

**ANALISIS KEKUATAN LENTUR HASIL PENGELASAN SMAW PADA
PROSES TAILOR WELDED BLANK (TWB) MENGGUNAKAN
BAHAN KARBON YANG BERBEDA KANDUNGAN KARBON**

SKRIPSI

OLEH:

**M BAGAS BRAHMA WIJAYA
218130007**



**PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS MEDAN AREA
MEDAN
2025**

UNIVERSITAS MEDAN AREA

© Hak Cipta Di Lindungi Undang-Undang

1. Dilarang Mengutip sebagian atau seluruh dokumen ini tanpa mencantumkan sumber
2. Pengutipan hanya untuk keperluan pendidikan, penelitian dan penulisan karya ilmiah
3. Dilarang memperbanyak sebagian atau seluruh karya ini dalam bentuk apapun tanpa izin Universitas Medan Area

Document Accepted 2/3/26

Access From (repositori.uma.ac.id)2/3/26

ANALISIS KEKUATAN LENTUR HASIL PENGELASAN SMAW PADA PROSES TAILOR WELDED BLANK (TWB) MENGGUNAKAN BAHAN KARBON YANG BERBEDA KANDUNGAN KARBON

SKRIPSI

Diajukan sebagai Salah Satu Syarat untuk Memperoleh
Gelar Sarjana di Fakultas Teknik
Universitas Medan Area



OLEH :

**M BAGAS BRAHMA WIJAYA
218130007**

**PROGRAM STUDI TEKNIK
MESIN FAKULTAS
TEKNIK UNIVERSITAS MEDAN AREA
MEDAN
2025**

UNIVERSITAS MEDAN AREA

© Hak Cipta Di Lindungi Undang-Undang

1. Dilarang Mengutip sebagian atau seluruh dokumen ini tanpa mencantumkan sumber
2. Pengutipan hanya untuk keperluan pendidikan, penelitian dan penulisan karya ilmiah
3. Dilarang memperbanyak sebagian atau seluruh karya ini dalam bentuk apapun tanpa izin Universitas Medan Area

Document Accepted 2/3/26

Access From (repositori.uma.ac.id)2/3/26

HALAMAN PENGESAHAN

Judul Skripsi : Analisis Kekuatan Lentur Hasil Pengelasan SMAW Pada Proses
Tailor Welded Blank (TWB) Menggunakan Bahan Logam Yang
Berbeda Kandungan Karbon
Nama : M.BAGAS BRAHMA WIJAYA
NPM : 218130007
Fakultas : Teknik Mesin



HALAMAN PERNYATAAN

Saya menyatakan bahwa skripsi yang saya susun, sebagai syarat memperoleh gelar serjana merupakan hasil karya tulis saya sendiri. Adapun bagian-bagian tertentu dalam penulisan skripsi ini yang saya kutip dari hasil karya orang lain telah dituliskan sumbernya secara jelas sesuai dengan norma, kaidah, dan etika penulisan ilmiah.

Saya bersedia menerima sanksi pencabutan gelar akademik yang saya peroleh dan sanksisanksi lainnya dengan peraturan yang berlaku, apabila di kemudian hari ditemukan adanya plagiat dalam skripsi ini.



HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI TUGAS AKHIR/SKRIPSI/TESIS UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS

Sebagai sivitas akademik Universitas Medan Area, Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : M Bagas Brahma Wijaya
NPM : 218130007
Program Studi : Teknik Mesin
Fakultas : Teknik
Jenis Karya : Tugas Akhir / Skripsi / Tesis

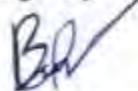
Demi pengembangan ilmu pengetahuan, menyetujui untuk memberikan kepada Universitas Medan Area Hak Bebas Royalti Noneksklusif (Non-exclusive Royalty-Free Right) atas karya ilmiah saya yang berjudul : ANALISIS KEKUATAN LENTUR HASIL PENGELASAN SMAW PADA PROSES TAILOR WELDED BLANK (TWB) MENGGUNAKAN BAHAN LOGAM YANG BERBEDA KANDUNGAN KARBON. Beserta perangkat yang ada (jika diperlukan). Dengan Hak Bebas Royalti Noneksklusif ini Universitas Medan Area berhak menyimpan, mengahmedia/format-kan, mengelola dalam bentuk pangkalan data (database), merawat, dan memublikasikan tugas akhir/skripsi/tesis saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis/pencipta dan sebagai pemilik Hak Cipta.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Dibuat di Medan

Pada Tanggal: 10 Juli 2025

Yang Menyatakan



M Bagas Brahma Wijaya

ABSTRAK

Analisis Kekuatan Lentur Hasil Pengelasan SMAW pada Proses Tailor Welded Blank (TWB) Menggunakan Bahan Logam yang Berbeda Kandungan Karbon. Penelitian ini dilatarbelakangi oleh pentingnya pengelasan SMAW dalam industri otomotif dan konstruksi, khususnya pada proses *Tailor Welded Blank* (TWB) yang menyambungkan logam dengan kandungan karbon berbeda. Permasalahan yang dikaji adalah bagaimana pengaruh perbedaan kandungan karbon terhadap kekuatan lentur hasil pengelasan SMAW. Tujuan penelitian yaitu membuat spesimen uji, melakukan pengujian lentur statis sesuai standar ASTM E290, dan menganalisis perbedaan kekuatan sambungan las berdasarkan variasi material. Metode penelitian dilakukan secara eksperimental dengan menggunakan plat baja ST-37 dan AISI 1050. Spesimen dibuat melalui proses pemotongan, pengelasan SMAW pada arus 90 A, dan pengujian lentur menggunakan Universal Testing Machine. Analisis data dilakukan dengan perhitungan tegangan lentur maksimum berdasarkan rumus uji lentur tiga titik. Landasan teori penelitian meliputi prinsip pengelasan SMAW, karakteristik TWB, serta pengaruh kandungan karbon terhadap sifat mekanik logam. Hasil penelitian menunjukkan bahwa spesimen AISI 1050–AISI 1050 memiliki tegangan lentur tertinggi (894,00 MPa), diikuti ST-37–AISI 1050 (876,66 MPa), sedangkan ST-37–ST-37 memiliki nilai terendah (853,78 MPa). Disimpulkan bahwa kandungan karbon tinggi meningkatkan kekuatan lentur sambungan, sedangkan pengelasan material berbeda menghasilkan kekuatan cukup baik meski zona las kurang homogen.

Kata Kunci: SMAW, TWB, Kekuatan Lentur, Kandungan Karbon

ABSTRACT

Flexural Strength Analysis of SMAW Welding on Tailor Welded Blank (TWB) Using Different Carbon Content Metals. This study is motivated by the importance of SMAW welding in the automotive and construction industries, particularly in the Tailor Welded Blank (TWB) process which joins metals with different carbon contents. The main problem examined is how the difference in carbon content affects the flexural strength of SMAW welds. The objective of this research is to prepare test specimens, conduct static bending tests according to ASTM E290 standards, and analyze the strength variations of welded joints based on different materials. The research method was experimental using ST-37 and AISI 1050 steel plates. Specimens were fabricated through cutting, SMAW welding at 90 A current, and bending tests using a Universal Testing Machine. Data analysis was carried out by calculating the maximum flexural stress based on the three-point bending formula. The theoretical basis includes the principles of SMAW welding, TWB characteristics, and the influence of carbon content on the mechanical properties of metals. The results showed that AISI 1050–AISI 1050 specimens had the highest flexural stress (894.00 MPa), followed by ST-37–AISI 1050 (876.66 MPa), while ST-37–ST-37 specimens had the lowest value (853.78 MPa). It can be concluded that higher carbon content increases flexural strength, while welding dissimilar carbon steels provides sufficient strength despite less homogeneous heat-affected zones.

Keywords: SMAW Welding, TWB, Flexural Strength, Carbon Content

DAFTAR RIWAYAT HIDUP



Penulis bernama M Bagas Brahma Wijaya berumur 21 tahun, dilahirkan di medan pada Tanggal 08 Febuari 2004 Penulis beragama Islam, anak ketiga dari tiga bersaudara dari pasangan Bapak Barada wijaya SE dan Ibu Early Yusmawita SE.,SPd Pendidikan formal dimulai dari TK

WR Supratman 2 Medan tahun 2008-2009, sekolah dasar di SD WR Supratman 2 Medan tahun 2009- 2015,sekolah menengah pertama di SMP WR Supratman 2 Medan tahun 2015-2018, sekolah menengah kejuruan di SMA Swasta WR Supratman 2 Medan tahun 2018- 2021, selanjutnya pada tahun 2021 penulis melanjutkan pendidikan di Program Studi S1 Teknik Mesin di Universitas Medan Area. Penulis melaksanakan Kerja Praktek (KP) di PT. PELINDO TERMINAL Petikemas (Pelindo TPK) yang ada dikecamatan Belawan 2,Medan Kota Belawan,Sumatra Utara dan tamat di Universitas Medan Area tahun 2025.

KATA PENGANTAR

Puji dan syukur penulis panjatkan kepada Tuhan Yang Maha Kuasa atas segala karuniaNya sehingga proposal skripsi ini berhasil diselesaikan. Tema yang dipilih dalam penelitian ini ialah Manufaktur dengan judul

ANALISIS KEKUATAN LENTUR HASIL PENGELASAN SMAW PADA PROSES TAILOR WELDED BLANK (TWB) MENGGUNAKAN BAHAN KARBON YANG BERBEDA KANDUNGAN KARBON.

Adapun proposal skripsi ini bermaksud untuk memenuhi salah satu syarat untuk memperoleh gelar sarjana di Fakultas Teknik Universitas Medan Area. Penulis juga menyadari bahwa dalam penulisan ini masih banyak terdapat kekurangan-kekurangan dalam penyusunan penulisan ataupun isi dari pada skripsi ini. Oleh karena itu penulis mengharapkan adanya kritik dan saran yang bersifat dapat membangun setiap pembaca agar dapat lebih baik lagi.

Penulis juga tidak lupa untuk menyampaikan rasa terimakasih yang sebesar-besarnya kepada semua pihak yang telah membantu dan mendukung penulis dalam menyelesaikan proposal skripsi ini.

1. Prof. Dr. Dadan Ramdan, M.Eng, M.Sc, selaku Rektor Universitas Medan Area.
2. Dr.Eng Supriatno, S.T., M.T. selaku Dekan Fakultas Teknik Mesin Universitas Medan Area.
3. Dr. Iswandi S.T., M.T. Selaku Ketua Program Studi Teknik Mesin Universitas Medan Area.
4. M. Yusuf Rahmansyah Siahaan, ST., M.T. Sebagai dosen pembimbing yang banyak membantu penulis dalam memberikan arahan dan saran

serta ilmunya sehingga penulis dapat menyelesaikan proposal skripsi ini.

5. Teristimewa penulis mengucapkan kepada kedua orang tua saya Barda Wijaya, S.E dan Early Yusmawita, S.E, S.Pd yang telah membantu penulis selama melaksanakan penelitian serta selalu mendukung dalam Doa, Materi, dan Nasehat yang dapat membangun semangat penulis dalam menyelesaikan skripsi ini.
6. Tak lupa ungkapan terima kasih juga disampaikan kepada kakak saya bernama Febriani Aulia Wijaya, S.T dan Rifani Savira Wijaya, S.Pd serta seluruh keluarga atas segala doa dan perhatiannya.
7. Seluruh rekan-rekan mahasiswa teristimewa satu angkatan saya Stambuk-21 yang telah senantiasa memberikan dukungan dan motivasi, Semoga kita semua menjadi orang sukses.

Penulis menyadari sepenuhnya bahwa dalam penyusunan proposal skripsi ini masih banyak kesalahan sehingga masih jauh dari kata sempurna. Karena terbatasnya pengalaman dan pengetahuan yang dimiliki penulis. Oleh karena itu penulis mengharapkan segala bentuk saran serta masukan dan kritik yang dapat membangun dari pihak pembaca diharapkan untuk perbaikan dan penyempurnaan proposal skripsi ini kedepannya. Semoga proposal skripsi ini dapat bermanfaat bagi pembaca untuk membangun ilmu pengetahuan pada khususnya Teknik .
Akhir kata penulis ucapkan terima kasih.

Penulis

M.Bagas Brahma Wijaya

DAFTAR ISI

HALAMAN PENGESAHAN	..
HALAMAN PERNYATAAN.....	i
HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI TUGAS	
AKHIR/SKRIPSI/TESIS UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS	ii
ABSTRAK	iii
ABSTRACT	iv
DAFTAR RIWAYAT HIDUP	v
KATA PENGANTAR.....	v
DAFTAR ISI	ix
DAFTAR TABEL.....	xi
DAFTAR GAMBAR	x
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang 1	
1.2 Rumusan Masalah.....	4
1.3 Tujuan Penelitian.....	4
1.4 Hipotesis Penelitian	5
1.5 Manfaat Penelitian.....	5
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	7
2.1 Pengelasan	7
2.2 Las SMAW (Metal Inert Gas)	8
2.3 Las TIG (Tungsten Inert Gas).....	14
2.4 Las SMAW (Shielded Metal Arc Welding).....	15
2.5 Klasifikasi Cara Pengelasan	16
2.6. Jenis-Jenis Pengelasan	18
2.7. Kekuatan Lentur	22
2.7.1. Material Kekuatan Lentur	23
2.7.2. Kekuatan Lentur	25
2.7.3. Pengujian Lentur Putar	26
2.7.4. Teori Elastisitas	26
2.7.5. Tegangan	27
2.7.6. Regangan.....	28
2.7.7. Baja logam.....	28
BAB III METODOLOGI PENELITIAN.....	31
3.1 Waktu dan Tempat Penelitian.....	31
3.1.1 Waktu Penelitian	31
3.2 Tempat Penelitian.....	31
3.3 Alat Dan Bahan	32
3.3.1 Alat.....	32

3.3.2	Bahan	33
3.4	Populasi dan Sampel	35
3.5	Prosedur Kerja	36
3.5.1	Prosedur pembuatan spesimen.....	36
3.5.2	Prosedur Pengujian Spesimen.....	37
3.6	Diagram Alir penelitian.....	38
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN.....		39
4.1	Hasil.	39
4.1.1	Hasil Pembuatan Spesimen.....	39
4.1.2	Hasil Pengujian Lentur.....	40
4.1.3	Hasil Pengujian Lentur (Bending)	42
4.1.4	Pembahasan data pengujian lentur.....	43
4.2	Pembahasan.....	44
4.2.1	Pembahasan pembuatan spesimen.....	44
4.2.2	Pembahasan Hasil Pengujian.....	45
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN.....		46
5.1	Kesimpulan	46
5.2	Saran.....	46
DAFTAR PUSTAKA		47
LAMPIRAN.....		49

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1. Klasifikasi Baja Karbon Berdasarkan Kandungan karbon	23
Tabel 3.1. Waktu dan tempat penelitian	30
Tabel 3.2. Data spesimen	35
Tabel 4.1 Tabel Hasil Pengujian Gaya	40
Tabel 4.2 Tabel Hasil Pengujian Tegangan	41



DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1.	Mesin las SMAW	8
Gambar 2.2.	Welding Gun Las SMAW (Metal Inert Gas)	12
Gambar 2.3.	Mesin Las SMAW (Metal Inert Gas)	14
Gambar 2.4.	Mesin Las SMAW	15
Gambar 2.5.	Klasifikasi Cara Pengelasan	17
Gambar 2.6.	Las SMAW (Metal Inert Gas)	21
Gambar 2.7.	Pelat Baja Karbon Rendah 1050	29
Gambar 2.8.	Baja Karbon St-37	29
Gambar 3.1.	Mesin Las SMAW	31
Gambar 3.2.	Sikat Kawat	31
Gambar 3.3.	Palu Las	32
Gambar 3.4.	Universal Testing Machine	32
Gambar 3.5.	Baja AISI 1050	33
Gambar 3.6.	Baja Karbon ST 37	33
Gambar 3.7.	Kawat Las RB AWS E6013	34
Gambar 3.8.	Diagram alir prosedur pembuatan spesimen	35
Gambar 3.9.	Diagram alir pengujian spesimen	36
Gambar 3.10.	Diagram alir penelitian	37
Gambar 4.1	Plat Baja ST-37	38
Gambar 4.2	Plat Baja AISI 1050	38
Gambar 4.3	Pemotongan Plat Baja	38
Gambar 4.4	Penyambungan Dengan Plat Baja	38
Gambar 4.5	Spesimen Uji Lentur	38
Gambar 4.6	Tampak Depan	39
Gambar 4.7	Tampak Samping	39
Gambar 4.8	Prosedur Awal Pembuatan Spesimen	39
Gambar 4.9	Grafik Gaya	40
Gambar 4.10	Grafik Tegangan	41

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Dalam merancang suatu konstruksi permesinan atau bangunan yang menggunakan sambungan las, terdapat banyak faktor yang harus diperhatikan. Keahlian dalam mengelas, pengetahuan yang memadai tentang prosedur pengelasan, serta pemahaman mendalam tentang sifat-sifat bahan yang akan dilas merupakan aspek penting yang memengaruhi keberhasilan dan kualitas sambungan las. Prosedur pengelasan mencakup pemilihan parameter las, seperti tegangan busur las, besar arus las, penetrasi, kecepatan pengelasan, bentuk kampuh las, tebal pelat, jenis elektroda, dan diameter inti elektroda. Parameter-parameter ini sangat berpengaruh terhadap sifat mekanik karbon las yang dihasilkan (Made & Muku, 2009).

Teknologi pengelasan adalah bagian integral dari teknologi manufaktur, yang memungkinkan penyambungan material secara efisien dan kuat. Pengelasan merupakan salah satu metode penyambungan selain sambungan baut dan keling. Perbedaannya terletak pada proses dan karakteristik: sambungan las memerlukan perhatian khusus pada jenis, klasifikasi, dan karakteristik proses. Menurut Deutsche Industrie Normen (DIN), pengelasan adalah ikatan metalurgi pada sambungan karbon paduan yang dilaksanakan dalam keadaan cair. Pengelasan menggabungkan bahan dengan jenis yang sama menjadi satu melalui ikatan kimia yang terbentuk akibat panas dan tekanan (Siswanto, 2018)

Pengelasan didasarkan pada prinsip difusi, yang menyebabkan bagian bahan yang disambung menyatu. Keunggulan sambungan las meliputi konstruksi yang ringan, kemampuan menahan kekuatan tinggi, kemudahan pelaksanaan,

dan efisiensi biaya. Namun, kelemahan utamanya adalah terjadinya perubahan struktur mikro bahan yang dilas, yang dapat memengaruhi sifat fisik dan mekanis material. Perkembangan teknologi pengelasan terus mendorong inovasi yang signifikan, memungkinkan kemajuan yang berdampak besar di berbagai sektor industri, termasuk perbaikan metode produksi dan penghematan sumber daya (Djamiko, 2008).

Berbagai teknik pengelasan yang umum digunakan dalam dunia industri meliputi :

- a. SMAW Shielded Metal Arc Welding), FCAW (Flux-Cored Arc Welding), SMAW (Metal Inert Gas), dan TIG (Tungsten Inert Gas). Proses SMAW, atau pengelasan busur listrik manual, dikenal karena kesederhanaan peralatannya dan kemampuannya untuk mengelas dalam berbagai posisi. Proses ini menggunakan elektroda berlapis fluks yang mencair dan melindungi karbon cair dari kontaminasi udara, meskipun memerlukan pembersihan slag setelah pengelasan selesai (Belajar et al., 2020)
- b. FCAW adalah proses pengelasan yang menggunakan kawat berinti fluks. Proses ini sangat cocok untuk pengelasan material tebal dan memberikan kecepatan pengelasan yang tinggi, tetapi cenderung menghasilkan lebih banyak percikan dan memerlukan pembersihan slag yang cukup signifikan. Keunggulan FCAW terletak pada efisiensi dan kemampuan beradaptasi dalam berbagai kondisi lingkungan, termasuk pengelasan di luar ruangan dengan kecepatan tinggi dan penetrasi yang dalam (Lin, 2012).
- c. SMAW menawarkan keunggulan dalam hal kecepatan dan kemudahan kontrol. SMAW welding menghasilkan busur listrik antara elektroda

kawat yang terus menerus diberi makan dan benda kerja, dengan gas pelindung untuk mencegah kontaminasi. Metode ini sangat populer dalam produksi massal karena efisiensi dan kemampuan menghasilkan sambungan yang kuat dengan waktu pengelasan yang singkat.

- d. TIG dikenal karena hasil lasnya yang berkualitas tinggi dan bebas dari percikan. Teknik ini menggunakan elektroda tungsten yang tidak meleleh, dan gas pelindung inert seperti argon untuk melindungi karbon cair dari oksidasi. TIG welding memerlukan keterampilan yang tinggi dari operator, tetapi sangat ideal untuk mengelas material tipis dan karbon yang sulit, seperti aluminium dan baja tahan karat. TIG welding memberikan kontrol yang presisi terhadap input panas, mengurangi kemungkinan distorsi material, dan menghasilkan sambungan yang sangat bersih dan kuat (Miller, 2017).

Dalam industri manufaktur, salah satu aplikasi pengelasan yang sangat penting adalah Tailor Welded Blanks (TWB). TWB memungkinkan penyambungan karbon dengan ketebalan dan material yang berbeda, menciptakan produk yang lebih ringan dan efisien secara biaya dibandingkan dengan metode konvensional.

Tailor Welded Blanks sering digunakan dalam industri Otomotif untuk mengoptimalkan efisiensi bahan bakar dan mengurangi berat kendaraan tanpa mengorbankan kekuatan struktural. Teknologi ini memungkinkan perancangan yang lebih fleksibel dan presisi, menyesuaikan ketebalan material dengan beban yang akan diterima, serta mengurangi limbah material. Kimchi dan Gould (2005) menyebutkan bahwa TWB memberikan keunggulan dalam pengatur

distribusi material, yang tidak hanya meningkatkan efisiensi produksi tetapi juga berkontribusi pada keberlanjutan lingkungan dengan pengurangan limbah dan penggunaan material yang lebih hemat.

Berdasarkan latar belakang tersebut, penulis tertarik untuk menganalisis kekuatan tarik hasil pengelasan SMAW pada proses Tailor Welded Blanks (TWB) menggunakan bahan karbon dengan ketebalan yang berbeda. Penelitian ini diharapkan memberikan wawasan yang bermanfaat dalam menentukan parameter pengelasan yang optimal dan dapat diterapkan dalam industri modern untuk meningkatkan efisiensi produksi, mengurangi biaya, serta memastikan kekuatan dan keandalan struktur yang dilas.

1.2 Rumusan Masalah

Adapun rumusan masalah dari penelitian ini yaitu:

Bagaimanakah cara menganalisis kekuatan spesimen pengelasan SMAW pada proses tailor welded blank (TWB) menggunakan bahan karbon yang berbeda kandungan hasil pengujian lentur statis.

1.3 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan dari penelitian ini yaitu :

- a. Pembuatan spesimen uji lentur hasil pengelasan SMAW pada proses tailor welded blank (TWB) menggunakan bahan karbon yang berbeda kandungan karbon.
- b. Pengujian spesimen uji lentur hasil pengelasan SMAW pada proses tailor welded blank (TWB) menggunakan bahan karbon yang berbeda kandungan

karbon.

- c. Analisis kekuatan spesimen pengelasan SMAW pada proses tailor welded blank (TWB) menggunakan bahan karbon yang berbeda kandungan karbon hasil pengujian lentur statis.

1.4 Hipotesis Penelitian

Adapun hipotesis dari penelitian ini yaitu:

- a. Terdapat perbedaan signifikan dalam kekuatan tarik spesimen pengelasan SMAW pada proses tailor welded blank (TWB) yang menggunakan bahan karbon dengan ketebalan berbeda.
- b. Semakin tebal bahan karbon yang digunakan dalam pengelasan, maka kekuatan tarik spesimen hasil pengelasan SMAW akan meningkat.
- c. Parameter pengelasan seperti arus dan kecepatan pengelasan berpengaruh signifikan terhadap kekuatan tarik spesimen SMAW yang dihasilkan.
- d. Terdapat perbedaan signifikan dalam kekuatan tarik spesimen pengelasan SMAW pada proses tailor welded blank (TWB) yang menggunakan bahan karbon dengan ketebalan berbeda.
- e. Semakin tebal bahan karbon yang digunakan dalam pengelasan, maka kekuatan tarik spesimen hasil pengelasan SMAW akan meningkat.
- f. Parameter pengelasan seperti arus dan kecepatan pengelasan berpengaruh signifikan terhadap kekuatan tarik spesimen TWB yang dihasilkan.

1.5 Manfaat Penelitian

Adapun manfaat dari penelitian ini yaitu:

- a. Penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi terhadap pengembangan teori dalam bidang pengelasan, khususnya mengenai pengaruh ketebalan bahan terhadap kekuatan sambungan las.
- b. Hasil penelitian diharapkan dapat digunakan untuk memahami lebih dalam tentang parameter pengelasan yang optimal dan bagaimana parameter tersebut mempengaruhi sifat mekanik dari sambungan las.
- c. Penelitian ini diharapkan dapat menghasilkan model teoritis yang dapat digunakan untuk memprediksi kekuatan sambungan las berdasarkan variasi ketebalan bahan, yang berguna dalam perancangan dan analisis struktur.

1.5.1. Manfaat Praktis

- a. Temuan dari penelitian ini diharapkan dapat diterapkan langsung dalam industri manufaktur untuk meningkatkan efisiensi dan kualitas produk melalui pengoptimalan parameter pengelasan pada proses Tailor Welded Blanks (TWB).
- b. Dengan memahami pengaruh ketebalan bahan terhadap kekuatan sambungan, diharapkan industri dapat menghasilkan produk yang lebih kuat dan tahan lama, mengurangi risiko kegagalan struktural.
- c. Dengan menggunakan teknik pengelasan yang lebih efisien dan material yang tepat, diharapkan perusahaan dapat mengurangi biaya produksi, meningkatkan daya saing di pasar.
- d. Hasil ini diharapkan bisa menjadi dasar untuk menyusun pedoman atau standar operasional prosedur (SOP) dalam proses pengelasan.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Pengelasan

Berdasarkan definisi dari Deutche Industrie Normen (DIN), las adalah ikatan metalurgi pada sambungan karbon atau karbon paduan yang dilaksanakan dalam keadaan lumer atau cair. Definisi ini juga dapat diartikan lebih lanjut bahwa las adalah sambungan setempat dari beberapa karbon dengan menggunakan energi panas (Wiryosumarto, 2000).

Pengelasan adalah suatu aktifitas menyambung dua bagian benda atau lebih dengan cara memanaskan atau menekan atau gabungan 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 .

Beberapa metode atau cara pengelasan telah ditemukan untuk membuat proses pengelasan dengan hasil sambungan yang kuat dan efisien. Pengelasan juga memberikan keuntungan baik itu dalam aspek komersil maupun teknologi. Adapun keuntungan dari pengelasan adalah sebagai berikut :

- a. Pengelasan memberikan sambungan yang permanen. Kedua bagian yang disambung menjadi satu kesatuan setelah dilas.
- b. Sambungan las dapat lebih kuat daripada material induknya jika karbon pengisi (filler metal) yang digunakan memiliki sifat-sifat kekuatan yang tinggi daripada material induknya, dan teknik pengelasan yang digunakan harus tepat.
- c. Pengelasan biasanya merupakan cara yang paling ekonomis jika ditinjau dari harga pembuatannya dan segi penggunaannya.
- d. Pengelasan tidak dibatasi hanya pada lingkungan pabrik saja,

tetapi pengelasan juga dapat dilakukan atau dikerjakan di lapangan.

Berdasarkan masukan panas (heat input) utama yang diberikan kepada karbon dasar proses pengelasan dapat dibagi menjadi dua cara, yaitu (Wiryosumanto, 2000):

- a. Pengelasan dengan menggunakan energi panas yang berasal dari fusion (nyala api las), contohnya: las busur (arc welding), las gas (gas welding), las sinar elektron (electron discharge welding), dan lain-lain.
- b. Pengelasan dengan menggunakan energi panas yang tidak berasal dari nyala api las (non fusion), contohnya: friction stirr welding (proses pengelasan dengan gesekan), las tempa, dan lain-lain.

2.2 Las SMAW (Metal Inert Gas)

Metal Inert Gas (SMAW) adalah las busur gas dengan kawat las pengisi berfungsi sebagai elektroda yang diumpankan secara terus menerus selama pengelasan. Gas pelindung digunakan untuk melindungi daerah pengelasan yang mencair (*molten metal*) dari oksidasi oleh udara atmosfer. Gas pelindung yang digunakan biasanya adalah gas argon, helium atau campuran dari keduanya.



Gambar 2. 1 Mesin Las SMAW

Karena kedua gas tersebut harganya relatif mahal, maka gas CO₂ dapat menjadi alternatif. Keuntungan las SMAW jika dibandingkan las jenis lain antara lain:

- a. Karena konsentrasi busur yang tinggi, maka busurnya sangat mantap dan percikannya sedikit sehingga memudahkan operasi pengelasan. Karena dapat menggunakan arus yang tinggi, kecepatan pengelasan yang digunakan juga tinggi, sehingga efisiensinya sangat baik.
- b. Deposit yang terbentuk cukup banyak.
- c. Ketangguhan dan elastisitas, kedap udara dan sifat-sifat lainnya lebih baik daripada hasil las dengan cara pengelasan lain.
- d. Karena hal-hal tersebut di atas, maka las SMAW banyak sekali digunakan dalam praktek terutama untuk pengelasan baja-baja kualitas tinggi seperti baja tahan karat, baja kuat dan karbon- karbon bukan baja yang tidak dapat dilas dengan cara lain. Kawat pengisi dalam las SMAW biasanya diumpankan secara otomatis, sedangkan alat pembakarnya (*torch*) digerakkan dengan tangan.

Peralatan utama adalah peralatan yang berhubungan langsung dengan proses pengelasan, yakni minimum terdiri dari:

1. Mesin Lass

Sistem pembangkit tenaga pada mesin GMAW pada prinsipnya adalah sama dengan mesin MMAW yang dibagi dalam 2 golongan, yaitu :
Mesin las arus bolak balik (*Alternating Current / AC Welding Machine*) dan Mesin las arus searah (*Direct Current / DC Welding Machine*), namun sesuai dengan tuntutan pekerjaan dan jenis bahan

yang dilas yang kebanyakan adalah jenis baja, maka secara luas proses pengelasan dengan GMAW adalah menggunakan mesin las DC.

Umumnya mesin las arus searah (DC) mendapatkan sumber tenaga listrik dari trafo las (AC) yang kemudian diubah menjadi arus searah dengan *voltage* yang konstan (*constant-voltage*). Pemasangan kabel-kabel las (pengkutuban) pada mesin las arus searah dapat diatur / dibolak-balik sesuai dengan keperluan pengelasan. Mesin las SMAW merupakan mesin las DC, umumnya berkemampuan sampai 250 amper. Dilengkapi dengan sistem kontrol, penggulung kawat gas pelindung, system pendingin dan rangkaian lain. Sumber tenaga untuk Las SMAW merupakan mesin las bertegangan konstan. Tenaga yang dikeluarkan dapat berubah-ubah sendiri sesuai dengan panjang busur. Panjang busur adalah jarak antara ujung elektroda ke benda kerja.

Panjang busur ini bisa distel. Bila busur berubah menjadi lebih pendek dari setelan semula, maka arus bertambah dan kecepatan kawat berkurang. Sehingga panjang busur kembali semula. Sebaliknya bila busur berubah menjadi lebih panjang, arus berkurang, kecepatan kawat elektroda bertambah. Dengan sistem otomatis seperti ini, yaitu mesin yang mengatur sendiri, maka panjang busur akan konstan dan hasil pengelasan akan tetap baik. Umumnya mesin las arus searah (DC) mendapatkan sumber tenaga listrik dari trafo las (AC) yang kemudian diubah menjadi arus searah dengan *voltage* yang konstan. Pemasangan kabel-kabel las (pengkutuban) pada mesin las arus searah dapat diatur / dibolak-balik sesuai dengan keperluan pengelasan, ialah dengan cara:

- a. Pengkutuban langsung (*Direct Current Straight Polarity / DCSP / DCEN*)

Dengan pengkutuban langsung berarti kutub positif (+) mesin las dihubungkan dengan benda kerja dan kutub negatif (-) dihubungkan dengan kabel elektroda. Dengan hubungan ini panas pengelasan yang terjadi 1/3 bagian memanaskan elektroda sedangkan 2/3 bagian memanaskan benda kerja.

b. Pengkutuban terbalik (Direct Current Reverse Polarity /DCRP/ DCEP)

Pada pengkutuban terbalik, kutub negatif (-) mesin las dihubungkan dengan benda kerja, dan kutub positif (+) dihubungkan dengan elektroda. Pada hubungan semacam ini panas pengelasan yang terjadi 1/3 bagian panas memanaskan benda kerja dan 2/3 bagian memanaskan elektroda.

c. Kawat Elektroda (Wire Feeder)

Kawat elektroda adalah. Alat utama pada pengelasan dengan SMAW. Alat ini biasanya tidak menyatu dengan mesin las, tapi merupakan bagian yang terpisah dan ditempatkan berdekatan dengan pengelasan. Fungsinya adalah sebagai berikut:

- 1) Menempatkan rol kawat elektroda.
- 2) Menempatkan kabel las (termasuk *welding gun* dan *nozzle*) dan sistem saluran gas pelindung.
- 3) Mengatur pemakaian kawat elektroda (sebagai tipe mesin, unit pengontrolannya terpisah dengan *wire feeder unit*).
- 4) Mempermudah proses/penanganan pengelasan, dimana *wire feeder* tersebut dapat dipindah-pindah sesuai kebutuhan.

Pada dasarnya terdapat tiga jenis *wire feeder*; yaitu jenis dorongan jenis tarik,

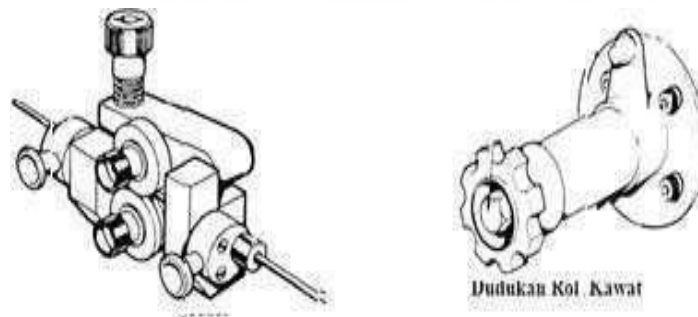
jenis dorongan tarik. Perbedaannya adalah dari cara mengerakan elektroda dari spool ke touch. Kecepatan dari *wire feeder* dapat ditiru mulai dari 1 hingga 22 m/menit pada mesin las SMAW performa tinggi, kecepatannya dapat mencapai 30 m/menit.

Untuk jenis rolnya wirefeeder dibagi dalam dua jenis yaitu sistem 2 (dua) rol dan sistem 4 (empat) rol. Sedangkan menurut bidang kontaknya rol dari wirefeeder dapat dibagi menjadi jenis trapesium halus, jenis setengah lingkaran halus, dan jenis setengah lingkaran kasar.

2. Welding Gun

Menurut Cary and Helzer (2005), welding gun merupakan perangkat utama yang digunakan untuk memfasilitasi pengelasan dengan mengarahkan panas dari sumber energi ke area sambungan. Welding gun juga berfungsi untuk mengontrol suplai elektroda atau kawat las serta distribusi gas pelindung yang diperlukan untuk melindungi area pengelasan dari kontaminasi atmosfer.

Selain itu, menurut Kou (2003), welding gun dirancang untuk memberikan kemudahan dalam mengoperasikan berbagai metode pengelasan, seperti SMAW/MAG, TIG, dan plasma arc welding. Alat ini memastikan bahwa suplai material pengisi, gas pelindung, dan panas terkonsentrasi pada area yang tepat untuk menghasilkan sambungan yang kuat dan berkualitas tinggi.



Gambar 2. 2 Welding gun las SMAW(metal inert gas).

3. Kabel las

Penggunaan kabel pada mesin las hendaknya disesuaikan dengan kapasitas arus maksimum dari pada mesin las. Makin kecil diameter kabel atau makin panjang ukuran kabel, maka tahanan kabel akan naik, sebaliknya makin besar diameter kabel dan makin pendek maka hambatan akan rendah. Pada ujung kabel las biasanya dipasang sepatu kabel untuk pengikatan kabel pada terminal mesin las dan pada penjepit elektroda maupun pada penjepit masa.

4. Gas pelindung

Gas pelindung untuk SMAW adalah pelindung untuk mempertahankan / menjaga stabilitas busur dan perlindungan cairan karbon las dari kontaminasi selama pengelasan, terutama dari atmosfer dan pengotoran daerah las.

5. Pipa kontak

Pipa pengarah elektroda biasa juga disebut pipa kontak. Pipa kontak terbuat dari tembaga, dan berfungsi untuk membawa arus listrik ke elektroda yang bergerak dan mengarahkan elektroda tersebut ke daerah kerja pengelasan. Torch dihubungkan dengan sumber listrik pada mesin las dengan menggunakan kabel. Karena elektroda harus dapat bergerak dengan bebas dan melakukan kontak listrik dengan baik, maka besarnya diameter lubang dari pipa kontak sangat berpengaruh. *Nozzel* gas pelindung

Nozzel gas pelindung akan mengarahkan jaket gas pelindung kepada daerah las *Nozzel* yang besar digunakan untuk proses pengelasan dengan arus listrik yang tinggi. *Nozzel* yang lebih kecil digunakan untuk pengelasan dengan arus listrik yang lebih kecil.

2.3 Las TIG (Tungsten Inert Gas)

Awal mengelas, perlu ditetapkan teknik mana yang hendak diterapkan ketika mengelas. Saat penentuan metode pengelasan yang hendak dipakai, keperluan las dan material yang hendak di las harus dipertimbangkan. Dalam penelitian ini, proses las dilakukan memakai teknik pengelasan TIG. Las TIG sering digunakan untuk mengelas aluminium. Hal tersebut karena gas tungsten menolak oksigen, menciptakan oksida karbon yang cukup berat. (Romli, 2012: 10).

TIG (*Tungsten Inert Gas*) merupakan las memanfaatkan busur api yang diperoleh dari elektroda tungsten tetap. Komposisi aditif adalah material serupa atau mirip material yang hendak di las serta pisah dari tembakan las (Sriwidharto, 1996: 15).

Las busur listrik yang memiliki proteksi gas dikatakan TIG (*Tungsten Inert Gas*). Tipe alat las busur listrik berpelindung gas ini merupakan metode las di mana gas ditiupkan menuju area pengelasan guna menghalangi busur serta metal cair dari oksigen lingkungan (oksidasi). Pemakaian gas menjadi penghalang ialah gas karbon dioksida (CO₂), argon (Ar), helium (He), atau gabungan gas ini.

Wiryosumarno dan Okumara (2000: 17) menyebutkan, pemakaian pengelasan TIG memiliki dua benefit, yakni, laju umpan metal pengisi bisa diatur secara independen dari besar arus listrik sehingga penetrasi ke dalam karbon masukan dapat disusun sesuka hati. Benefit selanjutnya yaitu mutu area pengelasan yang cukup bagus. Maka, TIG umumnya dipakai guna pengelasan baja berkualitas bagus misalnya stainless steel, baja kuat panas serta dipakai pengelasan metal non-baja. Seperti pada gambar dibawah ini :



Gambar 2. 3 Mesin Las TIG

2.4 Las SMAW (Shielded Metal Arc Welding)

Pengelasan metode SMAW merupakan pengelasan dengan elektroda terbungkus, metode ini sangat banyak digunakan dalam pembangunan kapal dan reparasi kapal, disamping harga yang terjangkau, juga dikarenakan pengelasan dengan metode SMAW sangat fleksibel dalam penggunaannya. Baik itu pengelasan dengan posisi datar, horizontal, tegak (vertikal), ataupun posisi diatas kepala (overhead). Seperti pada gambar dibawah.



Gambar 2. 4 Mesin Las SMAW

Dalam pengelasan, ada beberapa bagian bahan yang mempunyai sifat kekuatan bahan akibat proses pengelasan, diantaranya adalah:

- a. Base metal (karbon induk) merupakan bagian karbon yang tidak mengalami

perubahan struktur akibat pengelasan.

- b. HAZ (Heat Affected Zone) merupakan daerah terpengaruh panas, daerah ini adalah yang paling lemah baik kekerasannya, keuletan dan tegangannya, karena struktur kristalnya banyak berubah.
- c. Weld metal (karbon las) merupakan karbon las yang mencair dan melebur bersama karbon induk, daerah ini adalah yang paling baik kekerasan dan tegangan tarik jika dalam pelaksanaan pengelasan memenuhi standard.

Prinsip kerja las busur listrik elektrode terbungkus (SMAW) yaitu dimulai ketika nyala api elektrik menyentuh ujung elektrode dengan benda kerja. Dua karbon yang konduktif jika dialiri listrik dengan tegangan yang relatif rendah akan menghasilkan loncatan elektron yang menimbulkan panas yang sangat tinggi, dapat mencapai 5000°C yang dapat mencairkan kedua karbon tersebut.

Menurut Ir. Soeweify, M.Eng. pengelasan dengan metode SMAW (Shield Metal Arc Welding) mempunyai beberapa keuntungan, sehingga penggunaannya cukup luas, diantaranya adalah :

- a. Cara pengelasan ini dapat dikatakan cukup fleksibel, dapat menyambung karbon yang mempunyai ketebalan tipis hingga tebal dengan bermacam – macam posisi pengelasan.
- b. Lebih ekonomis karena modal yang diperlukan relatif kecil serta biaya pemeliharannya lebih murah.
- c. Penggunaannya lebih mudah, sehingga tidak terlalu sukar untuk melatih calon welder yang belum biasa.

2.5 Klasifikasi Cara Pengelasan

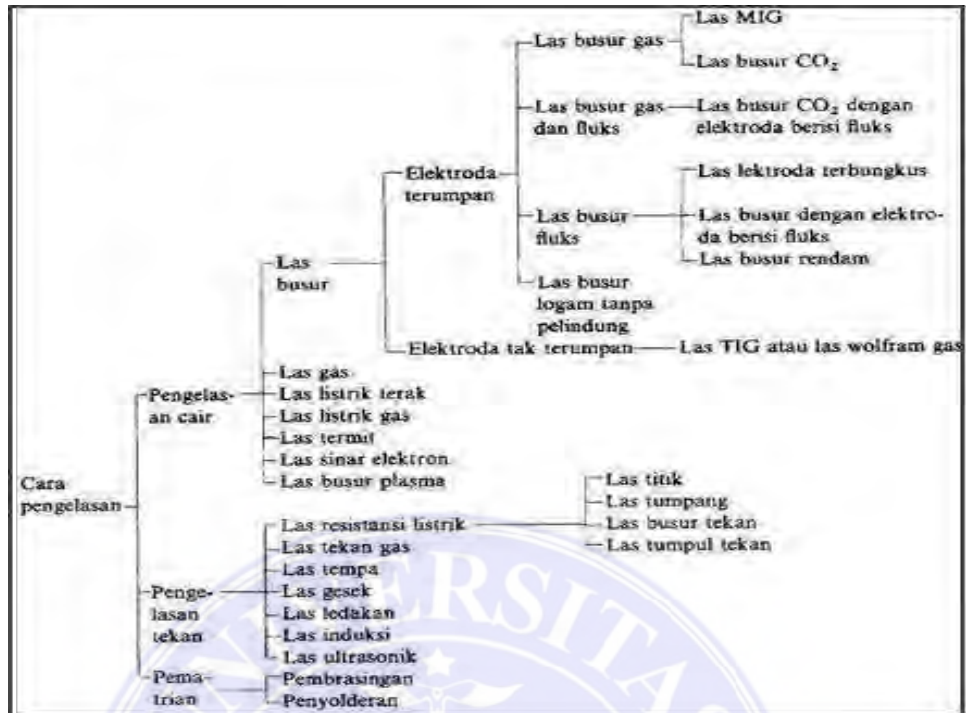
Sampai pada waktu ini banyak sekali cara-cara pengklasifikasian yang

digunakan dalam bidang las, ini disebabkan karena belum adanya kesepakatan dalam hal tersebut. Secara konvensional cara-cara pengklasifikasian tersebut dapat dibagi dalam dua golongan yaitu: klasifikasi berdasarkan cara kerja dan klasifikasi berdasarkan energi yang digunakan (Wiryosumarto, 2000). Klasifikasi yang pertama membagi las dalam kelompok las cair, las tekan, las patri dan lain-lain. Sedangkan klasifikasi yang kedua membedakan adanya kelompok-kelompok seperti las listrik, las kimia, las mekanik dan lain-lain. Bila diadakan klasifikasi yang lebih terperinci lagi, maka kedua klasifikasi tersebut di atas akan terbaaur dan akan terbentuk kelompok-kelompok yang banyak sekali.

Diantara kedua cara klasifikasi tersebut di atas, klasifikasi berdasarkan cara kerja lebih banyak digunakan. Berdasarkan klasifikasi ini, pengelasan dapat dibagi dalam tiga kelas utama yaitu (Wiryosumarto, 2000):

- a. Pengelasan cair adalah cara pengelasan dimana sambungan dipanaskan sampai mencair dengan sumber panas dari busur listrik atau semburan api gas yang terbakar.
- b. Pengelasan tekan adalah cara pengelasan dimana sambungan dipanaskan dan kemudian ditekan hingga menjadi satu.
- c. Pematrian adalah cara pengelasan dimana sambungan diikat dan disatukan dengan menggunakan paduan karbon yang mempunyai titik cair rendah.

Dalam cara ini karbon induk tidak turut mencair.



Gambar 2. 5 Klasifikasi Cara Pengelasan

2.6. Jenis-Jenis Pengelasan

Jenis atau klasifikasi pengelasan cara pengelasan yang banyak digunakan saat ini adalah pengelasan cair dengan busur dan dengan gas. Adapun dari kedua jenis tersebut akan dijelaskan sebagai berikut:

a. Las Busur Listrik

Las busur listrik adalah cara pengelasan dengan mempergunakan busur nyala listrik sebagai sumber panas pencair karbon. Klasifikasi las busur listrik yang digunakan hingga saat ini dalam proses pengelasan adalah las elektroda terbungkus (Wiryosumarto, 2000).

Prinsip pengelasan las busur listrik adalah sebagai berikut: arus listrik yang cukup padat dan tegangan rendah bila dialirkan pada dua buah karbon yang konduktif akan menghasilkan loncatan elektroda yang dapat menimbulkan panas yang sangat tinggi mencapai suhu 5000o C sehingga dapat mudah mencair kedua

karbon tersebut (Wiryosumarto, 2000).

Proses pemindahan karbon cair seperti dijelaskan diatas sangat mempengaruhi sifat maupun las dari karbon, dapat dikatakan bahwa butiran karbon cair yang halus mempunyai sifat mampu las yang baik. Sedangkan proses pemindahan cairan sangat dipengaruhi oleh besar kecilnya arus dan komposisi dari bahan fluks yang digunakan. Selama proses pengelasan, fluks yang digunakan untuk membungkus elektroda sebagai zat pelindung yang sewaktu pengelasan juga ikut mencair. Tetapi karena berat jenisnya lebih ringan dari bahan karbon yang dicairkan, maka cairan fluks tersebut mengapung diatas cairan karbon dan membentuk terak sebagai penghalang oksidasi. Dalam beberapa fluks bahan tidak terbakar, tetapi berubah menjadi gas pelindung dari karbon cair terhadap oksidasi (Wiryosumarto, 2000).

b. Busur karbon Gas (Gas Metal Arc Welding)

Proses pengelasan dimana sumber panas berasal dari busur listrik antara elektroda yang sekaligus berfungsi sebagai karbon yang terumpan (filler) dan karbon yang dilas. Las ini disebut juga metal inert gas welding (SMAW) karena menggunakan gas mulia seperti argon dan helium sebagai pelindung busur dan karbon cair (Wiryosumarto, 2000).

c. Las Busur Rendam (Submerged Arc Welding/SAW)

Proses pengelasan dimana busur listrik dan karbon cair tertutup oleh lapisan serbuk fluks sedangkan kawat pengisi (filler) diumpankan secara bertahap. Pengelasan ini dilakukan secara otomatis dengan arus listrik antara 500-2000 Ampere (Wiryosumarto, 2000).

c. Las Busur Elektroda Terbungkus (Shielded Metal Arc Welding/SMAW)

Proses pengelasan dimana panas dihasilkan dari busur listrik antara ujung elektroda dengan karbon yang dilas. Elektroda terdiri dari kawat karbon sebagai penghantar arus listrik ke busur dan sekaligus sebagai bahan pengisi (filler). Kawat ini dibungkus dengan bahan fluks. Biasanya dipakai arus listrik yang tinggi (10-500 A) dan potensial yang rendah (10-50 V). Selama pengelasan, fluks mencair dan membentuk terak (slag) yang berfungsi sebagai lapisan pelindung karbon las terhadap udara sekitarnya. Fluks juga menghasilkan gas yang bisa melindungi butiran-butiran karbon cair yang berasal dari ujung elektroda yang mencair dan jatuh ke tempat sambungan (Wiryosumarto, 2000).

d. Las Oksi Asetilen (Oxy Acetylene Welding)

Las oksi asetilen adalah salah satu jenis pengelasan gas yang dilakukan dengan membakar bahan bakar gas dengan O₂ sehingga menimbulkan nyala api dengan suhu yang dapat mencairkan karbon induk dan karbon pengisi. Bahan bakar yang biasa digunakan adalah gas asetilen, propan, atau hidrogen. Dari ketiga bahan bakar ini yang paling banyak digunakan adalah gas asetilen, maka dari itu pengelasan ini biasa disebut dengan las oksi asetilen (Wiryosumarto, 2000).

e. Las Busur Tungsten Gas Mulia (Gas Tungsten Arc Welding/GTAW)

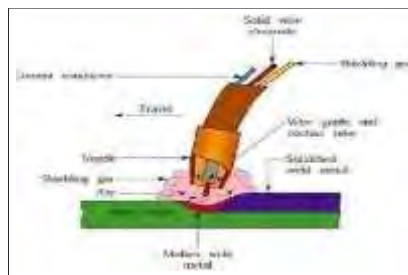
Proses pengelasan di mana sumber panas berasal dari loncatan busur listrik antara elektroda terbuat dari wolfram/tungsten dan karbon yang dilas. Pada pengelasan ini karbon induk (karbon asal yang akan disambung dengan metode pengelasan biasanya disebut dengan istilah karbon induk) tidak ikut terumpan (non-consumable electrode). Untuk melindungi elektroda dan daerah las digunakan gas mulia (argon atau helium). Sumber arus yang digunakan bisa AC (arus bolak-balik) maupun DC (arus searah).

f. Las Listrik Terak (Electroslag Welding)

Proses pengelasan di mana energi panas untuk melelehkan karbon dasar (base metal) dan karbon pengisi (filler) berasal dari terak yang berfungsi sebagai tahanan listrik ketika terak tersebut dialiri arus listrik. Pada awal pengelasan, fluks dipanasi oleh busur listrik yang mengenai dasar sambungannya. Kemudian karbon las terbentuk pada arah vertikal sebagai hasil dari campuran antara bagian sisi dari karbon induk dengan karbon pengisi (filler) cair. Proses pencampuran ini berlangsung sepanjang alur sambungan las yang dibatasi oleh pelat yang didinginkan dengan air.

g. Las Metal Inert Gas (SMAW)

Dalam las karbon gas mulia, kawat las pengisi yang juga berfungsi sebagai elektroda diumpankan secara terus menerus. Busur listrik terjadi antara kawat pengisi dan karbon induk. Skema dari alat las ini ditunjukkan dalam Gambar 1. Gas pelindung yang digunakan adalah gas argon, helium atau campuran dari keduanya. Untuk memantapkan busur kadang-kadang ditambahkan gas antara 2 sampai 5%, atau CO, antara 5 sampai 20%. Proses pengelasan SMAW ini dapat secara semi otomatis atau otomatis. Semi otomatis dimaksudkan pengelasan secara manual, sedangkan otomatis adalah pengelasan yang seluruhnya dilaksanakan secara otomatis. Elektroda keluar melalui tangkai bersama-sama dengan gas pelindung (Wirjosumarto, 2000).



Gambar 2. 6 Las SMAW (Metal Inert Gas)

2.7. Kekuatan Lentur

Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui sejauh mana sifat kelenturan dan kegetasan dari bahan serta mampu mengetahui deformasi dengan radius bengkok tertentu. Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui energi tumbukan atau tegangan keuletan yang dapat ditahan material tersebut pada posisi daerah lasan (welding metal), pada pengujian kekuatan lentur ini juga sering dikatakan dengan uji bending yang dimana merupakan salah satu bentuk pengujian untuk menentukan mutu terhadap suatu material secara visual. Selain itu juga uji bending ini digunakan untuk mengukur kekuatan pada material akibat pembebanan dan kekenyalan hasil sambungan las baik di weld meta maupun HAZ. Dalam pemberian pembebanan dan penentuan dimensi ada beberapa factor yang harus dapat kita perhatikan yaitu kekuatan tarik, komposisi kimia struktur mikro dan tegangan luluh.

Pada Hasil dari setiap bahan yang sudah sambung akan dicari nilai kekuatan lentur dan fenomena springback, apakah dari berbagai macam variasi bahan yang digunakan bisa mempengaruhi springback material setelah di uji U bending. Fenomena springback merupakan gaya balik yang ditimbulkan akibat pengaruh elastisitas bahan plat yang mengalami proses pembentukan, Besarnya gaya balik ini di tentukan oleh gaya modulus elastisitas bahan.

Dengan uji bending atau uji lentur kita dapat mengevaluasi setiap kemampuan material yang akan kita uji sebagaimana material tersebut dapat menahan beban lentur hingga deformasi atau keretakan terjadi. Dengan demikian proses pengujian bending ini dilakukan maka permukaan las mengalami tegangan tarik dan dasar las mengalami tegangan tekan, Untuk mengetahui apakah timbul

retak atau tidak pada hasil pengelasan yang kita lakukan terhadap material berbahan karbon (Eko Sasmito Hadi).

2.7.1. Material Kekuatan Lentur

A. Baja karbon

Baja karbon adalah paduan besi karbon dimana unsur karbon sangat menentukan sifat-sifatnya sedang unsur-unsur paduan lainnya yang biasa terkandung di dalamnya terjadi karena proses pembuatannya. Sifat baja karbon biasa ditentukan oleh persentase karbon dan mikrostruktur. Pada kandungan karbon ini mempengaruhi beberapa sifat mekanik diantaranya kekuatan, kekerasan, dan keuletan maka dari itu baja karbon dibagi menjadi tiga yaitu:

a. Baja karbon rendah

Baja karbon rendah ini dengan kandungan karbon 0,05% - 0,25% sehingga memiliki kekuatan dan kekerasan yang rendah tetap material dengan kandungan karbon ini justru bahkan lebih baik dalam kelenturan dan kemampuan terhadap pengelasan.

b. Baja Karbon Sedang

Baja karbon sedang ini dengan kandungan karbon 0,25% - 0,6% yang dimana memiliki keseimbangan antara kekuatan dan keuletan tetapi kemampuan pengelasannya cukup rendah.

c. Baja karbon Tinggi

Baja karbon tinggi ini memiliki kandungan karbon 0,6% - 1,7% baja karbon ini memiliki sifat yang sngat keras dan kuat namun kurang ulet baja karbon ini juga cocok untuk alat ptong dan komponen yang memerlukan ketahanan us.

Tabel 2. 1. Klasifikasi Baja Karbon Berdasarkan Kandungan karbon

No	Jenis Baja	Kandungan karbon (%)
1	Baja karbon rendah	0,05 – 0,25%
2	Baja karbon sedang	0,25 – 0,6%
3	Baja karbon Tinggi	0,6 – 1,7%

B. Sifat Material

Sifat mekanik didefinisikan sebagai ukuran kemampuan suatu bahan untuk membawa atau menahan gaya atau tegangan yang diberikan padanya. Pada saat menahan beban, atom-atom atau struktur molekul berada dalam kesetimbangan.

Gaya ikatan pada struktur menahan setiap usaha untuk mengganggu kesetimbangan ini, misalnya gaya luar atau beban. Untuk dapat mengetahui sifat mekanik dari suatu material maka diperlukan suatu pengujian, salah satu pengujian yang paling sering dilakukan yaitu uji lentur (Uji Bending). Pengujian ini memiliki fungsi untuk mengetahui sifat kekuatan suatu material disaat mengalami tekanan.

Terdapat beberapa spesimen pada Uji Lentur (Uji Bending) adalah suatu metode yang digunakan untuk menguji kekuatan (tensile strength) suatu material/bahan dengan cara memberikan beban (gaya statis) yang sesumbu dan diberikan secara lambat atau cepat. Diperoleh hasil sifat mekanik dari pengujian ini berupa kekuatan, regangan dan elastisitas dari material/bahan.

C. Kekuatan (Strength)

Kekuatan dalam konteks Uji Lentur adalah kemampuan suatu material baja untuk menahan beban tanpa mengalami kerusakan atau deformasi permanen.

Dengan melakukan pengujian lentur terhadap material baja ini dapat mengukur seberapa banyak material yang akan dapat melentur dibawah tekanan sebelum mencapai titik patah.

D. Regangan (Strain)

Regangan pada material baja dalam konteks uji lentur adalah perubahan panjang atau deformasi yang terjadi pada material ketika dikenakan beban lentur. Pada proses pengujian ini juga mengukur berapa besar regangan yang dialami material sebelum mencapai titik patah.

E. Modulus Elastis

Pada modulus elastis ini untuk mengukur kekakuan material yang dapat dihitung dari rasio tegangan terhadap regangan dalam batas elastis yang diukur selama pengujian lentur.

2.7.2. Kekuatan Lentur

Kekuatan lentur adalah kemampuan material untuk menahan fraktur di bawah beban lentur. Kekuatan lentur adalah tegangan maksimum yang dapat ditahan material selama uji lentur.

Uji lentur (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 keuletan hasil sambungan las baik di weld metal maupun HAZ. Dalam pemberian beban dan penentuan dimensi mandrel ada beberapa factor yang harus diperhatikan, yaitu :

- a. Kekuatan tarik (Tensile Strength).
- b. Komposisi kimia dan struktur mikro terutama kandungan Mn dan C
- c. Tegangan luluh (yield).

Berdasarkan posisi pengambilan spesimen, uji bending dibedakan menjadi 2 yaitu transversal bending dan longitudinal bending. Kekuatan Lentur biasanya diuji melalui uji tekuk tiga titik atau empat titik, memerlukan dukungan khusus dan perangkat pembebanan.

2.7.3. Pengujian Lentur Putar

Uji lentur putar merupakan salah satu dari pengujian lelah (fatigue) yang berfungsi untuk menganalisa/ mengetahui ketahanan lelah dari suatu bahan/ material. Beberapa hal yang perlu dipertimbangkan dalam pengujian ini adalah Variabel - variabel sebagai berikut :

- a. Pemilihan jenis bahan/ material yang akan diuji.
- b. Dimensi dari benda uji (spesimen).
- c. Pembebanan yang akan diberikan ketika di proses pengujian berlangsung.
- d. Perlakuan terhadap spesimen (panas/ heat treatment, pemberian takik sebagai pengkodisian cacat material,dll)

2.7.4. Teori Elastisitas

Berdasarkan sifat mekanik material sebagai ukuran untuk menahan gaya atau regangan. Kondisi raw material pada saat mendapat gaya struktur molekul berada dalam kondisi keseimbangan. Gaya luar pada proses penarikan, tekanan, pemotongan, penempaan, dan pembongkaran akan mengakibatkan material mengalami tegangan (Bhaduri, 2018).

Dalam sifat mekanik material sebagai ukuran untuk menahan gaya atau regangan, pada saat mendapat gaya struktur molekul berada dalam kondisi keseimbangan. Gaya luar pada proses penarikan, tekanan, pemotongan,

penempaan, dan pembengkokan akan mengakibatkan material mengalami tegangan. Suatu plat jika dikenai gaya eksternal maka plat akan mengalami deformasi. Pada beban eksternal yang tidak melampaui titik luluh, plat akan kembali ke bentuk semula jika beban di hilangkan. Fenomena ini dikenal dengan fenomena elastis. Plat tidak mengalami perubahan bentuk permanen karena disebabkan sifat elastis material. Penambahan beban melebihi kekuatan luluh (yield strength) yang dimiliki material, mengakibatkan aliran deformasi dan tidak akan kembali ke bentuk semula, atau material tersebut mengalami deformasi permanen.

2.7.5. Tegangan

Tegangan adalah tahanan material terhadap gaya luar atau beban. Definisi tegangan yang lain adalah besarnya gaya persatuan luas. Tegangan dibedakan menjadi dua macam yaitu tegangan normal dan tegangan geser.

Tegangan juga didefinisikan sebagai beban atau gaya yang diterapkan per satuan luas. Seringkali, tegangan ini cenderung pada beberapa sudut yang berubah-ubah ke daerah dimana spesimen bertindak. Dalam kasus seperti itu, untuk menggambarkan stress dengan mudah, masing-masing stress tersebut diselesaikan menjadi dua komponen, tegangan normal yaitu tegangan tegak lurus terhadap luas aksi, dan tegangan geser atau tegangan yang terletak pada pesawat aksi (Bhaduri, 2018).

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

Dimana : σ = Tegangan (MPa)

A = Luas Penampang (mm^2).

F = Gaya normal (N)

2.7.6. Regangan

Regangan adalah perubahan ukuran atau bentuk material dari panjang awal sebagai hasil dari gaya pada bahan. Regangan bersifat linier pada daerah elastis dan berakhir pada titik luluh, dan bila telah berada pada daerah plastis maka sifat tidak lagi linier. Besarnya linier regangan adalah perpanjangan (ΔL) material dibagi panjang awal (L_0). (Modelson, 1983).

Regangan juga dapat didefinisikan sebagai perubahan dimensi tubuh diamati pada semua bahan benda padat ketika benda mengalami deformasi dengan diterapkan secara eksternal. Perbandingan perubahan panjang dengan aslinya. Panjang itulah yang disebut regangan linier atau normal atau sederhananya regangan dari rasio ini diartikan kuantitas tak berdimensi. Regangan diukur selama deformasi mengalami elastisitas yang dapat dipulihkan selama deformasi plastis (Bhaduri, 2018).

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

Dimana :

Σ = Regangan.

ΔL = Perubahan panjang (mm).

L_0 = Panjang awal (mm).

2.7.7. Baja logam

Baja karbon adalah salah satu jenis logam yang paling umum digunakan untuk berbagai bidang teknik terutama keperluan industri seperti konstruksi bangunan, konstruksi pesawat terbang, pembuatan alat-alat perkakas, dan sebagainya .

Besarnya penggunaan jenis logam baja tidak terlepas dari sifat yang

dimiliki, yaitu; mudah didapat di pasaran, mudah dibentuk dan diproses sekaligus memiliki sifat permesinan yang baik dan harganya cukup murah. Biasanya bangunan di tepi pantai dirancang dapat dipergunakan dengan kurun waktu 20-25 tahun dan dalam kurun waktu tersebut konstruksi platform harus terjamin dari segi keselamatan, kinerja dan kekuatan untuk menerima beban lingkungan di sekitarnya dan kekuatan untuk menerima beban lingkungan di sekitarnya.



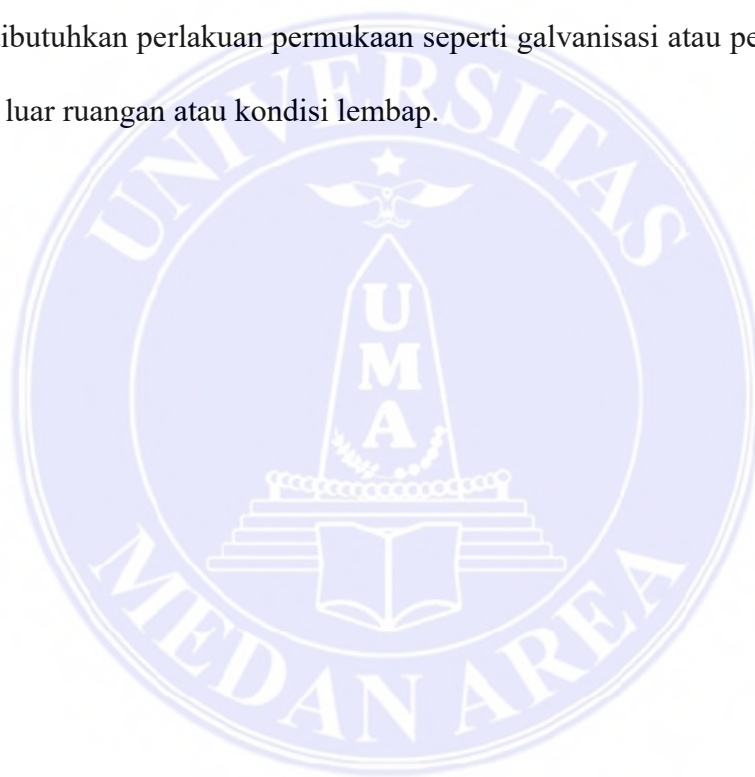
Gambar 2. 7 Plat Baja Karbon Rendah 1050

Baja karbon 1050 adalah jenis baja karbon sedang yang mengandung sekitar 0,50% karbon, sehingga memiliki kekuatan dan kekerasan yang lebih tinggi dibanding baja karbon rendah, namun tetap memiliki tingkat keuletan dan ketangguhan yang cukup baik. Baja ini sering digunakan untuk komponen mesin, pegas, poros, dan alat yang membutuhkan kekuatan tinggi serta dapat dikeraskan melalui proses perlakuan panas seperti hardening dan tempering. Namun, karena kandungan karbonnya cukup tinggi, baja 1050 memiliki tingkat kemampuan las yang lebih rendah dan rentan terhadap retak jika tidak dilakukan pemanasan awal sebelum pengelasan.



Gambar : Baja Karbon St-37

Baja ST37 adalah baja struktur karbon rendah (sekitar $\leq 0,17-0,20$ % C) yang digunakan secara luas pada konstruksi dan manufaktur. Karakteristiknya meliputi kemudahan pembentukan, kelenturan (ductility) dan kemampuan pengelasan yang baik—menjadikannya pilihan ekonomis untuk komponen struktural seperti balok, kolom, rangka baja tetapi kekuatannya (yield strength) relatif lebih rendah dibandingkan baja struktur kekuatan tinggi. Meskipun demikian, baja ST37 tidak memiliki ketahanan korosi yang istimewa, sehingga sering dibutuhkan perlakuan permukaan seperti galvanisasi atau pengecatan untuk aplikasi luar ruangan atau kondisi lembap.



BAB III

METEDOLOGI PENELITIAN

3.1 Waktu dan Tempat Penelitian

3.1.1 Waktu Penelitian

Adapun waktu penelitian yang dilaksanakan sejak tanggal di keluarkannya surat keputusan tugas akhir dan penentuan dosen pembimbing. Berikut tabel 3.1 Waktu pelaksanaan penelitian.

Tabel 3. 1 Waktu pelaksanaan penelitian

Aktifitas	2024					2025			
	Okt	Nov	Des	Jan	Feb	Mei	Apr	Ags	Okt
Pengajuan Judul									
Penulisan Proposal									
Seminar Proposal									
Pembuatan Spesimen									
Pengujian tarik									
Pengolahan data									
Seminar Hasil									
Evaluasi dan persiapan Sidang									

3.2 Tempat Penelitian

Adapun tempat pelaksanaan penelitian ini dalam rangka menyelesaikan tugas akhir di laboratorium Teknik Mesin Universitas Medan Area , Kampus 1, Jalan Kolam Nomor 1 Medan Estate / Jalan Gedung PBSI, Medan.

3.3 Alat Dan Bahan

Alat dan bahan yang digunakan pada penelitian tentang Analisis kekuatan pengelasan pada kekuatan lentur dari hasil pengelasan SMAW pada proses Tailor Welded Blank (TWB) menggunakan bahan karbon yang berbeda yaitu:

3.3.1 Alat

a. Mesin Las SMAW

Untuk menyambung dua atau lebih potongan karbon dengan cara mencairkan arbon dasar dan elektroda. pada proses las ini juga melibatkan pembentukan busur listrik antara elektroda dan karbon dasar, yang dapat menghasilkan panas tinggi.



Gambar 3. 1 Mesin Las SMAW

b. Sikat Kawat

Digunakan untuk menghilangkan slag ini agar hasil las bersih dan siap untuk pengolahan lebih lanjut, dan juga dapat membantu memastikan bahwa sambungan las lebih kuat dan bebas dari cacat atau masalah yang mungkin ada.



Gambar 3. 2 Sikat Kawat

c. Palu Las

Palu las digunakan untuk memukul dan mengangkat slag (lapisan oksida) yang terbentuk setelah proses pengelasan, sehingga hasil las menjadi lebih bersih. Dan juga dapat disesuaikan dalam berbagai situasi sehingga dapat disesuaikan pada posisi bagian yang akan dilas untuk menggeser komponen agar lebih pas.



d. Universal Testing Machine (UTM)

Mesin uji Lentur ini adalah sebuah alat yang digunakan untuk mengukur kekuatan lentur terhadap material karbon dengan menggunakan metode uji tiga titik agar dapat mengevaluasi kekuatan lentur dan kekauan bahannya.



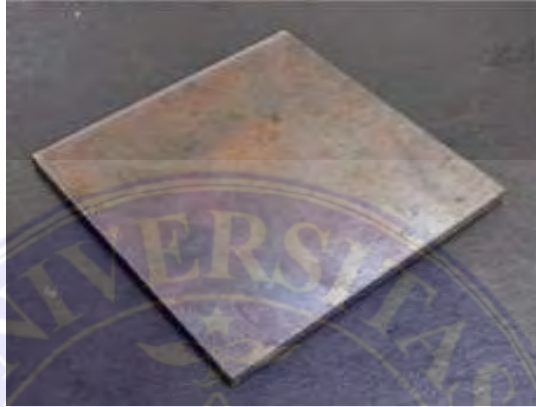
Gambar 3. 4 Universal Testing Machine (UTM).

3.3.2 Bahan

Dalam melakukan penelitian ini untuk membuat spesimen atau bahan uji terdapat beberapa bahan yang digunakan dalam penelitian. Bahan-bahan yang digunakan terdiri dari:

1. Baja AISI 1050

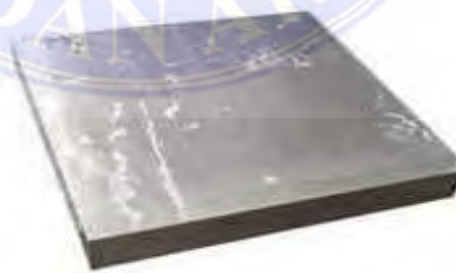
Plat baja AISI 1050 itu ialah baja yang punya kadar karbon 0,50% yang memberikan kekuatan tarik yang relatif tinggi dibandingkan baja dengan kandungan karbon lebih rendah. banyak sekali digunakan untuk pembuatan peralatan perkakas, roda gigi dll. Gambar baja AISI 1050 dilihat pada gambar 3.7



Gambar 3.5 Baja AISI 1050

2. Baja Karbon ST 37

Bahan logam ST 37 adalah jenis baja karbon sedang, baja ini juga dikenal sebagai baja ringan dan memiliki sifat yang keras dan ketahanan terhadap AUS. Dapat dilihat pada gambar 3.8



Gambar 3. 6 Baja karbon ST 37

3. Kawat Las SMAW

Kawat las tersedia dalam berbagai diameter, dan pemilihan diameter yang tepat bergantung pada ketebalan material yang dilas dan jenis pengelasan yang

dilakukan dan juga sebagai sumber material pengisi yang akan mengalir dan mencair saat proses pengelasan, membentuk sambungan antara dua bagian karbon



Gambar 3.7 Elektroda

3.4 Populasi dan Sampel

Dalam melakukan penelitian ini populasi yang digunakan adalah jenis baja. Baja yang digunakan dalam penelitian ini yaitu baja karbon rendah sebanyak 3 populasi, baja karbon sedang 3 populasi, dan gabungan baja karbon rendah dengan baja karbon sedang sebanyak 3 populasi. Jadi, pada setiap masing-masing variasi dilakukan percobaan keseluruhan 9 kali dengan 1 variasi 3 spesimen. Untuk data spesimen di tunjukan oleh tabel 3.

Tabel 3. 2 Data spesimen

No	Material	W (mm)	L (mm)	C (mm)	B (mm)	Ampare	Jumlah
1	a. Baja ST 37	12,5	200	20	50	80	3
	b. Baja AISI 1050	12,5	200	20	50	80	
2	a. Baja AISI 1050	12,5	200	20	50	80	

3

	b.	Baja AISI 1050	12,5	200	20	50	80
3	a.	Baja ST 37	12,5	200	20	50	80
	b.	Baja ST 37	12,5	200	20	50	80

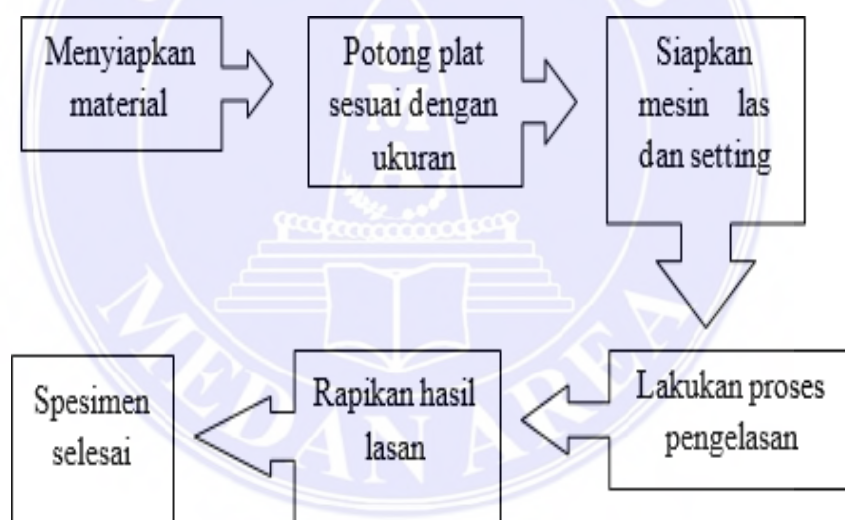
3

3.5 Prosedur Kerja

Berikut adalah prosedur kerja penelitian untuk menganalisis kekuatan lentur dengan bahan logam yang berbeda kandungan karbon.

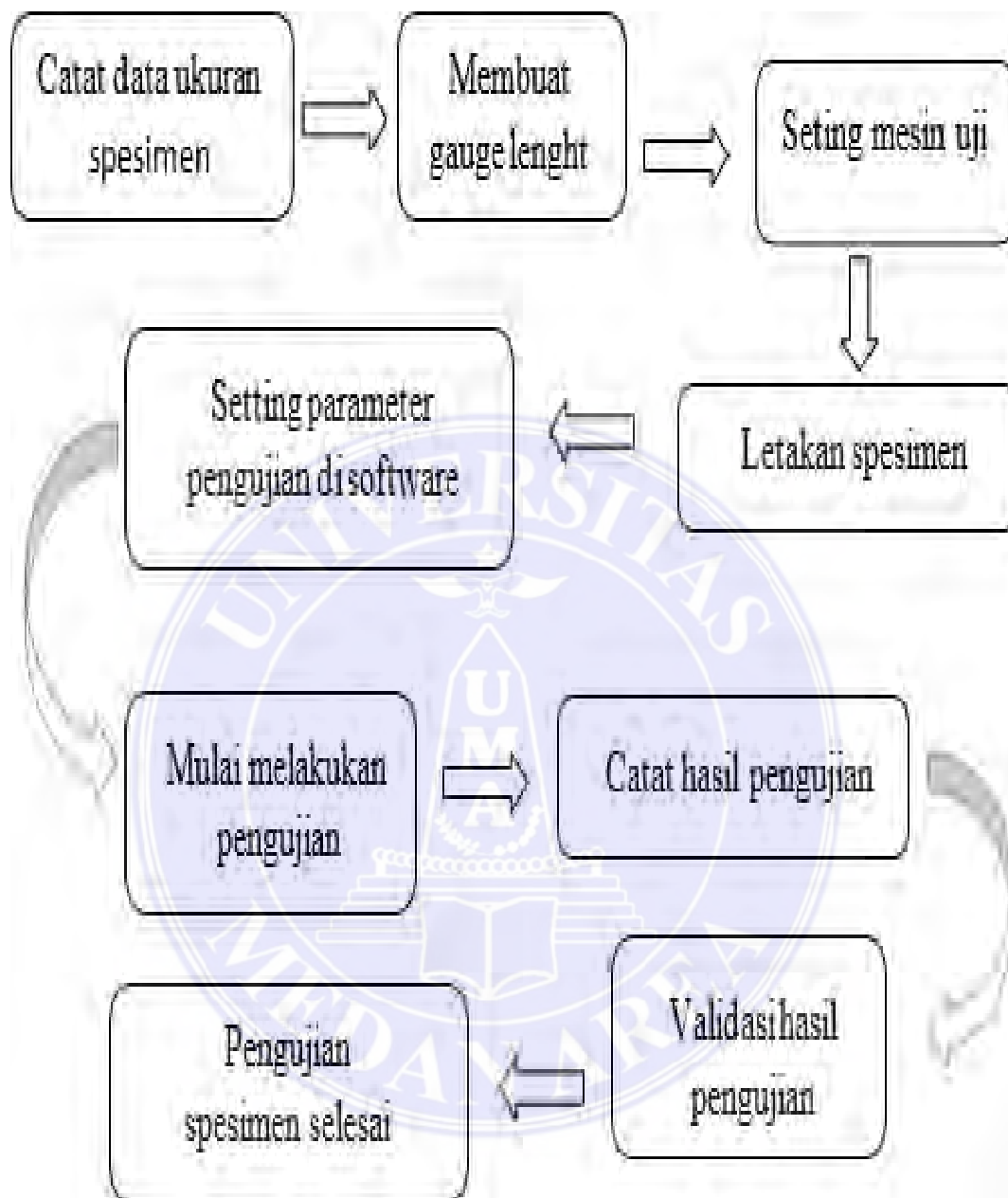
3.5.1 Prosedur pembuatan spesimen

Langkah – Langkah proses pembuatan spesimen yang harus dilakukan pada specimen ini adalah sebagai berikut;



Gambar 3.8 Diagram Alir Prosedur Pembuatan Spesimen

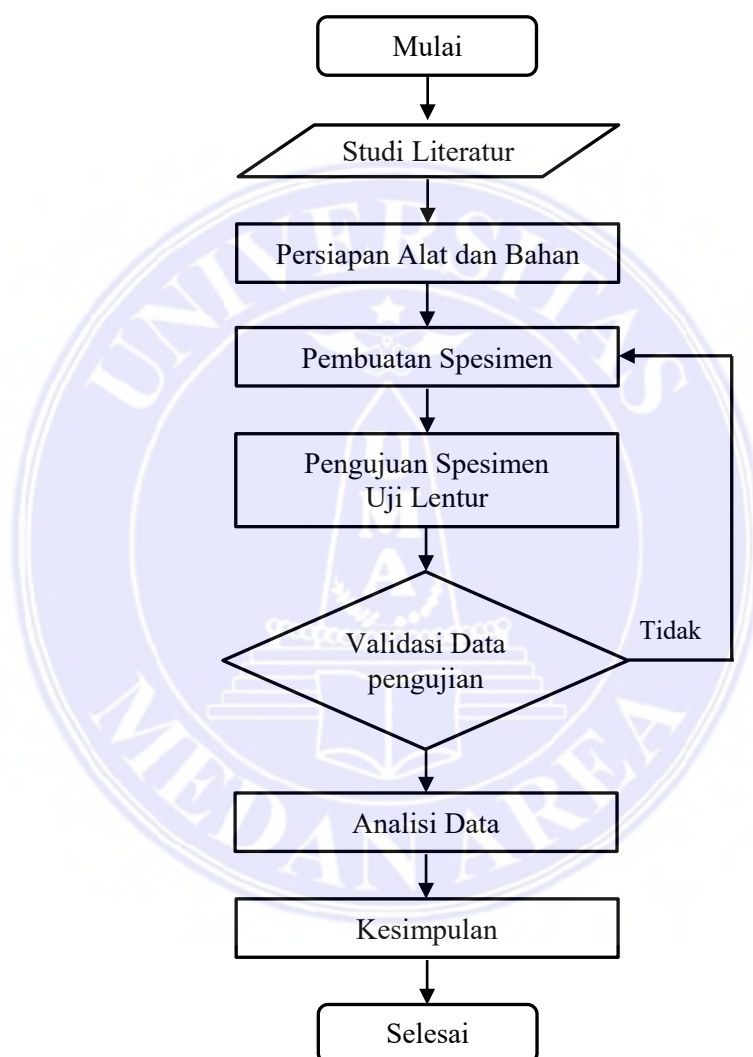
3.5.2 Prosedur Pengujian Spesimen



Gambar 3.9 Diagram Alir Prosedur Pengujian Spesimen

Metode pengujian yang dilakukan dalam penelitian ini adalah metode pengujian mekanik yaitu uji tarik Berikut merupakan langkah-langkah proses pengujian yang dilakukan pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

3.6 Diagram Alir penelitian



Gambar 3.10 Diagram Alir Penelitian

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Dari hasil Pengelasan SMAW pada Tailor Welded Blank (TWB) antra logam berbeda kandungan karbon menghasilkan kekuatan lentur diperoleh kesimpulan sebagai berikut :

- a. Kandungan karbon tinggi pada AISI 1050 meningkatkan kekuatan lentur, sedangkan perbedaan material menyebabkan ketidakhomogenan pada zona las (HAZ).
- b. Pengelasan SMAW dengan arus 90 A terbukti efektif menyatukan logam karbon berbeda dengan hasil pengujian lentur yang memenuhi standar ASTM E290.

5.2 Saran

Berdasarkan hasil penelitian dan pengujian yang telah dilakukan, maka dapat diberikan saran sebagai berikut:

- a. Lakukan penelitian lanjutan dengan variasi parameter las (arus, tegangan, kecepatan) untuk hasil lebih optimal.
- b. Tambahkan uji struktur mikro dan uji tarik untuk melengkapi analisis kekuatan sambungan.
- c. Dalam aplikasi industri, perhatikan pemilihan material dengan mempertimbangkan perbedaan sifat termal dan mekanik agar tidak menimbulkan tegangan sisa.
- d. Pertimbangkan penggunaan material homogen jika dibutuhkan sambungan yang lebih stabil dan tahan deformasi jangka panjang.

DAFTAR PUSTAKA

- (Ardiyansyah, Jakarta, and Mesin, n.d.)Ardiyansyah, Thifti, Universitas Muhammadiyah Jakarta, and Jurusan Teknik Mesin. n.d. "Analisa Kuat Lentur Dan Pengelasan Pada Pemegang Kursi Mobil," 31–41.
- (Asrul . Kusno Kamil dan Muhammad Halim Asiri 2018)Asrul . Kusno Kamil dan Muhammad Halim Asiri. 2018. "Analisis Kekuatan Sambungan Las Metal Inert Gas (SMAW) Pada Logam Aluminium Paduan AA6063 Dengan Variasi Arus Listrik." *Teknik Mesin" TEKNOLOGI"* 18 (1): 27–32. <https://ojs.unm.ac.id/teknologi/article/view/7476/4347>.
- (Dwi Poetra 2019)Dwi Poetra, Ramadhika. 2019. "BAB II Tinjauan Pustaka BAB II TINJAUAN PUSTAKA 2.1. 1–64." *Gastronomía Ecuatoriana y Turismo Local*. 1 (69): 5–24.
- (Saputra, Salahudin, and Pramono 2022)Ardiyansyah, Thifti, Universitas Muhammadiyah Jakarta, and Jurusan Teknik Mesin. n.d. "Analisa Kuat Lentur Dan Pengelasan Pada Pemegang Kursi Mobil," 31–41.
- Bakhori, Akhmad. 2017. "Perbaikan Metode Pengelasan Smaw (Shield Metal Arc Welding) Pada Industri
- Belajar, J T Strategi, Mengajar Bandung, and C V Pustaka Setia. 2020. "Amri , Sofan . (2013). Pengembangan & Model Pembelajaran Dalam Kurikulum 2013 . Jakarta : Prestasi Pustaka ." 2003 (20): 2006–9.
- Bending Pada Sambungan Pelat Alumunium 5083." *Kapal: Jurnal Ilmu Pengetahuan Dan Teknologi Kelautan* 14 (1): 14–20. <https://doi.org/10.14710/kpl.v14i1.14569>.
- Francis, Halaman. n.d. "Teknik Las SMAW."
- Huda, Muhammad Hafid, Sarjito Jokosisworo, and Hartono Yudo. 2017. "Analisa Pengaruh Pengelasan TIG Dan SMAW Terhadap Kekuatan Tarik Dan Pengelasan Pada Pemegang Kursi Mobil," 31-41
- Januar, Aris, and Djoko Suwito. 2016. "Kajian Hasil Proses Pengelasan SMAW Dan SMAW Pada Material ST41 Dengan Variasi Media Pendingin (Air, Coolant, Dan Es) Terhadap Kekuatan Tarik." *Jurnal Teknik Mesin* 4(2): 37–42.
- Kecil Di Kota Medan." *Buletin Utama Teknik* 13 (1): 14–21.
- Pendidikan, Kementerian, D A N Teknologi, and Republik Indonesia. 2023. *T E K N I K P E N G E L A S A N D A N F A B R I K A S I L O G A M D A S A R*.
- Pratama, Mathews Yose, Untung Budiarto, and Sarjito Jokosisworo. 2019.

“Analisa Perbandingan Kekuatan Tarik, Tekuk, Dan Mikrografi Pada Sambungan Las Baja SS 400 Akibat Pengelasan FCAW (Flux- Cored Arc Welding) Dengan Variasi Jenis Kampuh Dan Posisi Pengelasan.” *Teknik Perkapalan* 7 (2): 152–Z

Program, Studi, Teknik Pendidikan, Fakultas Mesin, and Dan Keguruan. 2021. “Pengaruh Var Iasi Kuat Arus Pada Proses Pengelasan Smaw (Shield Metal Arc Welding).”

Saputra, Bagus, Xander Salahudin, and Catur Pramono. 2022. “Analisis Variasi Arus Pada Pengelasan TIG (Tungsten Inert Gas) Terhadap Ketangguhan Impak Sambungan Butt Joint Pada Plat Aluminium 5083.” *Teknosia* 16 (1): 14–22. <https://doi.org/10.33369/teknosia.v16i1.18993>.

Siswanto, Rudi. 2018. “Teknologi Pengelasan.” *Teknik Mesin Univeristas Lambung Mangkurat*.

Sutowo, Cahya, and Ichwan Budiawan. 2008. “Analisa Pengaruh Pengelasan Tig Dan SMAW Pada Sambungan Las Dengan Material Tipe Ss316 Dan Ss304.” *SINTEK JURNAL: Jurnal Ilmiah Teknik Mesin* 2 (1): 46–57. <https://jurnal.umj.ac.id/index.php/sintek/article/view/89>.

Zulfadly, Zulfadly, and Muhammad Abdul Ghony. 2022. “Variasi Ampere Terhadap Kekuatan Tarik Pada Hasil Pengelasan Dengan Posisi Down Hand.” *Hexatech: Jurnal Ilmiah Teknik* 1 (01): 39–50. <https://doi.org/10.55904/hexatech.v1i01.75>.

LAMPIRAN



Spesimen Sebelum di Uji



Spesimen Sedang di Uji



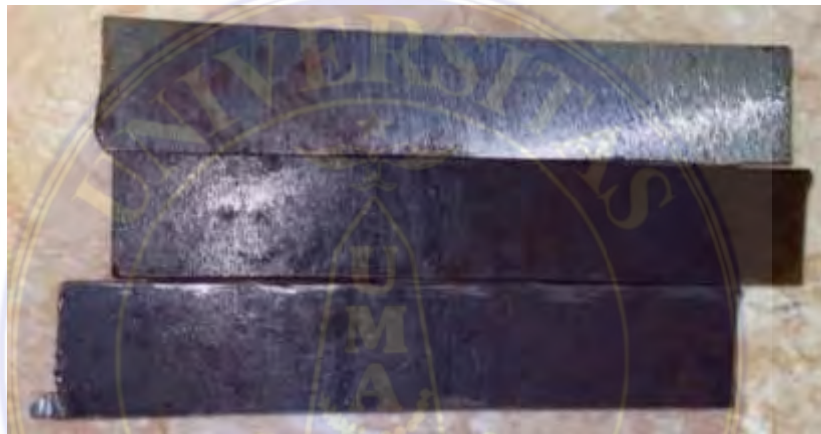
Tekanan Pada Mesin Uji Lentur



Spesimen Setelah di Uji



Baja Karbon St-37



Plat Baja Karbon Rendah 1050