN TEKNIK MESIN

FAKULTAS TEKNIK

UNIVERSITAS TIDAR

2023

HALAMAN PERSETUJUAN

SKRIPSI

Pengujian Kuat Tarik Dan Kekerasan Pada Pengelasan Smaw Baja Karbon
Rendah Dengan Variasi Kuat Arus

Disusun oleh :

Nama : M Mudrikunnni'am

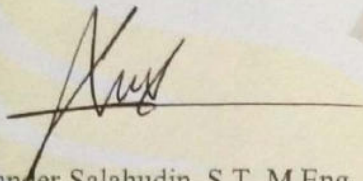
NPM : 1810502068

Telah disahkan oleh dosen pembimbing serta diketahui Koordinator Program
Studi Teknik Mesin (S1), Fakultas Teknik, Universitas Tidar.

Magelang, Mei 2023

Menyetujui/mengesahkan,

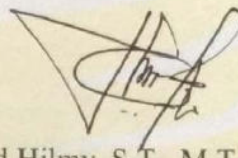
Pembimbing 1



Xander Salahudin, S.T, M.Eng.

NIP. 198501222015041001

Pembimbing 2

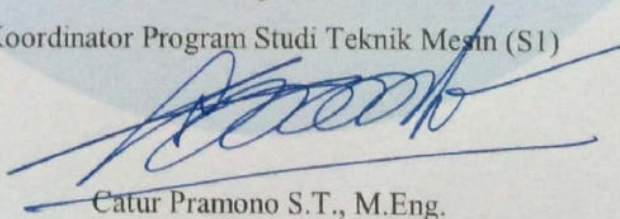


Ir. Fuad Hilmy, S.T., M.T, IPP

NIP.19921022019031021

Mengetahui

Koordinator Program Studi Teknik Mesin (S1)



Catur Pramono S.T., M.Eng.

NIP. 198407282015041001

HALAMAN PERNYATAAN

Saya yang bertanda tangan dibawah ini:

Nama : M Mudrikunni'am

NPM : 1810502068

Menyatakan dengan sesungguhnya bahwa skripsi yang berjudul **"Pengujian Kuat Tarik dan Kekerasan Pada Pengelasan SMAW Baja Karbon Rendah Dengan Variasi Kuat Arus"** adalah benar-benar hasil karya sendiri, kecuali jika disebutkan sumbernya dan belum pernah diajukan pada instansi manapun, serta bukan karya jiplakan. Saya bertanggung jawab atas keabsahan dan kebenaran isinya sesuai dengan sikap ilmiah yang harus dijunjung tinggi.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya, tanpa adanya tekanan dan paksaan dari pihak manapun, serta bersedia mendapatkan sanksi akademik apabila ternyata dikemudian hari pernyataan tidak benar.

Magelang, Mei 2023



M Mudr

NPM 1810502068



HALAMAN PENGESAHAN DEWAN PENGUJI

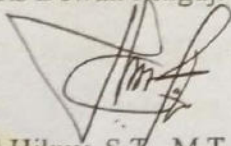
Skripsi dengan judul "Pengujian Kuat Tarik dan Kekerasan Pada Pengelasan SMAW Baja Karbon Rendah Dengan Variasi Kuat Arus"

Disusun oleh:

Nama : M Mudrikunni'am
NPM : 1810502068
Program Studi : S1 Teknik Mesin

Susunan Dewan Penguji

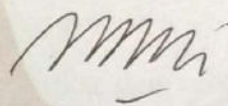
Sekretaris Dewan Penguji



Ir. Fuad Hilmy, S.T., M.T., IPP.

NIP. 199210122019031021

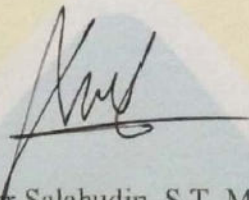
Anggota Dewan Penguji



Ir. Nani Mulyaningsih, S.T., M.Eng., IPM

NIP. 197404182021212007

Ketua Dewan Penguji



Xander Salahudin, S.T, M.Eng

NIP. 198501222015041001

Dekan Fakultas Teknik



Dr. Ir. Gito Sugiyanto, S.T., M.T., IPM., ASEAN Eng.

NIP 198002152002121003

MOTTO DAN PERSEMBAHAN

MOTTO

”Jangan jadikan kekuranganmu sebagai kelemahanmu.”

PERSEMBAHAN

Skripsi ini saya persembahkan kepada :

1. Orang tua saya, Alm Bapak M Riyanto dan Ibu Zumrotul Muniroh.
2. *Civitas* akademik Fakultas Teknik, Jurusan Teknik Mesin, Program Studi S1 Teknik Mesin (dosen beserta jajarannya)
3. Saudara S1 Teknik Mesin Angkatan 2018.
4. Teman-teman saya Ariffudin Nur Mufida dan seluruh anggota kos ceria yang telah banyak membantu saya.
5. Kekasih saya, Sri Wahyuni Ardiani.

KATA PENGANTAR

Puji syukur Alhamdulillah penulis panjatkan kepada Allah SWT atas nikmat dan ridha-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan penyusunan skripsi ini. Adapun judul skripsi yang penulis susun adalah “Pengujian Kuat Tarik Dan Kekerasan Pada Pengelasan Smaw Baja Karbon Rendah Dengan Variasi Kuat Arus”.

Skripsi ini disusun sebagai salah satu syarat untuk menyelesaikan gelar program sarjana pada Jurusan Teknik Mesin Universitas Tidar. Dalam penyusunan skripsi ini penulis tidak lepas dari bimbingan, bantuan, dorongan dan kerja sama dari semua pihak. Untuk itu dengan kerendahan hati, penulis mengucapkan banyak terima kasih kepada semua pihak yang telah membantu dalam menyelesaikan skripsi ini. Adapun pihak-pihak tersebut diantaranya:

1. Allah SWT atas segala nikmat dan hidayah-Nya, sehingga penyusunan skripsi ini dapat terlaksana dengan baik.
2. Orang tua yang telah memberikan dukungan moral, finansial dan terutama doa dari mereka sehingga kegiatan terlaksana dengan lancar.
3. Dr. Ir. Gito Sugiyanto, S.T., M.T., IPM., ASEAN Eng. selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Tidar.
4. Trisma Jaya Saputra, S.T., M.T. selaku Ketua Jurusan Teknik Mesin Universitas Tidar.
5. Catur Pramono, S.T., M.Eng, IPP. selaku Koordinator Program Studi Teknik Mesin (S1) Universitas Tidar.
6. Xander Salahudin, S.T, M.Eng, IPP. selaku Dosen Pembimbing I yang telah memberikan pengarahan dan bimbingan serta petunjuk dan koreksi yang sangat berharga bagi skripsi ini.
7. Ir. Fuad Hilmy, S.T., M.T, IPP. selaku Dosen Pembimbing II yang telah memberikan pengarahan dan bimbingan serta petunjuk dan koreksi yang sangat berharga bagi skripsi ini.

8. Seluruh dosen dan karyawan Program Studi Teknik Mesin (S1) Universitas Tidar yang telah memberikan bantuan maupun masukan terhadap penyusunan proposal skripsi ini.
9. Teman-teman Program Studi Teknik Mesin (S1) Universitas Tidar yang
10. membantu memberikan masukan dalam penulisan proposal skripsi ini.
11. Semua pihak tidak dapat penulis sebutkan satu persatu yang secara tidak langsung membantu sepenuhnya dalam penulisan proposal skripsi ini
12. Penulis menyadari bahwa penulisan skripsi ini masih jauh dari kata sempurna, sehingga kritik dan saran yang membangun sangat penulis harapkan demi kemajuan ilmu pengetahuan di masa mendatang. Akhir kata penulis berharap semoga skripsi ini dapat bermanfaat bagi semuanya.

Magelang, 23 Mei 2023

Penulis



M Mudrikunni'am

NPM 1810502016

DAFTAR ISI

HALAMAN PERSETUJUAN.....	ii
HALAMAN PERNYATAAN	iii
HALAMAN PENGESAHAN DEWAN PENGUJI.....	iv
MOTTO DAN PERSEMBAHAN	v
KATA PENGANTAR	vi
DAFTAR ISI.....	viii
DAFTAR GAMBAR	x
DAFTAR TABEL.....	xii
NOMENKALTUR.....	xiii
ABSTRAK.....	xiv
ABSTRACT.....	xv
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	4
1.3 Batasan Masalah.....	5
1.4 Tujuan Penelitian.....	5
1.5 Manfaat Penelitian.....	5
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	6
2.1 Kajian Pustaka	6
2.2 Pengertian Las	10
2.3 Kajian Teori.....	12
2.3.1 Las SMAW (<i>Shielded Metal Arc Welding</i>).....	12
2.3.2 Elektroda Terbungkus	13
2.3.3 Besarnya Arus Listrik	15
2.3.4 Baja karbon rendah	15
2.3.5 Struktur Mikro Daerah Las-lasan.....	17
2.3.6 Diagram CCT (<i>continuous cooling transformation</i>).....	22
2.3.7 <i>Heat input</i>	23
2.3.8 Kampuh V	24

2.3.9	Pengujian Komposisi	25
2.3.10	Pengujian Tarik	25
2.3.11	Pengujian Kekerasan	27
2.3.12	Foto Struktur Mikro	28
BAB III METODE PENELITIAN.....		29
3.1	Waktu Dan Tempat	29
3.2	Alat dan Bahan	29
3.3	Langkah-langkah penelitian	33
3.4	Variabel Penelitian (tidak untuk perancangan)	38
3.5	Teknik Pengumpulan Data	39
3.6	Teknik Analisis Data	39
3.7	Perancangan penelitian	39
3.8	Diagram Alir Penelitian.....	40
3.9	Jadwal Penelitian	41
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN		42
4.1.	Pembuatan Spesimen.....	42
4.2.	Hasil Pengujian.....	43
4.2.1.	Pengujian Kekerasan.....	43
4.2.2.	Pengujian Struktur Mikro.....	45
4.2.3.	Pengujian Kuat Tarik	46
BAB V PENUTUP.....		50
5.1.	Kesimpulan.....	50
5.2.	Saran.....	50
DAFTAR PUSTAKA		51
LAMPIRAN.....		54

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Proses las SMAW	12
Gambar 2. 2 Elektroda terbungkus.....	15
Gambar 2. 3 Arah pembekuan dari logam las.....	17
Gambar 2. 4 Struktur mikro <i>acicular ferrite</i> (AF) dan <i>grain boundary ferrite</i> (GF) atau ferit butir.....	18
Gambar 2. 5 Struktur mikro <i>ferit Widmanstätten</i>	19
Gambar 2. 6 Struktur mikro <i>acicular ferrite</i> (AF) dan <i>grain boundary ferrite</i> (GF) atau ferit butir.....	19
Gambar 2. 7 Struktur mikro martensit	20
Gambar 2. 8 Struktur mikro bainit (ASM, 1989).....	20
Gambar 2. 9 Transformasi fasa pada logam hasil pengelasan.	21
Gambar 2. 10 Perubahan sifat fisis pada sambungan las cair	22
Gambar 2. 11 Diagram CCT untuk baja ASTM 4340	23
Gambar 2. 12 Kampuh V	25
Gambar 2. 13 Kurva tegangan-regangan	26
Gambar 2. 14 Batas elastis dan tegangan luluh	27
Gambar 3 1 Mesin gergaji.....	29
Gambar 3 2 Mesin las SMAW DC	30
Gambar 3 3 Penggaris	30
Gambar 3 4 Ampelas.....	30
Gambar 3 5 Alat uji tarik (hydraulic servo pulser)	31
Gambar 3 6 <i>Vickers hardness tester</i>	31
Gambar 3 7 Alat uji struktur mikro.....	31
Gambar 3 8 Baja ST 41	32
Gambar 3 9 Mesin Frais.....	32
Gambar 3 10 Kampuh V terbuka gambar	34
Gambar 3 11 Spesimen uji tarik.....	37
Gambar 3 12 Diagram alir.....	40

Gambar 4. 1 Spesimen pengujian kekerasan dan struktur mikro.....	42
Gambar 4. 2 Spesimen pengujian uji tarik.....	42
Gambar 4. 3 Struktur mikro dengan variasi kuat arus 60 <i>Ampere</i>	45
Gambar 4. 4 Struktur mikro dengan variasi kuat arus 80 <i>Ampere</i>	45
Gambar 4. 5 Struktur mikro dengan variasi kuat arus 100 <i>Ampere</i>	45



DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Spesifikasi Elektroda Terbungkus dari Baja Lunak.....	14
Tabel 3. 1 Kandungan logam las msds AWS E6013	34
Tabel 3. 2 Jadwal Penelitian.....	41
Tabel 4. 1 Hasil uji kekerasan.	44
Tabel 4. 2 Diagram perbandingan.....	51
Tabel 4. 3 Hasil uji tarik.....	51
Tabel 4. 4 Diagram perbandingan.....	51



NOMENKALTUR

A^2	: Luas Permukaan
ST	: <i>Strength Tensile</i>
C	: Karbon
SAE	: <i>Society of Automotive Engineer</i>
VHN	: <i>Vickers Hardness Numbers</i> (Kg/mm ²)
F	: Beban yang di terapkan (Kgf)
⁰ C	: Drajat Celcius
d	: Diagonal rata-rata (μ m)
Kgf	: Kilogram force
Fe	: Ferro (besi)
mm ²	: Mili meter persegi
mm	: Mili meter
μ m	: Mikro meter
N	: Newton
MPa	: Mega Pascal
P	: beban yang menekan (Kgf)
A	: sudut piramida intan (136 ⁰)
ϵ	: regangan (%)

ABSTRAK

Baja SS400 merupakan kategori baja karbon rendah dengan kandungan karbon sebesar 0,08-0,20%. Baja SS400 umumnya digunakan untuk pembuatan handle rem sepeda motor, bodi mobil, pipa saluran, konstruksi jembatan, dan perkapalan. Tujuan penelitian ini dilakukan adalah untuk menganalisis nilai kekerasan, kekuatan tarik, dan struktur mikro baja SS400 dengan ditambah kampuh V terbuka di spesimen uji sebelum proses pengelasan. Metode penelitian ini adalah baja SS400 dengan variasi kuat arus 60 A, 80 A, dan 100 A. Sebelum proses pengelasan, spesimen uji dipotong sesuai dengan ukuran yang sudah ditentukan dengan kampuh V terbuka. Hasil penelitian kali ini memiliki nilai kekerasan tertinggi baja SS41 pada pengelasan dengan variasi kuat arus 80 A dengan $261,85 \text{ kg/mm}^2$. Nilai kekerasan terendah baja SS400 pada pengelasan dengan variasi kuat arus 60 A dengan $125,34 \text{ kg/mm}^2$. Pengamatan struktur mikro baja SS400 dengan pembesaran 500X setelah proses pengelasan menunjukkan bahwa struktur yang terbentuk akibat proses pengelasan adalah ferrit, dan pearlite. Nilai kekuatan tarik baja SS400 yang paling tinggi diperoleh dari spesimen dengan variasi kuat arus 100 A sebesar 295,57 MPa. Sedangkan nilai kekuatan tarik baja SS400 yang paling rendah diperoleh dari spesimen dengan variasi kuat arus 60 A sebesar 62,72 MPa.

Kata kunci : Baja SS400, kekerasan, kekuatan tarik, struktur mikro.

ABSTRACT

SS400 steel is a category of low carbon steel with a carbon content of 0.08-0.20%. SS400 steel is generally used for the manufacture of motorcycle brake handles, car bodies, conduit pipes, bridge construction, and shipping. The purpose of this study was to analyze the hardness, tensile strength, and microstructure values of SS400 steel with the addition of open V potentiation in the test specimen before the welding process. This research method is SS400 steel with strong variations of current 60 A, 80 A, and 100 A. Before the welding process, the test specimen is cut according to the predetermined size with an open V potency. The results of this study have the highest hardness value of SS400 steel in welding with a strong variation of current of 80 A with 261.85 kg/mm². The lowest hardness value of SS400 steel on welding with a current strength variation of 60 A with 125.34 kg/mm². Observation of the microstructure of SS400 steel with a magnification of 500X after the welding process shows that the structures formed due to the welding process are ferrite, dan pearlite. The highest value of tensile strength of SS400 steel was obtained from specimens with a current strength variation of 100 A of 295,57 MPa. While the lowest tensile strength value of ST41 steel was obtained from specimens with a strong variation of 60 A current of 62.72 MPa.

Keywords : Steel SS400, hardness, tensile strength, microstructure.

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Perkembangan teknologi di bidang konstruksi yang semakin maju tidak bisa dipisahkan dari teknik pengelasan. Pengelasan memiliki peran penting dalam rekayasa dan reparasi logam. Bangunan konstruksi dengan logam pada saat ini banyak yang menggunakan unsur pengelasan, khususnya bidang rancang bangun. Sambungan las merupakan salah satu pembuatan sambungan yang secara teknis memerlukan bakat yang tinggi bagi pengelasnya untuk menghasilkan sambungan las dengan kualitas baik. Lingkup penggunaan teknik pengelasan dalam konstruksi sangat luas meliputi perkapalan, jembatan, rangka baja, bejana tekan, sarana transportasi, rel, pipa saluran, dan lain sebagainya (Saripuddin dan Lauw, 2013). Di bidang rancang bangun, khusus untuk *chasis* mobil, ini banyak menggunakan teknik pengelasan. *Chasis* mobil adalah komponen bagian dalam mobil yang keberadaanya sangat penting. Hal tersebut dikarenakan *chasis* menjadi kerangka dasar atau pondasi tempat disatukannya komponen mesin dan komponen mobil lainnya. Oleh sebab itu penulis menganalisa kekuatan tarik dan kekerasan pada *chasis* mobil untuk menghasilkan mobil yang lebih sempurna dan nyaman. Salah satu bahan yang sering digunakan dalam teknik pengelasan adalah baja karbon rendah. Baja karbon rendah ini bisa di aplikasikan atau digunakan sebagai baja profil rangka bangunan karena pada saat ini banyak konstruksi bangunan yang menggunakan bahan baja karena konstruksi baja lebih kuat, kokoh, hemat waktu. Pengelasan pada baja karbon rendah seringkali dijumpai berbagai masalah yang berpengaruh pada dunia konstruksi bangunan. Salah satu yang paling berpengaruh terjadi pada saat proses pengelasan. Selama proses pengelasan berlangsung, logam akan mengalami siklus termal yaitu proses pemanasan dan pendinginan yang terjadi secara cepat di daerah pengelasan sehingga terjadi proses metalurgi, deformasi yang berpengaruh pada kualitas

hasil pengelasan seperti jenis cacat yang dihasilkan, ketangguhan sambungan, kekuatan tarik (*tensile strength*) serta struktur mikro logam (Wiyono, 2012).

Berdasarkan penelitian yang pernah dilakukan dengan judul penelitian Pengaruh Arus Pengelasan Smaw Terhadap Kekuatan Bending Permukaan (*Face Bend*) Las dan Kekerasan Pada Baja Komersil. Dalam penelitian yang dilakukan menggunakan tiga variasi arus pengelasan yaitu, 50 *Ampere*, 65 *Ampere*, 80 *Ampere* yang menggunakan elektroda E6013 diameter 2.6 mm yang menyatakan dalam penelitian tersebut bahwa pada arus 80 *Ampere* mempunyai nilai uji bending tertinggi adalah 294,91 MPa dan terendah pada arus 50 *Ampere* adalah 188,09 MPa. Nilai kekerasan tertinggi terdapat arus pengelasan 50 *Ampere* sebesar 188 kg/mm² dan terendah pada arus 80 *Ampere* yang hanya 167,86 kg/mm² yang terletak pada daerah logam las (Arlin dkk, 2019).

Penelitian yang berjudul Pengaruh variasi arus pengelasan terhadap sifat mekanik pada proses pengelasan SMAW ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh arus pengelasan terhadap sifat mekanik dengan menggunakan proses pengelasan SMAW. Penelitian ini menggunakan material baja karbon rendah. Material diberi perlakuan pengelasan dengan variasi arus 80 A, 90 A dan 100 A. Jenis sambungannya adalah sambungan tumpul kampuh V tunggal dengan sudut 70°. Hasil penelitian menunjukkan bahwa hasil pengujian tarik pada spesimen *raw material* yang tidak mengalami pengelasan dan spesimen yang mengalami pengelasan bahwa nilai kekuatan tarik yang paling tinggi terdapat pada arus 100 A yaitu sebesar 44.08 kgf/mm² selanjutnya diikuti oleh arus 80 A yaitu sebesar 43.14 kgf/mm² selanjutnya diikuti oleh nilai kekuatan tarik dari raw material yaitu sebesar 41.88 kgf/mm² dan yang terakhir adalah arus 90 A yang nilainya sebesar 40.07kgf/mm². Nilai pengujian kekerasan material pada arus 80 A, 90 A dan 100 A menunjukkan bahwa nilai kekerasan tertinggi terdapat pada daerah logam las yaitu pada kelompok spesimen arus 80 A sebesar 96.5 HRC (Azwinur, 2017).

Penelitian dengan judul Pengaruh variasi kuat arus pengelasan terhadap kekuatan tarik dan kekerasan sambungan las *plate carbon steel* ASTM ini

bertujuan untuk mengetahui pengaruh variasi arus pengelasan terhadap kekuatan tarik dan kekerasan pengelasan SMAW dengan elektroda E7016 pada pelat baja karbon ASTM A36 dengan ketebalan 10 mm. Besar variasi penggunaan arus las adalah 90 *ampere*, 100 *ampere*, 110 *ampere* dan 120 *ampere*. Penelitian ini dilakukan dengan membuat uji spesimen dengan variasi arus las sebesar 90 *ampere*, 100 *ampere*, 110 *ampere* dan 120 *ampere* selanjutnya dilakukan pengujian spesimen uji tarik dan kekerasan untuk mencari informasi pengaruh yang disebabkan oleh variasi arus las terhadap kekuatan tarik dan kekerasan. Hasil penelitian menunjukkan bahwa kekuatan tarik tertinggi (*Ultimate Tensile Strength*) diperoleh pada sampel sebesar 110 *ampere* dengan nilai rata – rata UTS sebesar 467,78 MPa. Sedangkan nilai kekerasan tertinggi diperoleh pada sampel 120 *ampere* dengan nilai rata – rata pada daerah HAZ 191 HV dan pada daerah 228 HV logam las (Nugroho dan Setiawan, 2018).

Alasan pengujian ini dilakukan adalah untuk mengembangkan menyempurnakan dari penelitian terdahulu. Pada penelitian sebelumnya masih banyak ditemukan banyak permasalahan yang ditemukan yang menghasilkan cacat pada proses pengelasan. Permasalahan yang ditemukan pada hasil sambungan *plate carbon steel* ASTM A36 menggunakan pengelasan *Shield Metal Arc Welding* (SMAW) yaitu di temukan permasalahan *defect welding* diantaranya *defect undercut* pada bagian tepi logam las yang mengikis bagian batas antara logam induk dengan logam hasil pengelasan yang kemudian membentuk garis pemisah antara logam hasil pengelasan dengan logam induk yang di las. *Defect porosity* pada logam hasil pengelasan yaitu lubang- lubang kecil pada logam las yang dihasilkan pada saat pengelasan, serta *defect* yang sangat fatal pada pengelasan yaitu di temukan *defect crack* pada tepi sambungan logam las, kondisi ini mengakibatkan pada saat pemindahan *spalder link* ke mal cetakan pengecoran hasil sambungan las tersebut tidak kuat menahan beban dari mal cetakan sehingga mengakibatkan *crack* tersebut membesar dan membuat sambungan patah. Kekuatan sambungan las dari hasil proses

pengelasan SMAW pada *plate carbon steel* ASTM A36 belum kuat untuk menahan beban yang di berikan (Nugroho dan Setiawan, 2018).

Berdasarkan penelitian sebelumnya, penelitian ini berfokus pada objek dan variabel penelitian. Pada penelitian sebelumnya menggunakan objek berupa baja karbon rendah dengan elektroda E6013 diameter 2.6 mm dengan variasi kuat arus 50 Ampere, 65 Ampere, dan 80 Ampere. Sedangkan pada penelitian ini menggunakan objek baja karbon rendah seri SS400 dengan elektroda E6013 dengan variasi kuat arus 60 Ampere, 80 Ampere, dan 100 Ampere. Penelitian ini menganalisis arus pengelasan *shield metal arc welding* (SMAW) pada kekerasan dan kuat tarik pengelasan baja karbon rendah SS400, serta mencari nilai arus pengelasan yang optimal untuk mendapatkan nilai kekerasan dan kuat tarik yang baik. Sehingga dari penelitian ini diharapkan dapat digunakan sebagai bahan evaluasi teknik dalam proses perbaikan kualitas pengelasan SMAW pada pengelasan baja karbon rendah SS400 serta mengembangkan penelitian sebelumnya agar ilmu pengelasan menjadi lebih sempurna untuk dunia industri dan pendidikan.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan penelitian terdahulu di temukan permasalahan *defect welding* diantaranya *defect undercut* pada bagian tepi logam las yang mengikis batas antara logam induk dengan logam hasil pengelasan yang kemudian membentuk garis pemisah antara logam hasil pengelasan dengan logam yang dilas. *Defect porosity* pada logam hasil pengelasan yaitu lubang-lubang kecil pada logam las yang dihasilkan saat pengelasan, serta *defect* yang sangat fatal pada pengelasan yaitu ditemukan *defect crack* pada tepi sambungan las, kondisi ini mengakibatkan *crack* tersebut membuat sambungan patah. Kekuatan las yang dihasilkan tidak dapat untuk menahan beban yang di berikan. Pada penelitian yang berjudul Pengujian kuat tarik dan kekerasan pada pengelasan SMAW baja karbon rendah dengan variasi kuat arus ini akan meneliti kekuatan tarik, kekuatan kekerasan, serta foto struktur mikro pada pengelasan baja karbon rendah dengan mencari variasi kuat

arus yang optimal sehingga dihasilkan pengelasan yang lebih baik dari penelitian terdahulu.

1.3 Batasan Masalah

Berdasarkan pernyataan di atas, batasan masalah penelitiannya adalah:

1. Benda yang diuji adalah baja karbon rendah SS400.
2. Proses pengelasan yang akan digunakan adalah las *Shielded Metal Arc Welding* (SMAW).
3. Kampuh untuk spesimen lasnya kampuh V terbuka.
4. Elektroda yang digunakan adalah elektroda E6013.
5. Arus pengelasan 60 *ampere*, 80 *ampere*, dan 100 *ampere*.
6. Pengujian baja yang dilakukan adalah uji tarik, kekerasan, dan struktur mikro.

1.4 Tujuan Penelitian

Tujuan penelitian ini adalah:

1. Menganalisis pengaruh arus pengelasan 60 *ampere*, 80 *ampere*, 100 *ampere* terhadap kekuatan tarik lasan baja karbon rendah dengan pengelasan SMAW menggunakan elektroda E6013.
2. Menganalisis pengaruh arus pengelasan 60 *ampere*, 80 *ampere*, 100 *ampere* terhadap kekerasan baja karbon rendah hasil pengelasan SMAW menggunakan elektroda E6013.
3. Menganalisis pengaruh arus pengelasan 60 *ampere*, 80 *ampere*, 100 *ampere* terhadap struktur mikro baja karbon rendah hasil pengelasan SMAW menggunakan elektroda E6013.

1.5 Manfaat Penelitian

1. Bagi mahasiswa, penelitian ini adalah sebagai persyaratan untuk klulusan dan mendapatkan gelar sarjana.
2. Menerapkan teori yang di dapat saat praktikum selama perkuliahan berlangsung.

3. Hasil penelitian ini dapat dijadikan sebagai bahan informasi bagi mahasiswa akademis, dan penelitian untuk mengembangkan pengelasan dimasa mendatang



BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Kajian Pustaka

Pengaruh arus pengelasan SMAW terhadap kekuatan bending permukaan (*face bend*) las dan kekerasan pada baja komersil. Hasil pengujian dan analisa yang telah dilakukan dapat disimpulkan bahwa hasil penelitian dan pembahasan tentang pengaruh arus pengelasan SMAW terhadap kekuatan bending permukaan (*face bend*) las dan kekerasan pada baja komersil, maka dapat ditarik kesimpulan, pada pengujian bending, maka nilai tegangan bending tertinggi didapatkan oleh arus 80 A yaitu sebesar 2,9491 MPa dibanding dengan arus 50 A sebesar 2,2619 MPa dan arus 65 A sebesar 2,7944 MPa. Pada pengujian kekerasan *vickers*, untuk nilai rata-rata kekerasan *vickers* yang tertinggi terdapat pada arus 50 A sebesar 188,09 kg/mm² untuk logam las, 170,14 kg/mm² untuk daerah HAZ, 156,92 kg/mm² untuk logam induk dibanding dengan arus 65 A dan arus 80 A. saat melakukan pengujian struktur mikro menunjukkan bahwa hasil pengamatan struktur mikro struktur butir yang rapi dan rapat serta mempunyai kandungan perlit dan ferit terdapat pada bagian logam las dan dengan arus 80 A (Arlin dkk, 2019).

Pengaruh variasi waktu penekanan pengelasan titik terhadap kekuatan tarik, kekerasan, dan struktur mikro pada sambungan dissimilar baja tahan karat aisi 304 dengan baja karbon rendah st 41. Hasil pengujian dan analisa yang telah dilakukan dapat disimpulkan bahwa variasi waktu pengelasan pada pengelasan titik baja karbon rendah St 41 dengan baja tahan karat AISI 304 menghasilkan waktu pengelasan yang paling baik ketika dilakukan pengelasan dengan waktu 1 detik dengan nilai kekuatan tarik sebesar 24,6 kg/mm² dan nilai kekerasan sebesar 86,2 HRB. Saat dilakukannya analisa struktur mikro semakin lama waktu pengelasan yang terjadi *ferrit*, *pearlit*, dan *Ferrit widmanstatten* (WF) terlihat semakin besar dan kasar sehingga menurunkan tingkat kekerasan dari material yang dilas (Firmansyah dkk, 2016).

Pengaruh variasi kecepatan dan kuat arus terhadap kekerasan, tegangan tarik, struktur mikro baja karbon rendah dengan elektroda E6013. Hasil penelitian dan analisa yang telah dilakukan pada baja karbon rendah disertai dengan proses pengelasan dengan variasi arus dan kecepatan maka dapat diambil kesimpulan sebagai berikut: Besar kuat arus listrik mempengaruhi kekerasan, tegangan tarik dan susunan struktur mikro dari setiap spesimen. Hal ini disebabkan bila arus listrik yang diberikan semakin besar, maka masukan panas (*Heat Input*) yang diberikan pada spesimen akan semakin besar. Pada arus listrik rendah, nilai kekerasan dari spesimen akan cenderung semakin tinggi dan berbanding terbalik jika arus listrik yang digunakan pada pengelasan semakin besar. Begitu juga dengan tegangan tarik dari setiap spesimen. Kecepatan pengelasan sangat mempengaruhi pada nilai kekerasan dan tarik. Nilai kekerasan akan cenderung semakin kecil jika kecepatan las semakin kecil, namun berbanding terbalik dengan nilai tegangan tariknya. Tegangan tarik akan semakin membesar jika kecepatan las semakin rendah. Kecepatan las yang semakin kecil akan menyebabkan semakin luasnya daerah HAZ dibandingkan kecepatan las yang tinggi. Hal tersebut dikarenakan penyebaran panas pada logam lebih lama. Hal ini juga akan mengakibatkan nilai kekerasan pada daerah HAZ akan meningkat (Mohruni, dan Kembaren, 2013).

Analisa pengaruh pola gerak elektroda dan kuat arus terhadap kekuatan tarik, kekerasan, dan struktur mikro baja SS400. Berdasarkan penelitian dan analisa yang telah dilakukan dapat dihasilkan bahwa Pola gerak las (zig-zag, melingkar, pola U) dapat berpengaruh terhadap hasil las pada baja SS400, pula zig-zag lebih baik nilai kekuatan tarik dan kekerasannya dibandingkan dengan pola gerakan las U dan pola gerakan O. Demikian juga kuat arus mempunyai pengaruh yang signifikan terhadap hasil lasan semakin tinggi kuat arus yang diberikan semakin tinggi nilai pula kekuatan tarik dan kekerasan yang dihasilkan adalah hasil las menunjukkan struktur mikro yang terbentuk adalah dominan ferit dan perlit, pola gerakan U membentuk struktur perlit yang halus (kecil) namun jumlahnya sedikit untuk pola gerakan O dan

zig-zag struktur perlitnya lebih besar dan jumlahnya banyak (Saefuloh dkk, 2019).

Kekuatan tarik dan kekerasan sambungan las baja st 37 dengan menggunakan variasi elektroda. Data yang telah di ambil dari beberapa penelitian yang sudah di lakukan bahwa pada jenis elektroda E6013 nilai kekuatan tarik lebih tinggi dari pada jenis elektroda E7016. Nilai kekuatan untuk E6013 yaitu $\sigma_u = 38,166 \text{ kg/mm}^2$ sedangkan untuk jenis elektroda E7016 nilai kekuatan tariknya $\sigma_u = 37,514 \text{ kg/mm}^2$. Nilai kekuatan tarik jenis elektroda E6013 lebih besar dari pada jenis elektroda E7016 dengan selisih nilai kekuatan tarik sebesar $0,652 \text{ kg/mm}^2$. Pada jenis elektroda E6013 nilai modulus elastisitasnya lebih tinggi dari pada jenis elektroda E7016. Grafik nilai kekerasan *vickers* pada *base metal* dan HAZ sama yaitu VHN rata-rata = 1,9 untuk setiap sambungan las pada jenis elektroda E6013 dan E7016. Nilai kekerasan *vickers* pada logam las. memiliki nilai terbesar, untuk jenis elektroda E 6013 yaitu VHN rata-rata = 2,2 sedangkan untuk jenis elektroda E7016 yaitu VHN rata-rata = 2,3. Untuk evaluasi hasil las dengan menggunakan NDT menunjukkan bahwa pada NDT radiografi menunjukkan cacat yang terjadi pada material. Sedangkan pada NDT ultrasonik tidak menunjukkan cacat yang terjadi karena cacat pada NDT radiografi masih masuk dalam standart. Pada gambar struktur material terlihat titik hitam yang menunjukan karbon dan titik berwarna putih yaitu ferrite yang lebih banyak. Karena baja karbon rendah unsur karbon sedikit dari pada unsur besi. Untuk gambar struktur material pada patahan uji tarik menunjukkan material bersifat ductile karena patahan yang terlihat rendah dan tinggi (Hermanto dkk, 2017).

Pengaruh variasi kuat arus pengelasan terhadap kekuatan tarik dan kekerasan sambungan las *plate carbon steel* astm 36. Hasil pengujian yang didapat setelah melalui beberapa pengujian yaitu: Pengujian tarik (*Tensile test*), pengujian kekerasan (*Vickers hardness test*), uji hipotesis, sehingga dapat menghasilkan data yang diperoleh yaitu: Variasi kuat arus pengelasan *Shiled metal arc welding* pada penyambungan *plate carbon steel* ASTM A36 mempengaruhi kekuatan tarik dan kekerasan sambungan las. Pengaruh yang

ditimbulkan variasi kuat arus pengelasan terhadap kekutan tarik berada pada kategori kuat, sedangkan pengaruh variasi arus pengelasan terhadap kekerasan berada pada kategori sangat kuat. Besar kuat arus pengelasan optimum untuk mendapatkan tingkat kekuatan sambungan las yang memenuhi kriteria standar AWS. D1.1 sebesar 110 ampere (Setiawan, 2018).

Penelitian dengan judul pengaruh hasil pengelasan terhadap kekuatan, kekerasan dan struktur mikro baja ST 42. Hasil pengujian didapatkan adalah: Material logam induk adalah baja ST 42 dengan sifat-sifat mekanis sebagai berikut kekuatan tarik: $43,802 \text{ kg/mm}^2$, regangan patah: 4,833%, reduksi penampang patah: 6,45%, kekerasan *rockwall*: 132,424 HRc karakter patahan: patah getas. Kekerasan yang terjadi akibat pengaruh pengelasan terdistribusi sesuai dengan jarak dari titik pusat las. Semakin jauh dari titik pusat las semakin kecil pengaruhnya, ini terjadi karena pengaruh panas pada daerah ini juga semakin kecil, semakin besar arus yang dipakai saat pengelasan, maka semakin kasar bentuk butiran logam (Saripuddin, & Lauw 2019).

Analisis kekuatan tarik dan struktur mikro pada baja ST.41 akibat perbedaan ayunan elektroda pengelasan smaw. Berdasarkan hasil penelitian dan pembahasan yang telah disajikan, kesimpulan yang diperoleh dari penelitian ini adalah struktur mikro dan makro yang terjadi pada baja ST.41 menunjukkan patah ulet. Hal ini ditunjukkan dengan banyaknya *dimple* atau cekungan-cekungan pada hasil foto struktur mikro daerah patahan, selain itu kandungan karbon pada baja ST.41 yang tergolong rendah mengakibatkan patah ulet. Posisi pengelasan memberikan pengaruh yang nyata pada hasil kekuatan tarik, dimana posisi 1G dengan ayunan elektroda zig-zag memberikan nilai kekuatan tarik yang tinggi yaitu 450,6 MPa dan untuk posisi 3G dengan ayunan elektroda spiral memberikan nilai kekuatan tarik yang tinggi yaitu 447,1 MPa (Kurniawan dkk, 2014).

Analisis kekuatan tarik, kekerasan dan struktur mikro pada pengelasan smaw yang menggunakan elektroda E6013 dengan variasi gerakan elektroda. Berdasarkan hasil penelitian dan pembahasan tentang analisis kekuatan tarik,

kekerasan dan struktur mikro pada pengelasan SMAW yang menggunakan elektroda E6013 dengan variasi gerakan elektroda, dapat diambil kesimpulan. Nilai kuat tarik tertinggi pada gerakan elektroda spiral yaitu 616,6 MPa dan terendah pada gerakan elektroda zig-zag yaitu 596 MPa, Nilai kekerasan tertinggi terdapat pada pengelasan dengan gerakan elektroda zig-zag yaitu 147,44 kg/mm² dan yang terendah pada Gerakan elektroda lurus yaitu 143,19 kg/mm², Hasil pengamatan struktur mikro yang menunjukkan struktur butir yang rapi dan rapat serta mempunyai kandungan perlit dan ferit seimbang terdapat pada bagian logam lasan dan daerah HAZ dengan gerakan elektroda spiral (Santoso dkk, 2018).

2.2 Pengertian Las

Pengelasan adalah suatu aktifitas menyambung dua bagian benda atau lebih dengan cara memanaskan atau menekan dan menggabungkan dari keduanya sedemikian rupa sehingga menyatu seperti benda utuh. Penyambungan bisa dengan atau tanpa bahan tambah (*filler metal*) yang sama atau berbeda titik cair maupun strukturnya. Pengelasan dapat diartikan dengan proses penyambungan dua buah logam sampai titik rekristalisasi logam, dengan atau tidak menggunakan bahan tambah dan menggunakan energi panas sebagai pencair bahan yang dilas. Pengelasan juga dapat diartikan sebagai ikatan tetap dari benda atau logam yang dipanaskan. Mengelas bukan hanya memanaskan dua bagian benda sampai mencair dan membiarkan membeku kembali, tetapi membuat lasan yang utuh dengan cara memberikan bahan tambah atau elektroda pada waktu dipanaskan sehingga mempunyai kekuatan seperti yang dikehendaki. Kekuatan sambungan las dipengaruhi beberapa faktor antara lain: prosedur pengelasan, bahan, elektroda dan jenis kampuh yang digunakan. (Wiryosumarto, 2010).

Pengelasan adalah suatu proses penyambungan logam dengan cara memanaskan logam sampai mencapai titik cair, dengan atau tanpa pemakaian tekanan, dan dengan atau tanpa bahan pengisi. Sementara itu, jenis-jenis las meliputi las *Shielded Metal Arc Welding* (SMAW), *Gas Metal Arc Welding*

(GMAW), *Submerged Arc Welding* (SAW), *Flux Core Arc Welding*, (FCAW), *Gas Tungsten Arc Welding* (GTAW/TIG). Pengelasan yang sering digunakan dalam dunia konstruksi secara umum adalah pengelasan dengan menggunakan metode pengelasan dengan busur nyala logam terlindung atau biasa disebut *Shielded Metal Arc Welding* (SMAW). Metode SMAW banyak digunakan pada masa ini karena penggunaannya lebih praktis, lebih mudah pengoperasiannya, dapat digunakan untuk segala macam posisi pengelasan dan lebih efisien.

Mesin las SMAW menurut arusnya dibedakan menjadi tiga macam yaitu mesin las arus searah atau *Direct Current* (DC), mesin las arus bolak balik atau *Alternating Current* (AC) dan mesin las arus ganda yang merupakan mesin las yang dapat digunakan untuk pengelasan dengan arus searah (DC) dan pengelasan dengan arus bolak-balik (AC). Mesin Las arus DC dapat digunakan dengan dua cara yaitu polaritas lurus dan polaritas terbalik. Mesin las DC polaritas lurus (DC-) digunakan bila titik cair bahan induk tinggi dan kapasitas besar, untuk pemegang elektrodanya dihubungkan dengan kutub negatif dan logam induk dihubungkan dengan kutub positif, sedangkan untuk mesin las DC 2 polaritas terbalik (DC+) digunakan bila titik cair bahan induk rendah dan kapasitas kecil, untuk pemegang elektrodanya dihubungkan dengan kutub positif dan logam induk dihubungkan dengan kutub negatif.

Untuk industri yang menyangkut logam atau baja, khususnya bidang pembangunan dengan menggunakan pengelasan dibutuhkan berbagai penelitian agar dapat sambungan las yang bermutu tinggi, karena menyangkut keselamatan dan umur pakai. Seiring dengan pemakaian sambungan las baja yang semakin meningkat, maka teknologi proses yang berkaitan dengan perubahan sifat dan karakteristik memiliki peran yang sangat penting.

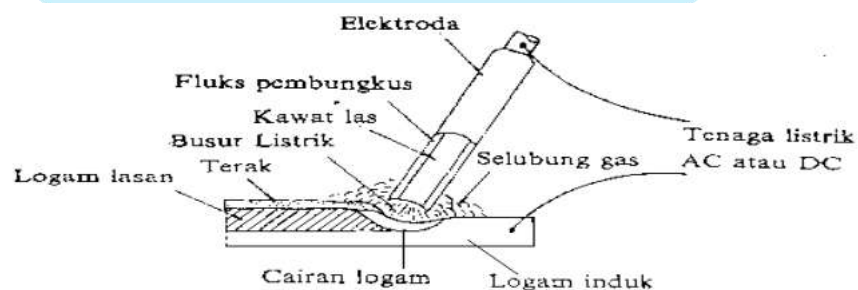
Pengelasan *Shield Metal Arc Welding* merupakan teknik pengelasan yang dikelompokkan kedalam teknik pengelasan menggunakan busur gas dan fluks. Pada Teknik pengelasan ini bahan atau material logam penyambung (elektroda) berupa logam yang telah dilapisi oleh fluks (*slag las*). Lapisan ini berfungsi untuk melindungi logam dari gas oksidasi luar (Susri dkk, 2014).

2.3 Kajian Teori

2.3.1 Las SMAW (*Shielded Metal Arc Welding*)

Logam induk dalam pengelasan ini mengalami pencairan akibat pemanasan dari busur listrik yang timbul antara ujung elektroda dan permukaan benda kerja. Busur listrik dibangkitkan dari suatu mesin las. Elektroda yang digunakan berupa kawat yang dibungkus pelindung berupa fluks. Elektroda ini selama pengelasan akan mengalami pencairan bersama dengan logam induk dan membeku bersama menjadi bagian kumpuh las. Proses pemindahan logam elektroda terjadi pada saat ujung elektroda mencair dan membentuk butir-butir yang terbawa arus busur listrik yang terjadi. Bila digunakan arus listrik besar maka butiran logam cair yang terbawa menjadi halus dan sebaliknya bila arus kecil maka butirannya menjadi besar (Suharno, 2008).

Pola pemindahan logam cair sangat mempengaruhi sifat mampu las dari logam. Logam mempunyai sifat mampu las yang tinggi bila pemindahan terjadi dengan butiran yang halus. Pola pemindahan cairan dipengaruhi oleh besar kecilnya arus dan komposisi dari bahan fluks yang digunakan. Bahan fluks yang digunakan untuk membungkus elektroda selama pengelasan mencair dan membentuk terak yang menutupi logam cair yang terkumpul di tempat sambungan dan bekerja sebagai penghalang oksidasi (Wirsumarto, 2010). Gambar proses las SMAW dapat dilihat pada gambar 2.1



Gambar 2. 1 Proses Las SMAW (Wirsumarto, 2010)

2.3.2 Elektroda Terbungkus

Pengelasan dengan menggunakan las busur listrik memerlukan kawat las (elektroda) yang terdiri dari satu inti terbuat dari logam yang dilapisi lapisan dari campuran kimia. Fungsi dari elektroda sebagai pembangkit dan sebagai bahan tambah. Elektroda terdiri dari dua bagian yaitu bagian yang berselaput (*fluks*) dan tidak berselaput yang merupakan pangkal untuk menjepitkan tang las. Fungsi dari *fluks* adalah untuk melindungi logam cair dari lingkungan udara, menghasilkan gas pelindung, menstabilkan busur (Wirjosumarto, & Okumura, 2000).

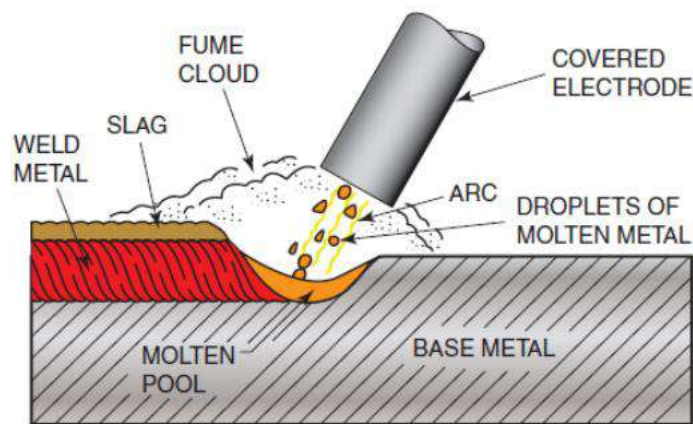
Bahan *fluks* yang digunakan untuk jenis E6013 adalah serbuk besi dan hidrogen rendah. Jenis ini kadang disebut jenis kapur. Jenis ini menghasilkan sambungan dengan kadar hidrogen rendah sehingga kepekaan sambungan terhadap retak sangat rendah, ketangguhannya sangat memuaskan (Wirjosumarto, & Okumura, 2000).

Hal yang kurang menguntungkan adalah busur listriknya kurang bagus, sehingga butiran yang dihasilkan agak besar dibandingkan jenis lain. Dalam pelaksanaan pengelasan memerlukan juru las yang sudah berpengalaman. Sifat mampu las *fluks* ini sangat baik maka biasa digunakan untuk konstruksi yang memerlukan tingkat pengaman tinggi (Wirjosumarto, & Okumura, 2000). Spesifikasi elektroda untuk baja karbon berdasarkan jenis dari lapisan elektroda (*fluks*), jenis listrik yang digunakan, posisi pengelasan dan polaritas pengelasan terdapat tabel 2.1.

Tabel 2.1 Spesifikasi Elektroda Terbungkus dari Baja Lunak

Klasifikasi AWS-ASTM	Jenis Flux	Posisi ^{a)} pengelasan	Jenis Listrik	Kekuatan tarik (kg/mm ²)	Kekuatan luluh (kg/mm ²)	Perpanjangan (%)
Kekuatan tarik terendah kelompok E 60 setelah dilaskan adalah 60.000 psi atau 41,2 kg/mm ²						
E6010	Natrium selulosa tinggi	F, V, OH, H	DC polaritas balik	43,6	35,2	22
E6011	Kalium selulosa tinggi	F, V, OH, H	AC atau DC polaritas balik	43,6	35,2	22
E6012	Natrium titania tinggi	F, V, OH, H	AC atau DC polaritas lurus	47,1	38,7	17
E6013	Kalium titania tinggi	F, V, OH, H	AC atau DC polaritas ganda	47,1	38,7	17
E6020	Oksida besi tinggi	H-S F	AC atau DC polaritas lurus AC atau DC polaritas ganda	43,6	35,2	25
E6027	Serbuk besi, oksida besi	H-S F	AC atau DC polaritas lurus AC atau DC polaritas ganda	43,6	35,2	25
Kekuatan tarik terendah kelompok E70 setelah dilaskan adalah 70.000 psi atau 49,1 kg/mm ²						
E7014	Serbuk besi, titania	F, V, OH, H	AC atau DC polaritas ganda			17
E7015	Natrium hidrogen rendah	F, V, OH, H	DC polaritas balik			22
E7016	Kalium hidrogen rendah	F, V, OH, H	AC atau DC polaritas balik			22
E7018	Serbuk besi, hidrogen rendah	F, V, OH, H	AC atau DC polaritas balik	50,6	42,2	22
E7024	Serbuk besi, titania	H-S, F	AC atau DC polaritas ganda			17
E7028	Serbuk besi, hidrogen rendah	H-S, F	AC atau DC polaritas balik			22
Klasifikasi AWS-ASTM	Kekuatan tumbuk terendah		^{a)} Arti simbol: F = datar V = vertikal OH = atas kepala H = horizontal H-S = horizontal las sudut			
E6010, E6011						
E6027, E7015	2,8 kg-m pada 28,9°C					
E7016, E7018						
E7028	2,8 kg-m pada 17,8°C					
E6012, E6013						
E6020, E7014	tidak disyaratkan					
E7024						

Berdasarkan jenis elektroda dan diameter kawat inti elektroda dapat ditentukan arus dalam ampere dari mesin las seperti gambar elektroda terbungkus dapat dilihat pada gambar 2.2.



Gambar 2. 2 Elektroda terbungkus (Jeffus, 2016)

2.3.3 Besar Arus Listrik

Besarnya arus pengelasan yang diperlukan tergantung pada diameter elektroda, tebal bahan yang dilas, jenis elektroda yang digunakan, geometri sambungan, diameter inti elektroda, posisi pengelasan. Daerah las mempunyai kapasitas panas tinggi maka diperlukan arus yang tinggi (Wiryosumarto & Okumura, 2000).

Arus las merupakan parameter las yang langsung mempengaruhi penembusan dan kecepatan pencairan logam induk. Makin tinggi arus las makin besar penembusan dan kecepatan pencairannya. Besar arus pada pengelasan mempengaruhi hasil las bila arus terlalu rendah maka perpindahan cairan dari ujung elektroda yang digunakan sangat sulit dan busur listrik yang terjadi tidak stabil. Panas yang terjadi tidak cukup untuk melelehkan logam dasar, sehingga menghasilkan bentuk rigi-rigi las yang kecil dan tidak rata serta penembusan kurang dalam. Jika arus terlalu besar, maka akan menghasilkan manik melebar, butiran percikan kecil, penetrasi dalam serta penguatan matrik las tinggi (Wiryosumarto & Okumura, 2000).

2.3.4 Baja karbon rendah

Baja karbon rendah adalah baja dengan paduan utamanya adalah karbon. Baja karbon ini juga sering disebut dengan baja karbon biasa.

Baja dengan kandungan karbon yang memiliki sifat yang mirip dengan besi. Apabila kandungan karbon meningkat, logam menjadi lebih keras dan sangat kuat tetapi keuletan rendah. Baja karbon rendah berdasarkan kandungan karbonnya dapat dibagi dalam tiga macam jenis yaitu:

a. Baja karbon lunak.

Baja lunak adalah bentuk baja yang harganya relatif murah yang memberikan sifat-sifat yang dapat diterima untuk banyak permintaan. Baja karbon rendah dengan komposisi karbon kurang dari 0,3% dan baja lunak dengan komposisi karbon 0,16%. Baja lunak memiliki kekuatan tarik relative rendah dan kekerasan permukaan dapat dinaikan dengan *carburizing*. (Wiryosumarto, 2010).

b. Baja karbon menengah.

Baja karbon yang memiliki kadar karbon antara 0,30-0,60% dengan kadar magnesium 0,60%-1,65%. Jika kadar karbonnya sampai 0,5% dan disertai penambahan kadar magnesium maka baja karbon medium dapat digunakan pada kondisi *quenched and temper*. (Wiryosumarto, 2010).

c. Baja karbon tinggi.

Baja karbon tinggi adalah baja yang dapat sukses mengalami perlakuan panas dengan memiliki kandungan karbon kira-kira 0,30-1,70%. Paduan baja karbon, seperti A36 grade, mengandung kira-kira 0,05% sulfur dan meleleh pada suhu sekitar 1426-1538°C. Mangan sering ditambahkan untuk meningkatkan kekerasan baja karbon rendah. Kandungan karbon kira-kira 0,6-0,99% dan digunakan untuk pegas dan kabel kekuatan tinggi (*high strength wires*). (Wiryosumarto, 2010).

Pengelasan yang banyak digunakan untuk baja karbon rendah adalah las busur elektroda terbungkus, las busur rendam dan las MIG (las logam gas mulia). Perubahan struktur daerah las selama

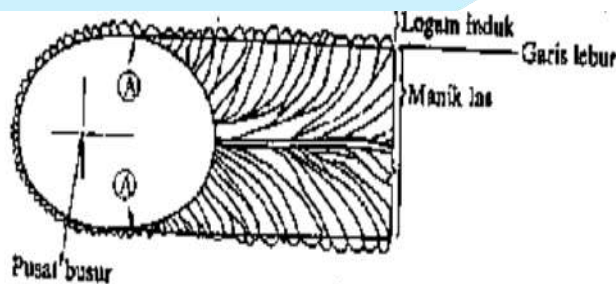
pengelasan, karena adanya pemanasan dan pendinginan yang cepat menyebabkan daerah HAZ menjadi keras. Kekerasan yang tertinggi terdapat pada daerah HAZ (Wiryosumarto, 2010).

2.3.5 Struktur Mikro Daerah Las-lasan

Daerah las-lasan terdiri dari tiga bagian yaitu: daerah logam las, daerah pengaruh panas atau *heat affected zone* disingkat menjadi HAZ dan logam induk yang tak terpengaruhi panas.

a. Daerah logam las.

Daerah logam las adalah bagian dari logam yang pada waktu pengelasan mencair dan kemudian membeku. Komposisi logam las terdiri dari komponen logam induk dan bahan tambah dari elektroda. Karena logam las dalam proses pengelasan ini mencair kemudian membeku, maka kemungkinan besar terjadi pemisahan komponen yang menyebabkan terjadinya struktur yang tidak homogen, ketidak homogennya struktur akan menimbulkan struktur ferit kasar dan bainit atas yang menurunkan ketangguhan logam las. Pada daerah ini struktur mikro yang terjadi adalah struktur cor. Struktur mikro di logam las dicirikan dengan adanya struktur berbutir panjang (*columnar grains*). Struktur ini berawal dari logam induk dan tumbuh ke arah tengah daerah logam las (Sonawan 2014). Gambar arah pembekuan logam las dapat dilihat pada gambar 2.3.



Gambar 2. 3 Arah pembekuan dari logam las
(Wiryosumarto, 2000)

Merujuk Gambar diatas ditunjukkan secara skematik proses pertumbuhan dari kristal-kristal logam las yang pilar. Titik A dari gambar adalah titik mula dari struktur pilar yang terletak dari logam induk. Titik ini tumbuh menjadi garis lebur dengan arah sama dengan sumber panas. Pada garis lebur ini sebagian dari logam dasar ikut mencair selama proses pembekuan logam las tumbuh pada butir-butir logam induk dengan sumbu kristal yang sama. Penambahan unsur paduan pada logam las menyebabkan struktur mikro cenderung berbentuk bainit dengan sedikit ferit batas butir, kedua macam struktur mikro tersebut juga dapat terbentuk jika ukuran butir austenitnya besar. Waktu pendinginan yang lama akan meningkatkan ukuran batas butir ferit, selain itu waktu pendinginan yang lama akan menyebabkan terbentuk ferit *Widmanstatten*. Struktur mikro logam las biasanya kombinasi dari struktur mikro dibawah ini.

- a) Batas butir ferit, terbentuk pertama kali pada transformasi austenit-ferit biasanya terbentuk sepanjang batas austenit pada suhu $100^{\circ}\text{--}650^{\circ}\text{C}$ (Sonawan, 2014). Untuk gambar batas butir ferit dapat dilihat pada gambar 2.4.



Gambar 2. 4 Struktur mikro *acicular ferrite* (AF) dan *grain boundary ferrite* (GF) atau ferit butir (Sonawan, 2014)

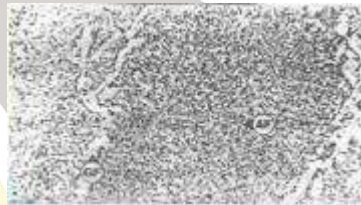
- b) Ferit *Widmanstatten* atau *ferrite with aligned second phase*, struktur mikro ini terbentuk pada suhu $75^{\circ}\text{--}650^{\circ}\text{C}$ di sepanjang batas butir austenit, ukurannya besar dan pertumbuhannya cepat sehingga memenuhi permukaan butirnya (ASM, 1989). Untuk gambar Ferit *Widmanstatten*

atau *ferrite with aligned second phase* dapat dilihat pada gambar 2.5.



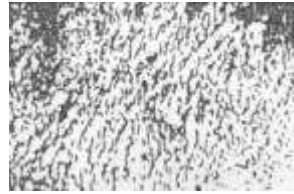
Gambar 2. 5 Struktur mikro ferit *Widmanstatten* (ASM, 1989)

- c) Ferit *acicular*, berbentuk *intragranular* dengan ukuran yang kecil dan mempunyai orientasi arah yang acak. Biasanya ferit *acicular* ini terbentuk sekitar suhu 650° dan mempunyai ketangguhan paling tinggi dibandingkan struktur mikro yang lain (Sonawan, 2014) Untuk gambar Ferit *acicular* dapat dilihat pada gambar 2.6.



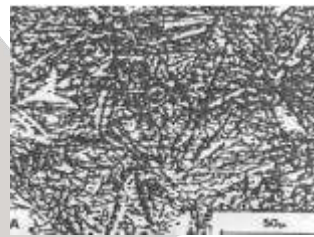
Gambar 2. 6 Struktur mikro *acicular ferrite* (AF) dan *grain boundary ferrite* (GF) atau ferit butir (Sonawan, 2014)

- d) Bainit, merupakan ferit yang tumbuh dari batas butir austenit dan terbentuk ada suhu 400°C - 500°C . Bainit mempunyai kekerasan yang lebih tinggi dibandingkan ferit, tetapi lebih rendah dibanding martensit (ASM, 1989). Untuk gambar struktur mikro bainit dapat dilihat pada gambar 2.7.



Gambar 2. 7 Struktur mikro martensit (Sonawan, 2014)

- e) Martensit akan terbentuk, jika proses pengelasan dengan pendinginan sangat cepat, struktur ini mempunyai sifat sangat keras dan getas sehingga ketangguhannya rendah (Sonawan 2014). Untuk gambar struktur mikro martensit dapat dilihat pada gambar 2.8.

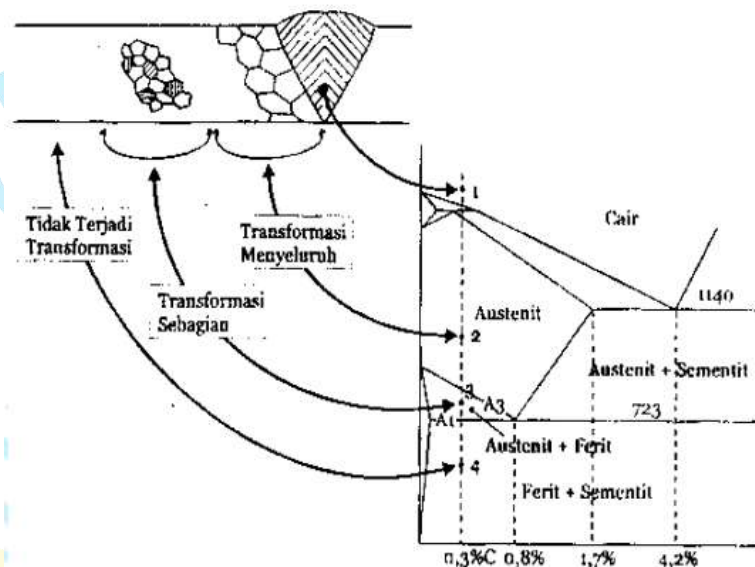


Gambar 2. 8 Struktur mikro bainit (ASM, 1989)

b. Daerah pengaruh panas atau *heat affected zone* (HAZ)

Daerah pengaruh panas atau *heat affected zone* (HAZ) adalah logam dasar yang bersebelahan dengan logam las yang selama proses pengelasan mengalami siklus termal pemanasan dan pendinginan cepat sehingga daerah ini yang paling kritis dari sambungan las. Secara visual daerah yang dekat dengan garis lebur las maka susunan struktur logamnya semakin kasar. Pada daerah HAZ terdapat tiga titik yang berbeda, titik 1 dan 2 menunjukkan temperatur pemanasan mencapai daerah berfasa austenit dan ini disebut dengan transformasi menyeluruh yang artinya struktur mikro baja mula-mula ferit dan perlit kemudian bertransformasi menjadi austenite 100%. Titik 3 menunjukkan temperatur pemanasan, daerah itu mencapai daerah berfasa ferit dan austenit

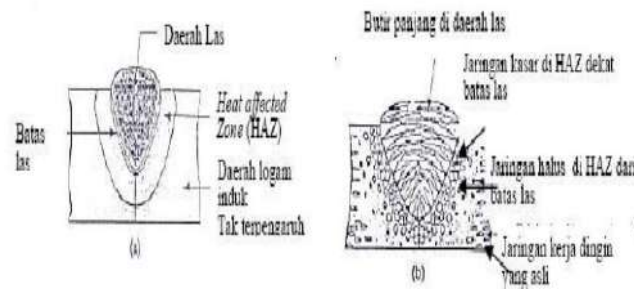
dan ini yang disebut transformasi sebagian yang artinya struktur mikro baja mula-mula ferit-perlit berubah menjadi ferit dan austenit. Untuk gambar transformasi fasa pada logam las dapat dilihat pada gambar 2.9.



Gambar 2. 9 Transformasi fasa pada logam hasil pengelasan.
(Sonawan, 2004)

c. Logam induk

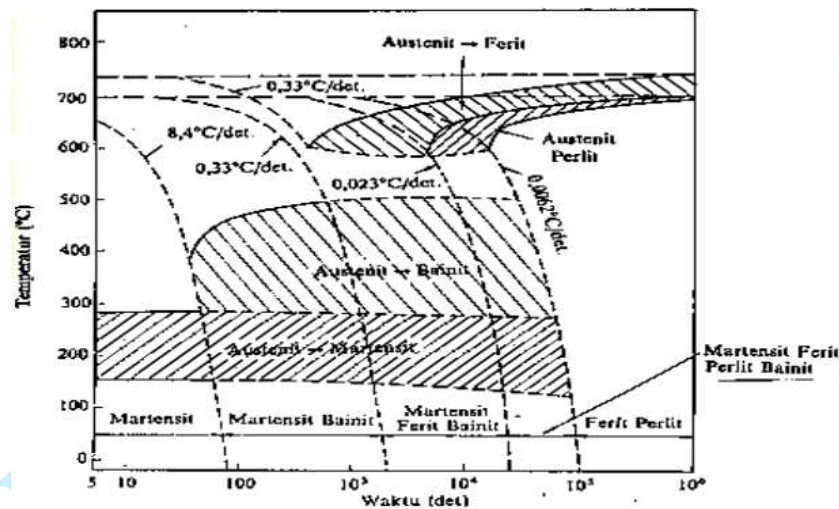
Logam induk adalah bagian logam dasar di mana panas dan suhu pengelasan tidak menyebabkan terjadinya perubahan-perubahan struktur dan sifat. Disamping ketiga pembagian utama tersebut masih ada satu. untuk gambar perubahan sifat fisis pada sambungan las cair dapat dilihat pada gambar 2.10.



Gambar 2. 10 Perubahan sifat fisis pada sambungan las cair (Malau, 2003)

2.3.6 Diagram CCT (*continuous cooling transformation*)

Pada proses pengelasan, transformasi austenit menjadi ferit merupakan tahap yang paling penting karena akan mempengaruhi struktur logam las, hal ini disebabkan karena sifat-sifat mekanis material ditentukan pada tahap tersebut. Faktor-faktor yang mempengaruhi transformasi austenit menjadi ferit adalah masukan panas, komposisi kimia las, kecepatan pendinginan dan bentuk sambungan las. Struktur mikro dari baja pada umumnya tergantung dari kecepatan pendinginannya dari suhu daerah austenit sampai suhu kamar. Karena perubahan struktur ini maka dengan sendirinya sifat-sifat mekanik yang dimiliki baja juga akan berubah. Hubungan antara kecepatan pendinginan dan struktur mikro yang terbentuk biasanya digambarkan dalam diagram yang menghubungkan waktu, suhu dan transformasi, diagram tersebut dikenal dengan diagram CCT (*continuous cooling transformation*). Untuk contoh gambar diagram CCT dapat dilihat pada gambar 2.11.



Gambar 2. 11 Diagram CCT untuk baja ASTM 4340
(Wirjosumarto,2010)

Contoh diagram CCT ditunjukkan dalam gambar di atas, dari diagram di atas dapat dilihat bahwa bila kecepatan pendinginan naik berarti waktu pendinginan dari suhu austenit turun, struktur akhir yang terjadi berubah campuran ferit perlit ke campuran ferit-perlit-bainit-martensit-ferit-bainit-martensit, kemudian bainit-martensit dan akhirnya pada kecepatan yang tinggi sekali struktur akhirnya adalah martensit (Wirjosumarto, 2010).

2.3.7 Heat input

Pencairan logam induk dan logam pengisi memerlukan energi yang cukup. Energi yang dihasilkan dalam operasi pengelasan dihasilkan dari bermacam-macam sumber tergantung pada proses pengelasannya. Sumber energi berasal dari listrik yang diubah menjadi energi panas, Pada pengelasan busur listrik. Energi panas ini sebenarnya hasil penggabungan dari arus las, tegangan las dan kecepatan pengelasan. Parameter ketiga yaitu kecepatan pengelasan ikut mempengaruhi energi pengelasan karena proses pemanasannya tidak diam akan tetapi bergerak dengan kecepatan tertentu. Kualitas hasil pengelasan

dipengaruhi oleh energi panas yang berarti dipengaruhi tiga parameter yaitu arus las, tegangan las dan kecepatan pengelasan. Hubungan antara ketiga parameter itu menghasilkan energi pengelasan yang sering disebut *heat input*. Persamaan dari *heat input* hasil dari penggabungan ketiga parameter dapat dituliskan pada persamaan:

$$HI = \eta \frac{V \cdot I}{v} \dots \dots \dots (1)$$

Dimana :

η = Efisiensi panas las

HI = Heat Input $\left(\frac{\text{Kj}}{\text{mm}} \right)$

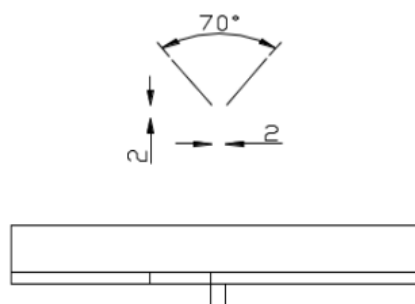
v = Kecepatan pengelasan $\left(\frac{\text{mm}}{\text{s}} \right)$

V = Tegangan Las (Volt)

I = Arus listrik (Ampere)

2.3.8 Kampuh V

Sambungan kampuh V dipergunakan untuk menyambung logam atau plat dengan ketebalan 6-15 mm. Sambungan ini terdiri dari sambungan kampuh V terbuka dan sambungan kampuh V tertutup. Sambungan kampuh V terbuka dipergunakan untuk menyambung plat dengan ketebalan 6-15 mm dengan sudut kampuh antara 60°-80°, jarak akar 2 mm, tinggi akar 1-2 mm (Sonowan, 2014). Untuk gambar pola kampuh V dapat dilihat pada gambar 2.12.



Gambar 2. 12 Kampuh V (Sonawan, 2014)

2.3.9 Pengujian Komposisi

Pengujian komposisi adalah pengujian yang dilakukan dengan maksud untuk mengetahui kadar unsur-unsur yang terkandung dalam bahan. Pada baja unsur yang berpengaruh dalam penguatan baja yang dominan adalah karbon. Unsur-unsur lain yang berpengaruh antara lain:

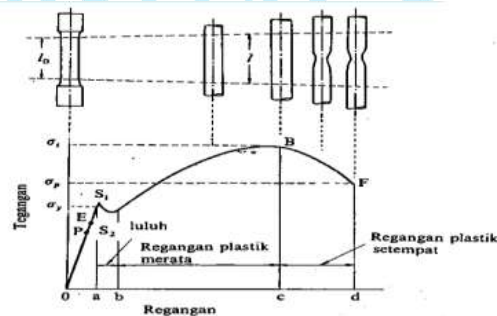
- a. S bersifat menurunkan keuletan pada terak.
- b. Mo (*Molibden*) dan W (*tungsten*) bersifat mengendalikan kegetasan pada perlakuan temper.
- c. Kadar P yang rendah dapat menaikkan kuat tarik baja, tetapi P bersifat membuat baja getas pada suhu rendah.
- d. P, Mo dan V (*Vanadium*) membawa sifat penurunan keuletan pada baja.
- e. Ni dan Mn bersifat memperbaiki keuletan baja, Mn juga bersifat meningkat karbida sehingga perlit dan ferit menjadi halus.

Proses pengujian komposisi berlangsung dengan pembakaran bahan menggunakan elektroda dimana terjadi suhu *rekristalisasi*, dari suhu *rekristalisasi* terjadi penguraian unsur yang masing-masing beda warnanya. Penentuan kadar (%) berdasar sensor perbedaan warna. Proses pembakaran elektroda ini sekitar 3 detik. Pengujian komposisi dapat dilakukan untuk menentukan jenis bahan yang digunakan dengan melihat persentase unsur yang ada (Wiryosumarto, 2010).

2.3.10 Pengujian Tarik

Pengujian tarik bertujuan untuk mengetahui kekuatan tarik benda uji. Pengujian tarik untuk kekuatan tarik daerah las dimaksudkan untuk mengetahui apakah kekuatan las mempunyai nilai yang sama, lebih rendah atau lebih tinggi dari kelompok *raw materials*. Pengujian tarik untuk kualitas kekuatan tarik dimaksudkan untuk mengetahui berapa nilai kekuatannya dan dimanakah letak putusnya suatu sambungan las.

Pembebanan tarik adalah pembebanan yang diberikan pada benda dengan memberikan gaya tarik berlawanan arah pada salah satu ujung benda. Pengujian tarik beban diberikan secara kontinu dan pelan-pelan bertambah besar, bersamaan dengan itu dilakukan pengamatan mengenai perpanjangan yang dialami benda uji dan dihasilkan kurva tegangan-tegangan (Wiryosumarto, 2010).



Gambar 2. 13 Kurva tegangan-regangan (Wiryosumarto, 2010)

Tegangan dapat diperoleh dengan membagi beban dengan luas penampang mula benda uji sesuai persamaan dibawah.

$$\sigma_u = F_u / A_o \quad \text{..... (2)}$$

Dimana: σ_u = Tegangan nominal (MPa)

F_u = Beban maksimal (N)

A_o = Luas penampang mula dari penampang batang (mm^2)

Regangan (persentase pertambahan panjang) yang diperoleh dengan membagi perpanjangan panjang ukur (ΔL) dengan panjang ukur mula-mula benda uji sesuai persamaan dibawah.

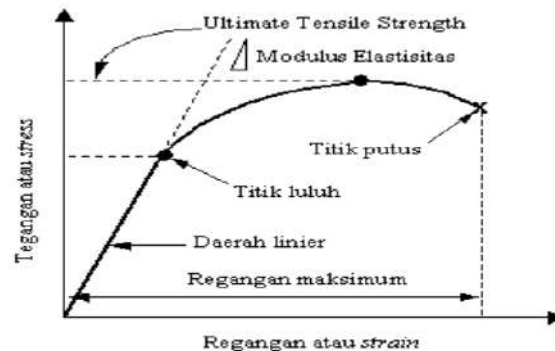
$$e = \frac{L - L_o}{L_o} \times 100\% \quad \text{..... (3)}$$

Dimana: e = Regangan (%)

L = Panjang akhir (mm)

L_o = Panjang awal (mm)

Dimana:



Gambar 2. 14 Batas elastis dan tegangan luluh (Sumber: tegangan yield material teknik (ub.ac.id))

2.3.11 Pengujian Kekerasan

Metode pengujian kekerasan yang digunakan adalah metode *mikro vickers*. Saat pengujian *vickers* gaya diberikan dengan perlahan tanpa tubrukan, dan ditahan selama lima sampai lima belas detik, pada penelitian ini penulis menggunakan penekanan selama 5 detik dengan beban penekanan 0.5 kg. Gaya dilepas, kedua diagonal diukur dan rata-ratanya digunakan untuk menghitung VHN sesuai dengan rumus dibawah.

$$VHN = 1,854 \times \frac{P}{d^2} \dots\dots\dots (4)$$

Dimana: VHN = Angka kekerasan *vickers*

P = Beban penekanan

d = Rata-rata diagonal (μm)

d_1 = Panjang diagonal injakan (mm)

d_2 = Panjang diagonal injakan (mm)

Kekerasan dapat dihitung dengan rumus di atas atau dengan mengkonversikan diagonal rata-ratanya. Sebelum dilakukan pengujian kekerasan, material terlebih dahulu dipotong dan di *mounting*. Selanjutnya spesimen tersebut dihaluskan dengan ampelas *grade* 180, 240, 400, 600, 800, 1000, 1200, dan 1500. Langkah selanjutnya setelah

permukaan benda uji rata, adalah melakukan pengujian dengan alat *Vickers hardness tester*.

2.3.12 Foto Struktur Mikro

Struktur bahan dalam orde kecil sering disebut struktur mikro. Struktur ini tidak dapat dilihat dengan mata telanjang, tetapi harus menggunakan alat pengamat struktur mikro. Penelitian ini menggunakan mikroskop cahaya. Persiapan yang dilakukan sebelum mengamati struktur mikro adalah pengefraisan spesimen, pengampelasan, pemolesan dan pengetsaan. Setelah dipilih, bahan uji diratakan kedua permukaannya dengan menggunakan mesin frais, dalam pendinginan harus selalu terjaga agar tidak timbul panas yang mempengaruhi struktur mikro. Spesimen setelah rata digosok dengan menggunakan ampelas mulai dari yang kasar sampai yang halus. Arah pengampelasan tiap tahap harus diubah, pengampelasan yang lama dan penuh kecermatan akan menghasilkan permukaan yang halus dan rata. Bahan yang halus dan rata itu diberi autosol untuk membersihkan noda yang menempel pada bahan. Langkah terakhir sebelum dilihat struktur mikro adalah dengan mencelupkan spesimen kedalam larutan etsa dengan penjepit tahan karat dan permukaan menghadap keatas. Kemudian spesimen dicuci, dikeringkan dan dilihat stuktur mikronya (Sonawan, 2014).

BAB III

METODE PENELITIAN

3.1 Waktu Dan Tempat

Penelitian ini dilaksanakan pada bulan Juni 2022 sampai dengan bulan Februari 2023. Penelitian ini meliputi uji kekersan, uji pengelasan dan uji struktur mikro. Pengelasan akan dilakukan di Laboratorium Material di Universitas Tidar. Pengujian kekerasan dan pengujian tarik penulis laksanakan di Laboratorium Material dan Bahan di UGM Yogyakarta.

3.2 Alat dan Bahan

1. Persiapan Bahan Bahan yang diperlukan dalam penelitian ini adalah baja karbon rendah. Elektroda jenis E6013 dengan diameter 2,6 mm.

2. Persiapan Alat-alat

a. Mesin gergaji

Mesin gergaji digunakan untuk memotong spesimen penelitian. Untuk gambar mesin gergaji dapat dilihat pada gambar 3.1.



Gambar 3 1 Mesin gergaji

b. Mesin las SMAW DC

Mesin las SMAW DC digunakan untuk mengelas kampuh V terbuka pada spesimen penelitian. Untuk mesin las SMAW DC dapat dilihat pada gambar 3.2.



Gambar 3 2 Mesin las SMAW DC

c. Penggaris

Penggaris digunakan untuk mengukur spesimen penelitian agar sama dengan standar yang sudah ditentukan. Untuk gambar penggaris dapat dilihat pada gambar 3.3.



Gambar 3 3 Penggaris

d. Ampelas

Ampelas digunakan untuk menghaluskan spesimen penelitian setelah dilakukannya proses pengelasan. Untuk gambar ampelas dapat dilihat pada gambar 3.4.



Gambar 3 4 Ampelas

e. Alat uji tarik (*hydraulic servo pulser*)

Alat uji kekuatan tarik berperan sebagai sarana pengujian nilai kekuatan tarik dari benda kerja (ST 41) yang telah dilakukan proses pengelasan sebelumnya. Alat ini ditampilkan pada gambar 3.5.



Gambar 3 5 Alat uji tarik (*hydraulic servo pulser*)

f. Alat uji kekerasan

Alat uji kekerasan digunakan untuk menguji material yang telah di proses pengelasan. *Vickers hardness tester* ditampilkan pada gambar 3.6.



Gambar 3 6 *Vickers hardness tester*

g. Alat uji struktur mikro

Alat uji struktur mikro digunakan untuk mengetahui perubahan struktur mikro sebelum dan sesudah perlakuan panas (*heat treatment*). Alat uji struktur mikro ditampilkan pada gambar 3.7.



Gambar 3 7 Alat uji struktur mikro

h. Plat baja (spesimen)

Baja SS400 merupakan spesimen utama dalam penelitian ini, sehingga menjadi pokok utama bahan yang akan diteliti. Baja SS400 ditunjukkan pada gambar 3.8.



Gambar 3 8 Baja SS400

j. Mesin frais

Mesin frais digunakan untuk menyiapkan spesimen penelitian sebelum digunakan untuk pengujian tarik. Mesin frais dapat dilihat pada gambar 3.9.



Gambar 3 9 Mesin Frais

3.3 Langkah-langkah penelitian

1. Persiapan penelitian

Persiapan penelitian adalah langkah awal sebelum melakukan penelitian.

Langkah persiapan penelitian adalah sebagai berikut:

- a. Mempersiapkan alat dan bahan yang akan diuji.
- b. Melakukan bimbingan dengan dosen pembimbing guna menentukan jadwal penelitian

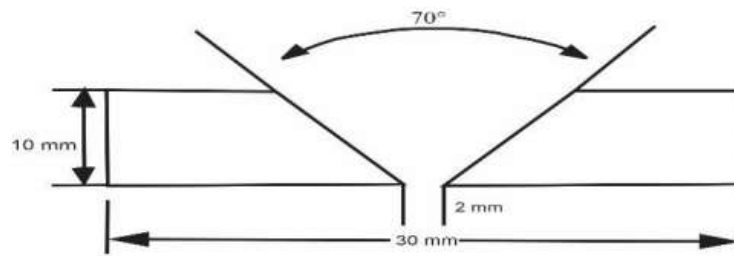
2. Pembuatan spesimen.

Tahapan pembuatan spesimen adalah sebagai berikut:

- a. Potong bahan yang akan digunakan untuk spesimen yang akan diuji struktur mikro sesuai ukuran yang telah ditentukan, dibersihkan permukaannya sampai halus dan rata.
- b. Spesimen tersebut diletakkan pada bed dan dibakar dengan elektroda hingga bahan yang terkandung mengalami pencairan atau rekristalisasi. Proses rekristalisasi dari alat uji ini akan menangkap warna dengan sensor cahaya, sensor cahaya menerima dan diteruskan dalam program komputer yang akan mencatat hasilnya. Langkah ini dilakukan sebanyak tiga kali dan dirata-rata kemudian dicetak, sehingga dalam print out-nya akan terlihat tiga kali hasil perhitungan.

3. Pembuatan Kampuh V terbuka

Pembuatan kampuh V terbuka dengan menggunakan mesin frais. Bahan yang telah dipersiapkan dipotong dengan mesin gergaji, dengan ukuran 30 mm sebanyak tiga buah yaitu untuk pengujian struktur mikro dan kekerasan vicker. Setelah bahan dipotong kemudian permukaan digambar dengan spidol, tepi permukaan diukur sedalam 2 mm dan diukur sudut 70° . Setelah bahan digambar bahan dicekam dan dilakukan pengefraisan dengan sudut 70° .



Gambar 3 10 Kampuh V terbuka gambar

4. Jenis Filler Metal

Jenis filler metal yang digunakan dalam pengelasan ini adalah msds AWS E6013. Spesifikasi logam las msds AWS E6013 adalah sebagai berikut:

Tabel 3.1 Kandungan logam las msds AWS E6013

C	Mn	Si	S	P
0.08	0,5	0,3	0.025	0.020

5. Proses Pengelasan Benda

- Mempersiapkan mesin las SMAW DC sesuai dengan pemasangan polaritas terbalik.
- Mempersiapkan benda kerja yang akan dilas pada meja las.
- Posisi pengelasan dengan menggunakan posisi pengelasan mendatar.
- Kampuh yang digunakan kampuh V terbuka, dengan sudut 70° , dengan lebar celah 2 mm.
- Mempersiapkan elektroda sesuai dengan arus dan ketebalan plat, dalam penelitian ini menggunakan elektroda jenis E6013 dengan diameter elektroda 2,6 mm.
- Mengatur *ampere* meter yang digunakan untuk mengukur arus pada posisi jarum nol, kemudian salah satu penjepitnya dijepitkan pada kabel yang digunakan untuk menjepit elektroda. Mesin las dihidupkan dan elektroda digoreskan sampai menyala. *Ampere* meter diatur pada angka

60 A dilakukan pengelasan untuk sepesimen dengan arus 60 A, bersamaan dengan hal itu dilakukan pencatatan waktu pengelasan.

- g. Mengatur *ampere* meter yang digunakan untuk mengukur arus pada posisi jarum nol, kemudian salah satu penjepitnya dijepitkan pada kabel yang digunakan untuk menjepit elektroda. Mesin las dihidupkan dan elektroda digoreskan sampai menyala. *Ampere* meter diatur pada angka 80 A. Selanjutnya mulai dilakukan pengelasan untuk spesimen dengan arus 80 A, bersamaan dengan hal itu dilakukan pencatatan waktu pengelasan.
- h. Mengatur *ampere* meter yang digunakan untuk mengukur arus pada posisi jarum nol, kemudian salah satu penjepitnya dijepitkan pada kabel yang digunakan untuk menjepit elektroda. Mesin las dihidupkan dan elektroda digoreskan sampai menyala. *Ampere* meter diatur pada angka 100 A. Selanjutnya mulai dilakukan pengelasan untuk spesimen dengan arus 100 A, bersamaan dengan hal itu dilakukan pencatatan waktu pengelasan.

6. Pembuatan spesimen

- a. Mengacu standar ASTM E8 standar untuk pengujian kualitas kekuatan tarik bahan. Setelah proses pengelasan selesai maka dilanjutkan pembuatan spesimen sesuai ASTM E8, yang nantinya akan diuji tarik, langkah-langkahnya sebagai berikut:
 - a) Meratakan alur hasil pengelasan dengan mesin frais.
 - b) Bahan dipotong dengan ukuran yang telah di tentukan.
 - c) Membuat pola pada mal dengan standar ASTM E8.
 - d) Gambar ditempelkan pada benda kerja dan mulai proses pengefraisan sesuai dengan bentuk gambar menggunakan pisau frais diameter 6 mm.
 - e) Bahan yang sudah terbentuk tersebut dirapikan permukaannya dengan kikir yang halus selanjutnya benda diampelas sampai halus.

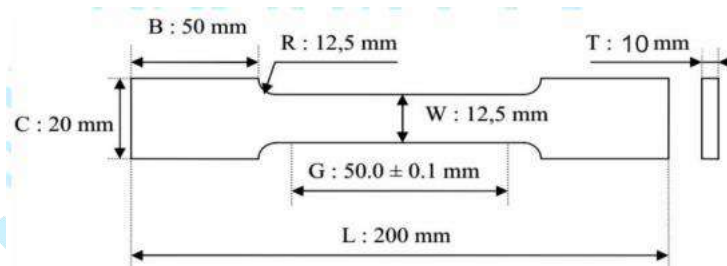
b. Mengacu standar ASTM E8 untuk pengujian kekuatan lasan. Setelah proses pengelasan selesai maka dilanjutkan pembuatan spesimen sesuai ASTM E8, yang nantinya akan diuji tarik untuk kekuatan las, langkah-langkahnya sebagai berikut:

- a) Meratakan alur pengelasan menggunakan mesin frais.
- b) Bahan dipotong dengan ukuran yang telah ditentukan.. Setelah itu difrais untuk mendapatkan ukuran sesuai standar ASTM E8.
- c) Setelah proses selesai kemudian benda kerja dirapikan dengan kikir dan dihaluskan menggunakan ampelas.
- d) Setelah diampelas untuk mendapatkan permukaan yang lebih halus maka diberi autosol.
- e) Benda yang telah diberi autosol kemudian digosok hingga bersih atau mengkilap dan kemudian dibilas dengan air sehingga kita dapat melihat daerah logam lasnya.
- f) Setelah didapat daerah logam lasnya maka pada daerah itu diberi tarikan sesuai dengan standar ASTM E8.

7. Pengujian Tarik Pengujian tarik dilakukan dengan cara sebagai berikut. Benda uji dijepit pada mesin uji tarik. Langkah pengujian sebagai berikut:

- a. Menyiapkan kertas milimeter block dan letakkan kertas tersebut pada plotter.
- b. Benda uji mulai mendapat beban tarik dengan menggunakan tenaga hidrolik diawali 0 kg hingga benda putus pada beban maksimum yang dapat ditahan benda tersebut.
- c. Benda uji yang sudah putus lalu diukur berapa besar penampang dan panjang setelah putus.
- d. Gaya atau beban yang maksimum ditandai dengan putusnya benda uji terdapat pada layar digital dan dicatat sebagai data.
- e. Hasil diagram terdapat pada kertas milimeter block yang ada pada meja plotter.

- f. Langkah terakhir yaitu menghitung kekuatan tarik, kekuatan luluh, perpanjangan, reduksi penampang dari data yang telah didapat dengan menggunakan persamaan yang ada. Untuk gambar pola spesimen uji tarik dapat dilihat pada gambar 3.2.



Gambar 3.11 Spesimen uji tarik

8. Foto struktur mikro

Sebelum melakukan pengujian foto struktur mikro benda uji perlu dihaluskan terlebih dahulu menggunakan ampelas grade 80 sampai 1500. Setelah spesimen diampelas dengan ukuran 1500 sampai halus kemudian diberi autosol agar spesimen lebih halus lagi. Spesimen yang telah dihaluskan kemudian pengujian foto struktur mikro, dengan langkah sebagai berikut:

- a) Spesimen dibersihkan menggunakan kain, karena spesimen lebih besar dari tempat etsa maka pengetsaan menggunakan kapas yang dibasahi cairan etsa kemudian dioleskan pada permukaan yang dikehendaki. Spesimen yang sudah selesai dioles dengan cairan etsa kemudian dibilas dengan alkohol.
- b) Letakkan spesimen pada landasan mikroskop optik, aktifkan mesin, dekatkan lensa pembesar untuk melihat permukaan spesimen. Pengambilan foto struktur mikro dengan perbesaran 200× dan 500×. Lihatlah struktur mikro apabila kurang jelas atau kabur, fokuskan lensa agar terlihat dengan jelas.
- c) Langkah sebelum gambar diambil, film dipasang pada kamera yang telah disetel sedemikian rupa dengan menggunakan film asa 200. Usahakan pada saat pengambilan foto tidak ada hal apapun

yang membuat mikroskop optik bergerak, karena apabila mikroskop optik bergerak akan mempengaruhi hasilnya.

9. Pengujian kekerasan

Spesimen yang telah difoto mikro, selanjutnya digunakan untuk pengujian kekerasan. Spesimen sebelumnya dipoles terlebih dahulu dengan menggunakan autosol, kemudian dietsa jenis HNO_3 . Langkah pengujian sebagai berikut:

- a. Memasang indenter piramida intan. Penekanan piramida intan 136° dipasang pada tempat indenter mesin uji, kencangkan secukupnya agar penekan intan tidak jatuh.
- b. Memberi garis warna pada daerah logam las, HAZ dan logam induk yang akan diuji.
- c. Meletakkan benda uji diatas landasan.
- d. Menentukan beban utama sebesar 100 kgf.
- e. Menentukan titik yang akan diuji.
- f. Menekan tombol indenter.

3.4 Variabel Penelitian (tidak untuk perancangan)

Variabel yang digunakan dalam penelitian ini terdiri dari variabel bebas, variabel terikat, dan variabel kontrol sebagai berikut:

1. Variabel bebas

Variabel bebas pada penelitian ini menggunakan variasi kuat arus sebesar 60 *Ampere*, 80 *Ampere*, dan 100 *Ampere*.

2. Variabel terikat

- a. Pengujian tarik
- b. Pengujian kekerasan
- c. Struktur mikro

3. Variabel kontrol

Bahan yang diperlukan dalam penelitian ini adalah baja karbon rendah dengan. Elektroda jenis E6013 dengan diameter 2,6 mm.

3.5 Teknik Pengumpulan Data

a. Referensi

Mengumpulkan dan mengkaji referensi dan literatur yang berkaitan dengan pengelasan baja karbon rendah, pengujian tarik, pengujian kekerasan, dan struktur mikro baja karbon rendah.

b. Uji Laboratorium

Pengelasan baja karbon rendah dengan elektroda E6013 menggunakan arus 60 *ampere*, 80 *ampere*, dan 100 *ampere*, selanjutnya dilakukan pengumpulan data penelitian melalui pengujian tarik, pengujian kekerasan, dan struktur mikro baja karbon rendah.

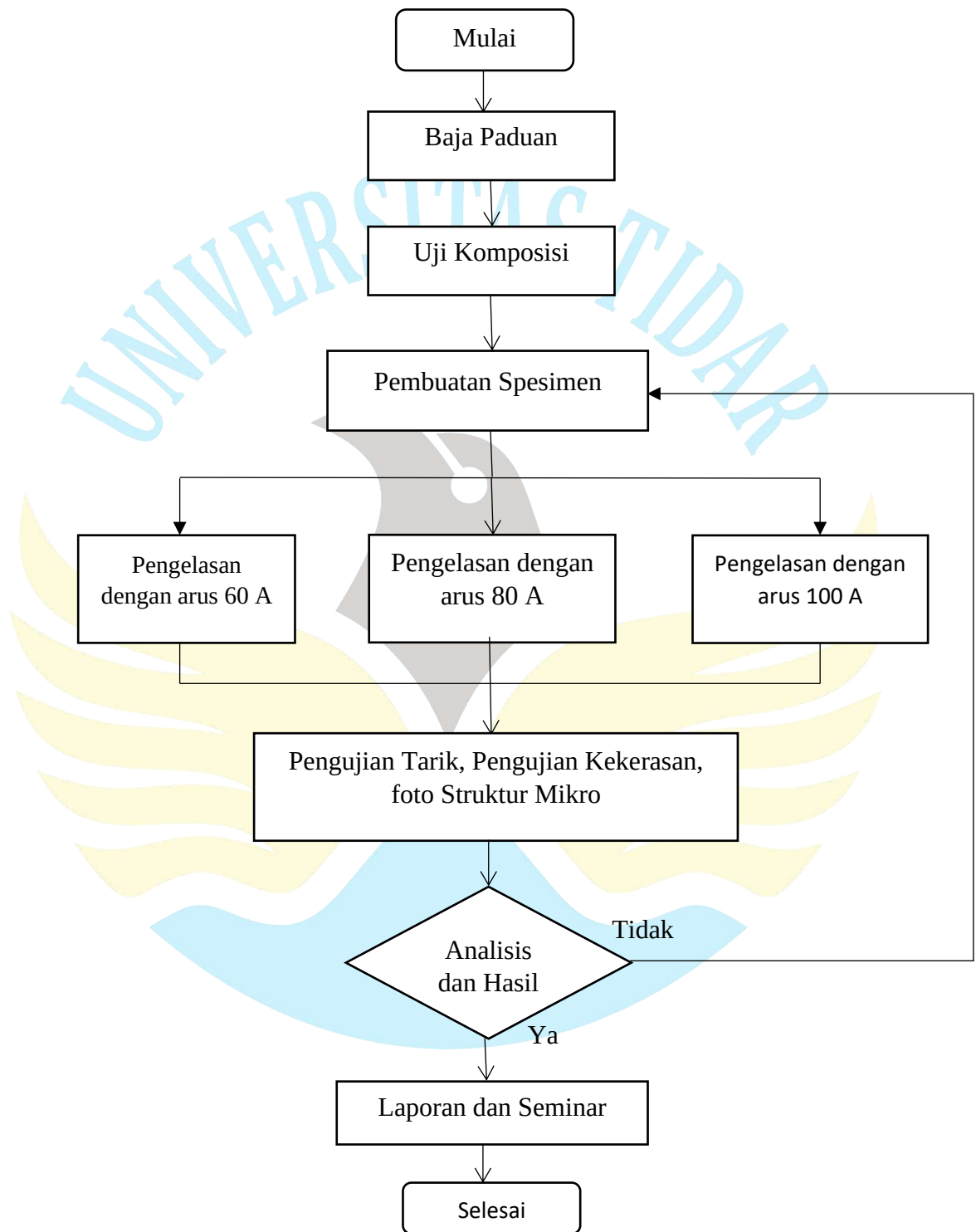
3.6 Teknik Analisis Data

Data yang diperoleh dari pengelasan baja karbon rendah dengan elektroda E6013 dengan pengujian tarik, pengujian kekerasan, dan struktur mikro selanjutnya dilakukan pemaparan data pada tabel penelitian.

3.7 Perancangan penelitian

Pertama penulis menguraikan latar belakang permasalahan. Menentukan rumusan masalah dari latar belakang yang telah diuraikan. Mencari tinjauan pustaka dan landasan teori yang berkaitan. Menyusun metode penelitian yang akan digunakan. Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode eksperimen, yaitu dalam penelitian ini menggunakan variasi kuat arus pengelasan sebesar 60 *Ampere*, 80 *Ampere*, dan 100 *Ampere*. Spesimen yang sudah jadi selanjutnya diuji kekuata tarik, kekuatan tekan, dan struktur mikro.

3.8 Diagram Alir Penelitian



Gambar 3 12 Diagram Alir

3.9 Jadwal Penelitian

Jadwal kegiatan penelitian dengan judul Pengujian Kuat Tarik dan Kekerasan Pada Pengelasan SMAW Baja Karbon Rendah Dengan Variasi Kuat Arus ditunjuka pada tabel:

Tabel 3. 2 Jadwal Penelitian

No	Kegiatan	Bulan ke					
		1	2	3	4	5	6
1.	Proposal dan Seminar						
2.	Persiapan Alat dan Bahan						
3.	Pembuatan Spesimen						
4.	Pengujian dan Pengumpulan Data						
5.	Analisis dan Seminar						
6.	Laporan Akhir						

DAFTAR PUSTAKA

- Azwinur., Saifudin A., dkk. 2017. *Pengaruh Variasi Arus Pengelasan Terhadap Sifat Mekanik Pada Proses Pengelasan SMAW*. Jurnal Polimesin, Volume. 15, No 2.
- Firmansyah W., Suryanto H., & Solichin, 2016, *Pengaruh Variasi Waktu Penekanan Pengelasan Titik Terhadap Kekuatan Tarik, Kekerasan, Dan Struktur Mikro Pada Sambungan Dissimilar Baja Tahan Karat Aisi 304 Dengan Baja karbon rendah St 41*, Jurnal Teknik Mesin, Vol. 24, No. 2.
- Haryadi D.G., Ismail R., Haira M. 2017. *Pengaruh Post Weld Heat Treatment (PWHT) Dengan Pemanasan Induksi Terhadap Sifat Mekanik Dan Struktur Mikro Sambungan Las Shield Metal Arc Welding (SMAW) Pada Pipa API 51 X52*. Volume. 19, No 3.
- Hernanto D., Subagia A., Budiarsa I.N. 2017. *Kekuatan Tarik Dan Kekerasan Sambungan Las Baja St 37 Dengan Menggunakan Variasi Elektroda*. Jurnal Ilmiah Teknik Desain Mekanika. Volume. 6, No 1.
- Jeffus, L. 2016. *Welding: Principles and Applications: Cengage Learning*.
- Kurniawan A.S., Solichin., Puspitasari P. 2014. *Analisis Kekuatan Tarik Dan Struktur Mikro Pada Baja St.41 Akibat Perbedaan Ayunan Elektroda Pengelasan Smaw*. Volume. 22, No 2.
- Muhroni A.S., Kembaren B.H. 2013. *Pengaruh Variasi Kecepatan Dab Kuat Arus Terhadap Kekerasan, Tegangan Tarik, Struktur Mikro Baja Karbon Rendah Dengan Elektroda E6013*. Volume. 13, No 1.

Nugroho., Setiawan. 2018. *Pengaruh Variasi Kuat Arus Pengelasan Terhadap Kekuatan Tarik dan Kekerasan Sambungan Las Plate Carbon Steel Astm* 36. Jurnal Rekayasa Sistem Industri. Volume. 3, No 2.

Raharjo, Samsudi & Rubijanto J.P. 2012. *Variasi Arus Listrik Terhadap Sifat Mekanis Sambungan Las Shielding Metal Arc Welding (SMAW)*. Jurnal FT UMS, 1412- 9612.

Saefuloh I., dkk. 2019. *Analisa Pengaruh Pola Gerak Elektroda Dan Kuat Arus Terhadap xvii Kekuatan Tarik, Kekerasan, Dan Struktur Mikro Baja SS400*. Jurnal Sains Dan Teknologi. Vol. 15, No. 2

Santoso A., Sirajuddin A.S., dkk. 2018. *Analisis Kekuatan Tarik, Kekerasan dan Struktur Mikro Pada Pengelasan Smaw Yang Menggunakan Elektroda E6013 Dengan Variasi Gerakan Elektroda*. Volume. 9, No 2.

Saripuddin M., Lauw D.U. 2019, *Pengaruh Hasil Pengelasan Terhadap Kekuatan Kekerasan Dan Struktur Mikro Baja ST 42, ILTEK*. Vol. 8, No. 15.

Siswanto. 2011. *Konsep Dasar Teknik Las (Teori dan Praktik)*. Jakarta: P.T. Prestasi Pustakarya. 2011.

Suharno. 2008. *Prinsip-Prinsip teknologi dan Metalurgi Pengelasan Logam*. Edisi 1. Ed. Jawa Tengah: Lembaga Pengembangan Pendidikan (LPP) UNS dan UPT penerbitan dan percetakan UNS (UNS press).

Suherman. 2012. *Ilmu Logam I*. Institut Teknologi Sepuluh November: Surabaya. Tegangan (yield) Material Teknik ub.ac.id. (diakses pada 22 Desember 2020, 15:57).

Teguh wiyono. (2012), *Penentuan Pengelasa Dissimilar Alluminium Dan Pelat Baja*.

Wirjosumarto H., Okumura T. 2000. *Teknologi Pengelasan Logam*. Jakarta. Pradya Paramita.



LAMPIRAN

1. Alat dan bahan



2. Proses pembuatan spesimen



Proses pemotongan bahan



proses frais



Pembuatan kampuh V terbuka

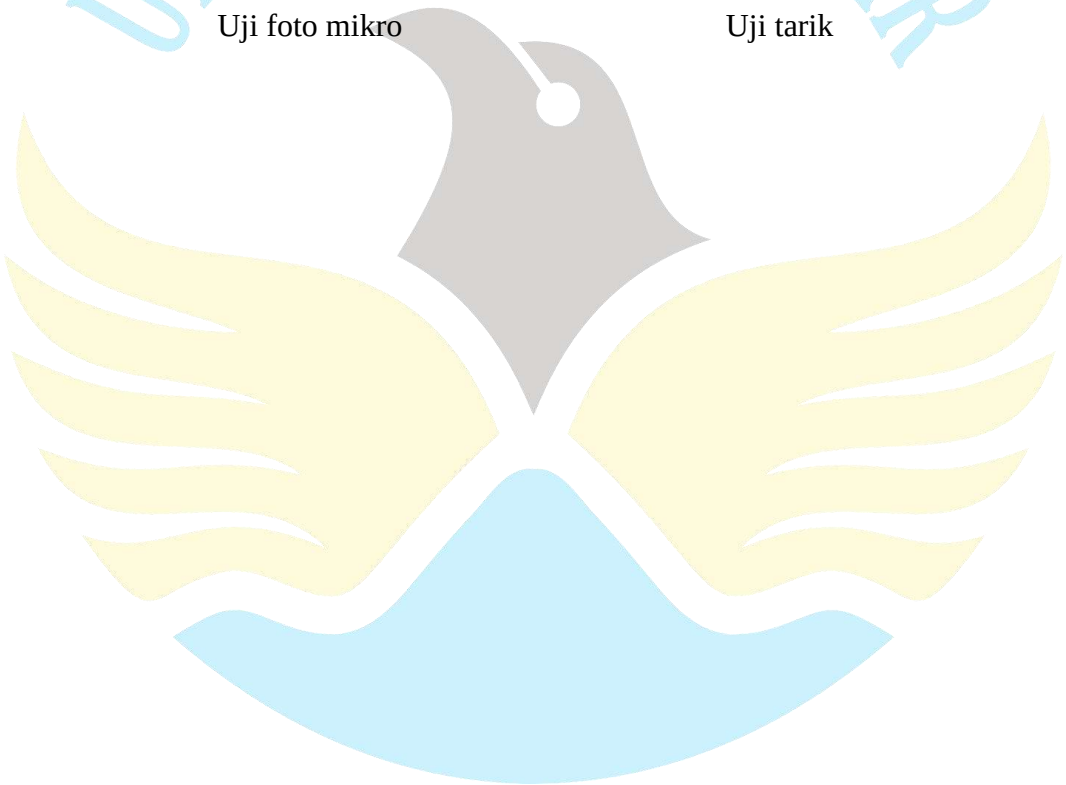
3. Proses pengujian



Uji foto mikro



Uji tarik



Hasil uji kekerasan baja karbon rendah



UNIVERSITAS GADJAH MADA
FAKULTAS TEKNIK
DEPARTEMEN TEKNIK MESIN DAN INDUSTRI
PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN DAN PROGRAM STUDI TEKNIK INDUSTRI

Kepada Yth.
M Mudrikunni'am
Universitas Tidar
Di Tempat

LAPORAN HASIL UJI LABORATORIUM
Nomor: 1611411/UNI/FTK.3/TMI/TA.00.01/2022

Yang bertanda tangan di bawah ini menerangkan hasil pengujian:

Nama sampel : Baja SS400
Jenis pengujian : Uji Kekerasan Mikro Vickers
Tanggal penerimaan sampel : 7 November 2022
Tanggal dipelaksanaan uji : 7 November 2022
dengan hasil sebagai berikut :

Hasil Uji Kekerasan Mikro Vickers

Kode Spesimen	d1 (μm)	d2 (μm)	d (μm)	d (mm)	P (Kg)	VHN
60 AMPERE	86	86	86	0,0860	0,5	125,34
80 AMPERE	63	56	59,5	0,0595	0,5	261,85
100 AMPERE	73,5	80,5	77	0,0770	0,5	156,35

Catatan:

1. Hasil uji hanya berlaku untuk sampel yang diuji

Mengetahui
Sekretaris Departemen,


Dr. Eng. Adhika Widyaparaga, S.T., M. Biomed.E.
NIP. 198007162005011001

Yogyakarta, 14 November 2022

Kepala Lab Bahan Teknik,



Ir. Kusmono, ST, MT, Ph.D., IPM
NIP. 197211041998031002

Hasil uji tarik baja karbon rendah



UNIVERSITAS GADJAH MADA
FAKULTAS TEKNIK
DEPARTEMEN TEKNIK MESIN DAN INDUSTRI
PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN DAN PROGRAM STUDI TEKNIK INDUSTRI

Kepada Yth.
M Mudrikunni'am
Universitas Tidar
Magelang

LAPORAN HASIL UJI LABORATORIUM
Nomor: 1851212/UN1/FTK.3/TMI/TA.00.01/2022

Yang bertanda tangan di bawah ini menerangkan hasil pengujian:

Nama sampel : Baja SS400
Jenis pengujian : Uji Tarik
Tanggal penerimaan sampel : 7 November 2022
Tanggal dipelaksanaan uji : 7 November 2022
dengan hasil sebagai berikut :

Hasil Uji Tarik

Kode Spesimen	Beban (Ton)	Panjang Penampang (mm)	Lebar Penampang (mm)	Luas Penampang (mm ²)	F Max (N)	Teg. Max. (σu) (Mpa)	Regangan (ε) (%)
60 Ampere	20	12,5	10	125	7840	62,72	1%
80 Ampere	4	12,5	10	125	20501,6	164,01	1%
100 Ampere	10	12,5	10	125	36946	295,57	3,5%

Catatan:

1. Hasil uji hanya berlaku untuk sampel yang diuji

Mengetahui
Sekretaris Departemen,



Dr. Eng. Adhika Widyaparaga, S.T., M. Biomed.E.
NIP. 198007162005011001

Yogyakarta, 14 November 2022

Kepala Lab Bahan Teknik,

Ir. Kusmono, ST, MT, Ph.D., IPM
NIP. 197211041998031002

Rencana Anggaran Biaya Skripsi

Peralatan Penunjang					
No	Uraian	Satuan	Vol	Harga satuan (Rp)	Jumlah
A	Biaya Peralatan Penunjang Penelitian				
1.	Alat Tulis	Paket	1	Rp. 30.000	Rp. 30.000
2.	Print naskah skripsi	Paket	15	Rp. 30.000	Rp. 450.000
3.	Kuota unimited	Paket	3	Rp. 85.000	Rp. 255.000
4.	Gadai laptop	Unit	1	Rp. 1.000.000	Rp. 1.000.000
	Jumlah Subtotal (A) = Rp. 1.735.000				

Biaya Bahan					
No	Uraian	Satuan	Vol	Harga Satuan (Rp)	Jumlah
B	Biaya Alat dan Bahan Penelitian				
1.	Baja SS400	Unit	1	Rp. 124.000	Rp. 124.000
2.	WD	Unit	3	Rp. 4.000	Rp. 12.000
3.	Ampelas	Unit	8	Rp. 3.000	Rp. 24.000
4.	Elektroda E6013	Pack	1	Rp. 200.000	Rp. 200.000
5.	Larutan etsa	Liter	1	Rp. 150.000	Rp. 150.000
	Jumlah Subtotal (B) = Rp. 510.000				

Biaya Pengujian					
No	Uraian	Satuan	Vol	Harga Satuan (Rp)	Jumlah
C	Biaya Pengujian Spesimen				
1.	Jasa las	Unit	1	Rp. 50.000	Rp. 50.000
2.	Pengujian tarik	Unit	3	Rp. 150.000	Rp. 450.000
3.	Pengujian kekerasan	Unit	3	Rp. 90.000	Rp. 270.000
4.	Struktur mikro	Unit	3	Rp. 90.000	Rp. 270.000

5.	Bensin	Liter	3	Rp. 12.000	Rp. 36.000
6.	Makan	Porsi	2	Rp. 20.000	Rp. 40.000
	Jumlah Subtotal (C) = Rp. 1.116.000				
	Jumlah Subtotal (A+B+C) = Rp. 3.361.000				

