

TUGAS AKHIR

STUDI EKSPERIMENTAL PERBANDINGAN HASIL PENGELASAN MODEL SMAW DAN GTAW TERHADAP KEKUATAN TARIK MATERIAL BAJA ST 37

*Diajukan Untuk Memenuhi Syarat Memperoleh
Gelar Sarjana Teknik Mesin Pada Fakultas Teknik
Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara*

Disusun Oleh:

ANDIKA PURNAMA
1507230078



UMSU

Unggul | Cerdas | Terpercaya

**PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SUMATERA UTARA
MEDAN
2020**

HALAMAN PENGESAHAN

Tugas Akhir ini diajukan oleh:

Nama : Andika Purnama
NPM : 1507230078
Program Studi : Teknik Mesin
Judul Skripsi : Studi Eksperimental Perbandingan Hasil Pengelasan Model SMAW Dan GTAW Terhadap Kekuatan Tarik Material Baja ST 37
Bidang ilmu : Konstruksi dan Manufaktur

Telah berhasil dipertahankan di hadapan Tim Penguji dan diterima sebagai salah satu syarat yang diperlukan untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik pada Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.

Medan, 18 Maret 2020

Mengetahui dan menyetujui:

Dosen Pembimbing I

Dosen Pembimbing II

Ahmad Marabdi Siregar, S.T., M.T

Bekti Suroso, S.T., M.Eng

Dosen Penguji III

Dosen Penguji IV

M. Yani, S.T., M.T

H. Muharnif, S.T., M.Sc

Program Studi Teknik Mesin
Ketua,

Affandi, S.T., M.T

SURAT PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama Lengkap : Andika Purnama
Tempat /Tanggal Lahir : Pintu Air / 02 Juli 1996
NPM : 1507230078
Fakultas : Teknik
Program Studi : Teknik Mesin

Menyatakan dengan sesungguhnya dan sejujurnya, bahwa laporan Tugas Akhir saya yang berjudul:

“Studi Eksperimental Perbandingan Hasil Pengelasan Model SMAW Dan GTAW Terhadap Kekuatan Tarik Material Baja ST 37”,

Bukan merupakan plagiarisme, pencurian hasil karya milik orang lain, hasil kerja orang lain untuk kepentingan saya karena hubungan material dan non-material, ataupun segala kemungkinan lain, yang pada hakekatnya bukan merupakan karya tulis Tugas Akhir saya secara orisinal dan otentik.

Bila kemudian hari diduga kuat ada ketidaksesuaian antara fakta dengan kenyataan ini, saya bersedia diproses oleh Tim Fakultas yang dibentuk untuk melakukan verifikasi, dengan sanksi terberat berupa pembatalan kelulusan/kesarjanaan saya.

Demikian Surat Pernyataan ini saya buat dengan kesadaran sendiri dan tidak atas tekanan ataupun paksaan dari pihak manapun demi menegakkan integritas akademik di Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.

Medan, 18 Maret 2020



Saya yang menyatakan,

Andika Purnama

ABSTRAK

Mengelas bukan hanya memanaskan dua bagian benda sampai mencair dan membiarkan membeku kembali, tetapi membuat lasan yang utuh dengan cara memberikan bahan tambah atau elektroda pada waktu dipanaskan sehingga mempunyai kekuatan seperti yang dikehendaki. Pengelasan pengelasan dibagi dalam dua katagori utama, yaitu pengelasan lebur dan pengelasan padat. Pengelasan lebur menggunakan panas untuk melebur permukaan yang akan disambung, Kekuatan sambungan las dipengaruhi beberapa faktor antara lain, prosedur pengelasan, bahan, elektrode dan jenis kampuh yang digunakan. Bagaimana kekuatan tarik dari material baja ST 37 dengan metode pengelasan SMAW (*Shield Metal Arc Welding*) dan GTAW (*Gas Tungsten Arc Welding*). Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui hasil kekuatan tarik spesimen yang telah dilakukan pengelasan dengan metode yang berbeda, memperoleh kekuatan dari proses pengelasan, menguji kekuatan hasil pengelasan, dan membandingkan kekuatan pengelasan SMAW dan GTAW. Jenis sambungan yang digunakan adalah sambungan tumpul dengan kampuh V tunggal, bentuk dan ukuran spesimen uji sesuai dengan standar ASTM E8/E 8M – 13a. Hasil penelitian menunjukkan bahwa penggunaan jenis pengelasan berpengaruh terhadap kekuatan tarik. Kekuatan tarik tertinggi pada pengelasan SMAW sebesar 52,43 Kgf/mm², dan kekuatan tarik terendah 31,22 Kgf/mm². Pengelasan GTAW kekuatan tarik tertinggi sebesar 31,88 Kgf/mm², dan kekuatan tarik terendah 18,84 Kgf/mm².

Kata Kunci : kekuatan tarik, pengelasan SMAW, pengelasan GTAW, sambungan las, las listrik

ABSTRACT

Welding is not only heating two parts of the object until it melts and allowing it to freeze again, but making the welds intact by giving added material or electrodes when heated so that it has the strength as desired. Welding is divided into two main categories, namely fusion welding and solid state welding. Melt welding uses heat to melt the surface to be joined. The strength of the welded joint is influenced by several factors including, the welding procedure, the material, the electrode and the type of seam used. This study aims to determine the tensile strength results of specimens that have been carried out by welding with different methods, obtain strength from the welding process, test the strength of the welding results, and compare the welding strengths of SMAW and GTAW. The type of connection used is a butt connection with a single V seam, the shape and size of the test specimen in accordance with ASTM E8 / E 8M - 13a standards. The results showed that the use of this type of welding affects the tensile strength. The highest tensile strength in SMAW welding is 52.43 Kgf / mm², and the lowest tensile strength is 31.22 Kgf / mm². GTAW welding has the highest tensile strength of 31.88 Kgf / mm², and the lowest tensile strength of 18.84 Kgf / mm².

Keywords: tensile strength, SMAW welding, GTAW welding, welding joints, electric welding.

KATA PENGANTAR

Dengan nama Allah Yang Maha Pengasih lagi Maha Penyayang. Segala puji dan syukur penulis ucapkan kehadiran Allah SWT yang telah memberikan karunia dan nikmat yang tiada terkira. Salah satu dari nikmat tersebut adalah keberhasilan penulis dalam menyelesaikan laporan Tugas Akhir ini yang berjudul “Studi Eksperimental Perbandingan Hasil Pengelasan Model SMAW Dan GTAW Terhadap Kekuatan Tarik Material Baja ST 37” sebagai syarat untuk meraih gelar akademik Sarjana Teknik pada Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara (UMSU), Medan.

Banyak pihak telah membantu dalam menyelesaikan laporan Tugas Akhir ini, untuk itu penulis menghaturkan rasa terimakasih yang tulus dan dalam kepada:

1. Bapak Ahmad Marabdi, ST, MT, selaku Dosen Pembimbing I dan Penguji yang telah banyak membimbing dan mengarahkan penulis dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini.
2. Bapak Bakti Suroso, ST, MEng, selaku Dosen Pembimbing II dan Penguji yang telah banyak membimbing dan mengarahkan penulis dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini.
3. Bapak Affandi, ST, MT yang telah banyak memberikan koreksi dan masukan kepada penulis dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini, sekaligus sebagai Ketua Program Studi Teknik Sipil, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
4. Bapak Munawar Alfansury Siregar, ST, MT selaku Dekan Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
5. Seluruh Bapak/Ibu Dosen di Program Studi Teknik Mesin, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara yang telah banyak memberikan ilmu teknik mesin kepada penulis.
6. Orang tua penulis: Samsul Arifin dan Rabiati, yang telah bersusah payah membesarkan dan membiayai studi penulis.
7. Bapak/Ibu Staf Administrasi di Biro Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
8. Sahabat-sahabat penulis: abangda Dirham, ST, Veri Fernando.

Laporan Tugas Akhir ini tentunya masih jauh dari kesempurnaan, untuk itu penulis berharap kritik dan masukan yang konstruktif untuk menjadi bahan pembelajaran berkesinambungan penulis di masa depan. Semoga laporan Tugas Akhir ini dapat bermanfaat bagi dunia konstruksi teknik Mesin.

Medan, 18 Maret 2020

Andika Purnama

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN	ii
LEMBAR PERNYATAN KEASLIAN SKRIPSI	iii
ABSTRAK	iv
ABSTRACT	v
KATA PENGANTAR	vi
DAFTAR ISI	viii
DAFTAR TABEL	xii
DAFTAR GAMBAR	xiii
DAFTAR NOTASI	xiv
BAB 1 PENDAHULUAN	1
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Rumusan masalah	2
1.3. Ruang lingkup	2
1.4. Tujuan	3
1.5. Manfaat	3
BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA	4
2.1. Pengelasan	4
2.2. Mekanisme Pengelasan	5
2.3. Jenis-Jenis Las	5
2.4. Pengelasan SMAW	12
2.4.1. Elektroda Las	13
2.5. Sambungan Konstruksi Baja	14
2.6. Elektroda Las	15
2.7. Kelebihan dan Kekurangan	16
2.7.1. Kelebihan Pengelasan SMAW	16
2.7.2. Kekurangan Pengelasan SMAW	17
2.7.3. Kelebihan Pengelasan GTAW	17
2.7.4. Kekurangan Pengelasan GTAW	17
2.8. Kekuatan Tarik	18
BAB 3 METODOLOGI	19
3.1. Tempat dan Waktu Penelitian	19
3.2. Alat dan Bahan	20
3.2.1. Alat	20
3.2.2. Bahan	24
3.3. Bagan Alir Penelitian	25
3.4. Prosedur Penelitian	26
3.5. Prosedur Pengujian	26
BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN	28
4.1. Prosedur Pembuatan Spesimen	28
4.2. Prosedur Pengujian	31
4.3. Hasil Pengujian	34
4.3.1. Data Hasil Pengujian Spesimen	37

4.4 Pembahasan	38
BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN	40
5.1. Kesimpulan	40
5.2. Saran	40
DAFTAR PUSTAKA	41
LAMPIRAN	
LEMBAR ASISTENSI	
DAFTAR RIWAYAT HIDUP	

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Spesifikasi Arus	15
Tabel 2.2 Spesifikasi Welding Rod	16
Tabel 3.1. Rencana pelaksanaan penelitian	19
Tabel 4.1 kekuatan rata-rata hasil pengujian tarik	37

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Skematik las Gas Metal Arc Welding	5
Gambar 2.2 Skematik las Gas Tungsten Arc Welding	6
Gambar 2.3 Skematik las <i>Submerged Arc Welding</i>	7
Gambar 2.4 Skematik las <i>Flux-Cored Arc Welding</i>	7
Gambar 2.5 Skematik las <i>Thermit Welding</i>	8
Gambar 2.6 Skematik las <i>Laser Beam Welding</i>	9
Gambar 2.7 Skematik las <i>Ultrasonic Welding</i>	9
Gambar 2.8 Skematik las <i>Friction Stir Welding</i>	10
Gambar 2.9 Skematik las <i>Diffusion Welding</i>	11
Gambar 2.10 Skematik las <i>Shielded Metal Arc Welding</i>	11
Gambar 2.11 Skematik las <i>Oxygen Acetylene Welding</i>	12
Gambar 2.12 Jenis-jenis sambungan dasar	14
Gambar 2.13 Alur sambungan las	14
Gambar 2.14 Kurva Tegangan-Regangan	18
Gambar 3.1 Mesin Las GTAW	20
Gambar 3.2 Mesin Las SMAW (Las Listrik)	20
Gambar 3.3 Elektroda (kawat las)	21
Gambar 3.4 <i>Tig Wire</i>	21
Gambar 3.5 Gas Argon	21
Gambar 3.6 Mesin Bubut	22
Gambar 3.7 Mesin Gerinda Tangan	22
Gambar 3.8 Sikat Baja	23
Gambar 3.9 Cekam Uji Tarik	23
Gambar 3.10 <i>Universal Testing Machine</i>	24
Gambar 3.11 Spesimen Uji	24
Gambar 3.12 Bagan Alir Penelitian	25
Gambar 4.1 Baja ST37	28
Gambar 4.2 Memotong Spesimen Uji	28
Gambar 4.3 Membubut Spesimen Uji	29
Gambar 4.4 Mengukur Spesimen Uji	29
Gambar 4.5 Mempersiapkan Elektroda dan <i>Tig Wire</i>	30
Gambar 4.6 Pengelasan Spesimen SMAW dan GTAW	30
Gambar 4.7 Hasil Spesimen Las SMAW dan GTAW	31
Gambar 4.8 Mesin Uji Tarik dan Kelengkapannya	31
Gambar 4.9 Pc/Komputer	32
Gambar 4.10 Cekam (<i>Jig</i>)	32
Gambar 4.11 Mengikat Spesimen	32
Gambar 4.12 Pengujian Tarik	33
Gambar 4.13 Patahan Spesimen Hasil Pengujian Tarik	33
Gambar 4.14 Hasil pengujian tarik spesimen 1 pengelasan SMAW	34
Gambar 4.15 Hasil pengujian tarik spesimen 2 pengelasan SMAW	35
Gambar 4.16 Hasil pengujian tarik spesimen 3 pengelasan SMAW	35
Gambar 4.17 Hasil pengujian tarik spesimen 1 pengelasan GTAW	36
Gambar 4.18 Hasil pengujian tarik spesimen 2 pengelasan GTAW	36
Gambar 4.19 Hasil pengujian tarik spesimen 3 pengelasan GTAW	37
Gambar 4.20 Grafik kekuatan tarik rata-rata pengelasan SMAW	38

Gambar 4.21 Grafik kekuatan tarik rata-rata pengelasan GTAW	39
Gambar 4.22 Grafik perbandingan kekuatan tarik las SMAW dan GTAW	39

DAFTAR NOTASI

Simbol	Keterangan	Satuan
mm	Milimeter	
%	Persen	
mm ²	Milimeter Persegi	
O ₂	Oksigen	
CO ₂	Karbon Dioksida	
σ	Tegangan	Kgf/mm ²
Kg	Kilogram	
N	Newton	
\emptyset	Diameter	
+	Katup Positif	
ϵ	Regangan	
E	Modulus Elastisitas	

BAB 1 PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Pengelasan (*Welding*) adalah salah satu teknik penyambungan logam dengan cara mencairkan sebagian logam induk induk dan logam pengisi dengan tekanan atau tanpa tekanan. 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, las merupakan sambungan setempat dari beberapa batang logam dengan menggunakan energi panas.

Pengelasan *bimetal* adalah proses pengelasan yang menyambungkan dua macam logam yang berbeda. Pengelasan *bimetal* mempunyai tingkat kerumitan yang lebih tinggi dibanding dengan pengelasan logam yang sejenis. Karena logam yang tidak sejenis mempunyai karakteristik yang berbeda satu sama lainnya. Sehingga proses pengelasan logam yang tidak sejenis membutuhkan beberapa teknik tertentu, misalnya pemilihan logam yang akan disambung harus tepat, pemilihan elektroda yang sesuai, pengaturan heat input yang tepat, serta pemilihan perlakuan panas pasca pengelasan yang tepat.

Pengelasan pengelasan dibagi dalam dua katagori utama, yaitu pengelasan lebur dan pengelasan padat. Pengelasan lebur menggunakan panas untuk melebur permukaan yang akan disambung, beberapa operasi menggunakan logam pengisi dan yang lain tanpa logam pengisi. Pengelasan padat proses penyambungannya menggunakan panas atau tekanan, tetapi tidak terjadi peleburan pada logam dasar dan tanpa penambahan logam pengisi.

Hasil penelitian yang dilakukan (Parekke, 2017), menunjukkan bahwa arus las berpengaruh terhadap kekuatan tarik baik pengelasan SMAW maupun GTAW. Kekuatan tarik tertinggi pada pengelasan SMAW sebesar 64,01 kgf/mm² dengan arus 70 A, dan kekuatan tarik terendah 61,97 kgf/mm² pada arus 50 A. Pengelasan GTAW kekuatan tarik tertinggi sebesar 49,54 kgf/mm² dengan arus 60 A dan kekuatan tarik terendah 46,64 kgf/mm² dengan arus 70 A. Kekerasan pengelasan SMAW tertinggi pada arus 60 A sebesar 22,7 HRC dan kekerasan terendah pada arus 50 A sebesar 16,5 HRC. Pengelasan GTAW kekerasan tertinggi pada arus 60

A sebesar 20,5 HRC dan kekerasan terendah pada arus 50 A sebesar 15,9 HRC. Struktur mikro yang terjadi pada arus 50 A didominasi oleh struktur ferit, sementara pada arus 60 A dan 70 A struktur yang terbentuk adalah perlit yang berwarna gelap.

Hasil penelitian yang dilakukan oleh (Bangun, 2006) Pengelasan *dissimilar metal welding* baja AISI 1045 dengan AISI 304 dengan variasi arus bahwa karena pengaruh elektroda Xuper 222XH. Ketika dilakukan pengujian tarik material mengalami perpatahan di daerah logam AISI 1045. Harga kekuatan tarik maksimum (R_m) dengan arus 100 A adalah $147,5 \text{ N/mm}^2$. Harga kekerasan pada daerah logam lasan (titik 0) dengan arus 100A = 195,7 VHN.

Dengan latar belakang ini, maka peneliti mengadakan penelitian sebagai tugas sarjana dengan judul: **“Studi Eksperimental Perbandingan Hasil Pengelasan Model SMAW Dan GTAW Terhadap Kekuatan Material Baja ST 37”**.

1.2. Rumusan Masalah

Dari latar belakang masalah, dapat di rumuskan masalahnya yaitu :
Bagaimana kekuatan tarik dari material baja ST 37 dengan metode pengelasan SMAW (*Shield Metal Arc Welding*) dan GTAW (*Gas Tungsten Arc Welding*) ?.

1.3. Ruang Lingkup

Agar pembahasan tidak terjebak dalam pembahasan yang tidak perlu maka dibuat batasan masalah yang meliputi :

1. Pengelasan yang dilakukan menggunakan metode pengelasan SMAW dan GTAW.
2. Bentuk ukuran dan dimensi spesimen uji sesuai dengan standar ASTM E8/E 8M – 13a
3. Pengujian yang dilakukan dengan menggunakan mesin uji tarik UTM (*Universal Testing Machine*) dengan tipe UTM-LC05T.
4. Material yang digunakan pada penelitian ini adalah baja ST 37
5. Tipe sambungan pada pengelasan dipilih dengan bentuk kampuh V
6. Pengujian yang dilakukan pada penelitian ini sebanyak 6 spesimen.

1.4. Tujuan

a. Tujuan Umum

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisa hasil kekuatan tarik spesimen yang telah dilakukan pengelasan dengan metode yang berbeda.

b. Tujuan Khusus

1. Menguji kekuatan material dari proses pengelesan SMAW dan GTAW
2. Membandingkan kekuatan pengelasan SMAW dan GTAW

1.5. Manfaat

Manfaat dari penelitian ini adalah membandingkan kekuatan tarik pengelasan SMAW dan GTAW sehingga pengelasan yang dilakukan dapat menjadi rujukan terhadap kekuatan pengelasan tersebut.

BAB 2

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Pengelasan

Pengelasan (*welding*) adalah teknik penyambungan logam dengan cara mencairkan sebagian logam induk dan logam pengisi dengan atau tanpa logam penambah dan menghasilkan logam kontinyu (Siswanto, 2011). Menurut (Tarkono, 2010) perbedaan menggunakan jenis-jenis elektrode akan mempengaruhi kekuatan tarik hasil pengelasan dan perpanjangan (*elongation*). Pada penelitian (Syahrani, 2013) melakukan variasi arus pengelasan terhadap kekuatan tarik dan bending pada baja SM 490 diperoleh perbedaan nilai kekuatan tarik dan bending. Penelitian ini menggunakan perbedaan metode pengelasan, penggunaan arus, dan jenis elektroda. Mengelas bukan hanya memanaskan dua bagian benda sampai mencair dan membiarkan membeku kembali, tetapi membuat lasan yang utuh dengan cara memberikan bahan tambah atau elektroda pada waktu dipanaskan sehingga mempunyai kekuatan seperti yang dikehendaki. Kekuatan sambungan las dipengaruhi beberapa faktor antara lain: prosedur pengelasan, bahan, elektrode dan jenis kampuh yang digunakan.

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

Ruang lingkup penggunaan teknik pengelasan dalam konstruksi sangat luas meliputi perkapalan, jembatan, rangka baja, bejana tekan, sarana transportasi, rel, pipa saluran dan lain sebagainya. Faktor yang mempengaruhi proses pengelasan adalah prosedur pengelasan itu sendiri yaitu suatu perencanaan untuk pelaksanaan penelitian yang meliputi cara pembuatan konstruksi las dan sambungan yang sesuai rencana dan spesifikasi, dengan menentukan semua hal yang diperlukan dalam pelaksanaan tersebut, sedangkan faktor produksi pengelasan adalah jadwal pembuatan, proses pembuatan, alat dan bahan yang diperlukan, urutan pelaksanaan, persiapan pengelasan meliputi : pemilihan mesin las, penunjukan juru las, pemilihan kuat arus, pemilihan elektroda, dan pemilihan jarak pengelasan serta penggunaan jenis kampuh las (Wiryo Sumarto, 2000).

2.2 Mekanisme Pengelasan

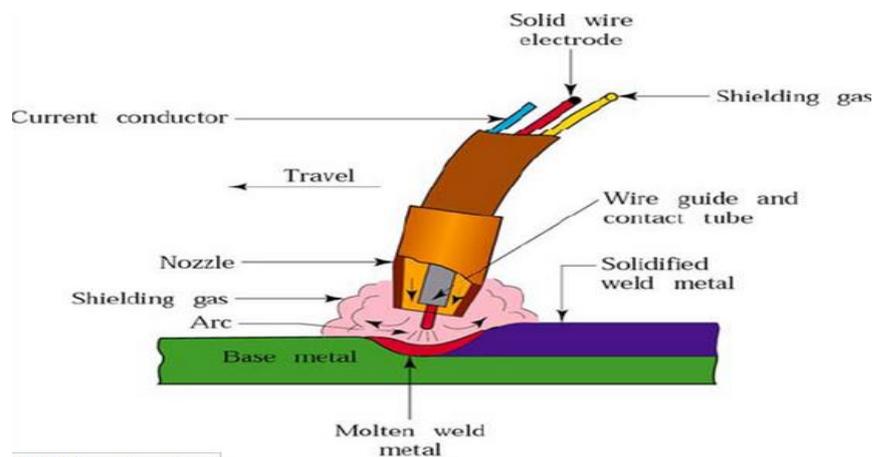
Kualitas hasil pengelasan dipengaruhi oleh energi panas yang berarti dipengaruhi tiga parameter yaitu arus las, tegangan las dan kecepatan pengelasan. Hubungan antara ketiga parameter itu menghasilkan energi pengelasan yang sering disebut heat input. Persamaan dari heat input hasil dari penggabungan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

$$HI \text{ (Heat Input)} = \frac{\text{Tegangan Las} \times \text{Arus Las}}{\text{Kecepatan Pengelasan}} \quad (1)$$

2.3 Jenis-jenis Las

a. *Gas Metal Arc Welding (GMAW)*

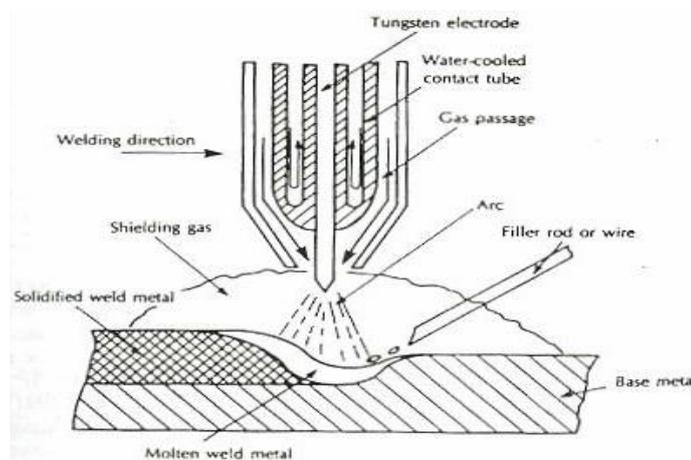
Nama lain dari proses pengelasan ini adalah metal inert gas (MIG) dimana kawat elektroda yang digunakan tidak terbungkus dan sifat suplainya yang terus-menerus. Daerah lasan terlindung dari atmosphere melalui gas yang dihasilkan dari alat las (Genculu, 2007). Gas pelindung yang digunakan adalah gas Argon, helium atau campuran dari keduanya. Untuk memantapkan busur kadang-kadang ditambahkan gas O₂ antara 2 sampai 5% atau CO₂ antara 5 sampai 20% (Wiryosumarto, 1996) seperti yang dapat dilihat pada gambar 2.1 di bawah ini.



Gambar 2.1 Skematik pengelasan *Gas Metal Arc Welding* (Wiryosumarto, 1996)

b. *Gas Tungsten Arc Welding (GTAW)*

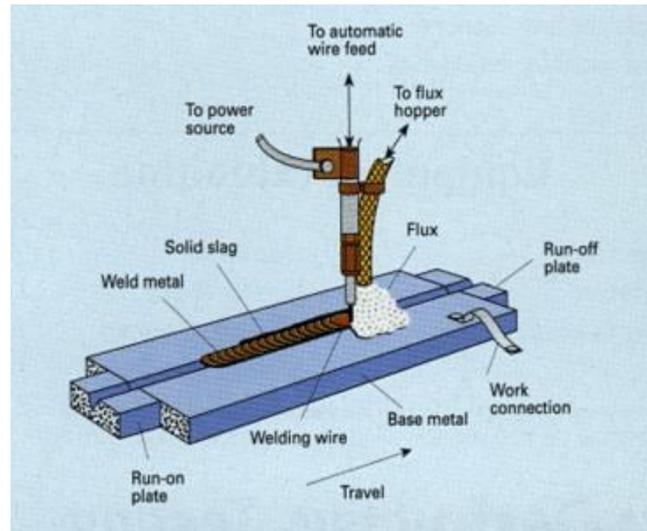
Gas tungsten arc welding (GTAW) adalah proses las busur yang menggunakan busur antara tungsten elektroda (non konsumsi) dan titik pengelasan. Proses ini digunakan dengan perlindungan gas dan tanpa penerapan tekanan. Proses ini dapat digunakan dengan atau tanpa penambahan filler metal. GTAW telah menjadi sangat diperlukan sebagai alat bagi banyak industri karena hasil las berkualitas tinggi dan biaya peralatan yang rendah skematik proses pengelasan dapat dilihat seperti gambar 2.2 di bawah ini.



Gambar 2.2 Skematik las *Gas Tungsten Arc Welding* (Wirjosumarto, 1996)

c. *Submerged Arc Welding (SAW)*

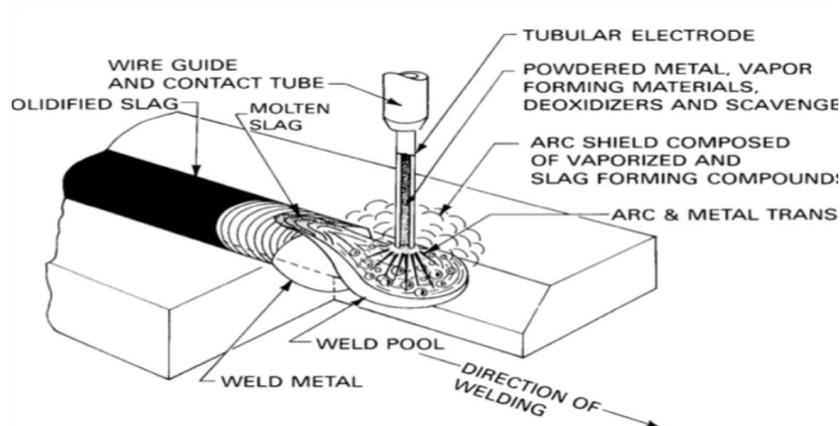
Submerged Arc Welding (SAW) adalah salah satu jenis las listrik dengan proses memadukan material yang dilas dengan cara memanaskan dan mencairkan metal induk dan elektroda oleh busur listrik yang terletak diantara metal induk dan elektroda. Arus dan busur lelehan metal diselimuti (ditimbun) dengan butiran flux di atas daerah yang dilas seperti yang terlihat pada gambar 2.3 di bawah ini.



Gambar 2.3 Skematik las *Submerged Arc Welding* (WiryoSumarto, 1996)

d. *Flux-Cored Arc Welding (FCAW)*

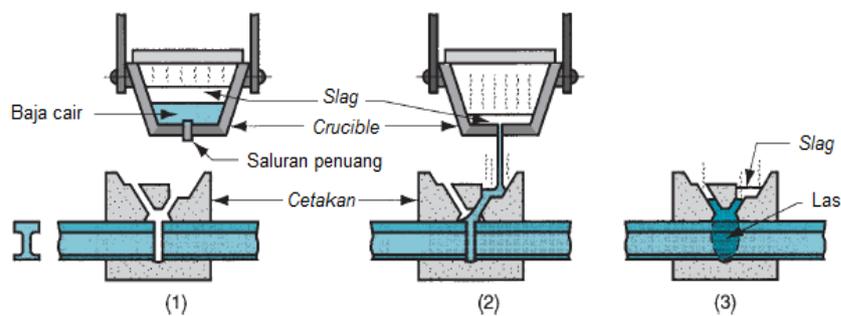
Flux cored arc welding (FCAW) merupakan las busur listrik fluk inti tengah. FCAW merupakan kombinasi antara proses SMAW, GMAW dan SAW. Sumber energi pengelasan yaitu dengan menggunakan arus listrik AC atau DC dari pembangkit listrik atau melalui trafo dan atau rectifier. FCAW adalah salah satu jenis las listrik yang memasok filler elektroda secara mekanis terus ke dalam busur listrik yang terbentuk di antara ujung filler elektroda dan metal induk. Gas pelindungnya juga sama-sama menggunakan karbon dioksida CO₂. Biasanya, pada mesin las FCAW ditambah robot yang bertugas untuk menjalankan pengelasan biasa disebut dengan super anemo seperti yang dapat dilihat pada gambar 2.4 di bawah ini.



Gambar 2.4 Skematik las *Flux-Cored Arc Welding* (WiryoSumarto, 1996)

e. *Thermit Welding* (TW)

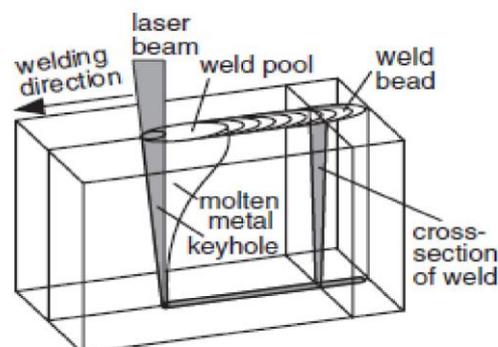
Thermit welding (TW) adalah proses pengelasan di mana panas untuk penggabungan dihasilkan dari logam cair yang berasal dari reaksi kimia *Thermit*. *Thermit* merupakan merk dagang dari *thermite*, yakni sebuah campuran serbuk aluminium dan besi oksida yang bisa menghasilkan reaksi *exothermic* ketika dibakar. Bahan tambah atau *filler* pada pengelasan ini berupa logam cair. Logam cair tersebut dituang pada sambungan yang telah dilengkapi dengan cetakan. Proses penggabungan ini lebih mirip dengan pengecoran dapat dilihat seperti pada gambar 2.5 di bawah ini.



Gambar 2.5 Skematik las *Thermit Welding* (Wiryosumarto, 1996)

f. *Laser Beam Welding* (LBW)

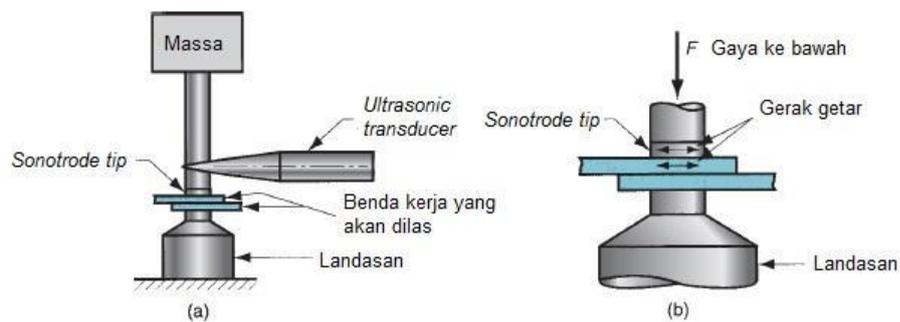
Laser beam welding (LBW) adalah proses pengelasan di mana penggabungan diperoleh dari energi yang terkonsentrasi tinggi, sorotan cahaya sederhana difokuskan pada sambungan benda kerja. Pada umumnya dioperasikan dengan gas pelindung untuk mencegah oksidasi. Gas pelindung yang digunakan contohnya adalah helium, argon, nitrogen, dan karbon dioksida. Pada LBW bahan tambah atau *filler* biasanya tidak diberikan seperti yang terlihat pada gambar 2.6 di bawah ini.



Gambar 2.6 Skematik las *Laser Beam Welding* (Wiryosumarto, 1996)

g. *Ultrasonic Welding* (USW)

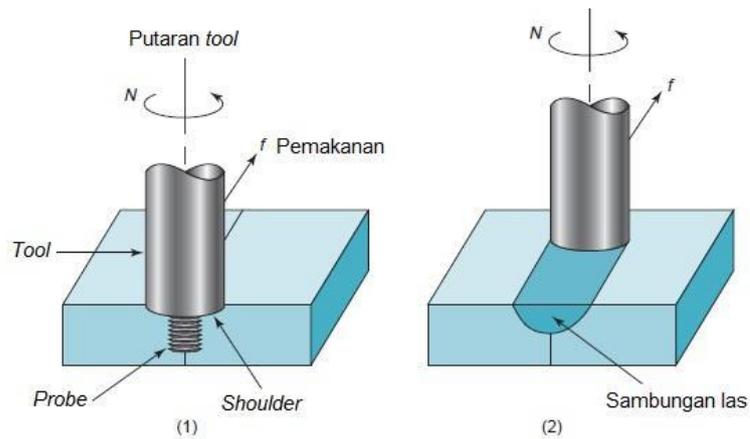
Ultrasonic welding (USW) adalah jenis pengelasan *solid-state* di mana dua benda kerja ditahan/dijepit bersamaan dan diberi getaran berfrekuensi *ultrasonic* supaya terjadi penggabungan. Gerak dari getaran melewati celah antara dua benda kerja yang dijepit secara *lap joint*. Hal tersebut mengakibatkan terjadinya kontak dan ikatan metalurgi yang kuat antara kedua permukaan benda kerja. Panas pada proses USW dihasilkan dari gesekan antar permukaan benda kerja dan deformasi plastis. Suhu panas tersebut berada di bawah titik cair benda kerja seperti yang terlihat pada gambar 2.7 di bawah ini.



Gambar 2.7 Skematik las *Ultrasonic Welding* (Wiryosumarto, 1996)

h. *Friction Stir Welding* (FSW)

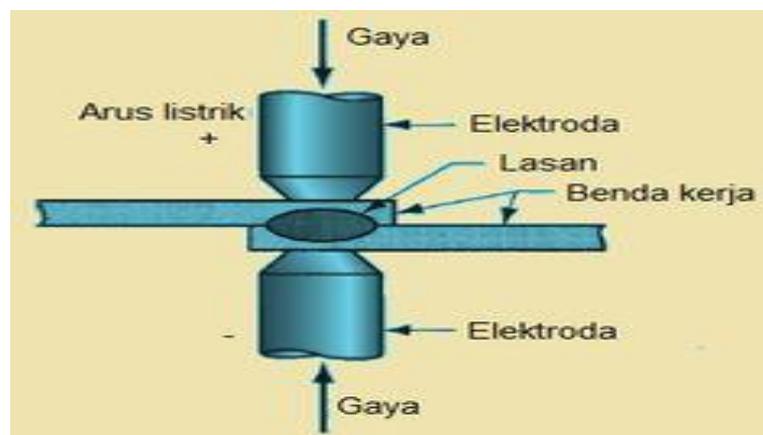
Friction stir welding (FSW) adalah proses pengelasan *solid-state* di mana sebuah *tool* yang berputar dimakamkan sepanjang garis sambungan antara dua benda kerja. *Tool* yang berputar dan dimakamkan pada garis sambungan tersebut menghasilkan panas serta secara mekanis menggerakkan (*stirring*; bentuk dasar: *stir*, sehingga diberi nama *friction stir welding*) logam untuk membentuk sambungan las seperti yang terlihat pada gambar 2.8 dibawah ini.



Gambar 2.8 Skematik las *Friction Stir Welding* (Wiryosumarto, 1996)

i. *Diffusion Welding* (DFW)

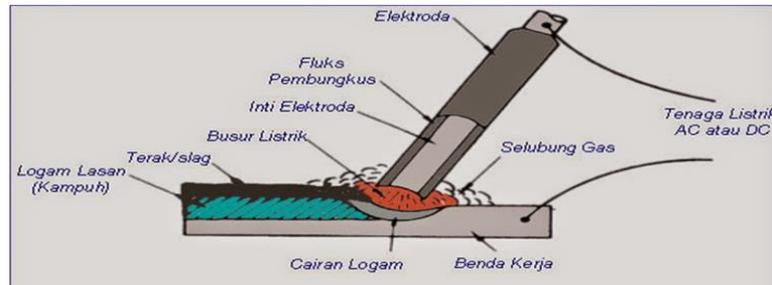
Diffusion welding (DFW) adalah proses pengelasan *solid-state* yang dihasilkan dari pemberian panas dan tekanan supaya terjadi difusi serta penggabungan. Proses tersebut biasanya dilakukan dengan atmosfer yang terkontrol dan waktu yang tepat untuk membiarkan difusi serta penggabungan terjadi. Temperatur yang digunakan sebaiknya di bawah titik cair dari logam benda kerja dan deformasi plastis yang terjadi pada permukaan benda kerja sebaiknya minimal. Mekanisme penggabungan pada *diffusion welding* terjadi dalam bentuk padat, di mana atom berpindah dan saling menyeberang di antara dua permukaan benda kerja yang saling kontak. Pengelasan ini terkadang menggunakan lapisan bahan tambah yang diletakkan di antara dua benda kerja yang akan disambung (seperti roti isi) seperti yang terlihat pada gambar 2.9 di bawah ini.



Gambar 2.9 Skematik las *Diffusion Welding* (Wiryosumarto, 1996)

j. *Shielded Metal Arc Welding (SMAW)*

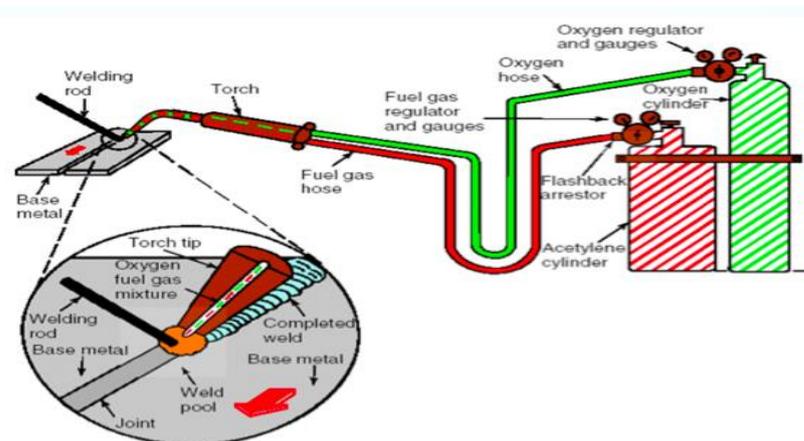
Pengelasan busur adalah pengelasan lebur dimana penyatuan logam dicapai dengan menggunakan panas dari busur listrik dapat dilihat seperti pada gambar 2.10 di bawah ini.



Gambar 2.10 Skematik las *Shielded Metal Arc Welding* (Wirjosumarto, 1996)

k. *Oxygen Asetilen Welding (OAW)*

Oxygen Asetilen Welding (OAW) suatu proses pengelasan gas yang menggunakan sumber panas nyala api melalui pembakaran gas oksigen dan gas asetilen untuk mencairkan logam dan bahan tambah. Dalam pengelasan OAW ini biasanya digunakan hanya untuk plat tipis, hal ini dikarenakan sambungan las *Oxygen Acetyline* ini mempunyai kekuatan yang rendah dibandingkan las busur listrik seperti yang dapat dilihat pada gambar 2.11 dibawah ini.



Gambar 2.11 Skematik las *Oxygen Asetilen Welding* (Wirjosumarto, 1996)

2.4 Pengelasan SMAW

Las busur listrik elektroda terlindung atau lebih dikenal dengan SMAW (*Shielded Metal Arc Welding*) merupakan pengelasan menggunakan busur nyala

listrik sebagai panas pencair logam. Busur listrik terbentuk diantara elektroda terlindung dan logam induk. Karena panas dari busur listrik maka logam induk dan ujung elektroda mencair dan membeku bersama. Dalam cara pengelasan ini digunakan kawat elektroda logam yang dibungkus dengan fluks. Busur listrik terbentuk diantara logam induk dan ujung elektroda. Karena panas dari busur ini maka logam induk dan ujung elektroda tersebut mencair dan kemudian membeku bersama.

Proses pemindahan logam elektroda terjadi pada saat ujung elektroda mencair dan membentuk butir-butir yang terbawa oleh arus busur listrik yang terjadi. Bila digunakan arus listrik yang besar maka butiran logam cair yang terbawa menjadi halus, sebaliknya bila arusnya kecil maka butirannya menjadi besar. Pola pemindahan cairan dipengaruhi oleh besar kecilnya arus seperti diterangkan diatas dan juga oleh komposisi dari bahan fluks yang digunakan. Selama proses pengelasan bahan fluks yang digunakan untuk membungkus elektroda mencair dan membentuk terak yang kemudian menutupi logam cair yang terkumpul ditempat sambungan dan bekerja sebagai penghalang oksidasi. Dalam beberapa fluks bahannya tidak dapat terbakar, tetapi berubah menjadi gas yang juga menjadi pelindung dari logam cair terhadap oksidasi dan memantapkan busur (Wiryosumarto dan Okumura, 2000).

2.4.1. Elektroda Las

Elektroda berselaput yang dipakai pada las busur listrik mempunyai perbedaan komposisi selaput maupun kawat inti. Pelapisan fluksi pada kawat inti dapat dengan cara destrusi, semprot atau celup. Ukuran standar diameter kawat inti dari 1,5 mm sampai 7 mm dengan panjang antara 350 sampai 450 mm. Jenis-jenis selaput fluksi pada elektroda misalnya selulosa, kalsium karbonat (CaCO_3), titanium dioksida (rutil), kaolin, kalium oksida mangan, oksida besi, serbuk besi, besi silikon, besi mangan dan sebagainya dengan persentase yang berbeda-beda, untuk tiap jenis elektroda. Tebal selaput elektroda berkisar antara 70% sampai 50% dari diameter elektroda tergantung dari jenis selaput. Pada waktu pengelasan, selaput elektroda ini akan turut mencair dan menghasilkan gas CO_2 yang melindungi cairan las, busur listrik dan sebagian benda kerja terhadap udara luar. Udara luar yang mengandung O_2 dan N akan dapat mempengaruhi sifat mekanik

dari logam las. Cairan selaput yang disebut terak akan terapung dan membeku melapisi permukaan las yang masih panas.

Elektroda baja lunak dan baja paduan rendah untuk las busur listrik menurut klasifikasi AWS (*American Welding Society*) dinyatakan dengan tanda E XXXX yang artinya sebagai berikut :

E : menyatakan elektroda busur listrik

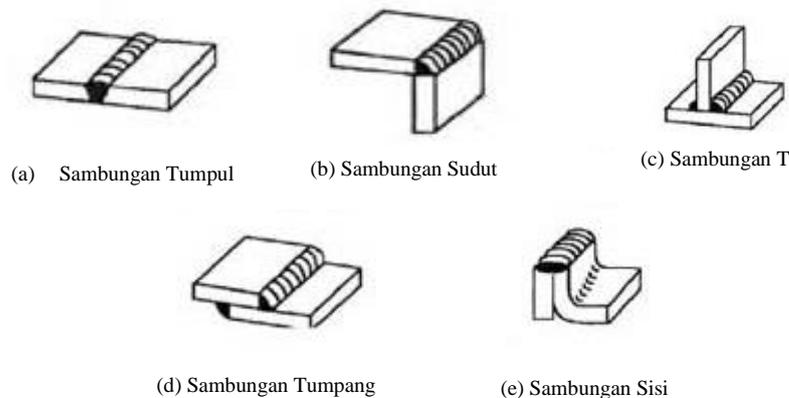
XX (dua angka setelah E) : menyatakan kekuatan tarik deposit las dalam ribuan lb/in²

X (angka ketiga) : menyatakan posisi pengelasan

X (angka keempat) : Menyatakan jenis selaput dan jenis jenis arus yang cocok dipakai untuk pengelasan

2.5 Sambungan konstruksi baja

Sambungan las dalam konstruksi baja pada dasarnya terbagi dalam sambungan tumpul, sambungan T, sambungan sudut, dan sambungan tumpang seperti yang terlihat pada gambar 2.12 dibawah ini.



Gambar 2.12 Jenis-jenis sambungan dasar (Sonawan, 2003)

Sambungan tumpul (*butt weld joint*) ialah bentuk sambungan dimana kedua bidang yang akan disambung berhadapan satu sama lain, tetapi sebelumnya dilakukan pengerjaan terhadap bidang sambungan tersebut untuk membentuk kampuh las, agar didapatkan hasil sambungan pengelasan yang kuat (Suryana, 1998). Jenis kampuh sambungan tumpul (*butt joint*) dapat dilihat pada gambar 2.13 dibawah ini.

Jenis las Jenis alur	Lasan dengan alur		
	Lasan Penetrasi penuh tanpa pelat penahan	Lasan penetrasi penuh dengan pelat penahan	Lasan penetrasi sebagian
Persegi (I)			
V tunggal (V)			
Tirus tunggal (V)			
U tunggal (U)		—	
V ganda (X)		—	
Tirus ganda (K)		—	
U ganda (H) (DU)		—	
J tunggal (J)		—	
J ganda (DJ)		—	

Gambar 2.13 Alur sambungan las (Wirjosumarto, 1996)

2.6 Elektroda Las

a. Elektroda terbungkus

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

Elektroda adalah bagian ujung (yang berhubungan dengan benda kerja) rangkaian penghantar arus listrik sebagai sumber panas (Alip, 1989).

Spesifikasi arus menurut tipe elektroda dan kuat arus dari elektroda untuk *carbon steel* dan *stainless steel* berdasarkan diameter yang digunakan terdapat pada tabel 2.1 dibawah ini.

Tabel 2.1 Spesifikasi Arus Menurut Tipe Elektroda dan Diameter dari Elektroda (Nikko Steel index, 1994).

Diameter (mm)	Tipe elektroda dan <i>Ampere</i> yang digunakan			
	E 309-16	E 309L-16	E 309LMo-16	E 309Nb-16
2	50 – 70	35 – 80	35 – 80	35 – 80
2.6	70 – 110	65 – 100	65 – 100	65 – 100
3.2	110 – 130	80 – 125	80 – 125	80 – 125
4	120 – 150	120 – 170	120 – 170	120 – 170
5	160 – 210	160 – 210	160 – 210	160 – 210

b. Elektroda GTAW (*Welding Rod*)

Kawat las atau bahan tambah yang digunakan untuk pengelasan GTAW ini bermacam macam, ada tipe ER 70 S, ER 308 L – 16, ER 309 Mo L, ER 309 Mo L-16/17, ER 316 L – 16, ER 312 – 16. Semua jenis Welding rod tersebut dapat diaplikasikan pada pengelasan baja maupun jenis material yang tahan korosi.

Dalam pemilihan tungsten elektroda GTAW juga bermacam macam, pemilihan tersebut disesuaikan dengan jenis material yang digunakan. Oleh karena itu tidak boleh sembarangan dalam memilih tungsten agar hasil lasan yang dihasilkan dapat maksimal dan sesuai dengan standar pengelasan. Berikut ini spesifikasi dalam pemilihan tungsten elektroda GTAW dapat dilihat pada tabel 2.2 dibawah ini.

Tabel 2.2 Spesifikasi *Welding Rod*

Type	Colour	Size (mm)	Features
Pure Tungsten	Green	0.8	- Non-Radioactive ; suitable for AC welding of aluminium, magnesium and their alloy
		1.5	
Thoriated Tungsten	Yellow	0.8	- excellent electron emission and overall performance; high current-carrying capacity; radioactive; suitable for DC welding of carbon steel, stainless steel, nickel alloy, titanium allor
		1.5	
	Red	0.8	
		1.5	
Lanthanum Tungsten	Black	0.8	- Non-Radioactive; excellent electric conductivity and welding capacity; high current-carrying capacity; minimum ratio of burnt area; substitute for thoriatedtungsten electrode; mainly used in DC welding
		1.5	
	Golden Yellow	0.8	
		1.5	
Cerium Tungsten	Blue	0.8	- Non-Radioactive; easier arc initiation under low current circumstances, and low arc-maintaining current; suitable for the weding of pipelines, small components and discontinuous welding
		1.5	
	Pink	0.8	
		1.5	
Orange	0.8	-	
	1.5		
Grey	0.8	-	
	1.5		
Yttrium Tungsten	Sky Blue	0.8	- Non-Radioactive; long and slim arc beam with high compression; deeper burning groove under medium and high current circumstances
		1.5	

Compound Tungsten	Rare Earth Cyan	0.8 1.5	-	compound rare-earth tungsten electrode; different additives contributing to better performance of tungsten electrode
-------------------	-----------------	------------	---	--

2.7 Kelebihan dan Kekurangan

2.7.1 Kelebihan Pengelasan SMAW

1. Dapat dipakai dimana saja didalam air maupun di luar air
2. Pengelasan dengan segala posisi.
3. Elektroda tersedia dengan mudah dalam banyak ukuran dan diameter.
4. Perlatan yang digunakan sederhana, murah dan mudah dibawa kemana-mana.
5. Tingkat kebisingan rendah.
6. Tidak terlalu sensitif terhadap korosi, oli & gemuk.
7. Dapat di kerjakan pada ketebalan berapapun

2.7.2 Kekurangan Pengelasan SMAW

1. Pengelasan terbatas hanya sampai sepanjang elektoda dan harus melakukan penyambungan.
2. Setiap akan melakukan pengelasan berikutnya flag harus dibersihkan.
3. Tidak dapat digunakan untuk pengelasan bahan baja non – ferrous.
4. Efisiensi endapan rendah

2.7.3 Kelebihan Pengelasan GTAW

1. Hasil pengelasan tidak perlu dibersihkan karena tidak menghasilkan slag.
2. Aliran gas menjadikan daerah disekitar cairan logam tidak mengandung udara sehingga mencegah pengotoran oleh nitrogen dan oksigen,yang dapat menyebabkan oksidasi.
3. Hasil lasan lebih kuat karena dapat penetrasi yang dalam dan ketahanan korosi lebih tinggi.
4. Hasil pengelasan sangat bersih.
5. Proses pengelasan dapat diamati dengan mudah, asap yang timbul tidak banyak.

6. Jarang terjadi deformasi karena pusat panas sangat kecil.
7. Tidak menghasilkan spatter atau percikan las sehingga lasan lebih bersih.

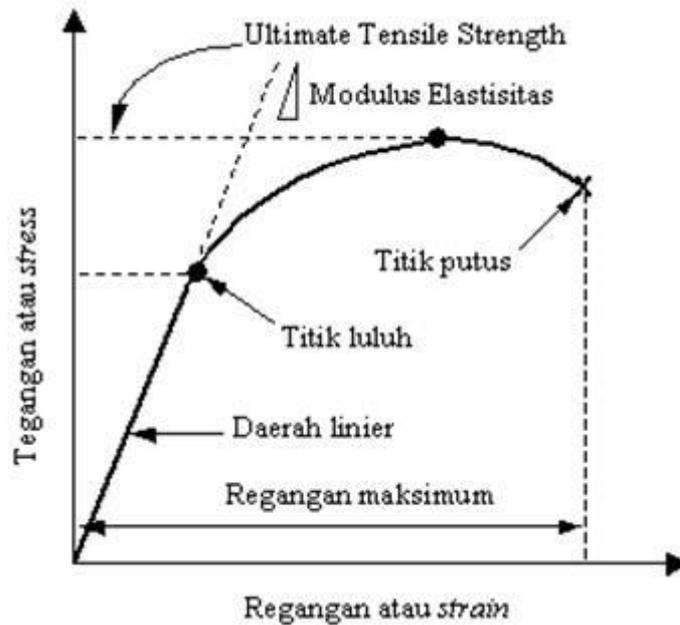
2.7.4 Kekurangan Pengelasan GTAW

1. Untuk efisiensi kecepatan las GTAW rendah.
2. Saat proses pengelasan berlangsung dapat terjadi *burnback*.
3. Cacat las porositas atau lubang-lubang kecil sering terjadi jika gas pelindung permukaan pengelasan tidak dapat melindungi secara maksimal.
4. Dapat terjadi *tungsten inclusion*.

2.8. Kekuatan Tarik

Kekuatan tarik (*Tensile Strength, Ultimate Tensile Strength*) adalah tegangan maksimum yang bias ditahan oleh sebuah bahan ketika diregangkan atau ditarik, sebelum bahan tersebut patah. Kekuatan tarik adalah kebalikan dari kekuatan tekan, dan nilainya bisa berbeda. Beberapa bahan dapat patah begitu saja tanpa mengalami deformasi, yang berarti benda tersebut bersifat rapuh atau getas (*brittle*). Bahan lainnya akan meregang dan mengalami deformasi sebelum patah, yang disebut dengan benda elastis (*ductile*).

Kekuatan tarik umumnya dapat dicari dengan melakukan uji tarik dan mencatat perubahan regangan dan tegangan. Titik tertinggi dari kurva tegangan-regangan disebut dengan kekuatan tarik maksimum (*ultimate tensile strength*) nilainya tidak bergantung pada ukuran bahan, melainkan karena faktor jenis bahan. Faktor lainnya yang dapat mempengaruhi seperti keberadaan zat pengotor dalam bahan, temperatur dan kelembaban lingkungan pengujian, dan penyiapan spesimen seperti yang dapat dilihat pada gambar 2.14 di bawah ini.



Gambar 2.14 Kurva Tegangan-Regangan (Beumer, 1985)

2.9. Baja ST37

Baja adalah paduan antara besi (Fe) dan karbon (C) dengan adanya penambahan paduan lainnya. Baja yang paling banyak digunakan sebagai hasil akhir adalah komponen otomotif, tranformer listrik dan untuk proses manufaktur lainnya seperti proses pembuatan lembaran besi, proses ekstrusi dan lain-lain. Dasar pemakaian baja seiring dengan terus berkembangnya sebuah industri otomotif dan kebutuhan masyarakat dengan kendaraan bermotor, komponen permesinan, ban konstruksi dan bidang lainnya terutamanya didasarkan sifat mekaniknya jika suatu logam yang sangat keras sulit dalam pembentukannya. Kemampuan pengerasan sebuah baja memiliki rentangan yang sangat besar sehingga dapat disesuaikan pada sifat mekanik yang sesuai dengan yang diinginkan dari baja itu (Troxell, 1998).

Baja karbon rendah (low carbon steel) mempunyai karbon kurang dari 0,30% sehingga memiliki sifat lunak dan juga memiliki kekuatan yang lemah dibandingkan dengan baja karbon menengah dan baja karbon tinggi akan tetapi baja karbon rendah memiliki sifat ulet dan tangguh yang sangat baik. Baja karbon rendah memiliki kandungan karbon yaitu kurang dari 0,30% perlu perlakuan tambahan jika ingin melakukan modifikasi material atau ingin dilakukan pengerasan material. Pada umumnya baja dengan kandungan karbon diatas 0,30% bisa langsung

dikeraskan, namun untuk kandungan sebuah karbon dibawah 0,30% melalui proses penambahan karbon terlebih dahulu. Dengan sifat-sifat yang dimiliki baja karbon rendah, maka baja karbon rendah dapat dipergunakan sebagai baja-baja plat atau sirip, untuk bahan body kendaraan, untuk konstruksi bangunan jembatan, untuk dibuat sebagai baut, untuk bahan pipa.

2.9.1 Jenis-Jenis Baja

a. Baja Karbon Rendah

Baja karbon rendah memiliki kandungan karbon 0,10% s/d 0,30%. Baja karbon rendah ini diaplikasikan dalam pembuatan baja strip, baja batangan atau profil dan plat baja.

b. Baja Karbon Menengah

Baja karbon ini digunakan sebagai keperluan alat perkakas bagian mesin berdasarkan total karbon yang terdapat dalam baja ini maka baja karbon dapat digunakan sebagai keperluan-keperluan industri.

c. Baja Karbon Tinggi

Baja karbon tinggi mengandung kadar carbon antara lain 0,60 % s/d 1,7 % C dan setiap satu ton baja karbon tinggi memiliki karbon sebesar 70 – 130 Kg. Baja ini memiliki tegangan Tarik tinggi dan banyak digunakan untuk material peralatan. Contoh aplikasi dari baja ini dalam pembuatan kabel baja dan kawat.

d. Baja Paduan rendah

Baja paduan rendah di klasifikasi dan di bedakan jenis unsur paduannya. Baja paduan rendah diklasifikasi sebagai baja karbon yang memiliki unsur paduan seperti nikel, *chromium* dan *molybdenum*. Jumlah total unsur yang terdapat pada paduannya mencapai 2,07 % - 2,5 % .

e. Baja Paduan Tinggi

Baja paduan tinggi adalah baja yang memiliki kandungan elemen paduan sebanyak lebih dari 8 %. Yang termasuk dalam baja paduan tinggi contohnya adalah *stainless steel*, baja tahan aus, baja tahan panas, *tool steel*, dan baja berkekuatan tinggi.

BAB 3 METODOLOGI

3.1 Tempat dan Waktu Penelitian

a. Tempat

Tempat pelaksanaan dan pembuatan penelitian ini dilaksanakan di Laboratorium Proses Produksi dan Laboratorium Mekanika Kekuatan Material Program Studi Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara, jalan Kapten Mukhtar Basri No.3 Medan.

b. Waktu

Proses pelaksanaan penelitian ini dilakukan selama 6 bulan, dimulai dari Juni 2019 sampai dengan Maret 2020.

Tabel 3.1. Rencana pelaksanaan penelitian

No	Kegiatan	Bulan					
		1	2	3	4	5	6
1	Studi Literatur	■	■				
2	Survey Bahan		■	■			
3	Pembuatan Spesimen Uji			■	■	■	
4	Proses Pengelasan Spesimen				■	■	
5	Pengujian Spesimen					■	■
6	Penyelesaian / penulisan Skripsi						■
7	Seminar						■

3.2 Alat dan Bahan

3.2.1 Alat

1. Mesin Las GTAW

Mesin las ini digunakan sebagai alat untuk menyambung logam yang akan menjadi perbandingan pada penelitian ini seperti yang terlihat pada gambar 3.1.



Gambar 3.1 Mesin Las GTAW

2. Mesin Las SMAW

Mesin las listrik ini digunakan untuk mengelas / menyambung spesimen yang akan diuji kekuatannya dengan cara ditarik, mesin ini memiliki spesifikasi *input power* sebesar 220v / 1 phase / 50 Hz, *rated input current* 20,4 A, *output current* 5-160A seperti yang terlihat pada gambar 3.2.



Gambar 3.2 Mesin Las SMAW (Las Listrik)

3. Elektroda (kawat las)

Kawat Las digunakan sebagai material logam pengisi pada proses pengelasan spesimen uji dengan spesifikasi diameter 2.0 mm, 2.6 mm dan 3.2 mm, dengan spesifikasi seperti yang terlihat pada gambar 3.3.



Size (mm)	Diameter	2.0	2.6	3.2	4.0
	Length	300	350	350	400
Current Range (Amp)		25 ~ 60	60 ~ 110	80 ~ 140	120 ~ 190

Gambar 3.3 Elektroda (kawat las)

4. Tig Wire

Tig Wire digunakan sebagai logam pengisi pada proses pengelasan GTAW dengan cara mencairkan logam yang memiliki spesifikasi seperti yang terlihat pada gambar 3.4.



TIG WIRE			
TYPE	CRG-32B3	LOT NO.	18-6115
STANDARD	GB/T 8110 ER62-83 AWS A5 28 FR96383	N.W.	5 Kg
SIZE	mm	DATE	

Gambar 3.4 Tig Wire

5. Gas Argon

Gas Argon pada pengelasan GTAW digunakan sebagai gas lindung untuk mencegah terjadinya oksidasi pada bahan las yang panas seperti yang terlihat pada gambar 3.5.



Gambar 3.5 Gas Argon

6. Mesin Bubut

Mesin bubut digunakan sebagai alat untuk membuat spesimen sesuai dengan bentuk dan ukuran yang telah ditentukan oleh standar ASTM E8/E 8M – 13a seperti yang terlihat pada gambar 3.6.



Gambar 3.6 Mesin Bubut

7. Mesin Gerinda tangan

Mesin gerinda tangan digunakan untuk menghilangkan sisa-sisa las pada spesimen yang telah disambung menggunakan metode pengelasan seperti yang terlihat pada gambar 3.7.



Gambar 3.7 Mesin Gerinda Tangan

8. Sikat Baja

Sikat baja ini digunakan untuk membersihkan sisa sisa pengelasan (terak) pada spesimen hasil pengelasan seperti yang terlihat pada gambar 3.8.



Gambar 3.8 Sikat Baja

9. Cekam Uji Tarik

Cekam ini digunakan sebagai pengikat spesimen pada saat melakukan pengujian tarik terhadap spesimen hasil pengelasan seperti yang terlihat pada gambar 3.9.



Gambar 3.9 Cekam Uji Tarik

10. Mesin Uji Tarik (*Universal Testing Machine*)

Universal Testing Machine pada penelitian ini digunakan sebagai alat yang akan menguji kekuatan pengelasan dengan cara ditarik seperti yang terlihat pada gambar 3.10.



Gambar 3.10 *Universal Testing Machine*

3.2.2 Bahan

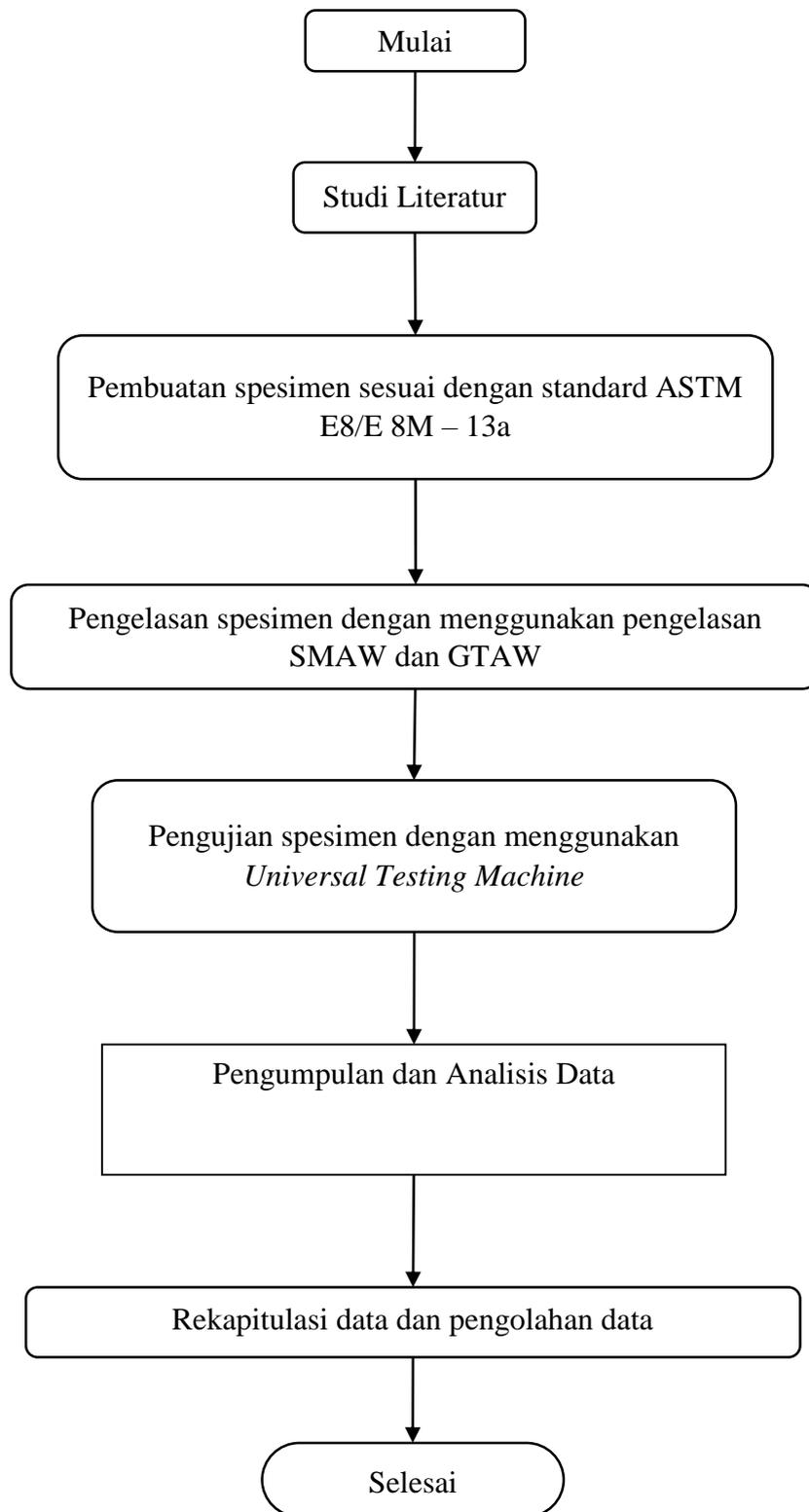
11. Spesimen

Dalam penelitian ini bahan yang digunakan adalah baja ST37. Ukuran spesimen dibentuk sesuai dengan ASTM E8 / E 8M – 13a, spesimen uji dapat dilihat seperti pada gambar 3.11.



Gambar 3.11 Spesimen Uji

3.3. Bagan Alir Penelitian



Gambar 3.12 Bagan Alir Penelitian

3.4 Prosedur Penelitian

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

1. Mempersiapkan bahan yang akan digunakan sebagai spesimen dengan jenis baja konstruksi dengan bahan baja ST 37
2. Memotong bahan yang akan dijadikan sebagai spesimen uji menggunakan mesin gerinda tangan
3. Membubut Spesimen uji sesuai dengan bentuk dan ukuran sesuai standar ASTM E8/E 8M – 13a
4. Mengukur diameter benda kerja hasil pembubutan dengan diameter 6 mm, panjang 30 mm dan radius 6 mm
5. Mempersiapkan kawat las berdiameter 2.6 mm dengan penggunaan arus sebesar 75 Ampere dan diameter *filler* pengisi 2.0 mm dengan arus pengelasan GTAW 90 Ampere.
6. Mengelas spesimen uji menggunakan mesin las listrik (SMAW) dan Tig (GTAW)
7. Melakukan pengujian tarik menggunakan mesin UTM (*Universal Testing Machine*), alat ini dipilih karena cara pengujiannya yang cukup sederhana untuk dilakukan dengan cara menarik suatu bahan untuk mengetahui bahan tersebut bereaksi terhadap tarikan sampai sejauh mana material bertambah panjang

3.5 Prosedur Pengujian

1. Mempersiapkan mesin uji tarik dan kelengkapannya mesin uji tarik yang digunakan pada penelitian ini memiliki kapasitas 5000 Kgf.
2. Mempersiapkan PC/Komputer yang akan digunakan untuk mendapatkan data hasil pengujian dari pengujian tarik
3. Mempersiapkan spesimen yang akan diuji setelah spesimen di las
4. Mempersiapkan cekam (*Jig*) sebagai alat untuk mengikat spesimen
5. Mengikat spesimen pada cekam yang ada pada mesin uji tarik
6. Melakukan pengujian tarik terhadap spesimen yang telah di las menggunakan mesin uji tarik (*Universal Testing Machine*)

7. Menyatukan patahan spesimen yang telah dilakukan pengujian tarik untuk mengukur perubahan panjang yang terjadi.

BAB 4

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1. Prosedur Pembuatan Spesimen

1. Mempersiapkan bahan dan material yang telah ditentukan, bahan yang digunakan berupa baja ST 37, bahan ini dipilih karena menurut hasil pengukuran menunjukkan bahwa baja ST 37 termasuk kedalam jenis material yang sensitif terhadap laju regangan, dimana regangan luluh material meningkat dengan naiknya laju regangan pada material seperti yang terlihat pada gambar 4.1.



Gambar 4.1 Baja ST37

2. Memotong spesimen uji untuk mempermudah proses pembubutan seperti yang terlihat pada gambar 4.2.



Gambar 4.2 Memotong Spesimen Uji

3. Membuat spesimen uji menggunakan mesin bubut, tahapan pemotongan dilakukan dengan menggunakan mesin bubut seperti yang terlihat pada gambar 4.3.



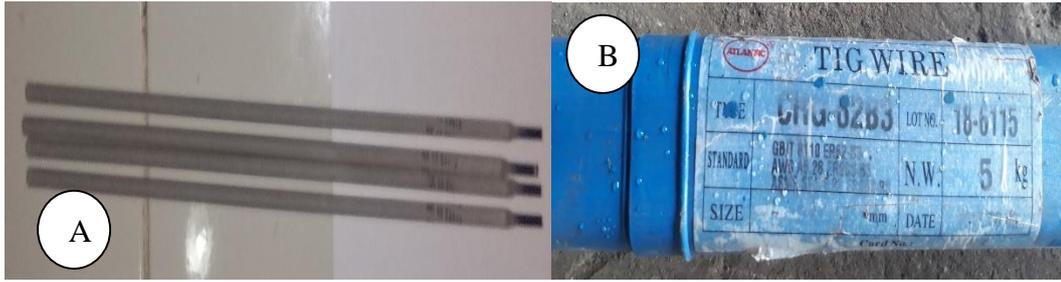
Gambar 4.3 Membubut Spesimen Uji

4. Mengukur diameter benda kerja hasil pembubutan dengan diameter 6 mm, panjang 30 mm dan radius 6 mm, ukuran yang digunakan mengikuti ketentuan standar ASTM E8/E 8M – 13a



Gambar 4.4 Mengukur Spesimen Uji

5. Mempersiapkan kawat las berdiameter 2.6 mm untuk pengelasan SMAW dan *tig wire* pengisi 2.0 mm untuk pengelasan GTAW.



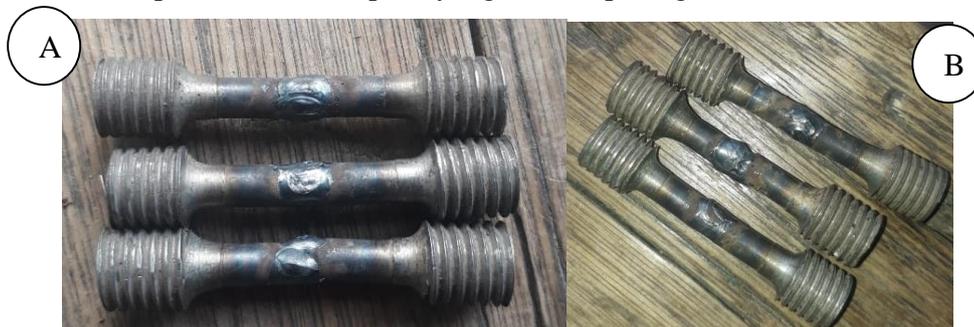
Keterangan : A. Kawat Las SMAW, B. Tig Wire GTAW
 Gambar 4.5 Mempersiapkan Elektroda dan Tig Wire

6. Mengelas Spesimen menggunakan pengelasan SMAW dan GTAW, pengelasan jenis ini dipilih sebagai bahan untuk menentukan pengelasan yang baik untuk sebuah material pada saat pemilihan metode pengelasan seperti yang terlihat pada gambar 4.6.



Keterangan : A. SMAW, B. GTAW
 Gambar 4.6 Pengelasan Spesimen SMAW dan GTAW

7. Hasil pengelasan antara kedua spesimen tersebut memiliki perbedaan yang tidak dapat dibedakan seperti yang terlihat pada gambar 4.7.



Keterangan : A. Spesimen GTAW B. Spesimen SMAW
 Gambar 4.7 Hasil Spesimen Las SMAW dan GTAW

4.2 Prosedur Pengujian

1. Mempersiapkan mesin uji tarik UTM (*Universal Testing Machine*) dengan tipe UTM-LC05T dan kelengkapannya seperti yang terlihat pada gambar 4.8.



Gambar 4.8 Mesin uji tarik dan kelengkapannya

2. Mempersiapkan PC/Komputer yang akan digunakan untuk mendapatkan data hasil pegujian dari pengujian tarik seperti yang terlihat pada gambar 4.9.



Gambar 4.9 Pc/Komputer

3. Mempersiapkan cekam (*Jig*) sebagai alat untuk mengikat spesimen seperti yang terlihat pada gambar 4.10.



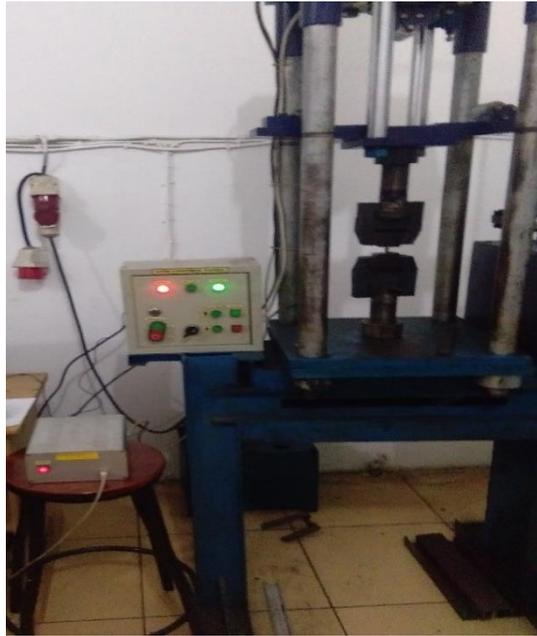
Gambar 4.10 Cekam (*Jig*)

4. Mengikat spesimen pada cekam yang ada pada mesin uji tarik seperti yang terlihat pada gambar 4.11.



Gambar 4.11 Mengikat spesimen

5. Melakukan pengujian tarik terhadap spesimen yang telah di las menggunakan mesin uji tarik (*Universal Testing Material*) seperti yang terlihat pada gambar 4.12.



Gambar 4.12 Pengujian tarik

- Menyatukan patahan spesimen yang telah dilakukan pengujian tarik untuk mengukur perubahan panjang yang terjadi seperti yang terlihat pada gambar 4.13



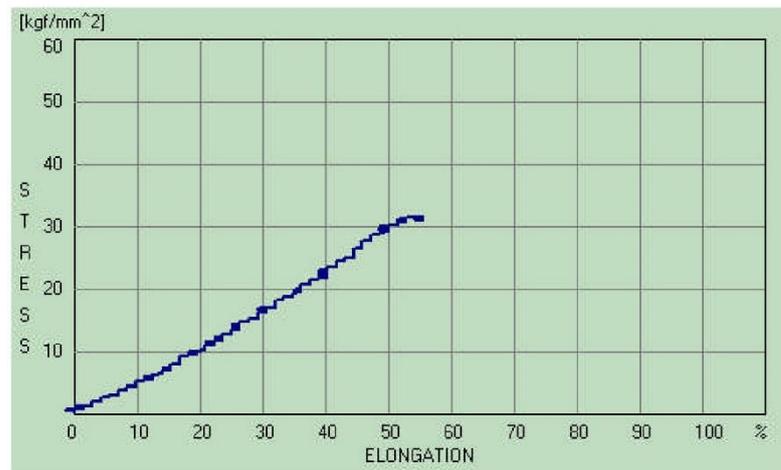
Keterangan : A. Patahan Spesimen SMAW, B. Patahan Spesimen GTAW
Gambar 4.13 Patahan spesimen hasil pengujian tarik

4.3 Hasil

Pada bab ini akan ditampilkan pengolahan data hasil penelitian yang akan dibahas sesuai dengan data yang diperoleh. Data yang ditampilkan meliputi data hasil pengujian kekuatan yang didapatkan dari hasil pengujian tarik dengan menggunakan *Universal Testing Machine* dengan tipe UTM-LC05T yang ada di Laboratorium Mekanika Kekuatan Material Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara Program Studi Teknik Mesin Fakultas Teknik.

1. Spesimen 1 las SMAW

Hasil pada gambar 4.14 merupakan hasil yang didapatkan dari spesimen 1 pada pengelasan SMAW yang telah dilakukan pengujian tarik, dari gambar tersebut didapatkan hasil berupa *yield strength* sebesar 0,88 Kgf/mm², *tensile strength* 31,22 Kgf/mm², *elongation* sebesar 55,56 % dengan pengujian tarik yang dilakukan sebesar 2500 Kgf.



Gambar 4.14 Hasil pengujian tarik spesimen 1 pengelasan SMAW

Gambar 4.14 merupakan hasil pengujian yang dilakukan dengan *Universal Tensile Machine* dengan pengelasan SMAW pada spesimen 1, hasil tersebut didapatkan melalui perhitungan sebagai berikut :

a. Luas Penampang

$$A = \pi r^2 = 3,14 \times 3^2 \text{ mm} = 28,26 \text{ mm}^2$$

b. Stress

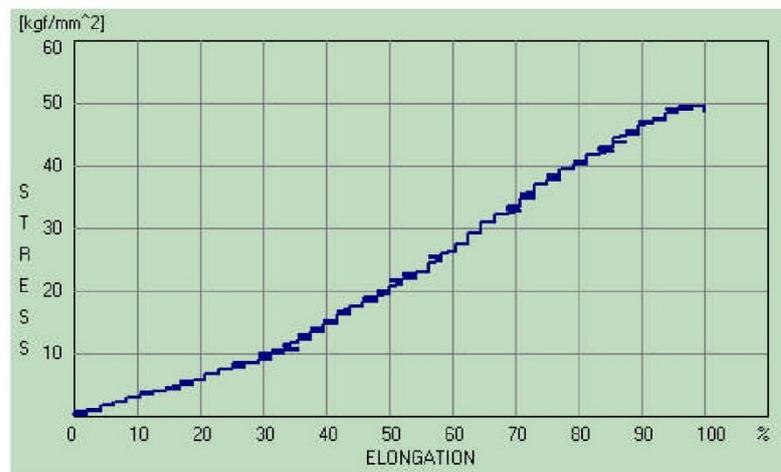
$$\sigma = \frac{F}{A} = \frac{882,77 \text{ Kgf}}{28,26 \text{ mm}^2} = 31,23 \text{ Kgf} / \text{mm}^2$$

c. Strain

$$\varepsilon = \frac{\Delta x}{x} = \frac{2}{30} = 0,06mm$$

2. Spesimen 2 las SMAW

Hasil pada gambar 4.15 merupakan hasil yang didapatkan dari spesimen 2 pada pengelasan SMAW yang telah dilakukan pengujian tarik, dari gambar tersebut didapatkan hasil berupa *yield strength* sebesar 0,88 Kgf/mm², *tensile strength* 49,71 Kgf/mm², *elongation* sebesar 100 % dengan pengujian tarik yang dilakukan sebesar 2500 Kgf.



Gambar 4.15 Hasil pengujian tarik spesimen 2 pengelasan SMAW

Gambar 4.15 merupakan hasil pengujian yang dilakukan dengan *Universal Tensile Machine* dengan pengelasan SMAW pada spesimen 2, hasil tersebut didapatkan melalui perhitungan sebagai berikut :

a. Luas Penampang

$$A = \pi r^2 = 3,14 \times 3^2 \text{ mm} = 28,26 \text{ mm}^2$$

b. Stress

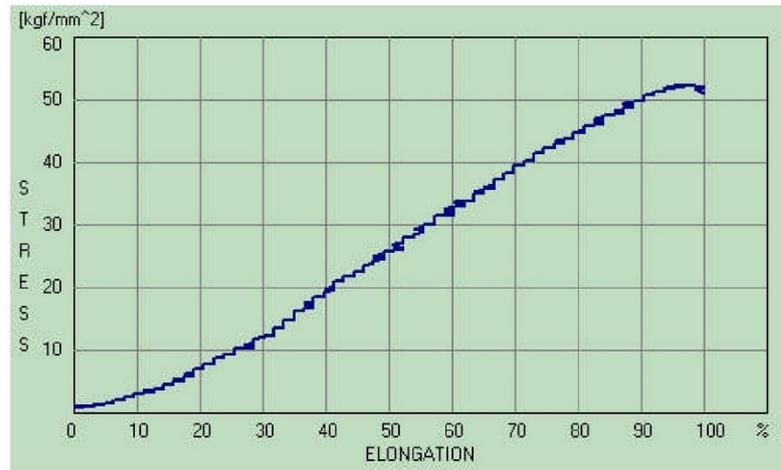
$$\sigma = \frac{F}{A} = \frac{1405,45 \text{ Kgf}}{28,26 \text{ mm}^2} = 49,73 \text{ Kgf} / \text{mm}^2$$

c. Strain

$$\varepsilon = \frac{\Delta x}{x} = \frac{2}{30} = 0,06mm$$

3. Spesimen 3 las SMAW

Hasil pada gambar 4.16 merupakan hasil yang didapatkan dari spesimen 3 pada pengelasan SMAW yang telah dilakukan pengujian tarik, dari gambar tersebut didapatkan hasil berupa *yield strength* sebesar 0,88 Kgf/mm², *tensile strength* 52,43 Kgf/mm², *elongation* sebesar 100 % dengan pengujian tarik yang dilakukan sebesar 2500 Kgf.



Gambar 4.16 Hasil pengujian tarik spesimen 3 pengelasan SMAW

Gambar 4.16 merupakan hasil pengujian yang dilakukan dengan *Universal Tensile Machine* dengan pengelasan SMAW pada spesimen 3, hasil tersebut didapatkan melalui perhitungan sebagai berikut :

a. Luas Penampang

$$A = \pi r^2 = 3,14 \times 3^2 \text{ mm} = 28,26 \text{ mm}^2$$

b. Stress

$$\sigma = \frac{F}{A} = \frac{1482,80 \text{ Kgf}}{28,26 \text{ mm}^2} = 52,47 \text{ Kgf} / \text{mm}^2$$

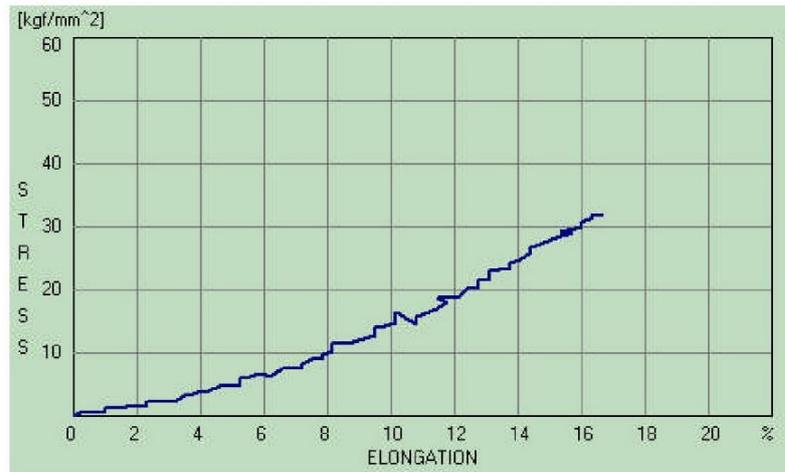
c. Strain

$$\varepsilon = \frac{\Delta x}{x} = \frac{2}{30} = 0,06 \text{ mm}$$

4. Spesimen 1 las GTAW

Hasil pada gambar 4.17 merupakan hasil yang didapatkan dari spesimen 1 pada pengelasan GTAW yang telah dilakukan pengujian tarik, dari gambar tersebut didapatkan hasil berupa *yield strength* sebesar 0,18 Kgf/mm², *tensile strength* 31,88

Kgf/mm², *elongation* sebesar 16,67 % dengan pengujian tarik yang dilakukan sebesar 2500 Kgf.



Gambar 4.17 Hasil pengujian tarik spesimen 1 pengelasan GTAW

Gambar 4.17 merupakan hasil pengujian yang dilakukan dengan *Universal Tensile Machine* dengan pengelasan GTAW pada spesimen 1, hasil tersebut didapatkan melalui perhitungan sebagai berikut :

a. Luas Penampang

$$A = \pi r^2 = 3,14 \times 3^2 \text{ mm} = 28,26 \text{ mm}^2$$

b. Stress

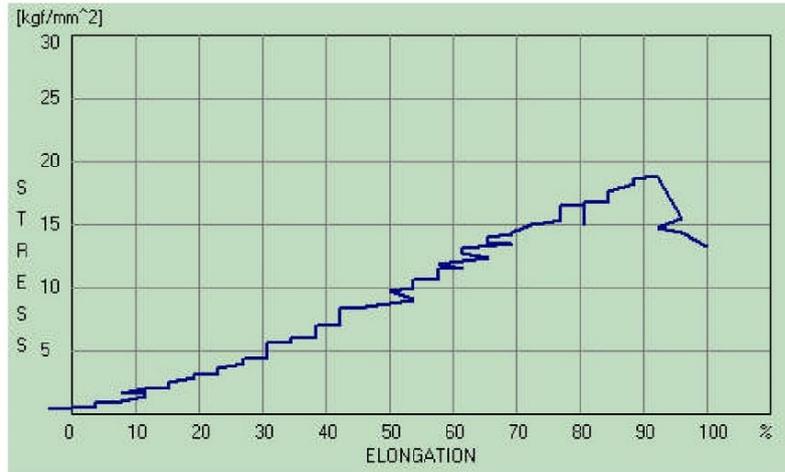
$$\sigma = \frac{F}{A} = \frac{901,34 \text{ Kgf}}{28,26 \text{ mm}^2} = 31,89 \text{ Kgf} / \text{mm}^2$$

c. Strain

$$\varepsilon = \frac{\Delta x}{x} = \frac{1,2}{30} = 0,04 \text{ mm}$$

5. Spesimen 2 las GTAW

Hasil pada gambar 4.18 merupakan hasil yang didapatkan dari spesimen 2 pada pengelasan GTAW yang telah dilakukan pengujian tarik, dari gambar tersebut didapatkan hasil berupa *yield strength* sebesar 0,88 Kgf/mm², *tensile strength* 18,84 Kgf/mm², *elongation* sebesar 100 % dengan pengujian tarik yang dilakukan sebesar 2500 Kgf.



Gambar 4.18 Hasil pengujian tarik spesimen 2 pengelasan GTAW

Gambar 4.18 merupakan hasil pengujian yang dilakukan dengan *Universal Tensile Machine* dengan pengelasan GTAW pada spesimen 2, hasil tersebut didapatkan melalui perhitungan sebagai berikut :

a. Luas Penampang

$$A = \pi r^2 = 3,14 \times 3^2 \text{ mm} = 28,26 \text{ mm}^2$$

b. Stress

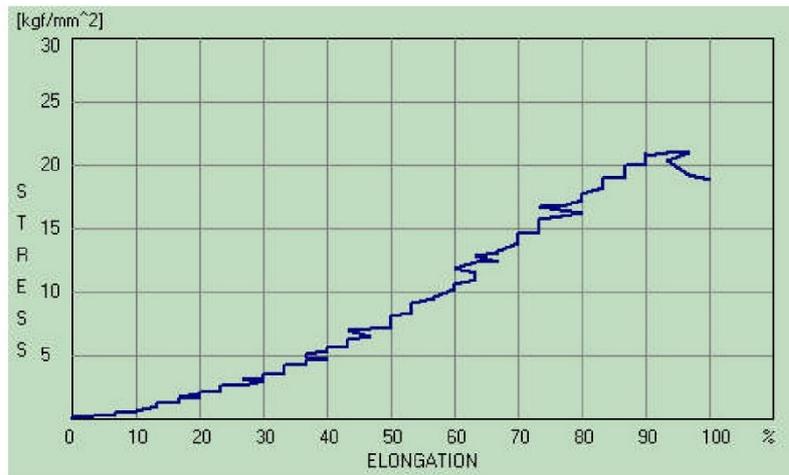
$$\sigma = \frac{F}{A} = \frac{532,55 \text{ Kgf}}{28,26 \text{ mm}^2} = 18,84 \text{ Kgf} / \text{mm}^2$$

c. Strain

$$\varepsilon = \frac{\Delta x}{x} = \frac{1,2}{30} = 0,04 \text{ mm}$$

6. Spesimen 3 las GTAW

Hasil pada gambar 4.19 merupakan hasil yang didapatkan dari spesimen 3 pada pengelasan GTAW yang telah dilakukan pengujian tarik, dari gambar tersebut didapatkan hasil berupa *yield strength* sebesar 0,88 Kgf/mm², *tensile strength* 21,09 Kgf/mm², *elongation* sebesar 100 % dengan pengujian tarik yang dilakukan sebesar 2500 Kgf.



Gambar 4.19 Hasil pengujian tarik spesimen 3 pengelasan GTAW

Gambar 4.19 merupakan hasil pengujian yang dilakukan dengan *Universal Tensile Machine* dengan pengelasan GTAW pada spesimen 3, hasil tersebut didapatkan melalui perhitungan sebagai berikut :

a. Luas Penampang

$$A = \pi r^2 = 3,14 \times 3^2 \text{ mm} = 28,26 \text{ mm}^2$$

b. Stress

$$\sigma = \frac{F}{A} = \frac{596,22 \text{ Kgf}}{28,26 \text{ mm}^2} = 21,09 \text{ Kgf} / \text{mm}^2$$

c. Strain

$$\varepsilon = \frac{\Delta x}{x} = \frac{1,2}{30} = 0,04 \text{ mm}$$

4.3.1 Data Hasil Pengujian Spesimen

Hasil perbandingan pengujian tarik yang telah dilakukan terhadap spesimen las SMAW dan GTAW memiliki hasil berupa *tensile strength* dari setiap pengujian tarik dapat dilihat pada tabel 4.1 dan gambar 4.13.

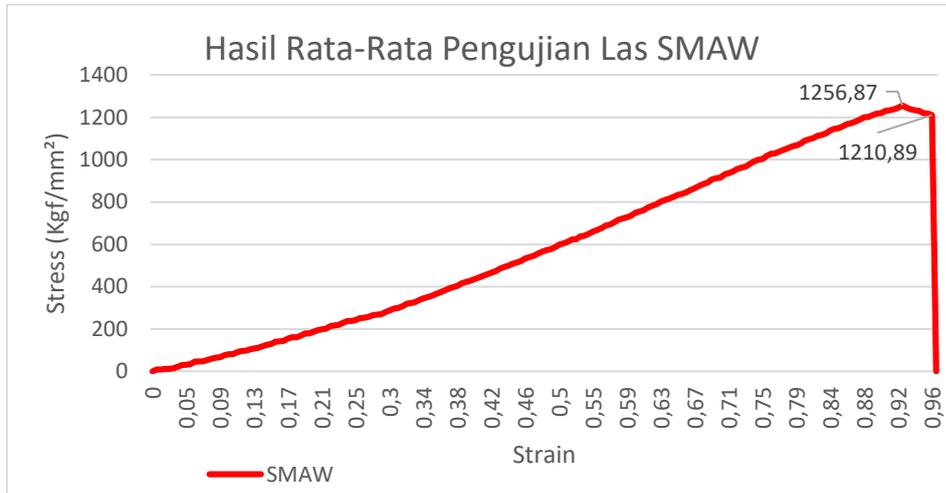
4.4 Pembahasan

a. Pengelasan SMAW

Hasil pengujian yang diperoleh setelah melakukan pengujian tarik terhadap 3 (tiga) spesimen dengan metode pengelasan SMAW dirata-ratakan seperti yang terlihat pada gambar 4.20.

Kekuatan tarik yang diperlihatkan pada grafik di bawah menunjukkan bahwa spesimen yang disambung dengan menggunakan metode SMAW memiliki

kekuatan rata-rata *Maximum Force* sebesar 1256,87 Kgf/mm², *Break Force* 1210,89 Kgf/mm², *Yield Strength* 0,88 Kgf/mm², *Tensile Strength* 44,45 Kgf/mm², *Elongation* 85,19 %.

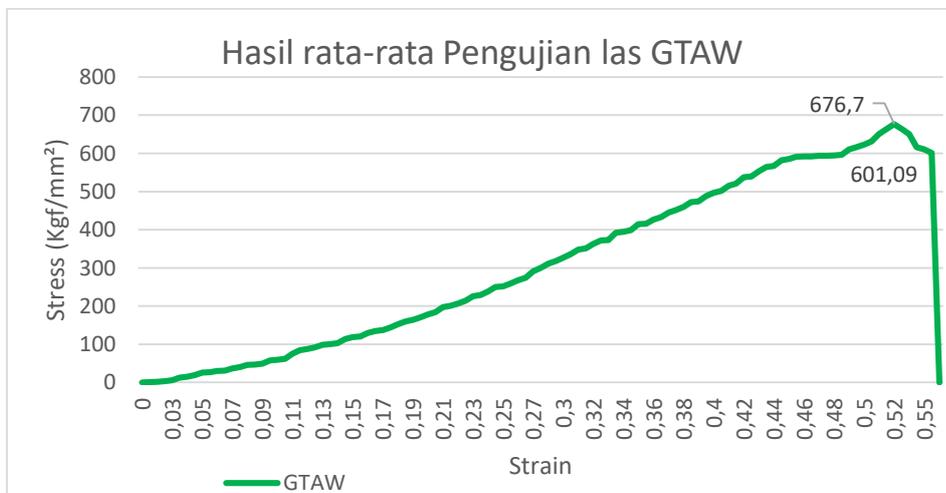


Gambar 4.20 Grafik kekuatan tarik rata-rata pengelasan SMAW

b. Pengelasan GTAW

Hasil pengujian yang diperoleh setelah melakukan pengujian tarik terhadap 3 (tiga) spesimen dengan metode pengelasan GTAW dirata-ratakan seperti yang terlihat pada gambar 4.21.

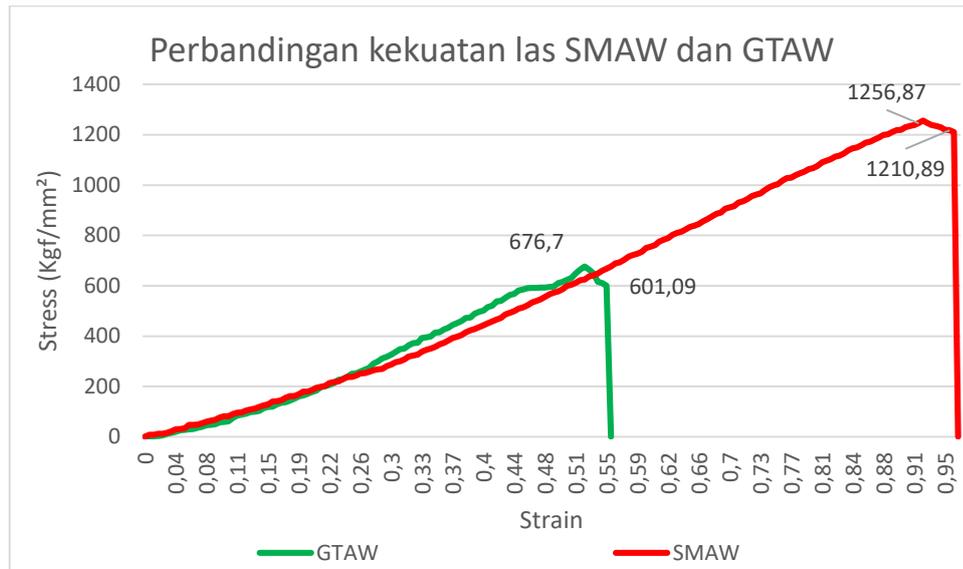
Kekuatan tarik yang diperlihatkan pada grafik di bawah menunjukkan bahwa spesimen yang disambung dengan menggunakan metode GTAW memiliki kekuatan rata-rata *Maximum Force* sebesar 676,70 Kgf, *Break Force* 601,09 Kgf, *Yield Strength* 1,35 Kgf/mm², *Tensile Strength* 23,94 Kgf/mm², *Elongation* 100 %.



Gambar 4.21 Grafik kekuatan tarik rata-rata pengelasan GTAW

c. Perbandingan Hasil Kekuatan Tarik

Hasil pengujian kekuatan tarik spesimen dengan perbandingan pengelasan SMAW dan GTAW menggunakan mesin uji tarik mendapatkan hasil yang dituangkan dalam bentuk grafik perbandingan antara pengelasan yang berbeda. Hasil dari perbandingan kekuatan terhadap spesimen tersebut dapat dilihat pada gambar 4.22.



Gambar 4.22 Grafik perbandingan kekuatan tarik las SMAW dan GTAW

BAB 5

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Dari pengujian kekuatan tarik yang telah dilakukan dapat diambil beberapa kesimpulan yaitu :

1. Pengelasan SMAW memiliki kekuatan tarik tertinggi *tensile strength* 52,43 Kgf/mm², sedangkan kekuatan tarik terendah *tensile strength* 31,22 Kgf/mm².
2. Pengelasan GTAW memiliki kekuatan tarik tertinggi *tensile strength* 31,88 Kgf/mm², sedangkan kekuatan tarik terendah *tensile strength* 18,84 Kgf/mm².
3. Maka dari penelitian yang dilakukan pengelasan SMAW memiliki kekuatan tarik yang lebih besar dari pada pengelasan GTAW.

5.2 Saran

Beberapa saran yang penulis sampaikan untuk penelitian lanjutan nantinya dengan melakukan pengembangan beberapa hal yaitu :

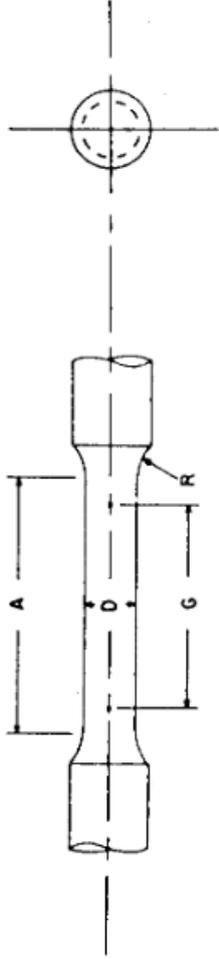
1. Menggunakan metode perbandingan *ampere* yang sama pada kedua mesin las, untuk mengetahui pengaruh dari *ampere* tersebut terhadap kekuatan tariknya.
2. Spesimen uji sebaiknya melakukan pengujian struktur terlebih dahulu untuk mengetahui komposisi yang ada pada spesimen uji.
1. Menggunakan perbandingan diameter *wire* yang berbeda untuk mengetahui pengaruh diameter *wire*.

DAFTAR PUSTAKA

- Alip, M. 1989. Teori Dan Praktik Las. Penerbit Departemen Pendidikan Dan Kebudayaan.
- Bangun, P., 2006, Pengaruh Variasi Arus Pada Proses Pengelasan Logam Berbeda Antara Logam Induk Baja Karbon Menengah (AISI 1045) Dengan Baja Tahan Karat Austenitik (AISI 304), Skripsi, Institut Teknologi Nasional: Bandung. Daryanto, 2012, Teknik Las.
- Beumer, BJM. 1985, Ilmu Bahan Logam, Jilid 1, Bharata Karya Aksara, Jakarta.
- Bintoro, G.A. 1999. Dasar-Dasar Pekerjaan Las. Jilid 1. Penerbit Kanisius. Yogyakarta
- Davis, Troxell, dan Hauck. 1998. The Testing Of Engineering Material, Second Editions, New York. United State of America. Cambridge University
- Genculu, Semih, 2007. Structural Steel Welding. Dakota : PDH Center
- Harsono, W. dan Toshie, O., 2006, Teknologi Pengelasan Logam, Pradnya Paramaita: Jakarta.
- Hery, S. dan Rochim, S., 2006, Pengantar Untuk Memahami Proses Pengelasan Logam, Alfabeta: Bandung.
- Parreke, Simon. 2017. Pengaruh Variasi Arus Pada Pengelasan SMAW Dan GTAW Terhadap Sifat Mekanis Dan Fisis Pada Logam Berbeda Baja Karbon Sedang Dengan Baja Tahan Karat Austenit. Jurnal Teknik Mesin. Universitas Hasanuddin.
- Siswanto, 2011. Konsep Dasar Teknik Las Untuk SMK (Teori Dan Praktek. Jakarta
- Sonawan Hery. 2003. Pengelasan Logam. Penerbit Alfabeta, Bandung.
- Suryana, D. 1998. Petunjuk Praktek Las Asetilin Dan Las Listrik. Jilid 3. Penerbit DEPDIKBUD. Jakarta.
- Syahrani, A. 2013. Variasi Arus Terhadap Kekuatan Tarik Dan Bending Pada Hasil Pengelasan SM490. Jurnal Teknik Mesin. Universitas Tadulako.
- Tarkono, 2010. Studi Kekuatan Sambungan Las Baja AISI 1045 Dengan Berbagai Metode Posisi Pengelasan. Jurnal Teknik Mesin. Universitas Lampung.
- Wirjosumarto, Harsono dan Toshie Okumura. 1994. Teknologi Pengelasan Logam. PT. Pradnya Paramita: Jakarta.

LAMPIRAN

E8/E8M - 13a



Dimensions, mm [in.]

For Test Specimens with Gauge Length Four times the Diameter [E8]

Small-Size Specimens Proportional to Standard

Standard Specimen	Specimen 1	Specimen 2	Specimen 3	Specimen 4	Specimen 5
G—Gauge length	50.0 ± 0.1 [2.000 ± 0.005]	36.0 ± 0.1 [1.400 ± 0.005]	24.0 ± 0.1 [1.000 ± 0.005]	16.0 ± 0.1 [0.640 ± 0.005]	10.0 ± 0.1 [0.450 ± 0.005]
D—Diameter (Note 1)	12.5 ± 0.2 [0.500 ± 0.010]	9.0 ± 0.1 [0.350 ± 0.007]	6.0 ± 0.1 [0.250 ± 0.005]	4.0 ± 0.1 [0.160 ± 0.003]	2.5 ± 0.1 [0.113 ± 0.002]
R—Radius of fillet, min	10 [0.375]	8 [0.25]	6 [0.188]	4 [0.156]	2 [0.094]
A—Length of reduced section, min (Note 2)	56 [2.25]	45 [1.75]	30 [1.25]	20 [0.75]	16 [0.625]

Dimensions, mm [in.]

For Test Specimens with Gauge Length Five times the Diameter [E8M]

Small-Size Specimens Proportional to Standard

Standard Specimen	Specimen 1	Specimen 2	Specimen 3	Specimen 4	Specimen 5
G—Gauge length	62.5 ± 0.1 [2.500 ± 0.005]	45.0 ± 0.1 [1.750 ± 0.005]	30.0 ± 0.1 [1.250 ± 0.005]	20.0 ± 0.1 [0.800 ± 0.005]	12.5 ± 0.1 [0.565 ± 0.005]
D—Diameter (Note 1)	12.5 ± 0.2 [0.500 ± 0.010]	9.0 ± 0.1 [0.350 ± 0.007]	6.0 ± 0.1 [0.250 ± 0.005]	4.0 ± 0.1 [0.160 ± 0.003]	2.5 ± 0.1 [0.113 ± 0.002]
R—Radius of fillet, min	10 [0.375]	8 [0.25]	6 [0.188]	4 [0.156]	2 [0.094]
A—Length of reduced section, min (Note 2)	75 [3.0]	54 [2.0]	36 [1.4]	24 [1.0]	20 [0.75]

LAMPIRAN 1

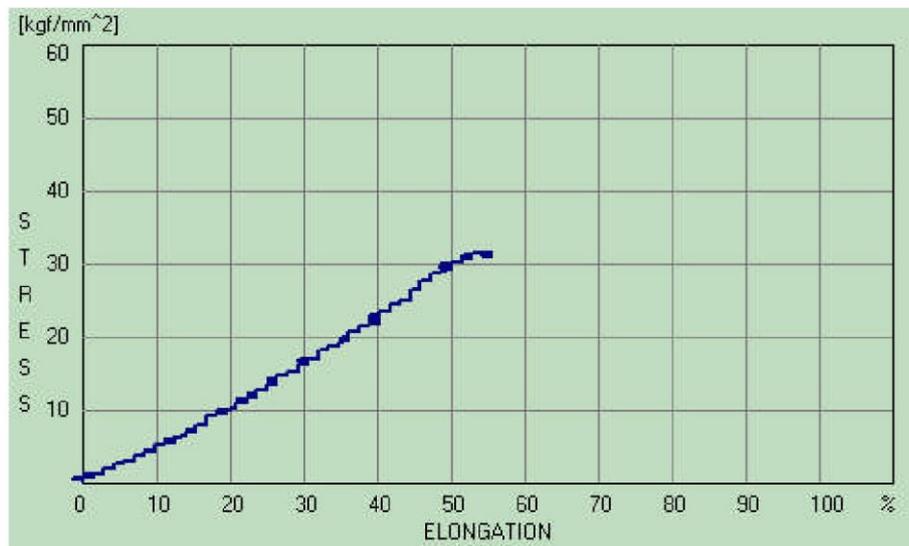


UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SUMATERA UTARA
FAKULTAS TEKNIK
PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN

Kampus: Jl. Kapten Mochtar Basri, BA. No. 3, Email: proditmesin_fatek@umsu.ac.id

TEST REPORT

Test No. :	1	Max. Force :	882.77 (kgf)
Test Type :	Tensile	Break Force :	880.12 (kgf)
Date Test :	19-2-2020 ; 17:30:28	Yield Strength :	0.88 (kgf/mm ²)
Specimens :	Others	Tensile Strength :	31.22 (kgf/mm ²)
Area :	28.27 (mm ²)	Elongation :	55.56 (%)



Kaprodi Teknik Mesin

Kalab. Pengujian Material

LAMPIRAN 2

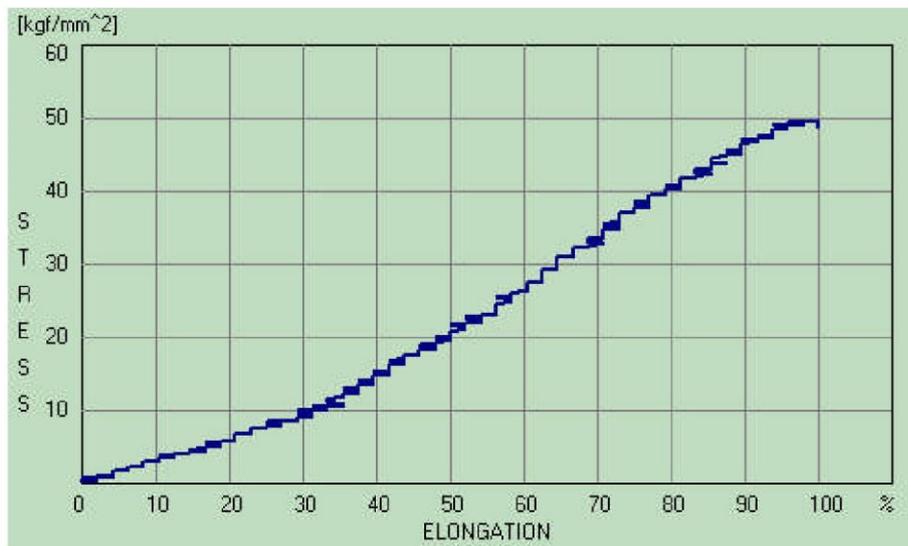


UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SUMATERA UTARA
FAKULTAS TEKNIK
PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN

Kampus: Jl. Kapten Mochtar Basri, BA. No. 3, Email: proditmesin_fatek@umsu.ac.id

TEST REPORT

Test No. :	2	Max. Force :	1405.45 (kgf)
Test Type :	Tensile	Break Force :	1376.27 (kgf)
Date Test :	19-2-2020 ; 17:39:6	Yield Strength :	0.88 (kgf/mm ²)
Specimens :	Others	Tensile Strength :	49.71 (kgf/mm ²)
Area :	28.27 (mm ²)	Elongation :	100.00 (%)



Kaprodi Teknik Mesin

Kalab. Pengujian Material

LAMPIRAN 3

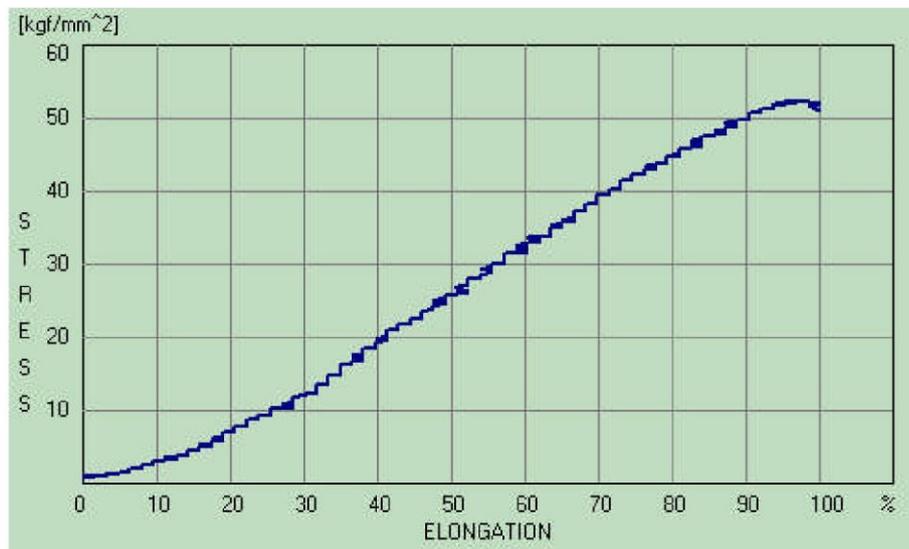


UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SUMATERA UTARA
FAKULTAS TEKNIK
PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN

Kampus: Jl. Kapten Mochtar Basri, BA. No. 3, Email: proditmesin_fatek@umsu.ac.id

TEST REPORT

Test No. :	3	Max. Force :	1482.40 (kgf)
Test Type :	Tensile	Break Force :	1441.27 (kgf)
Date Test :	19-2-2020 ; 17:59:2	Yield Strength :	0.88 (kgf/mm ²)
Specimens :	Others	Tensile Strength :	52.43 (kgf/mm ²)
Area :	28.27 (mm ²)	Elongation :	100.00 (%)



Kaprodi Teknik Mesin

Kalab. Pengujian Material

LAMPIRAN 4

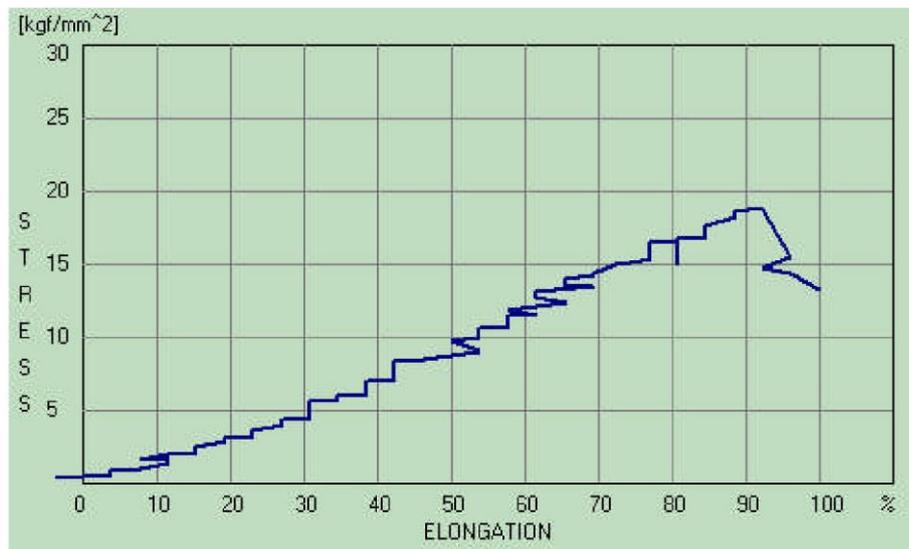


UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SUMATERA UTARA
FAKULTAS TEKNIK
PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN

Kampus: Jl. Kapten Mochtar Basri, BA. No. 3, Email: proditmesin_fatek@umsu.ac.id

TEST REPORT

Test No. :	1	Max. Force :	532.55 (kgf)
Test Type :	Tensile	Break Force :	373.35 (kgf)
Date Test :	19-2-2020 ; 18:8:42	Yield Strength :	0.88 (kgf/mm ²)
Specimens :	Others	Tensile Strength :	18.84 (kgf/mm ²)
Area :	28.27 (mm ²)	Elongation :	100.00 (%)



Kaprodi Teknik Mesin

Kalab. Pengujian Material

LAMPIRAN 5

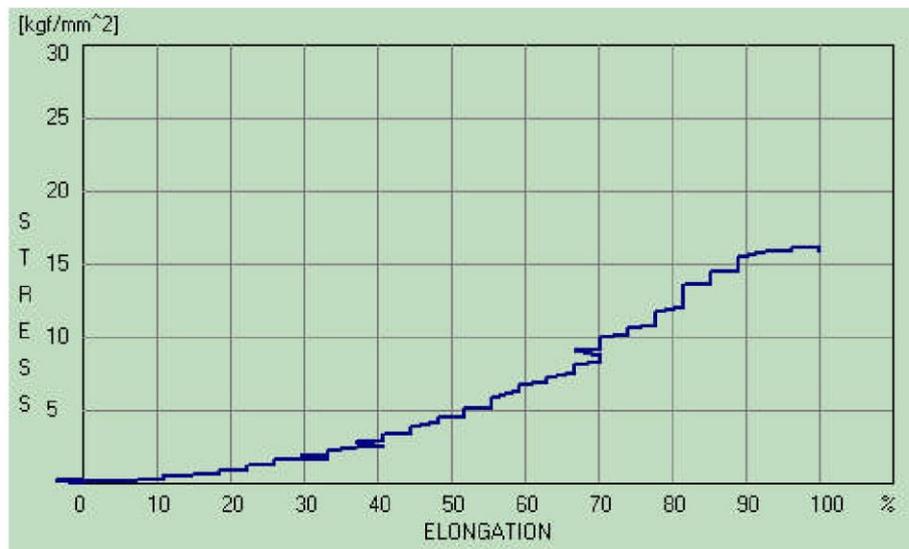


UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SUMATERA UTARA
FAKULTAS TEKNIK
PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN

Kampus: Jl. Kapten Mochtar Basri, BA. No. 3, Email: proditmesin_fatek@umsu.ac.id

TEST REPORT

Test No. :	2	Max. Force :	459.58 (kgf)
Test Type :	Tensile	Break Force :	447.64 (kgf)
Date Test :	19-2-2020 ; 18:13:19	Yield Strength :	0.88 (kgf/mm ²)
Specimens :	Others	Tensile Strength :	16.25 (kgf/mm ²)
Area :	28.27 (mm ²)	Elongation :	100.00 (%)



Kaprodi Teknik Mesin

Kalab. Pengujian Material

LAMPIRAN 6

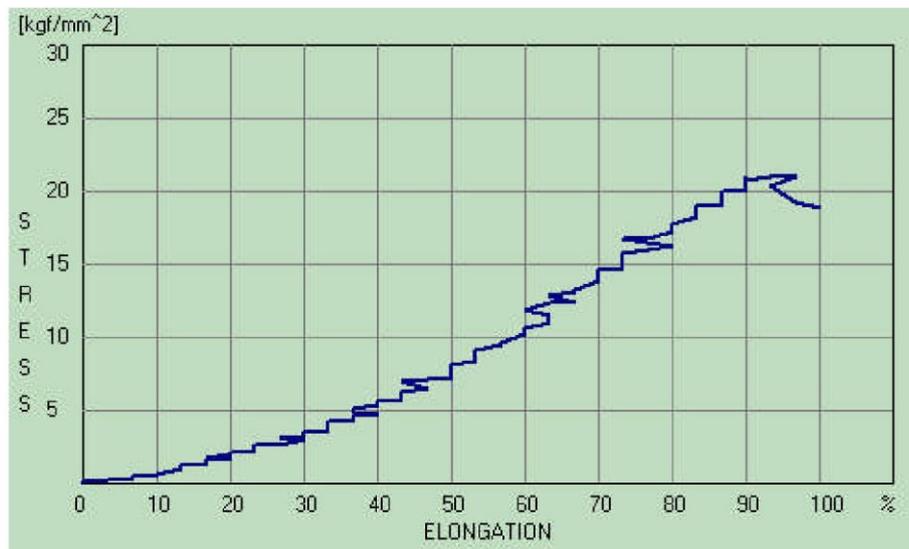


UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SUMATERA UTARA
FAKULTAS TEKNIK
PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN

Kampus: Jl. Kapten Mochtar Basri, BA. No. 3, Email: proditmesin_fatek@umsu.ac.id

TEST REPORT

Test No. :	3	Max. Force :	596.22 (kgf)
Test Type :	Tensile	Break Force :	535.20 (kgf)
Date Test :	19-2-2020 ; 18:19:42	Yield Strength :	0.88 (kgf/mm ²)
Specimens :	Others	Tensile Strength :	21.09 (kgf/mm ²)
Area :	28.27 (mm ²)	Elongation :	100.00 (%)



Kaprodi Teknik Mesin

Kalab. Pengujian Material