

**PENGARUH MATERIAL BAJA DENGAN KADAR KARBON
BERBEDA TERHADAP KEKUATAN SAMBUNGAN
FILLET WELD LAP JOINT DENGAN PENGELASAN MIG**

SKRIPSI

OLEH :

DIMAS HADI SURYA

188130158



**PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS MEDAN AREA
MEDAN
2024**

UNIVERSITAS MEDAN AREA

© Hak Cipta Di Lindungi Undang-Undang

i

Document Accepted 28/6/24

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
Access From (repository.uma.ac.id)28/6/24

HALAMAN JUDUL

PENGARUH MATERIAL BAJA DENGAN KADAR KARBON BERBEDA TERHADAP KEKUATAN SAMBUNGAN *FILLET WELD LAP JOINT* DENGAN PENGELASAN MIG

SKRIPSI

Diajukan sebagai Salah Satu Syarat untuk Memperoleh

Gelar Sarjana di Fakultas Teknik

Universitas Medan Area

Oleh:

DIMAS HADI SURYA

188130158

**PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS MEDAN AREA
2024**

UNIVERSITAS MEDAN AREA

vii

© Hak Cipta Di Lindungi Undang-Undang

Document Accepted 28/6/24

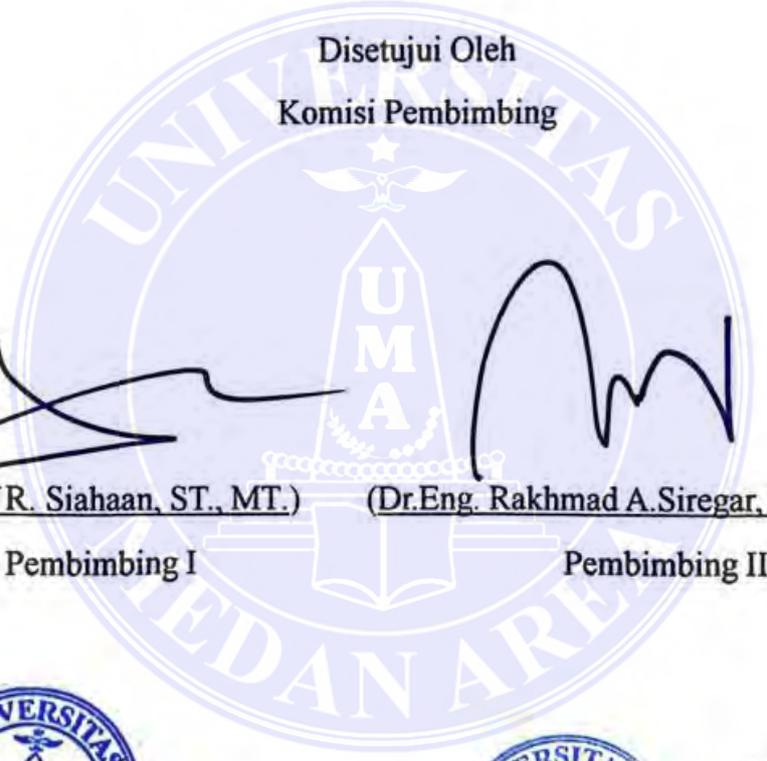
1. Dilarang Mengutip sebagian atau seluruh dokumen ini tanpa mencantumkan sumber
2. Pengutipan hanya untuk keperluan pendidikan, penelitian dan penulisan karya ilmiah

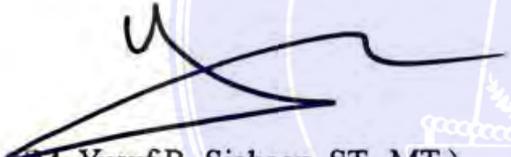
3. Dilarang memperbanyak sebagian atau seluruh karya ini dalam bentuk apapun tanpa izin Universitas Medan Area
Access From (repository.uma.ac.id)28/6/24

HALAMAN PENGESAHAN SKRIPSI

Judul Proposal : Pengaruh Material Baja Dengan Kadar Karbon Berbeda Terhadap Kekuatan Sambungan *Fillet Weld Lap Joint* Dengan Pengelasan MIG
Nama Mahasiswa : Dimas Hadi Surya
NIM : 188130158
Fakultas : Teknik

Disetujui Oleh
Komisi Pembimbing



 
(M. Yusuf R. Siahaan, ST., MT.) (Dr.Eng. Rakhmad A.Siregar, ST., M.Eng)
Pembimbing I Pembimbing II



(Dr. Eng. Supriatno, ST., MT.)
Dekan



(Dr. Iswandi, ST., MT.)
Ka. Prodi

Tanggal Lulus : 9 Januari 2024

HALAMAN PERNYATAAN

Saya menyatakan bahwa skripsi yang saya susun, sebagai syarat memperoleh gelar sarjana 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 sorma, kaidah, dan etika penulisan ilmiah.

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



Medan, 9 Januari 2024



Dimas Hadi Surya

188130158

HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI KARYA ILMIAH

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 : Dimas Hadi Surya

NPM : 188130158

Program Studi: Mesin

Fakultas : Teknik

Jenis karya : Tugas Akhir

Demikian 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 : Pengaruh Material Baja Dengan Kadar Karbon Berbeda Terhadap Kekuatan Sambungan Fillet Weld Lap Joint Dengan Pengelasan Smaw. Beserta perangkat yang ada (jika diperlukan). Dengan Hak Bebas Royalti Noneksklusif ini Universitas Medan Area berhak menyimpan, mengalihmedia/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 : 09 Januari 2024

Yang menyatakan



Dimas Hadi Surya

188130158

ABSTRAK

Pengelasan MIG adalah pengelasan dengan menggunakan gas argon sebagai pelindung udara luar dan filler sebagai pembangkit busur dan logam pengisi. Tujuan penelitian ini adalah mengetahui pengaruh material baja dengan kadar karbon berbeda terhadap kekuatan sambungan las MIG. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui bagaimana sifat mekanik serta hubungannya dari hasil pengelasan MIG dengan variasi baja karbon berbeda. Penelitian ini menggunakan metode penelitian eksperimental dan jenis penelitian ini adalah penelitian kuantitatif. Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah baja karbon kadar rendah ST-37 dan sedang AISI 1050 dengan tebal 6 mm. Variasi spesimen adalah baja karbon rendah ST-37, baja karbon sedang AISI 1050 dan campuran ST-37 dan AISI 1050. Untuk memperoleh hasil tentang analisis besarnya kekuatan tarik, regangan dan modulus elastisitas baja karbon yang telah mengalami pengelasan MIG dengan variasi baja kadar karbon berbeda penelitian ini menggunakan pengujian tarik, spesimen uji kekuatan tarik mengacu pada standar ASTM E8. Hasil perbandingan uji kekuatan tarik dan kelompok kemudian di analisis. Nilai dari hasil uji kekuatan tarik setiap kelompok di rata-rata kemudian di bandingkan dengan nilai rata-rata uji kelompok yang lain. Hasil dari penelitian ini menunjukkan bahwa dari sambungan las yang lebih besar kandungan karbon bajanya mengakibatkan sifat mekanik kekuatan tarik mempunyai daya tarik lebih besar dibandingkan sambungan las dengan baja kadar karbon lebih rendah. Peningkatan kekuatan tarik hasil lasan menjadi lebih besar akibat lebih padatnya kandungan baja. Nilai kekuatan tarik mengalami penurunan seiring terjadinya perpatahan.

Kata kunci : Las MIG, Baja Karbon, Kekuatan Tarik, Modulus Elastisitas

ABSTRACT

MIG welding is welding using argon gas as an outer air shield and filler as an arc generator and filler metal. The purpose of this study was to determine the effect of steel materials with different carbon content on the strength of MIG welded joints. This study aims to find out how the mechanical properties and the relationship between the results of MIG welding with different variations of carbon steel. This study uses experimental research methods and this type of research is quantitative research. The materials used in this study were low and medium grade carbon steel AISI 1050 with a thickness of 6 mm. The specimen variations are low carbon steel ST-37, medium carbon steel AISI 1050 and a mixture of ST-37 and AISI 1050. To obtain results on the analysis of the magnitude of the tensile strength, strain and modulus of elasticity of carbon steel that has undergone MIG welding with various steels of different carbon content This research uses tensile testing, the tensile strength test specimens refer to the ASTM E8 standard. The results of the comparison of the tensile strength test and the group are then analyzed. The value of the results of the tensile strength test for each group is averaged and then compared with the average value of the other group tests. The results of this study indicate that welded joints with a greater carbon content of the steel result in the mechanical properties of tensile strength having greater tensile strength than welded joints with steel with a lower carbon content. The increase in the tensile strength of the welds is greater due to the denser steel content. The value of tensile strength decreases with the occurrence of fracture.

Keywords : *MIG Welding, Carbon Steel, Tensile Strength, Modulus of Elasticity*

RIWAYAT HIDUP

Penulis dilahirkan di Medan, Sumatra Utara pada tanggal 11 Februari 2000, dari ayah bernama Sutrisno dan ibu bernama Deliana. Penulis merupakan anak ke empat dari empat bersaudara.

Tahun 2018 penulis lulus dari SMA Swasta ERIA Medan dan pada tahun 2018 terdaftar sebagai mahasiswa Fakultas Teknik Universitas Medan Area. Pada tahun 2021 penulis melakukan kerja praktek (KP) di PDAM TIRTANADI Medan



KATA PENGANTAR

Puji dan syukur penulis panjatkan kepada Allah SWT atas segala karunianya sehingga skripsi ini berhasil diselesaikan. Tema yang dipilih dalam penelitian ini ialah pembuatan dan pengujian spesimen baja dengan judul Pengaruh Material Baja dengan Kadar Karbon Berbeda Terhadap Kekuatan Sambungan *Fillet Weld Lap Joint* dengan Pengelasan MIG. Terima kasih penulis sampaikan kepada bapak M. Yusuf Rahmansyah Siahaan, S.T., M.T selaku pembimbing I dan bapak Dr.Eng. Rakhmad Arief Siregar, S.T., M.Eng yang telah banyak memberikan saran dan masukan kepada penulis selama proses pengejerakaan penelitian ini. Disamping itu penghargaan penulis sampaikan kepada rekan-rekan satu tim dan teman-teman seangkatan yang telah membantu penulis selama melaksanakan penelitian. Ungkapan terima kasih juga disampaikan kepada ayah, ibu, serta seluruh keluarga atas segala doa dan perhatiannya. Penulis menyadari bahwa tugas akhir/skripsi/tesis ini masih memiliki kekurangan, oleh karena itu kritik dan saran yang bersifat membangun sangat penulis harapkan demi kesempurnaan tugas akhir/skripsi/tesis ini. Penulis berharap tugas akhir/skripsi/tesis ini dapat bermanfaat baik untuk kalangan pendidikan maupun masyarakat. Akhir kata penulis ucapkan terima kasih.

Penulis



(Dimas Hadi Surya)

188130108



DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL.....	vii
HALAMAN PENGESAHAN SEMINAR HASIL Error! Bookmark not defined.	
HALAMAN PERNYATAAN	viii
HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI TUGAS AKHIR/ SKRIPSI/ TESIS UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS Error! Bookmark not defined.	
ABSTRAK	xi
RIWAYAT HIDUP.....	vii
KATA PENGANTAR	viii
DAFTAR ISI.....	ix
DAFTAR TABEL.....	x
DAFTAR GAMBAR	xi
DAFTAR NOTASI.....	xii
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang Masalah.....	1
1.2 Perumusan Masalah.....	4
1.3 Tujuan Penelitian.....	4
1.4 Hipotesis Penelitian.....	5
1.5 Manfaat Penelitian.....	5
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	6
2.1 Sambungan Las	6
2.2 Las MIG (<i>Metal Inert Gas</i>)	20
2.3 Baja Karbon.....	25
2.4 Sifat Mekanik Material.....	27
2.5 Pengujian Spesimen	30
BAB III METODE PENELITIAN.....	32
3.1 Waktu dan Tempat	32
3.2 Alat dan Bahan	33
3.3 Metode Penelitian.....	37
3.4 Populasi dan Sampel	38
3.5 Prosedur Kerja.....	39
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	43
4.1 Hasil	43
4.2 Pembahasan.....	48
BAB V SIMPULAN DAN SARAN.....	59
5.1 Simpulan.....	59
5.2 Saran.....	59
DAFTAR PUSTAKA	59

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1	Las Gas	7
Gambar 2. 2	Las Listrik	8
Gambar 2. 3	Pematrian.....	9
Gambar 2. 4	Butt Weld	11
Gambar 2. 5	Lap Joint.....	13
Gambar 2. 6	Tee Joint	13
Gambar 2. 7	Edge Joint.....	14
Gambar 2. 8	Corner Joint.....	14
Gambar 2. 9	Las SMAW.....	16
Gambar 2. 10	Las MIG	17
Gambar 2. 11	Las TIG	17
Gambar 2. 12	Posisi Pengelasan Flat	18
Gambar 2. 13	Posisi Pengelasan Vertical	19
Gambar 2. 14	Posisi Pengelasan Horizontal	19
Gambar 2. 15	Posisi Pengelasan Overhead.....	20
Gambar 2. 16	Proses Pengelasan MIG.....	21
Gambar 2. 17	Peralatan Las MIG	22
Gambar 2. 18	Kurva Tegangan-Regangan Baja Karbon	27
Gambar 2. 19	Modulus Elastisitas	30
Gambar 3. 1	Mesin Uji Tarik	33
Gambar 3. 2	Mesin Las MIG	34
Gambar 3. 3	Baja ST-37.....	35
Gambar 3. 4	Baja AISI 1050.....	35
Gambar 3. 5	Kawat Las MIG.....	36
Gambar 3. 6	Gas Helium.....	37
Gambar 3. 7	Dimensi Pengujian Tarik.....	40
Gambar 3. 8	Diagram Alir Penelitian	40
Gambar 3. 9	Diagram alir penelitian.....	43
Gambar 4. 1	Diagram Alir Pembuatan Spesimen	43
Gambar 4. 2	Spesimen (a).ST-37, (b).AISI 1050, (c). Kombinasi	44
Gambar 4. 3	Perbandingan Gaya Setiap Variasi	46
Gambar 4. 4	Hasil Uji Tarik (a). ST-37, (b). AISI 1050, (c). Kombinasi.....	46
Gambar 4. 5	Tegangan vs Regangan ST-37 Spesimen 1	50
Gambar 4. 6	Tegangan vs Regangan ST-37 Spesimen 2.....	50
Gambar 4. 7	Tegangan vs Regangan ST-37 Spesimen 3	51
Gambar 4. 8	Tegangan vs Regangan AISI 1050 Spesimen 1	51
Gambar 4. 9	Tegangan vs Regangan AISI 1050 Spesimen 2	52
Gambar 4. 10	Tegangan vs Regangan AISI 1050 Spesimen 3	52
Gambar 4. 11	Tegangan vs Regangan Kombinasi Spesimen 1	53
Gambar 4. 12	Tegangan vs Regangan Kombinasi Spesimen 2	53
Gambar 4. 13	Tegangan vs Regangan Kombinasi Spesimen 3	54
Gambar 4. 14	Modulus Elastisitas	55
Gambar 4. 15	Tegangan Luluh Kombinasi	56
Gambar 4. 16	Tegangan Patah ST-37	57

DAFTAR TABEL

Tabel 3.1. Waktu Pelaksanaan Penelitian	32
Tabel 3.2. Komposisi kimia baja karbon AISI 1050.....	36
Tabel 4.1. Hasil Pengujian Tarik	45
Tabel 4.2. Tegangan.....	48
Tabel 4.3. Regangan.....	49
Tabel 4.4. Modulus Elastisitas	55
Tabel 4.5. Tegangan Luluh	56
Tabel 4.6. Tegangan Patah.....	57



DAFTAR NOTASI

σ	= kekuatan tarik belah (Mpa)
F	= beban (N)
l	= panjang (mm)
D	= diameter (mm)
L	= Pixels luas retak
ΔL	= Pixels luas permukaan
UTM	= Universal Testing Machine
BKS	= Beton Kolom Silinder
KTB	= Kuat Tarik Belah
KJL	= Komposit Laminat Jute
PPR	= Presentase Pola Retak



BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang Masalah

Terdapat beberapa kemajuan teknologi yang saat ini terjadi dengan cepat, salah satunya adalah kemajuan teknologi konstruksi yang semakin marak dan tidak dapat dipisahkan dengan penggunaan las karena perannya yang sangat penting dalam rekayasa dan perbaikan logam. Ada banyak komponen las yang digunakan dalam konstruksi logam saat ini, khususnya di bidang teknik. Kisaran aplikasi untuk proses pengelasan dalam konstruksi sangat luas dan mencakup rel kereta api, pipa, tangki tekanan, rangka baja, perkapalan, jembatan, dan struktur lainnya. (Nusulul Huda dan Jasman, 2019)

Pengelasan adalah teknik penyambungan logam dengan melelehkan sebagian logam dasar dan logam pengisi di bawah atau tanpa tekanan, pengelasan adalah metode penyambungan logam. Penggabungan dua logam atau paduan logam saat logam masih cair atau cair menciptakan ikatan metalurgi yang dikenal sebagai pengelasan, menurut DIN (*Deutsche Industrie Normen*). Dalam istilah lain, las adalah teknik untuk menggabungkan logam tanpa menggunakan tekanan dan menggunakan panas. Sebagai hasil dari daya tarik logam, itu juga dikenal sebagai ikatan metalurgi. (Awal Syahrani, 2018)

Tujuan dari pengelasan adalah untuk menggabungkan dua bagian logam menjadi satu. Selain itu, las berfungsi sebagai media atau alat potong. Manfaat tambahan dari pengelasan termasuk biaya rendah, proses yang relatif cepat, pengurangan berat, dan pilihan konstruksi yang lebih luas. Jadwal pembuatan,

prosedur pembuatan, alat dan bahan yang diperlukan, urutan operasi, dan persiapan pengelasan (pemilihan mesin las, variasi kekuatan arus, pemilihan elektroda, dan penggunaan jenis jahitan) adalah elemen yang dipertimbangkan dalam pengelasan. (Yuspian Gunawan, 2017)

Banyak faktor pengelasan yang harus diperhatikan dalam merancang konstruksi logam, termasuk pengalaman las, pemahaman teknik las yang memadai, kualitas bahan yang akan dilas, dan lain-lain, harus diperhitungkan saat merancang konstruksi mesin atau bangunan yang menggunakan sambungan las. Proses pengelasan meliputi pemilihan parameter pengelasan antara lain tegangan busur las, arus las, penetrasi, kecepatan las, dan berbagai persyaratan las konvensional seperti bentuk alur las, ketebalan pelat, jenis elektroda, dan diameter las. Parameter ini memengaruhi kualitas mekanis inti elektroda dan logam yang dilas. (I Dewa Made Krishna Muku, 2019)

Jenis las yang digunakan adalah las MIG (*Metal Inert Gas*). Pengelasan MIG menggunakan energi panas dari busur listrik untuk melelehkan elektroda sebagai logam pengisi yang diumpungkan secara terus menerus dan busur yang dihasilkan dilindungi oleh gas pelindung, las mig cocok untuk pengelasan baja karbon rendah, memiliki hasil las yang baik dan tidak ada kerak pada permukaannya. hasil las tersebut. Proses pengelasan dipengaruhi oleh shielding gas. Gas mulia seperti argon dan helium dapat menyebabkan busur lebih stabil dengan percikan api yang lebih sedikit dan menghasilkan las yang berkualitas tinggi sehingga tidak terjadi cacat las.

Gas inert mempunyai peran penting dalam pengelasan MIG dengan melindungi logam las cair dari kontaminasi dari udara luar. Jika gas tidak dapat

melakukan ini, cacat dapat terjadi di daerah las. Energi panas dari busur listrik melelehkan elektroda kawat las dengan benda kerja selama proses las MIG. Elektroda akan meleleh selama pengelasan MIG karena energi panas, mengubahnya menjadi logam las. Karena kesesuaiannya untuk pengelasan baja karbon rendah, CO₂ adalah gas pelindung yang digunakan dalam pengelasan MIG. Gas CO₂ membantu menghentikan interaksi molekuler dan melindungi lasan dari udara luar yang terkontaminasi. (Kresno Setya Wardhana, 2021)

Perbedaan titik lebur, koefisien muai, fisik, dan sifat mekanik logam memberikan tantangan saat mencampur dua logam yang berbeda. Fraktur disebabkan oleh senyawa intermetalik yang berkembang pada kontak dan pengenceran logam pengisi. Karena variasi ini, metode pengelasan yang baik diperlukan saat menggabungkan dua logam berbeda untuk mendapatkan kualitas las terbaik.

Faktor yang berpengaruh sifat mampu las adalah dua faktor yang memiliki dampak signifikan terhadap kemampuan las baja karbon rendah. Dengan mengurangi persentase karbon (C) dan meningkatkan kandungan mangan (Mn), kekuatan tarik baja karbon rendah dapat ditingkatkan. Dibandingkan dengan baja karbon lainnya, baja karbon rendah kurang sensitif terhadap patahan las. Namun, las pelat tebal atau jika kandungan belerang baja cukup tinggi dapat dengan mudah menyebabkan keretakan las pada baja karbon rendah. Dengan pemanasan awal atau dengan menggunakan elektroda hidrogen, retakan las yang dapat terjadi saat mengelas pelat tebal dapat dicegah. (Amir Arifin dan M.Hendrianto, 2018)

Permasalahan yang terjadi pada saat prosedur penyambungan logam adalah seberapa kuat sambungan las setelah pengelasan pada setiap sambungan komponen

kontruksi. Kekuatan tarik yang berbeda diproduksi dengan menggunakan berbagai jenis baja karbon dan standar pengujian tarik. Untuk mengatasi masalah ini, dilakukan analisis dari berbagai hasil pengelasan MIG baja karbon. Setelah pengelasan, benda uji menjalani pengujian tarik untuk memastikan nilai kekuatan tariknya dan setiap perubahan pada struktur mikronya. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui hubungan antara kekuatan tarik dan sifat mekanik material baja dengan berbagai kandungan karbon.

1.2 Perumusan Masalah

Melihat dari latar belakang diatas, banyak faktor yang mempengaruhi hasil las yang optimal, diantaranya variasi kuat arus, pemilihan elektroda, jenis pengelasan dan penggunaan jenis kampuh. Dari berbagai faktor pengelasan yang efisien, penulis sangat tertarik untuk meneliti tentang pengaruh pengelasan MIG, baja karbon berbeda, dan jenis sambungan las lap joint. Berdasarkan alasan tersebut, maka permasalahan yang timbul adalah:

1. Bagaimana pengaruh material baja dengan kadar karbon berbeda terhadap kekuatan sambungan *Fillet Weld Lap Joint* dengan pengelasan MIG ?

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk:

1. Membuat spesimen pengujian tarik dengan sambungan *Fillet Weld Lap Joint* terhadap material baja karbon.
2. Melakukan pengujian tarik sambungan *Fillet Weld Lap Joint* pada material baja karbon.
3. Menganalisis kekuatan tarik sambungan *Fillet Weld Lap Joint* pada material baja karbon.

1.4 Hipotesis Penelitian

Dalam penelitian ini spesimen baja memiliki paduan kadar karbon berbeda. Maka spesimen sambungan baja tersebut akan memiliki beban tarik dan sifat mekanis berbeda. Untuk mendapatkan hasilnya harus dilakukan pengujian tarik untuk mengetahui seberapa besar spesimen menopang beban tarik, penambahan panjang dan sifat mekanik setiap variasi spesimen uji.

1.5 Manfaat Penelitian

Adapun manfaat dari penelitian “Pengaruh material baja dengan kadar karbon berbeda terhadap kekuatan sambungan *Fillet Weld Lap Joint* dengan pengelasan MIG” ini adalah:

1. Untuk mengetahui hasil dari uji tarik pada baja sambungan pengelasan MIG dengan kadar karbon yang rendah.
2. Untuk mengetahui perbandingan antara kekuatan tarik kadar karbon yang berbeda hasil sambungan pengelasan MIG dari spesimen uji tarik.
3. Dapat dijadikan acuan bagi penelitian yang sejenis, khususnya dalam pengelasan MIG terhadap sifat material baja karbon.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Sambungan Las

Pengelasan merupakan salah satu bagian yang tak terpisahkan dari proses manufaktur. Proses pengelasan yang pada prinsipnya adalah menyambungkan dua atau lebih komponen, lebih tepat ditujukan untuk merakit (*assembly*) beberapa komponen menjadi satu bentuk mesin. Pengelasan adalah suatu proses dimana bahan dengan jenis yang sama digabungkan menjadi satu sehingga terbentuk suatu sambungan melalui ikatan kimia yang dihasilkan dari pemakaian panas dan tekanan. Mengelas tidak lain adalah pekerjaan penyambungan dua logam atau logam paduan dengan cara memberikan panas baik diatas atau dibawah titik cair logam. Fungsi pengelasan diantaranya adalah sebagai penyambung dua komponen yang berbahan logam. Selain itu fungsi pengelasan adalah sebagai media atau alat pemotongan. Kelebihan lain dari pengelasan diantaranya biaya murah, proses relatif lebih cepat, lebih ringan, dan bentuk konstruksi lebih variatif. (I Dewa Made Krishna Muku, 2019)

Definisi pengelasan menurut DIN (*Deutsche Industrie Norman*) adalah ikatan metalurgi pada sambungan logam atau logam paduan yang dilaksanakan dalam keadaan lumer atau cair. Dengan kata lain, mengelas merupakan sambungan setempat dari beberapa batang logam dengan menggunakan energi panas. Mengelas 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

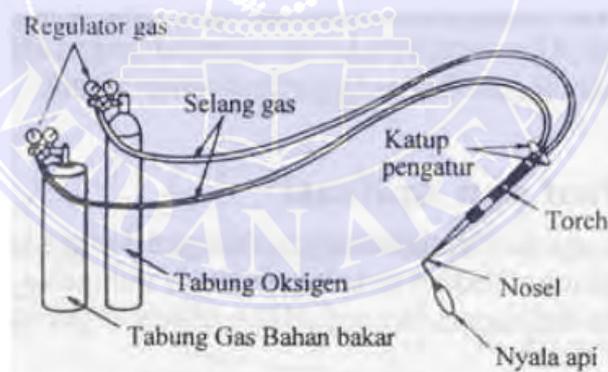
(*filler metal*) yang sama atau berbeda titik cair maupun strukturnya. (Trinova Budi Santoso, 2015)

2.1.1 Jenis Pengelasan

Dengan kemajuan teknologi, proses pengelasan telah mengalami banyak perubahan. Untuk memilih proses pengelasan yang tepat perlu mengetahui perbedaan tiap jenis teknik pengelasan. Ada berbagai jenis metode pengelasan diantaranya sebagai berikut:

1. Las Gas

Las gas merupakan proses penyambungan logam dengan logamlainnya dengan menggunakan gas asetilen yang digunakan untuk bahan bakar prosesnya dengan membakar bahan bakar yang telas dibakar dengan gas oksigen sehingga menimbulkan nyala api dengan suhu sekitar 3.500°C yang dapat mencairkan logam induk dan logam pengisi. Las gas dapat dilihat pada gambar 2.1



Gambar 2. 1. Las Gas

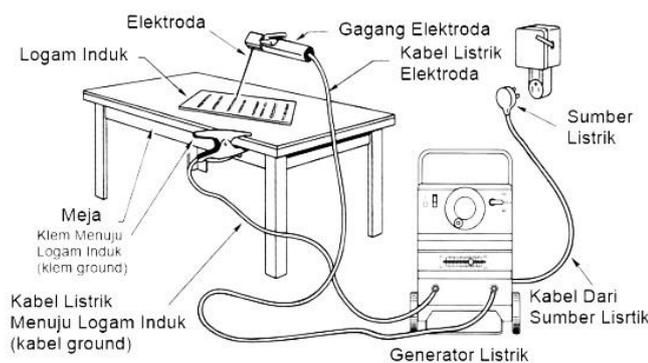
Proses penyambungan dapat dilakukan dengan tekanan (ditekan). Pembakaran gas C_2H_2 oleh oksigen (O_2) dapat menghasilkan suhu yang sangat tinggi sehingga dapat mencairkan logam untuk mendapat nyala api “yang baik perlu pengaturan campuran gas yang dibakar. Jika jumlah gas O_2 ditambah maka akan dihasilkan suhu yang sangat tinggi, lebih tinggi daripada suhu titik lebur baja atau

metal lainnya sehingga dalam waktu sekejap mampu mencairkan logam” yang cukup tebal. Oleh karena itu, jenis las ini sangat baik untuk memotong logam dan kurang baik apa bila digunakan untuk baja paduan misalnya stainless steel yang sangat peka terhadap oksidasi.

Dalam aplikasinya hasil pengelasan untuk baja karbon sangat memuaskan, terutama lembaran logam (*Sheet Metal*) dan pipa-pipa berdinding tipis. Disamping gas acetylene dipakai juga gas-gas hydrogen, gas alam, dan propane untuk logam-Logam titik cair rendah. Las gas atau las karbit juga memerlukan beberapa peralatan yang harus disiapkan agar proses pengelasan mendapatkan hasil yang baik. Peralatan tersebut diantaranya brander listrik, regulator, gas asetelyne, gas oksigen, katup pengaman, kaca mata las, tang penjepit, sarung tangan, sumber api, palu besi, pembersih brander, kunci tabung, sikat baja, dan kawat las. (Nusulul Huda dan Jasman, 2019)

2. Las listrik,

Las listrik atau umumnya disebut dengan las busur adalah termasuk suatu proses penyambungan logam dengan cara menggunakan tenaga listrik sebagai inti dari sumber panasnya. Jenis sambungan dengan las listrik ini adalah merupakan sambungan tetap. Las gas dapat dilihat pada gambar 2.2

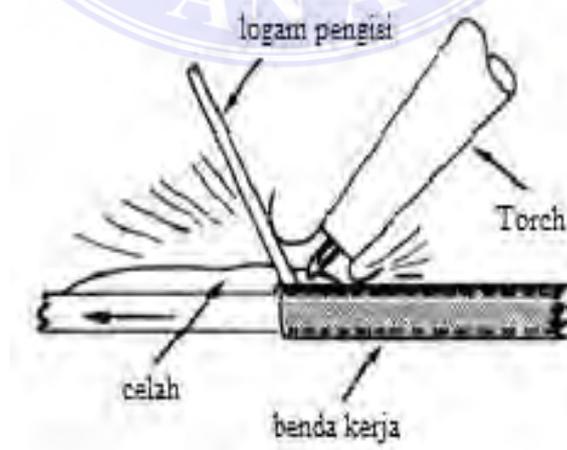


Gambar 2. 2. Las Listrik

Panas yang di gunakan pada las busur listrik di peroleh dari busur api listrik antara elektroda las dan benda kerja. Elektroda sebagai bahan pengisi, mencair bersamasama dengan benda kerja dan setelah dingin menjadi satu kesatuan yang sukar dipisahkan. Pada bagian yang terkena busur listrik tersebut akan mencair, demikian juga elektoda yang menghasilkan busur listrik akan mencair pada ujungnya dan merambat teruts sampai habis. Logam cair dari elektoda dan dari benda yang akan disambung tercampur mengisi celah dari kedua logam kemudian membeku sehingga tersambunglah kedua logam tersebut.

3. Pematrian

Pematrian adalah metode las dimana sambungan diikat dan digabungkan dengan menggunakan paduan logam yang mempunyai titik cair rendah. Dalam hal ini logam induk tidak ikut mencair. Pematrian berbeda dengan pengelasan yang meleburkan logam yang disambung. Pematrian juga berbeda dari penyolderan dalam hal penggunaan suhu yang lebih tinggi dan bagian yang dipasang jauh lebih dekat pada saat mematri bila dibandingkan dengan pada saat menyolder. Gambar pematrian dapat dilihat pada gambar 2.3



Gambar 2. 3. Klasifikasi Pematrian (*Brazing*)

Dalam aplikasi pematrian dapat menggunakan berbagai macam paduan logam sebagai patri (logam pengisi), tergantung pada tujuan penggunaan atau cara pembubuhan patri. Patri atau logam pengisi terdiri dari 3 atau lebih logam yang dipadukan untuk membentuk logam paduan dengan sifat yang diinginkan. Kriteria pemilihan patri ditentukan berdasarkan kemampuannya untuk diletakkan pada sambungan logam induk atau pada suhu yang sangat efisien. Selama proses pematrian, logam pengisi dipanaskan hingga sedikit diatas suhu lebur sambil dilindungi oleh lingkungan atmosfer yang sesuai, biasanya oleh fluks. Kemudian logam pengisi tersebut mengalir diatas logam induk dan kemudian di dinginkan untuk menyatukan sambungan tersebut. Beberapa logam paduan yang biasa dijadikan paduan adalah aluminium-silikon, tembaga, kuningan, perunggu, emas, paduan nikel dan perak. (Didik Setiawan, 2021)

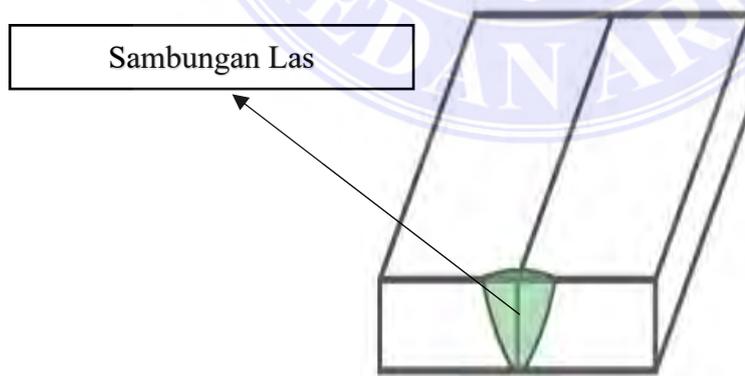
2.1.2 Jenis Sambungan Pengelasan

Setiap proses pengelasan pasti memiliki desain sambungan yang berfungsi untuk mendapatkan hasil sambungan yang baik atau lolos pengujian sesuai standart atau code yang dianut. Oleh karena itu pemilihan tipe sambungan pengelasan sangat penting sebelum melakukan proses pengelasan. Sambungan las itu berkaitan dengan desain sambungan pengelasan (*joint design*) yang menjadi step awal menghasilkan kontruksi sambungan pengelasan yang kuat, sesuai dengan standart dan tentunya murah. Ada berbagai macam standart dalam pengelasan dan juga memiliki kriteria standart sambungan yang sedikit berbeda. Jenis sambungan pada pengelasan sangat banyak macamnya, ada dua tipe pengelasan yang paling sering dipakai yaitu butt weld dan fillet weld. tipe sambungan las tersebut mempunyai tujuan tertentu. Sambungan pengelasan adalah suatu proses menyambung logam

secara permanen dengan cara memanaskan logam tersebut sampai mencapai titik cair, dengan atau tanpa pemakaian tekanan. Jenis sambungan pengelasan adalah tipe sambungan material atau plat yang digunakan untuk proses pengelasan. Berikut adalah klasifikasi sambungan las. (Naharuddin, 2015)

1. Butt Weld

Lasan *Butt Weld* adalah sebuah jenis sambungan las tumpul menghubungkan dua permukaan logam yang terletak tepi ke tepi pada bidang yang sama terhadap satu sama lain, dalam aplikasinya jenis sambungan ini terdapat berbagai macam jenis kampuh atau groove. Secara pengaplikasian, sambungan butt ini adalah sambungan yang paling sederhana yang digunakan untuk menyatukan objek las. Sambungan dibentuk hanya dengan menempatkan dua potong logam ujung ke ujung dan kemudian dilas di sepanjang sambungan, butt weld biasanya digunakan pada bahan dengan tebal 1/16 Inchi. Sambungan ini tidak disarankan untuk digunakan pada logam yang bekerja untuk beban tinggi. Desain sambungan butt weld dapat dilihat pada gambar 2.5



Gambar 2. 4. Butt Weld

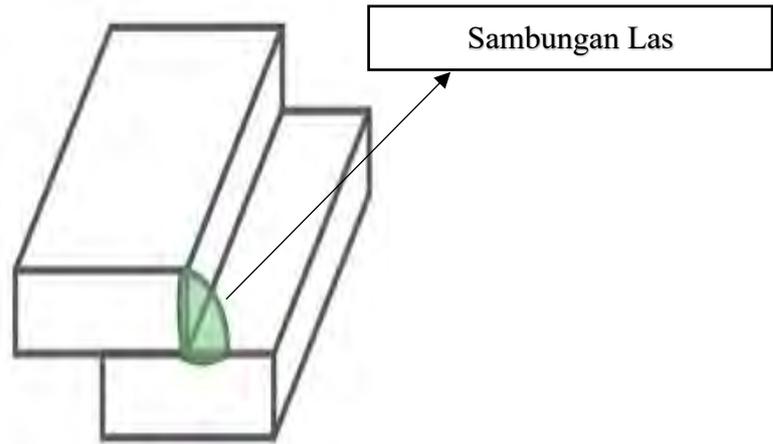
Dalam pengaplikasiannya sambungan ini yang paling efisien dan salah satu sambungan yang terbanyak diaplikasikan pada pengerjaan pengelasan konstruksi

kapal. Pengelasan banyak digunakan dalam penyambungan material kapal karena mempunyai salah satu keuntungan yaitu memberikan berat penyambungan yang lebih ringan dari pada penyambungan logam dengan cara keling atau mur baut.

2. Fillet Weld

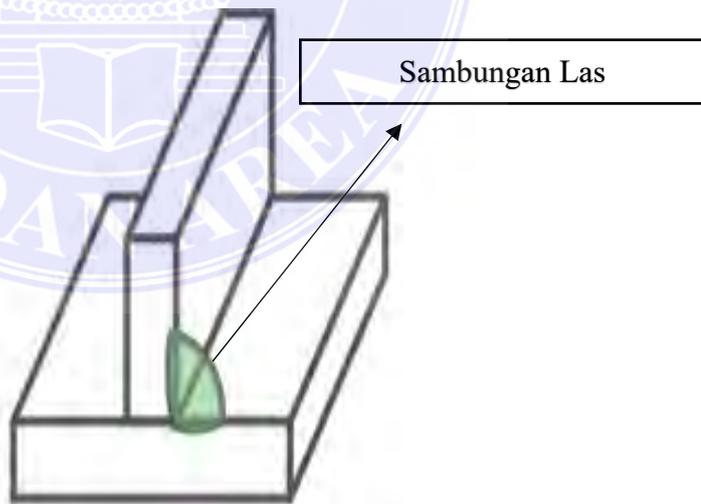
Las fillet adalah jenis las yang memiliki penampang segitiga kasar. Pengelasan jalur (*fillet weld*) digunakan untuk mengisi tepi pelat pada sambungan sudut, sambungan tumpang, dan sambungan T. Logam pengisi digunakan untuk menyambung sisi melintang bagian yang membentuk segitiga siku-siku. (Kenyon, 1985). Las fillet biasanya membutuhkan persiapan sambungan yang lebih sedikit daripada las alur, menjadikannya metode penyambungan yang sangat hemat biaya dan karena itu jauh lebih melimpah di industri pengelasan. Pada tipe pengelasan ini mempunyai beberapa desain sambungan pengelasan (*Joint Design*) diantaranya *Lap Joint*, *Tee Joint*, *Edge Joint*, *Corner Joint*.

- a. *Lap Joint*, atau biasa yang kita sebut sebagai sambungan tumpang adalah sambungan yang terdiri dari 2 buah benda kerja yang saling bertumpukan. Tipe sambungan las ini yang sering digunakan untuk pengelasan spot atau seam. Pengaplikasian sambungan ini biasanya cenderung untuk objek berbentuk plat tipis seperti body kereta. Keuntungan dari sambungan tumpang adalah mudah disesuaikan dan mudah disambung. Sambungan ini pun dapat diandalkan untuk menyambung plat yang memiliki ukuran ketebalan yang berbeda beda. Desain sambungan *lap joint* dapat dilihat pada gambar 2.6



Gambar 2. 5. *Lap Joint*

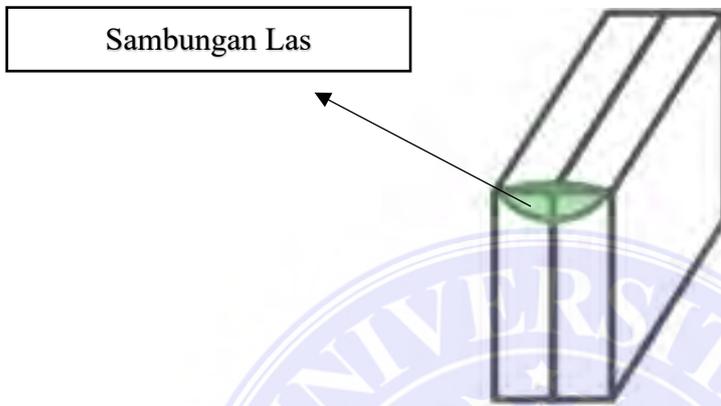
- b. *Tee Joint*, atau sambungan tee yaitu sambungan las atau pelat yang mempunyai penampang menyerupai huruf T. Tipe sambungan ini banyak sekali diaplikasikan untuk konstruksi atap, konveyor, dan beberapa jenis konstruksi lainnya. Manfaat utama dari sambungan tee yaitu untuk membuat penampang yang dibentuk dari plat datar yang disambung menggunakan las sudut atau las tumpul. Desain *tee joint* dapat dilihat pada gambar 2.7



Gambar 2. 6. *Tee Joint*

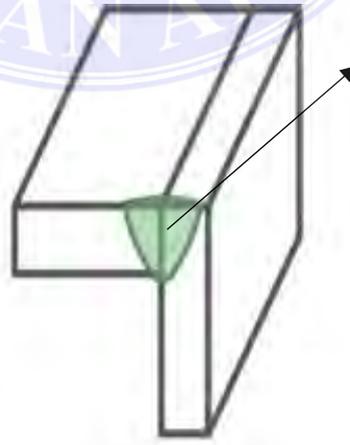
- c. *Edge Joint*, Sambungan sisi dibagi menjadi dalam sambungan las dengan alur dan sambungan las ujung. Untuk jenis yang pertama dibuat alur sedangkan yang kedua pengelasan dilakukan pada ujung pelat tanpa alur.

Edge joint diaplikasikan dengan cara menggabungkan 2 buah objek / benda las yang dibentuk secara parallel. Kedua bagian tersebut juga dapat dibuat sejajar atau memiliki flensing edge. Desain las *edge joint* dapat dilihat pada gambar 2.8



Gambar 2. 7. *Edge Joint*

d. *Corner Joint*, atau sambungan sudut adalah jenis sambungan pada kedua bagian benda yang akan disambung membentuk sudut siku-siku dan disambung pada ujung sudut tersebut. Hampir sama dengan Tee Joint, bedanya sambungan ini dibentuk pada ujung objek. *corner joint* dapat dilihat pada gambar 2.9



Gambar 2. 8. *Corner Joint*

Adapun fungsi dari sambungan las yaitu untuk mengikat dua material logam, dengan catatan bahwa dua material logam tersebut minimal berkekuatan sama dengan material logam yang dilas. Agar proses penyambungan menjadi lebih mudah, maka dibuatlah bentuk sambungan. Penyambungan dua komponen logam membutuhkan berbagai jenis sambungan. (Ahmad Abi Sodik, 2019)

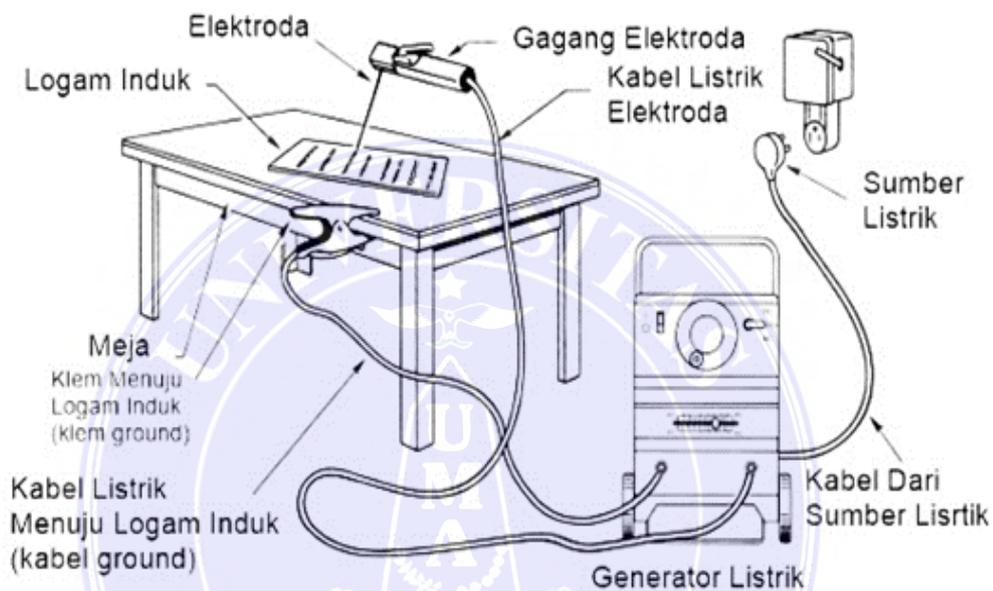
2.1.3 Jenis Las Listrik

Las listrik adalah salah satu cara menyambung logam dengan cara menggunakan nyala busur listrik yang diarahkan ke permukaan logam yang akan di sambung. Arus listrik yang digunakan untuk memperoleh nyala busur listrik adalah arus searah. Pada saat ini, beragam jenis industri dan proses manufaktur sangat bergantung pada pengelasan, yang mana pada proses pengelasan perlu pemahaman khusus mengenai jenis-jenis sambungan pada proses pengelasan. Jenis sambungan pengelasan ini disesuaikan pada jenis pekerjaan dan pengaplikasian sambungan las itu sendiri. Berikut beberapa macam jenis las listrik yaitu :

a. Las listrik SMAW (*Shielded Metal Arc Welding*)

Pengelasan *Shielded Metal Arc Welding* (SMAW) adalah pengelasan dengan menggunakan busur nyala listrik sebagai sumber panas untuk mencairkan elektroda las. Sumber panas tersebut dihasilkan oleh lonjakan ion listrik yang terjadi antara katoda dan anoda (ujung elektroda dan permukaan plat yang akan dilas). Pengelasan ini menggunakan elektroda yang terbungkus dengan fluks. Saat proses pengelasan fluks akan membungkus cairan logam sebagai mekanisme pelindung logam cair terhadap oksidasi. Pada pengelasan SMAW bahan fluks dan jenis listrik merupakan hal yang penting. Fluks memegang peranan untuk memantapkan nyala busur dan pemindahan butir - butir cairan logam stabil.

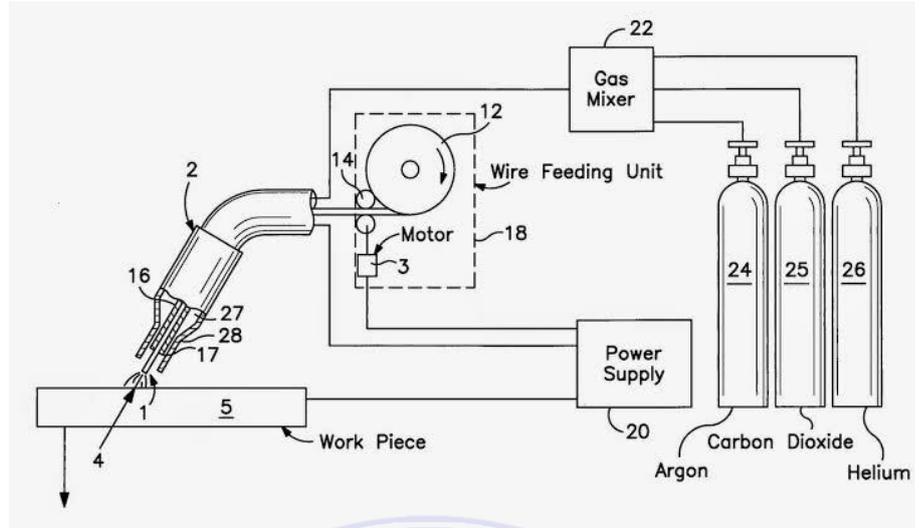
Sehingga, bahan penyusun fluks memiliki kemampuan deoksidasi, pembentuk terak, penghasil gas, penambah unsur paduan, dan penstabilan busur. Pengelasan SMAW dapat dilakukan dengan tangan, atau pun secara otomatis dengan memasang elektroda pada pemegang yang terikat pada peluncur. (Amir Arifin dan M.Hendrianto, 2018) Pengelasan SMAW dapat dilihat pada gambar 2.10



Gambar 2. 9. Klasifikasi Las SMAW

b. Las listrik MIG (*Metal Inert Gas*)

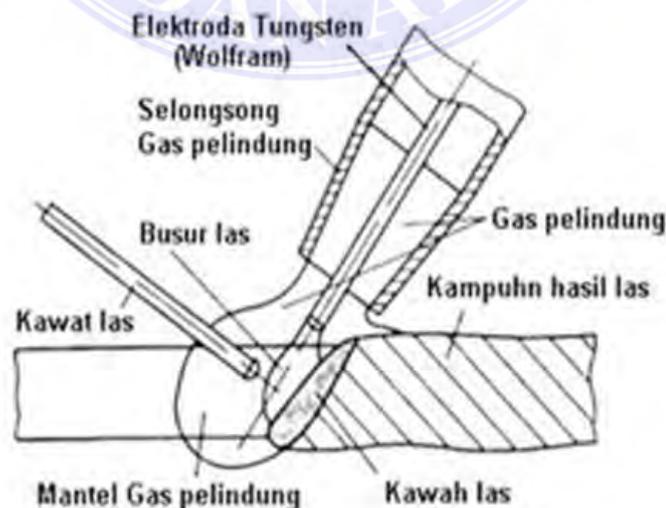
Pengelasan MIG (*Metal Inert Gas*) adalah salah satu jenis pengelasan GMAW dimana pada proses pengelasannya menggunakan gas kekal (*inert*) seperti Argon dan Helium sebagai gas pelindung oksidasi. Las MIG juga menggunakan *Wire Feeder* yang berfungsi untuk memutar elektroda menuju keluar ketika pengelasan berlangsung. Las MIG sering digunakan untuk mengelas material non logam seperti aluminium, stainless steel, paduan nikel, dan material non logam lainnya (Ian Niko Iswara Sihombing, 2019). Las MIG dapat dilihat pada gambar 2.11



Gambar 2. 10. Proses Las MIG

c. Las listrik TIG (*Tungsten Inert Gas*)

Las TIG (*Tungsten Inert Gas*) adalah jenis pengelasan gas tungsten-arc, dimana elektrodanya hanya digunakan sebagai pengumpan busur nyala api yang tidak mencair ketika pengelasan. *Tungsten Inert Gas* (TIG) atau *Gas Tungsten Arc Welding* (GTAW) menggunakan wolfram atau tungsten sebagai elektrode dan inert gas sebagai pelindung. (Wisnu Pranjaya, 2019). Las TIG dapat dilihat pada gambar 2.12



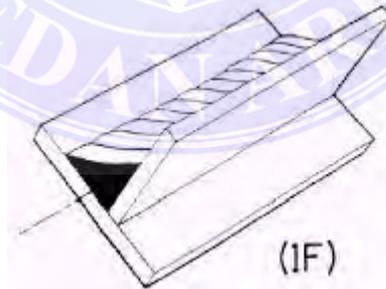
Gambar 2. 11. Proses Las TIG

2.1.4 Posisi Pengelasan

Posisi pengelasan adalah posisi atau sikap pengelasan yaitu pengaturan posisi atau letak gerakan elektroda las. Posisi pengelasan yang digunakan biasanya tergantung dari letak kampuh atau celah-celah benda kerja yang akan dilas. Untuk sambungan fillet berdasarkan kode yang ditetapkan oleh ASME, posisi las dikaitkan pada jenis teknik sambungan las. Maka disimbolkan dengan posisi 1F, 2F, 3F, dan 4F. Posisi pengelasan terdiri atas 1F posisi dibawah tangan (*flat*), 2F posisi datar (*horizontal*), 3F posisi tegak (*vertical*), dan 4F posisi diatas kepala (*overhead*).

1. Posisi Dibawah Tangan 1F (*Flat*)

Posisi dibawah tangan yaitu suatu cara pengelasan yang dilakukan pada permukaan rata/datar dan dilakukan dibawah tangan. Benda kerja dimiringkan sekitar 10° - 20° terhadap garis vertikal dan 70° - 80° terhadap benda kerja. Sehingga bagian yang akan dilas membentuk "V". Posisi pengelasan dibawah tangan dapat dilihat pada gambar 2.13

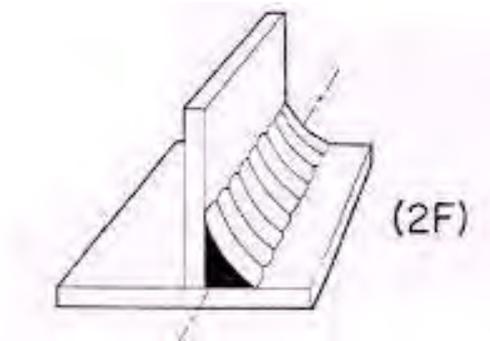


Gambar 2. 12. Posisi Pengelasan Flat

2. Posisi tegak 2F (*Vertical*)

Mengelas posisi tegak adalah apabila arah pengelasannya keatas atau kebawah. Pengelasan ini termasuk pengelasan yang paling sulit karena bahan cair yang Mengalir atau menumpuk diarah bawah dapat diperkecil dengan kemiringan

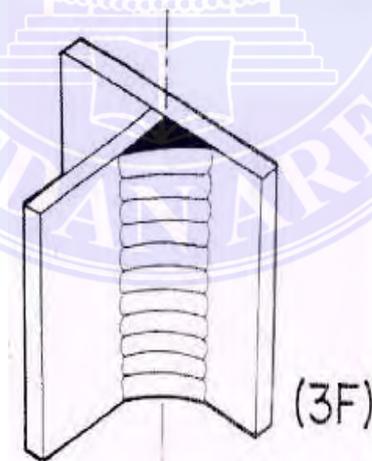
elektroda sekitar 10° - 15° terhadap garis vertikal dan 70° - 85° terhadap benda kerja. Posisi pengelasan tegak tegak dapat dilihat pada gambar 2.14



Gambar 2. 13. Posisi Pengelasan Vertical

3. Posisi datar (*Horizontal*)

Mengelas dengan horizontal biasa disebut juga mengelas merata dimana kedudukan benda kerja dibuat tegak dan arah elektroda mengikuti horizontal. Sewaktu mengelas elektroda dibuat miring sekitar 5° - 10° terhadap garis vertikal dan 70° - 80° ke arah benda kerja. Posisi pengelasan datar dapat dilihat pada gambar 2.15

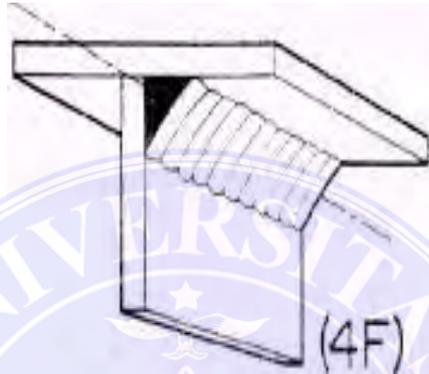


Gambar 2. 14. Posisi Pengelasan Horizontal

4. Posisi diatas kepala 4F (*Over Head*)

Posisi pengelasan ini sangat sukar dan berbahaya karena bahan cair banyak berjatuhan dapat mengenai juru las, oleh karena itu diperlukan perlengkapan yang

serba lengkap antara lain baju las, sarung tangan, sepatu kulit dan sebagainya. Mengelas dengan posisi ini benda kerja terletak pada bagian atas juru las dan kedudukan elektroda sekitar 5° - 20° terhadap garis vertikal dan 75° - 85° terhadap benda kerja (Yuspian Gunawan, 2017). Posisi pengelasan diatas kepala dapat dilihat pada gambar 2.16



Gambar 2. 15. Posisi Pengelasan Overhead

2.2 Las MIG (*Metal Inert Gas*)

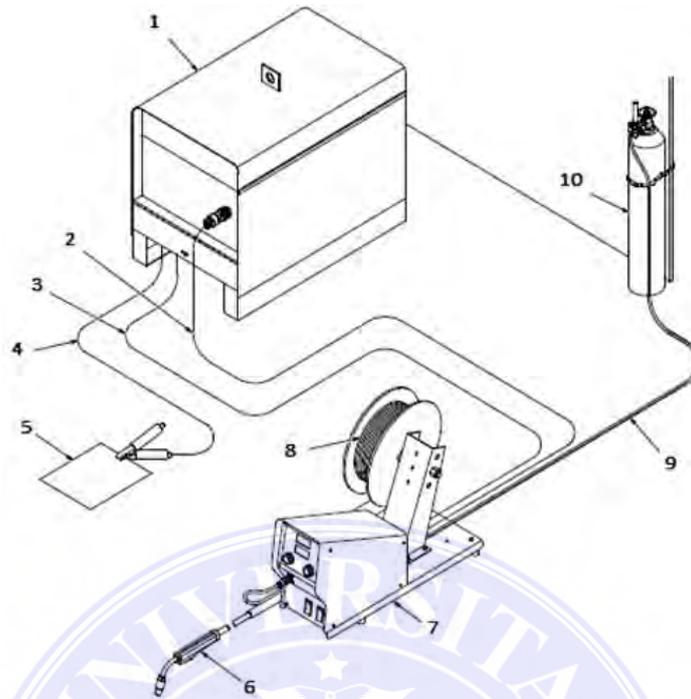
Pengelasan MIG lebih dikenal sebagai mesin las busur gas, sehingga dapat disebut juga GMAW (*Gas Metal Arc Welding*) yaitu suatu proses pengelasan busur listrik. Las MIG banyak digunakan untuk mengelas besi ataupun baja dan biasanya dioperasikan secara semi otomatis, sehingga dengan pesatnya perkembangan dunia kerja konstruksi yang membutuhkan pengelasan yang cepat dan kualitas tinggi, maka proses MIG sudah dijadikan alternatif proses pengelasan yang banyak digunakan, mulaidengan pekerjaan konstruksi ringan sampai berat. secara luas digunakan setiap kali dibutuhkan peleburan/penyatuan logam dengan kecepatan tinggi dan sedang. Teknik ini menggunakan ARC DC yang nyala di antara bagian yang dikerjakan dan kawat elektroda, dimana elektroda ini fungsinya secara simultan adalah sebagai pembawa tenaga dan sumber *filler* logam.



Gambar 2. 16. Proses Pengelasan MIG

Las MIG merupakan proses penyambungan dua material logam atau lebih menjadi satu melalui proses pencairan setempat, dengan menggunakan elektroda gulungan (*rod filler metal*) yang sama dengan logam dasarnya (*base metal*) dan menggunakan argon dan helium sebagai gas pelindung (*inert gas*). Pada proses pengelasan MIG gas disebarkan ke daerah yang dilas untuk melindungi busur, elektroda dan logam induk yang mencair terhadap pengaruh udara luar. Gas pelindung yang dipakai adalah gas yang tidak mudah bereaksi baik terhadap udara luar maupun logam yang mencair. Elektroda sekaligus berfungsi sebagai logam pengisi, diumpankan secara terus menerus dengan kecepatan konstan tertentu bergerak sepanjang sambungan las. Saat ini las MIG banyak sekali digunakan dalam praktek, terutama untuk pengelasan baja dan logamlogam baja yang tidak dapat dilas dengan cara lain. Berdasarkan fungsi elektrodanya tersebut maka las MIG tergolong pengelasan dengan elektroda terumpan, dimana elektroda selain berfungsi sebagai pembangkit busur (*arc*) juga berfungsi sebagai logam pengisi (Ian Niko Iswara , 2019). Klasifikasi peralatan las MIG dapat dilihat pada gambar

2.17



Gambar 2. 17. Peralatan Las MIG

Keterangan bagian-bagian las MIG berikut :

- | | |
|----------------------------|--------------------------|
| 1. Mesin las listrik | 6. Pemegang elektroda |
| 2. Kabel listrik | 7. Pengontrol elektroda |
| 3. Kabel las menuju feeder | 8. Benda kerja |
| 4. Kabel ground | 9. Selang gas |
| 5. kawat elektrode | 10. Tabung gas pelindung |

2.2.1 Gas Pelindung Las MIG

Gas pelindung untuk MIG adalah pelindung untuk mempertahankan atau menjaga stabilitas busur dan perlindungan cairan logam las dari kontaminasi selama pengelasan, terutama dari atmosfer dan pengotoran daerah las. Fungsi utama gas pelindung adalah untuk membentuk sekeliling daerah pengelasan dengan media pelindung yang tidak bereaksi dengan daerah las tersebut. Pada proses pengelasan

MIG gas pelindung yang dihembuskan melalui *torch* berfungsi untuk melindungi busur, kawat las, logam lasan dan logam induk dari kontaminasi udara.

Jenis gas pelindung yang digunakan untuk mengelas baja karbon dan baja paduan adalah sebagai berikut :

1. Gas Argon

Argon adalah jenis gas pelindung yang digunakan secara sendiri atau dicampur dengan gas lainnya untuk mencapai karakteristik busur yang diinginkan. Argon (Ar) biasanya digunakan untuk logam non ferro seperti aluminium, nickel, copper, paduan magnesium, dan logam-logam reaktif seperti zirconium dan titanium. Gas Argon menghasilkan stabilitas busur, penetrasi dan profil bead yang sangat baik. Bila Argon digunakan pada pengelasan logam berbasis ferro, maka biasanya dicampur dengan gas lainnya seperti oksigen, dan helium. Hampir semua proses pengelasan GMAW dapat menggunakan gas argon atau campuran gas argon untuk mendapatkan mampu las, properti mekanik, karakteristik busur dan produktifitas yang baik.

2. Gas Helium

Helium adalah gas pelindung yang digunakan untuk aplikasi pengelasan yang membutuhkan masukan panas yang lebih besar untuk meningkatkan bead wetting, penetrasi yang lebih dalam dan kecepatan pengelasan yang lebih cepat. Dalam las MIG ini gas yang digunakan adalah gas argon, helium atau campuran keduanya. Untuk memantapkan busur kadang-kadang ditambahkan gas O₂ antara 2% sampai 5% atau CO₂ antara 5% sampai 20%. Las MIG biasanya dilaksanakan secara otomatis atau semi otomatis dengan arus searah (DC) polaritas balik dan

menggunakan kawat elektroda berdiameter 1,2 sampai 2,4 mm (Nasruddin dkk, 2015).

2.2.2 Kawat Las MIG

Las MIG merupakan las busur gas yang menggunakan kawat las sekaligus sebagai elektroda. Elektroda tersebut berupa gulungan kawat (roll) yang gerakannya diatur oleh motor listrik. Pada las MIG kawat las pengisi yang juga berfungsi sebagai elektroda yang diumpankan secara kontinyu. Kawat las yang digunakan biasanya berupa kawat yang digulung dalam gulungan besar. Kawat las diumpankan melalui pemegang elektrode (*torch*) dari mekanisme pengumpan kawat (*wire feeder*), selanjutnya kawat las bila mengenai benda kerja akan bereaksi menghasilkan poros busur listrik yang diselubungi oleh gas. Bentuk kawat elektroda yang digunakan pada MIG secara umum adalah *solid wire* dan *flux cored wire*, di mana penggunaan kedua tipe tersebut sangat tergantung pada jenis pekerjaan. *Solid wire* digunakan secara luas untuk mengelas konstruksi ringan sampai sedang dan dioperasikan pada ruangan yang relatif tertutup, sehingga gas pelindungnya tidak tertiup oleh angin. *Sedang flux cored wire* lebih banyak dipakai untuk pengelasan konstruksi sedang sampai berat dan tempat pengelasannya memungkinkan lebih terbuka.

Elektroda untuk pengelasan MIG mempunyai berbagai jenis atau model elektroda (kawat elektroda) yaitu elektroda baja karbon, elektroda baja campuran, elektroda besin tuang dan elektroda bukan besi. Hal ini disebabkan pengelasan menggunakan las MIG (metal inert gas) banyak sekali dibutuhkan tidak hanya untuk pengelasan baja karbon saja melainkan juga di gunakan untuk pengelasan stainless steel maupun aluminium. Sesuai dengan jenis logam yang dilas yaitu baja

karbon, maka kawat las atau elektroda yang digunakan adalah elektroda baja karbon (*Mild Steel Arc Welding Electrodes*) Elektroda ini dipakai untuk mengelas baja lunak, baja-baja dengan presentase karbon yang rendah ataupun sedang (Amir Arifin, 2018)

2.2.3 Daerah Pengaruh Panas (*Heat Affected Zone*)

Daerah pengaruh panas dalam proses pengelasan merupakan bagian yang sangat penting dalam proses pengelasan. Karena daerah ini akan berpengaruh pada kekuatan sambungan las. Struktur logam pada daerah pengaruh *panas (Heat Affected Zone)* berubah secara berangsur dari struktur logam induk ke struktur logam las. Pada daerah HAZ yang dekat dengan garis lebur kristalnya tumbuh dengan cepat dan membentuk butir-butir kasar, daerah ini dinamakan batas las.

Pada proses pengelasan, panas yang di hasilkan akan menentukan struktur mikro logam las yang erat kaitanya dengan kekuatan hasil sambungan las. 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. (Amir Arifin & M.Hendrianto, 2018)

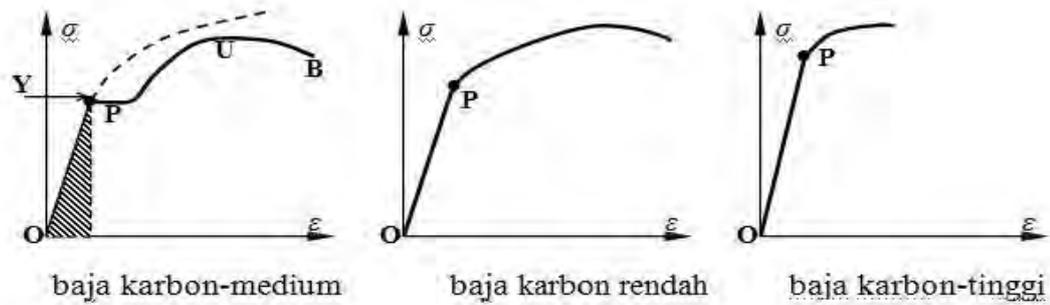
2.3 Baja Karbon

Baja karbon adalah baja paduan yang mempunyai kadar karbon ditambah dengan sedikit unsur-unsur paduan. Penambahan unsur ini dapat meningkatkan kekuatan baja tanpa mengurangi keuletannya, untuk klasifikasi jenis baja karbon sesuai dengan kadar karbon. material ini digunakan untuk kapal, jembatan, roda

kereta api, ketel uap, tangki-tangki dan dalam permesinan. Baja karbon (*Carbon Steel*) adalah baja dengan karbon sebagai campuran interstisial utama berkisar 0.12–2.0%. *American Iron and Steel Institute* (AISI) mendefinisikan baja dianggap sebagai baja karbon :

1. ketika tidak dituliskan kandungan minimum untuk kromium, kobalt, molibdenum, nikel, niobium, titanium, tungsten, vanadium atau zirconium, atau elemen lain yang ditambahkan untuk mendapatkan efek campuran tertentu;
2. sedangkan kandungan tembaga minimum tidak melebihi 0.40 persen;
3. atau kandungan maksimum elemen berikut ini tidak melebihi persentase berikut: mangan 1.65, silikon 0.60 Istilah "baja karbon" juga dapat digunakan untuk merujuk pada baja bukan baja tahan karat; maka baja aloi juga bisa masuk.

Baja karbon adalah baja yang mengandung karbon antara 0,1% - 1,7%. Dengan mengetahui luas penampang awal spesimen, maka tegangan normal, yang dinyatakan dengan σ , dapat diperoleh untuk setiap nilai beban aksial dengan menggunakan hubungan dimana P menyatakan beban aksial dalam Newton dan A menyatakan luas penampang awal (m^2). Dengan memasangkan pasangan nilai tegangan normal σ dan regangan normal ϵ , data percobaan dapat digambarkan dengan memperlakukan kuantitas-kuantitas ini sebagai absis dan ordinat. Gambar yang diperoleh adalah diagram atau kurva tegangan-regangan. Kurva tegangan-regangan mempunyai bentuk yang berbeda-beda tergantung dari bahannya (Yuspian Gunawan, 2017). Lihat pada gambar 2.18



Gambar 2. 18. Kurva Tegangan-Regangan Baja Karbon

2.3.1 Klasifikasi Baja Karbon

Berdasarkan tingkatan banyaknya kadar karbon, baja digolongkan menjadi tiga tingkatan :

1. Baja Karbon Rendah

Baja rendah yaitu baja yang mengandung karbon kurang dari 0,30%. Baja karbon rendah dalam perdagangan dibuat dalam bentuk pelat, profil, batangan untuk keperluan tempa, pekerjaan mesin, dan lain-lain.

2. Baja Karbon Sedang

Baja karbon sedang adalah baja yang mengandung karbon antara 0,30% – 0,60 %. Didalam perdagangan biasanya dipakai sebagai alat-alat perkakas, baut, poros engkol, roda gigi, ragum dan pegas.

3. Baja Karbon Tinggi

Baja karbon tinggi ialah baja yang mengandung karbon antara 0,6% – 1,5%. Baja ini biasanya digunakan untuk keperluan alat-alat konstruksi yang berhubungan dengan panas yang tinggi atau mengalami panas, misalnya landasan, palu, gergaji, pahat, kikir, bor, bantalan peluru, dan sebagainya (Simon Parekke, 2014)

2.4 Sifat Mekanik 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 tarik (*tensile test*). Pengujian ini memiliki fungsi untuk mengetahui tingkat kekuatan suatu material dan untuk mengenali karakteristik pada material tersebut.

Terdapat beberapa spesimen pada uji tarik. Uji Tarik (*Tensile Test*) 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.

2.4.1 Kekuatan (*Strength*)

Kekuatan adalah nilai yang paling sering dituliskan sebagai hasil suatu uji tarik dan kekuatan tekan. Kekuatan pada sifat mekanis material adalah suatu kesiapan atau dapat menerima suatu tegangan tanpa menyebabkan terjadinya kerusakan pada material. Pada tegangan yang lebih kompleks, kaitan nilai tersebut dengan kekuatan logam kecil sekali kegunaannya. Kecenderungan yang banyak ditemui adalah mendasarkan rancangan statis logam ulet pada kekuatan luluhnya. Tetapi karena jauh lebih praktis menggunakan kekuatan tarik untuk menentukan kekuatan bahan, maka metode ini lebih banyak dipakai.

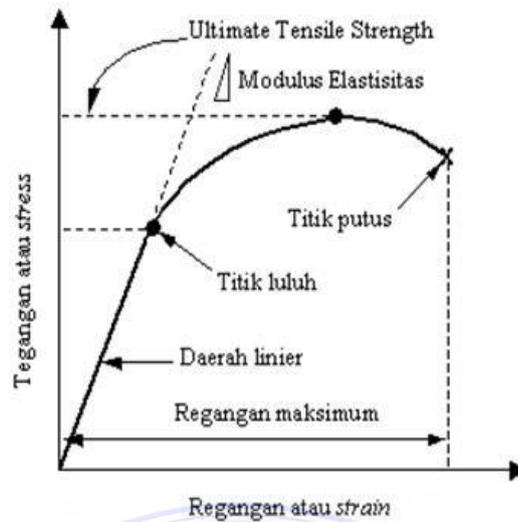
2.4.2 Regangan (*Strain*)

Strain atau regangan di definisikan sebagai perbandingan perubahan panjang benda terhadap panjang mula-mula akibat suatu gaya dengan arah sejajar

perubahan panjang tersebut. Dalam satuan internasional, strain memiliki lambang ϵ dengan satuan mm/mm atau %. Dengan pengujian kekuatan tarik maka didapatkan gejala fisis yaitu perubahan pertambahan panjang dari suatu komposit uji dengan panjang semula menjadi pertambahan panjang setelah uji tarik. Dalam pengujian tarik baja uji di tarik sampai putus sehingga didapatkan patahan pada baja uji. Diagram antara *stress* (tegangan) dan *strain* (regangan) dapat digunakan untuk menentukan karakteristik mekanik dari suatu bahan. Diagram tersebut menggambarkan perubahan tegangan terhadap regangan bila benda dikenai suatu gaya. Pada titik tertentu akan terjadi deformasi struktur benda yaitu pada titik dengan tanda X.

2.4.3 Modulus Elastisitas

Elastisitas merupakan ukuran kekakuan suatu material pada grafik tegangan-regangan. Elastisitas pada sifat mekanis material yaitu dimana material cenderung memiliki sifat dapat kembali ke ukuran dan bentuk awal, baik panjang, lebar atau pun tingginya dengan massa yang masih tetap. Elastisitas sangat penting pada semua struktur material dimana beban dapat mudah berubah. Elastisitas tersebut dapat dihitung dari slope kemiringan garis elastik yang linier. Perbandingan antara tegangan (σ) dengan regangan elastik (ϵ) disebut modulus elastisitas (Jalif dan Darto, 2012).



Gambar 2. 19. Modulus Elastisitas

2.5 Pengujian Spesimen

Pengujian spesimen bertujuan untuk mengetahui karakteristik mekanik dari spesimen maka dilakukan pengujian terhadap spesimen. Jenis pengujian yang dilakukan adalah uji tarik.

2.5.1 Pengujian Tarik

Pengujian tarik (*tensile test*) adalah pengujian secara mekanik statis dengan cara sampel/spesimen ditarik dengan menggunakan beban pada kedua ujung spesimen, dimana beban yang diberikan akan perlahan-lahan naik hingga spesimen uji tersebut patah. Tujuannya untuk mengetahui karakteristik mekanik tarik (kekuatan tarik) dari komposit. Pengujian tarik antara lain bertujuan untuk mengetahui kekuatan tegangan, regangan, modulus elastisitas pada bahan komposit. Untuk menghitung nilai tegangan, regangan dan modulus dapat menggunakan persamaan:

a. Menghitung Kekuatan Tarik :

$$\sigma = \frac{P}{0,707.h.l} \dots\dots\dots(\text{Pers. 2.1})$$

Dimana :

σ = Tegangan (N/mm^2)

P = Gaya (N)

h = Tebal (mm)

l = Panjang (mm)

b. Menghitung Regangan :

$$\varepsilon = \frac{\Delta L}{l_0} \dots\dots\dots(\text{Pers. 2.2})$$

Dimana:

ε = Regangan

ΔL = Perubahan panjang (mm)

l_0 = Panjang awal (mm)

c. Mencari Modulus Elastisitas :

$$E = \frac{\sigma_2 - \sigma_1}{\varepsilon_2 - \varepsilon_1} \dots\dots\dots(\text{Pers. 2.3})$$

Dimana :

E = Modulus Elastisitas (GPa)

σ = Tegangan (MPa)

ε = Regangan

BAB III

METODE PENELITIAN

3.1 Waktu dan Tempat

3.1.1 Waktu

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

Tabel 3.1. Waktu Pelaksanaan Penelitian

No	aktivitas	Tahun 2022						Tahun 2023								
		6	7	8	9	10	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8
1	Pengajuan judul	■														
2	Penyelesaian proposal		■	■	■	■										
3	Seminar proposal				■	■										
4	Persiapan alat dan bahan						■	■								
5	Pengujian spesimen							■	■							
6	pengujian								■	■	■	■				
7	Analisa data											■	■	■		
8	Seminar hasil														■	
9	Sidang serjana															■

3.1.2 Tempat

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

3.2 Alat dan Bahan

Alat dan bahan yang dipergunakan dalam proses penelitian ini disesuaikan dengan kebutuhan penyelidikan kekuatan tarik pada sambungan baja karbon berbeda.

3.2.1 Alat

Alat adalah perangkat alat yang digunakan dalam melakukan proses penelitian. Berikut ini peralatan yang digunakan dalam penelitian ini terdiri dari:

1. Mesin Uji Tarik

Alat uji tarik adalah alat yang digunakan untuk penelitian bahan yang sudah dilakukan pengelasan untuk mengetahui kekuatan tarik pada sambungan las plat baja. Pengujian tarik adalah suatu pengukuran terhadap bahan braket untuk mengetahui keuletan dan ketangguhan suatu bahan terhadap tegangan serta bertambah panjang yang dialami bahan tersebut. Berfungsi sebagai pencetak untuk mendapatkan bentuk sesuai dengan standart. Alat uji tarik merupakan salah satu alat uji mekanik untuk mengetahui kekuatan bahan terhadap gaya tarik. Dalam pengujiannya, bahan uji ditarik sampai putus. Sehingga mampu di analisa ketahanan tarik suatu benda. Gambar mesin uji tarik dapat dilihat pada gambar 3.8



Gambar 3. 1. Mesin Uji Tarik

2. Mesin Las MIG

Mesin las adalah alat yang paling utama yang digunakan dalam penelitian ini. Mesin las MIG merupakan mesin las DC umumnya berkemampuan sampai 250 ampere. Dilengkapi dengan sistem kontrol, penggulung kawat gas pelindung, sistem pendingin dan rangkaian lain. Gambar mesin las MIG dapat dilihat pada gambar 3.6



Gambar 3. 2. Mesin Las MIG

3.2.2 Bahan

Pada proses pembentukan bahan uji atau spesimen ada beberapa bahan yang digunakan. Dalam penelitian ini, bahan-bahan yang dipergunakan terdiri dari :

1. Plat Baja ST 37

Bahan yang dipilih dalam penelitian ini adalah baja karbon rendah, baja ST 37 dengan kadar karbon 0.20% C. Baja ST-37 adalah salah satu baja yang dihasilkan untuk pembuatan berbagai komponen permesinan. Gambar baja tipe ST 37 dapat dilihat pada gambar 3.9



Gambar 3. 3. Baja ST-37

2. Plat Baja AISI 1050

Plat baja AISI 1050 merupakan baja yang memiliki kadar karbon 0.50% sehingga tergolong dalam baja karbon sedang. Baja ini banyak digunakan dipasaran karena memiliki banyak keunggulan salah satunya adalah sebagai komponen otomotif. Gambar baja tipe AISI 1050 dapat dilihat pada gambar 3.7



Gambar 3. 4. Baja AISI 1050

Baja AISI 1050 memiliki komposisi kimia seperti tabel 3.2

Tabel 3.2. Komposisi kimia baja karbon AISI 1050

Karbon (C)	Silikon (Si)	Mangan (Mn)	Fosfor (P)	Sulfur (S)
0,48-0,55%	0,40%	0,60-0,90%	0,045%	0,045%

3. Kawat Las MIG

Kawat las MIG yang digunakan untuk mesin las MIG adalah solid wire core dengan kapasitas minimal 5 kg hingga 15kg+ Khusus yg 1.2mm mesin minimal 200 Ampere. Kawat Las *solid wire core* lebih baik hasil lasannya dengan menggunakan gas CO₂, dibandingkan dengan tanpa menggunakan gas CO₂. Kawat las dapat dilihat pada gambar 3.8



Gambar 3. 5. Kawat Las MIG

4. Gas Helium

Helium digunakan dalam berbagai macam pengelasan listrik seperti pengelasan listrik logam gas dan pengelasan listrik *wolfram gas*, seperti dalam pengolahan titanium dan unsur reaktif lainnya. Atmosfer helium juga digunakan untuk menumbuhkan kristal silikon dan germanium. Gas helium dapat dilihat pada gambar 3.9.



Gambar 3. 6. Gas Helium

3.3 Metode Penelitian

Dari jenis metode penelitian metode yang digunakan pada penelitian ini termasuk metode eksperimen. Definisi eksperimen adalah satu cara untuk mencari hubungan sebab akibat (hubungan kasual) antara dua faktor yang sengaja ditimbulkan oleh peneliti dengan mengeliminasi atau mengurangi dan menyisihkan faktor-faktor lain yang mengganggu. Penelitian eksperimen dipakai untuk mengetahui pengaruh suatu perlakuan tertentu terhadap yang lainnya dengan kondisi yang terkendali. Pada penelitian ini hasil pengelasan benda kerja nantinya akan dapat dilihat hasil kekuatan tariknya. Supaya mendapatkan hasil data yang lebih akurat, maka setiap spesimen benda dilakukan pengujian kekuatan tarik berdasarkan jenis kadar karbon serta sambungan pengelasan. Secara umum metodologi yang digunakan dalam penelitian ini ada beberapa tahapan, diantaranya dapat dijelaskan sebagai berikut :

3.3.1 Sistematika Penelitian

Sistematika pada Pengaruh Material Baja dengan Kadar Karbon Berbeda Terhadap Kekuatan Sambungan *Fillet Weld Lap Joint* dengan Pengelasan MIG adalah sebagai berikut:

1. Studi literatur mencari informasi dari jurnal, internet, buku pendukung dan melakukan diskusi mengenai penelitian ini pada dosen pembimbing.
2. Melakukan survei atau observasi lapangan untuk mencari alat dan bahan yang digunakan pada penelitian serta mempelajari dan membandingkan alat dan bahan yang lebih efisien dari segi kualitas dan ekonomis.
3. Mengumpulkan data-data dan membeli jeis baja AISI 1050 dengan tebal 4mm dan 6mm
4. Melakukan proses pemotongan dan pengelasan MIG Baja AISI 1050 dengan sambungan *Fillet Weld jenis Lap Joint*, menggunakan logam pengisi dari kawat las MIG.
5. Membuat spesimen uji tarik dengan standar ASTM E8.
6. Melakukan pengujian spesimen dengan menggunakan alat uji tarik, setelah itu melakukan analisis hasil pengujian dan selanjutnya analisis data untuk mendapatkan data yang sesuai.
7. Manarik kesimpulan

3.4 Populasi dan Sampel

Agar memperoleh hasil penelitian yang baik dalam menganalisis kekuatan sambungan *Fillet Weld Lap Joint* hasil pengelasan MIG penulis memvariasikan kandungan baja dengan kandungan karbon berbeda, yaitu baja ST-37 dengan kandungan karbon 0,3%, AISI 1050 dengan kandungan karbon 0,5% dan baja

kombinasi keduanya 0,3% - 0,5%. Dimana pada setiap masing-masing variasi dilakukan percobaan keseluruhan 9 kali dengan 1 variasi 3 spesimen.

3.5 Prosedur Kerja

Persiapan yang diperlukan sebelum melakukan riset antara lain :

3.5.1 Persiapan Bahan

Beberapa langkah-langkah persiapan bahan diantaranya :

1. Menentukan bahan yang ingin digunakan
2. Melakukan pembelian barang dengan cara melakukan pembelian material baja secara online jika bahan yang diperlukan tidak tersedia di laboratorium.
3. Menyiapkan bahan atau material dengan ukuran sesuai standar ASTM E8

3.3.3 Proses Pembuatan Spesimen

Pembuatan spesimen mengacu standar ASTM E8 untuk pengujian kualitas sifat mekanis dari hasil pengelasan. Proses pembentukan benda uji diawali dengan langkah-langkah proses pengelasan sebagai berikut :

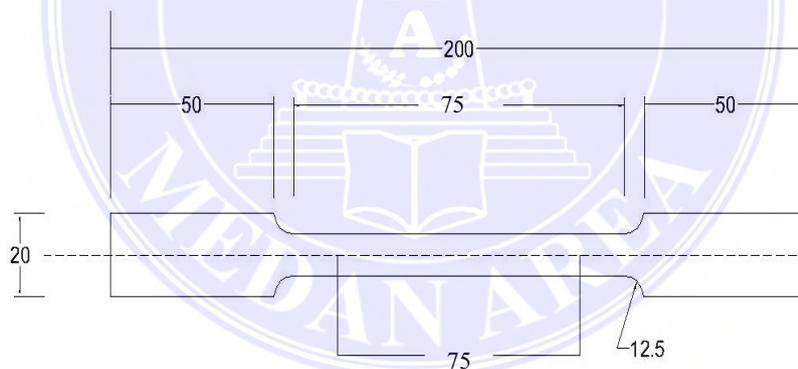
1. Siapkan material yang digunakan untuk pengelasan dalam penelitian ini yaitu plat baja ST 37 dengan ukuran .. dan plat baja AISI 1050 dengan ukuran..
2. Memotong plat dengan ukuran yang direncanakan.
3. Mempersiapkan dan setting mesin las.
4. Mempersiapkan alat bantu las.
5. Lakukan proses pengelasan pada baja sesuai welding prosedur.
6. Lakukan pembersihan terak pada hasil lasan.
8. Membuat mal gambar untuk dilakukan penandaan pada plat yang akan dibor.
9. Selanjutnya dirapikan dengan mesin sekrap untuk kedua sisi plat dari hasil pengeboran

10. Haluskan permukaan kedua sisi plat sesudah disekrap dengan kikir

3.5.2 Pengujian Spesimen Material

Pengujian suatu material perlu dilakukan untuk mengetahui kualitas suatu logam atau bahan agar dalam penggunaannya untuk perancangan bahan suatu mesin maupun aplikasinya di masyarakat karena dengan perlakuan pengujian logam kita dapat menentukan bahan yang tepat untuk rancang bangun suatu mesin. Metode pengujian yang dilakukan dalam penelitian ini adalah metode pengujian mekanik yaitu uji tarik. Setelah proses pengelasan selesai, di lanjutkan pembuatan spesimen sesuai standar ASTM E 8M-01 yang nantinya akan di uji tarik. Pengujian tarik dilakukan untuk mengetahui besarnya kekuatan tarik dari spesimen yang di uji. Pembuatan spesimen uji tarik mengacu pada standar ASTM E8.

Dimensi pengujian kekuatan tarik bahan dapat di lihat pada gambar 33



Gambar 3. 7. Dimensi Pengujian Tarik

Berikut merupakan langkah-langkah proses pengujian yang dilakukan pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

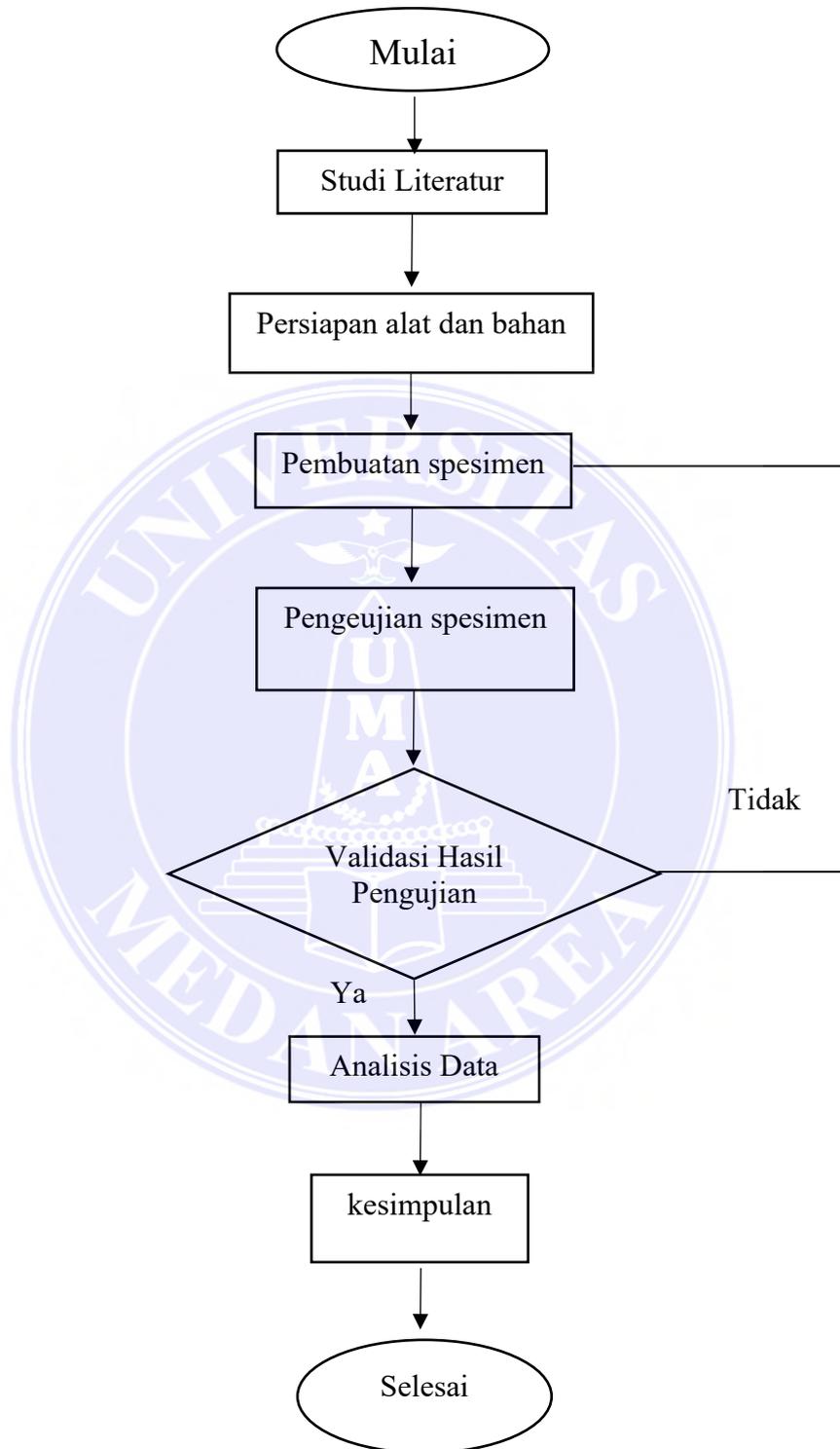
1. Mempersiapkan spesimen uji yaitu yang akan di uji
2. Bentuk sampel uji tarik sesuai standart yang dipakai
3. Siapkan mesin uji tarik yang akan digunakan

4. Menghidupkan mesin.
5. Memprogram sesuai dengan bahan yang akan diuji dan memasukkan data-data sesuai dimensi yang terdapat pada spesimen
4. Memasang spesimen pada alat uji tarik
5. Atur kecepatan grafik dan kecepatan penarikan
6. Jalankan mesin uji tarik dan catat diameter spesimen tiap penambahan beban
7. Catat diameter terkecil spesimen pada setiap pengurangan beban
8. Setelah terjadi patahan pada spesimen catat hasil pengujian
9. Print out hasil grafik yang diperoleh saat pengujian

Setelah data atau hasil pengujian tarik sudah diperoleh, maka selanjutnya dilakukan analisis data. Analisis data dari angka-angka yang berasal dari nilai uji tarik menggunakan metode eksperimen. Pengumpulan data dilakukan pada saat penelitian berlangsung sampai penelitian selesai. Adapun hasil-hasil data penelitian yang diperoleh setelah melakukan perhitungan terhadap parameter sebagai berikut:

- a. Kekuatan tarik menggunakan persamaan (2.1)
- b. Regangan menggunakan persamaan (2.2)
- c. Modulus Elastisitas menggunakan persamaan (2.3)

3.5.3 Diagram Alir



Gambar 3.8. Diagram Alir.

BAB V

SIMPULAN DAN SARAN

5.1 Simpulan

Dari hasil pengelasan listrik dan serta bahan pengujian dapat diperoleh kesimpulan sebagai berikut:

1. Pembuatan spesimen baja uji tarik dengan baja karbon berbeda terhadap kekuatan sambungan fillet weld lap joint dengan pengelasan MIG berhasil dibuat dengan tiga variasi. Variasi 1 baja AISI 1050 (kode F), variasi 2 baja karbon ST 37 (kode G) dan baja kadar karbon Kombinasi (kode FG)
2. Hasil pengujian tarik baja ST-37 (kadar karbon 0,3%), baja AISI 1050 (kadar karbon 0,5%) dan baja Kombinasi (0,3-0,5%), Dapat diperhatikan hasil dari patahan dimana titik patahan banyak diluar sambungan pengelasan itu sendidiri, artinya sambungan pengelasan MIG sangat bagus untuk digunakan.
3. Hasil pengujian tarik menunjukkan bahwa material baja AISI 1050 dan ST-37 sama sama mengalami perubahan struktur.

5.2 Saran

Berdasarkan hasil dan kesimpulan dalam penelitian ini, maka kepada penelitian selanjutnya disarankan untuk

1. Pada penelitian ini bisa mempelajari unsur-unsur yang mempengaruhi pengelasan terhadap sifat mekanis.
2. Untuk penelitian selanjutnya, diharapkan bisa dikembangkan dengan variasi yang berbeda agar terciptanya penelitian yang baru

DAFTAR PUSTAKA

- Awal Syahrani, Naharuddin, & Muhammad Nur (2018). Analisis Kekuatan Tarik, Kekerasan, dan Struktur Mikro Pada Pengelasan SMAW Stainless Steel 312 dengan Variasi Arus Listrik. *Jurnal Teknik Mesin Universitas Tadulako Palu*, 9(1), 814-822.
- Amir Arifin & M.Hendrianto (2018), Pengaruh Arus dan Jarak Kampuh Pengelasan Terhadap Distorsi Sambungan Pelat Baja Karbon Rendah Dengan Menggunakan SMAW. *Jurnal Teknik Mesin Universitas Sriwijaya Palembang*, 4(1), 20-25.
- Ahmad Abi Sodik dkk, “Pengaruh Penerapan WPS (*Welding Procedure Spesification*) AL 6005 Tipe Butt Joint Terhadap Kekuatan Sambungan Las AL 6061,” *Jurnal Teknik Mesin Universitas Muhammadiyah Jember*, Vol.3, No.2, Pp.1-10, 2019.
- Didik Setiawan (2021), Pengaruh Bahan Tambah Rd260, E7016, Er705-6 Pada Pengelasan *Oxy-Acetylene* Terhadap Kekuatan Tarik Pada Plat Bordes Tipe St-37. *Jurnal Teknik Universitas Muhammadiyah Ponorogo*, 5(1), 22-31.
- Ian Niko Iswara Sihombing, Untung Budiarno, & Ahmad Fauzan Zakki (2019), Pengaruh Posisi Pengelasan dan Bentuk Kampuh Terhadap Kekuatan Tarik dan Mikrografi Sambungan Las Metal Inert Gas (MIG) Pada Aluminium 6061 Sebagai Bahan Material Kapal. *Jurnal Teknik Perkapalan Universitas Diponegoro Semarang*, 7(4), 303-312.

Jalif dan Darto, “Komparasi Metode Kekuatan Las Tipe Butt Joint Berbantuan Perangkat Lunak Mit CALC 2.0,” *Jurnal Teknik Mesin Universitas Merdeka Malang*, Vol.8, No.2, Pp.827-836, 2012.

Joseph Edward Shigley dkk, “Perencanaan Teknik Mesin,” Jakarta : Penerbit Erlangga, 1984. Pp.1-516.

Nusulul Huda & Jasman (2019). Pengaruh Kuat Arus Terhadap Uji Tarik Material Baja Karbon Rendah Menggunakan Metal Inert Gas (MIG). *Jurnal Teknik Mesin Universitas Negeri Padang*, 2(1), 219-229.

Naharuddin, Alimuddin Sam, & Candra Nugraha (2015), Kekuatan Tarik dan Bending Sambungan Las Pada Material SM 490 Dengan Metode Pengelasan SMAW dan SAW. *Jurnal Teknik Mesin Universitas Tadulako Palu*, 6(1), 550-555.

Pranowo Sidi, “Analisa Pengaruh Proses Pengelasan Mig Terhadap Distorsi Sudut Dan Kedalaman Penetrasi Pada Sambungan *Butt-Joint*,” *Jurnal Teknik Permesinan Kapal Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya*, Vol.5, No.1, Pp.10-17, 2011.

Simon Parekke, Johannes Leonard, & Abdul Hay Muchsin (2014), Pengaruh Pengelasan Logam Berbeda (AISI 1045) dengan (AISI 316L) Terhadap Sifat Mekanis dan Struktur Mikro. *Jurnal Teknik Mesin Universitas Hasanuddin Makassar*, 3(2), 191-198.

Yuspian Gunawan, Nanang Endriatno, & Bayu Hari Anggara (2017), Analisa Pengaruh Pengelasan Listrik Terhadap Sifat Mekanik Baja Karbon

Rendah dan Baja Karbon Tinggi. *Jurnal Teknik Mesin Universitas Halu Oleo Kendari*, 2(1), 1-12.

Wenny Marthiana (2020), Analisa Pengaruh Variasi Arus Listrik Pengelasan Terhadap Kekuatan Sambungan Pengelasan MIG Pada Material ST 37. *Jurnal Teknik Mesin Universitas Bung Hatta Padang*, 5(2), 140-144.



LAMPIRAN

Bevel dan Roat Gap

