

**PENGARUH ARUS LAS TERHADAP KEKUATAN TARIK
HASIL PENGELASAN SMAW PADA BAJA AISI 1045**

(Skripsi)

Oleh

M. Alfin Daud Arya

NPM 2015021045



**JURUSAN TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG**

2024

ABSTRAK

PENGARUH ARUS LAS TERHADAP KEKUATAN TARIK HASIL PENGELASAN SMAW PADA BAJA AISI 1045

Oleh
M. Alfin Daud Arya

Proses pengelasan adalah suatu proses yang menggunakan energi panas untuk menyatukan dua atau lebih bagian logam. Proses ini menyebabkan area disekitar lasan mengalami siklus termal yang cepat, menyebabkan perubahan metalurgi yang kompleks, deformasi, dan tekanan termal. Penelitian ini bertujuan menganalisis pengaruh kuat arus las yang digunakan terhadap kekuatan tarik pada material baja AISI 1045 dan juga menganalisis pengaruh kuat arus 90 A, 120 A, dan juga 150 A pada pengelasan *Shielded Metal Arc Welding* (SMAW) terhadap struktur mikro baja AISI 1045. Bentuk kampuh yang digunakan ialah jenis V tunggal dengan posisi pengelasan horizontal. Tipe serta diameter logam pengisi (*filler metal*) pada pengelasan ini digunakan logam pengisi tipe E7018 dengan diameter 3,2 mm, berdasarkan standar AWS A5.1. Sedangkan ukuran alur kampuh diambil berdasarkan rekomendasi JSSC-1997 (*Japan Society Of Steel Construction*) tentang persiapan sisi untuk pengelasan baja. Pengujian tarik yang dilakukan pada spesimen uji menggunakan standar ASTM E8. Pengujian ini dengan menggunakan *universal testing machine* yang dihubungkan langsung dengan *plotter*, sehingga dapat diperoleh grafik tegangan (MPa) dan regangan (%) yang memberikan nilai data dari tegangan ultimate (σ_{ult}) dan modulus elastisitas bahan (E). Pengujian tarik dilakukan dengan menyiapkan spesimen uji yang sudah dibentuk sesuai dengan standar ASTM E8. Mikroskop yang digunakan dalam pengamatan struktur mikro adalah mikroskop metalurgi dengan merek BX53M dan larutan etsa yang digunakan adalah Nital 2% (2 ml HNO₃ 65% ditambah 98ml etanol (97%) dan pengamatan visualisasi struktur mikro menggunakan metalografi

Kata Kunci : Baja AISI 1045, Variasi kuat arus las, Pengelasan SMAW, kekuatan tarik dan OM..

ABSTRACT

THE EFFECT OF WELDING CURRENT ON TENSILE STRENGTH OF SMAW WELDING RESULTS ON AISI 1045 STEEL

By:
M. Alfin Daud Arya

Welding is a process that uses thermal energy to join two or more metal parts. This process causes the area around the weld to undergo a rapid thermal cycle, leading to complex metallurgical changes, deformation, and thermal stresses. This research aims to analyze the effect of welding current on the tensile strength of AISI 1045 steel and to examine the impact of 90 A, 120 A, and 150 A currents in Shielded Metal Arc Welding (SMAW) on the microstructure of AISI 1045 steel. The type of weld joint used is a single V-groove with horizontal welding position. The filler metal used in this welding process is E7018 with a diameter of 3.2 mm, based on AWS A5.1 standards. The groove dimensions are taken based on recommendations from JSSC-1997 (Japan Society of Steel Construction) regarding edge preparation for steel welding. Tensile testing on the test specimens was conducted according to ASTM E8 standards. This test utilized a universal testing machine directly connected to a plotter, producing stress (MPa) and strain (%) graphs, providing data on ultimate stress (σ_{ult}) and material modulus of elasticity (E). The tensile testing involved preparing test specimens shaped according to ASTM E8 standards. A metallurgical microscope, brand BX53M, was used for observing the microstructure, and the etching solution used was 2% Nital (2 mL HNO₃ 65% added to 98 mL ethanol 97%). Visualization of the microstructure was done using metallography.

Keywords: AISI 1045 steel, Welding current variation, SMAW welding, tensile strength, and OM.

**PENGARUH ARUS LAS TERHADAP KEKUATAN TARIK
HASIL PENGELASAN SMAW PADA BAJA AISI 1045**

Oleh :

M. ALFIN DAUD ARYA

Skripsi

**Sebagai Salah Satu Syarat Untuk Mencapai Gelar
SARJANA TEKNIK**

Pada

**Pada Jurusan Teknik Mesin
Fakultas Teknik Universitas Lampung**



**FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG
2024**

Judul Skripsi : **PENGARUH ARUS LAS TERHADAP
KEKUATAN TARIK HASIL PENGELASAN
SMAW PADA BAJA AISI 1045**

Nama Mahasiswa : **M. Alfin Daud Arya**

Nomor Pokok Mahasiswa : 2015021045

Jurusan : Teknik Mesin

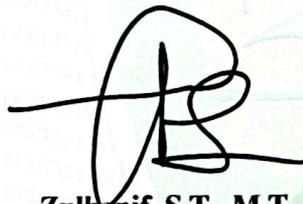
Fakultas : Teknik

MENYETUJUI

Komisi Pembimbing

Pembimbing 1

Pembimbing 2



Zulhanif, S.T., M.T.
NIP. 19730402 200003 1 002

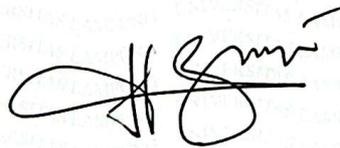


Ir. Tarkono, S.T., M.T., IPP.
NIP. 19690909 199703 1 002

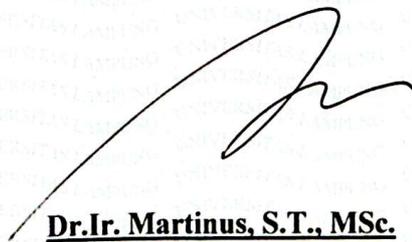
MENGETAHUI

Ketua Jurusan
Teknik Mesin

Ketua Program Studi
S1 Teknik Mesin



Dr. Gusri Akhyar Ibrahim, S.T., M.T.
NIP. 19710817 199802 1 003



Dr. Ir. Martinus, S.T., MSc.
NIP. 19790821 200312 1 003

MENGESAHKAN

1. Tim Penguji

Ketua Penguji : **Zulhanif, S.T., M.T.**



Anggota Penguji : **Ir. Tarkono, S.T., M.T. IPP.**



Penguji Utama : **Harnowo Supriadi, S.T., M..T.**



2. Dekan Fakultas Teknik



Dr. Eng. Helmy Fitriawan, S.T., M.Sc.)
NIP. 19750928/200112 1 002

Tanggal Lulus Ujian Skripsi 22 Juli 2024

PERNYATAAN SKRIPSI MAHASISWA

Yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : M. Alfin Daud Arya
Nomor Pokok Mahasiswa : 2015021045
Program Studi : S1 Teknik Mesin
Jurusan : Teknik Mesin
Fakultas : Teknik

Dengan ini menyatakan bahwa dalam skripsi ini tidak terdapat karya yang telah diajukan memperoleh gelar kesarjanaan di suatu Perguruan Tinggi dan sepengetahuan saya tidak terdapat karya atau pendapat yang pernah ditulis atau diterbitkan oleh orang lain, kecuali yang secara tertulis diacu dalam naskah ini disebut dalam daftar pustaka.

Bandar Lampung, 22 Juli 2024

Yang menyatakan



M. Alfin Daud Arya
NPM. 2015021045.

RIWAYAT HIDUP



Penulis memiliki nama lengkap M. Alfin Daud dilahirkan di kota Bekasi pada tanggal 28 Mei 2001. Penulis merupakan anak kedua dari pasangan Bapak Ali dan Ibu Nuraini. Penulis mengawali pendidikan formal di SDN 4 Bandar Lampung (2007-2013), SMP Negeri 25 Bandar Lampung (2013- 2016), SMA N e g e r i 0 3 Bandar Lampung (2016-2019). Pada tahun 2020 penulis terdaftar sebagai mahasiswa Program Studi S1 Teknik Mesin Universitas Lampung melalui jalur Seleksi Nasional Masuk Perguruan Tinggi Negeri (SBMPTN). Selama menjadi mahasiswa, penulis pernah mengikuti program kegiatan penelitian MBKM yaitu Pemanfaatan Limbah Serat TKKS (Tandan Kosong Kelapa Sawit) Dan Serat Alam Lampung Sebagai Bahan Komposit Katup Pompa Hydram pada bulan 1 Febuari – 30 Juni 2023. Penulis pernah menjadi asisten Laboratorium praktikum Material dan Metalurgi Fisik pada tahun 2023-2024. Penulis melaksanakan Kerja Praktik di PRTTG BRIN, Subang, Jawa Barat. Penulis melaksanakan Kuliah Kerja Nyata (KKN) pada Januari 2023 di Desa Lakaran, Kecamatan Wonosobo, Kabupaten Tanggamus. Penulis juga aktif dalam organisasi kemahasiswaan yaitu mengikuti organisasi Himpunan Mahasiswa Teknik Mesin (HIMATEM) sebagai anggota divisi eksternal pada 2021-2023 serta mengikuti UKM Koperasi Mahasiswa (KOPMA) Universitas Lampung pada tahun 2021- 2022. Pada skripsi ini penulis melaksanakan penelitian tugas akhir dengan judul “PENGARUH ARUS LAS TERHADAP KEKUATAN TARIK HASIL PENGELASAN SMAW PADA BAJA AISI 1045” di bawah bimbingan Bapak Zulhanif, S.T., M.T. dan Ir. Tarkono, S.T.,M.T., IPP serta sebagai pembahas Bapak Harnowo Supriadi, S.T., M.T.

MOTTO

*“Allah tidak membebani seseorang
melainkan sesuai dengan kesanggupannya”*

(Q.S. Al-Baqarah : 286)

*“Maka sesungguhnya bersama kesulitan
adakemudahan”*

(Q.S. Al-Insyirah : 5-6)

*“Hidup yang tidak dipertaruhkan, tidak
akan pernah dimenangkan”.*

(Sutan Sjahrir)

*All big things come from small beginnings. The seed of
every habit is a single, tiny decision.*

(fernando)

PERSEMBAHAN



Alhamdulillahirobbil'alamini, dengan mengucapkan rasa syukur kepada Allah SWT atas segala limpahan rahmat, rizki dan karunia yang Engkau berikan sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi ini. Sholawat dan salam selalu terlimpahkan kepada junjungan kita Rasulullah Muhammad SAW. Dengan segala cinta dan kasih sayang kupersembahkan karya ini untuk orang-orang yang sangat berharga dalam hidupku:

Saya persembahkan skripsi ini kepada kedua orang tua saya yaitu Bapak Muhamad Ali Luthfi dan Ibu Nuraini, yang sangat saya sayangi dan cintai atas segala keikhlasan disetiap pengorbanan, dukungan dan doa untuk anakmu ini sehingga mendapatkan gelar sarjana.

Kakak saya Alin Febry Hayunah dan Salda Umu Solawiya yang selalu memberikan semangat, dukungan dan doa yang tiada henti- hentinya kepada Allah SWT dalam proses penyelesaian skripsi ini.

Dan

Semua yang selama ini telah memberikan semangat, dukungan, bantuandan doa untuk saya selama proses penyelesaian skripsi ini

Almamaterku, UNIVERSITAS LAMPUNG

SANWACANA

Puji syukur kehadirat Allah SWT atas segala rahmat dan hidayah-Nya sehingga skripsi ini dapat diselesaikan sebagai salah satu syarat untuk meraih gelar Sarjana. Sholawat serta salam selalu tercurahkan kepada junjungan Nabi Muhammad SAW beserta keluarga, sahabat serta para pengikutnya. Skripsi ini dibuat sebagai sebuah karya tulis yang merupakan hasil dari pengerjaan tugas akhir yang telah dilakukan yang berjudul “PENGARUH ARUS LAS TERHADAP KEKUATAN TARIK HASIL PENGELASAN SMAW PADA BAJA AISI 1045” dapat diselesaikan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik di Universitas Lampung. Diharapkan karya tulis ini dapat menjadi salah satu bentuk perkembangan dalam ilmu pengetahuan, terkhusus di bidang material. Penulis menyadari dalam penyusunan skripsi ini tidak terlepas dari peranan dan bantuan berbagai pihak. Oleh karena itu, penulis mengucapkan terima kasih kepada :

1. Allah SWT yang senantiasa memberikan rahmat, hidayah dan rezeki kepada penulis serta Rasulullah Muhammad SAW yang telah menjadi suritauladan dalam hidup.
2. Bapak Zulhanif, S.T.,M.T. selaku dosen pembimbing utama atas kesediaannya dalam membimbing serta memberikan masukan dan arahan dalam penyelesaian Tugas Akhir ini.
3. Ir. Tarkono, S.T.,M.T., IPP selaku dosen pembimbing pendamping Tugas Akhir, atas kesediaan dan keikhlasannya untuk berbagi ilmu, membimbing, memberikan kritik sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir dengan sebaik baiknya.
4. Bapak Harnowo Supriadi, S.T., M.T. selaku dosen pembahas dalam Tugas Akhir ini telah memberi kritik dan masukan yang bermanfaat bagi penulis.
5. Bapak Amrizal, S.T.,M.T.,Ph.D selaku dosen Pembimbing Akademik telah membimbing penulis selama melaksanakan perkuliahan serta membantu segala permasalahan akademik yang dialami penulis.
6. Dr. Ir. Martinus, S.T., MSc. selaku Ketua Program Studi Sarjana S1 Teknik Mesin Universitas Lampung telah memberikan arahan mengenai perkuliahan.
7. Dr. Gusri Akhyar Ibrahim, S.T., M.T. selaku Ketua Jurusan Teknik Mesin Universitas Lampung yang telah memberikan kenyamanan selama perkuliahan

8. Kedua orang tua penulis, Bapak Muhamad Ali Luthfi dan Ibu Nuraini dan kakak Alin Febry Hayunah dan Salda Umu Solawiya serta Noya dan Pico yang selalu memberikan dukungan dan mendoakan penulis, sehingga penulis tetap bersemangat dan lancar dalam menjalankan studi di Teknik Mesin, Universitas Lampung.
9. Para staf admin Jurusan Teknik Mesin Universitas Lampung yang selalu bersedia membantu penyelesaian segala berkas yang diperlukan.
10. Engineer Man (Eng) Aldo Putra Singura, Bayu Arya Pratama, Bala, dan Malik Riyan Hidayat yang selalu support dan memberi motivasi penulis dalam penyelesaian Tugas Akhir ini.
11. Seluruh teman-teman Teknik Mesin Angkatan 2020 yang telah bersama-sama berjuang dan saling membantu dalam dunia perkuliahan. Serta mendukung penulis untuk bersemangat dalam menyelesaikan skripsi sampai selesai.
12. Semua pihak yang telah membantu penulis namun tidak bisa disebutkan namanya satu persatu, penulis ucapkan terima kasih semoga Allah Yang Maha Pengasih membalas segala kebaikan kalian.

Akhir kata, Penulis sampaikan terima kasih kepada semua pihak yang telah berperan serta dalam penyusunan skripsi ini dari awal sampai akhir.

Bandar Lampung, 26 Juli 2024
Penulis,

M. Alfin Daud Arya
NPM.2015021045

DAFTAR ISI

BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Tujuan Penelitian	6
1.3 Batasan Masalah	6
1.4 Manfaat Penelitian	6
1.5 Sistematika Penulisan	7
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	8
2.1 Baja Karbon	8
2.2 Baja AISI 1045.....	9
2.3 Pengelasan.....	11
2.4 <i>Shielded Metal Arc Welding (SMAW)</i>	13
2.5 Kuat Arus Pengelasan	18
2.6 Metalurgi Las	19
2.7 Kekuatan Tarik.....	23
2.8 Pengamatan Struktur Mikro	25
BAB III METODOLOGI PENELITIAN	27
3.1. Waktu dan Tempat Penelitian	27
3.2 Alat dan Bahan Penelitian	28
3.3 Prosedur Penelitian.....	29

3.4 Variabel Penelitian	34
3.5 Pengamatan Foto Mikro.....	35
3.6 Diagram Alir	36
BAB IV. HASIL DAN PEMBAHASAN	37
4.1 Data Alat dan Material Penelitian	37
4.2 Pengujian Tarik.....	39
4.3 Struktur Mikro	50
BAB V. SIMPULAN DAN SARAN	55
5.1. Simpulan	55
5.2 Saran	56
DAFTAR PUSTAKA	57
LAMPIRAN	60

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Spesifikasi Baja Karbon AISI 1045	10
Tabel 3. 1 Spesifikasi Alat Las	31
Tabel 3. 2 Spesifikasi Alat Uji Tarik	33
Tabel 3. 3 Data Kekuatan Tarik dan Regangan	35
Tabel 3. 4 Data Kekuatan Luluh Material (<i>Yield Strength</i>)	35
Tabel 4. 1 Spesifikasi Baja AISI 1045	37
Tabel 4. 2 Data Proses Pengelasan.....	38
Tabel 4. 3 Data Kekuatan Tarik dan Regangan	39
Tabel 4. 4 Gambar Patahan Hasil Pengujian Tarik	41
Tabel 4.5 Data Kekuatan Luluh Material (<i>Yield Strength</i>)	43

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Perangkat Las SMAW.....	15
Gambar 2. 2 Mesin Las	16
Gambar 2. 3 Pakaian Pengelas (<i>Welder</i>).....	17
Gambar 2. 4 Topeng Pelindung	17
Gambar 2. 5 Kabel Las SMAW	18
Gambar 2. 6 Pengaruh Aruh dan Kecepatan Pengelasan	19
Gambar 2. 7 Daerah Lasan.....	20
Gambar 2. 8 Struktur Mikro <i>Ferrite</i>	21
Gambar 2. 9 Struktur Mikro <i>Cementite</i>	22
Gambar 2. 10 Struktur Mikro <i>Perlit</i>	22
Gambar 2. 11 Struktur Mikro Martensit.....	23
Gambar 2. 12 Kurva Tegangan-Regangan	24
Gambar 2. 13 Batas Elastis Dan Tegangan Luluh.....	24
Gambar 2. 14 Mesin Uji Tarik	25
Gambar 2. 15 Alat Uji Struktur Mikro.....	26

Gambar 3. 1 Dimensi Sambungan Las Tumpul Alur V Tunggal	30
Gambar 3. 2 Mesin Las SMAW (<i>Shielded Metal Arc Welding</i>).....	26
Gambar 3. 3 Dimensi Spesimen Uji Tarik (Standar ASTM E-8)	32
Gambar 3. 4 Alat Uji Tarik Mesin <i>Zwick Roell</i> 250 KN.....	33
Gambar 4. 1 Grafik Kekuatan Tarik Arus 90 A.....	45
Gambar 4. 2 Grafik Kekuatan Tarik Arus 120 A.....	47
Gambar 4. 3 B1 Grafik Kekuatan Tarik Arus 150 A	48
Gambar 4. 4 Grafik Rata-Rata kekuatan Tarik Maksimum.....	49
Gambar 4. 5 Struktur Mikro <i>Base Metal</i>	51
Gambar 4. 6 Struktur Miktro HAZ	52
Gambar 4. 7 Struktur Mikro <i>Weld Metal</i>	53

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Pada teknologi produksi dengan menggunakan bahan baku logam, pengelasan merupakan proses pengerjaan yang memegang peranan sangat penting. Saat ini hampir tidak ada logam yang tidak dapat dilas, karena telah banyak teknologi baru yang ditemukan dengan cara-cara pengelasan. Pengelasan didefinisikan sebagai penyambungan dua logam atau paduan logam dengan memanaskan di atas batas cair atau di bawah batas cair logam disertai penetrasi maupun tanpa penetrasi, serta diberi logam pengisi atau tanpa logam pengisi.

Dalam merancang suatu konstruksi permesinan atau bangunan yang menggunakan sambungan las banyak faktor yang harus diperhatikan seperti keahlian dalam mengelas, pengetahuan yang memadai tentang prosedur pengelasan, sifat-sifat bahan yang akan dilas dan lain-lain. Prosedur pengelasan antara lain pemilihan parameter las seperti: tegangan busur las, besar arus las, penetrasi, kecepatan pengelasan dan beberapa kondisi standar pengelasan seperti: bentuk alur las, tebal pelat, jenis elektroda dan diameter inti elektroda. Semua parameter yang sudah disebutkan sangat berpengaruh dalam pengelasan bahan logam. Material baja adalah bahan yang paling banyak digunakan atau dibentuk menjadi berbagai macam bentuk yang diinginkan. Baja karbon merupakan salah satu bahan logam yang banyak dilakukan proses pengelasan, dimana komposisi kimia, sifat mekanis, ukuran, bentuk dan sebagainya.

Baja memiliki unsur-unsur seperti manganese, chromium, nickel, dan molybedum, tetapi kadar karbonnya merupakan salah satu yang menentukan besi tersebut menjadi baja. Salah satu baja karbon yang paling banyak digunakan adalah baja karbon sedang. Baja karbon sedang memiliki kadar karbon antara 0,30 % sampai 0,60 % yang bersifat lebih kuat, keras dan dapat dikeraskan. Penggunaannya hampir sama dengan baja karbon rendah yaitu sebagai baja konstruksi mesin, bahan baut, poros, piston, roda gigi, dan lain-lain. Pada umumnya pengelasan pada badan kapal yang banyak digunakan adalah pengelasan dengan proses las busur listrik (SMAW), las busur rendam (SAW) dan proses las busur listrik dengan pelindung gas (FCAW atau GTAW) dari material baja karbon dan baja kekuatan tarik tinggi.

Pengelasan (*Welding*) adalah salah satu teknik penyambungan logam dengan cara mencairkan sebagian logam induk dan logam pengisi dengan atau tanpa logam tambahan dan menghasilkan sambungan yang kontinu. Salah satu jenis las yang sering digunakan adalah pengelasan SMAW (*Shielded Metal Arc Welding*). Pada pengelasan SMAW elektroda memiliki peranan penting sebagai bahan penyambung antara dua logam yang akan dilas dan elektroda ini terdiri dari banyak ukuran, jenis dan dijual dalam berbagai merek. Agar mendapatkan hasil pengelasan yang baik maka elektroda yang digunakan harus disesuaikan dengan bahan yang akan dilas serta pemilihan parameter-parameter pengelasan yang tepat juga akan meningkatkan kualitas dari hasil pengelasan tersebut. Dalam pengelasan cara 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.

Mesin las SMAW menurut arusnya dibedakan menjadi tiga macam yaitu mesin las arus searah atau *Direct Current* (DC), mesin las arus bolak-balik atau *Alternating Current* (AC) dan mesin las arus ganda yang merupakan mesin las yang dapat digunakan untuk pengelasan dengan arus searah (DC) dan pengelasan dengan arus bolak-balik (AC). Mesin Las arus DC dapat digunakan dengan dua cara yaitu polaritas lurus dan polaritas terbalik. Mesin las DC polaritas lurus (DC-) digunakan

bila titik cair bahan induk tinggi dan kapasitas besar, untuk pemegang elektrodanya dihubungkan dengan kutub negatif dan logam induk dihubungkan dengan kutub positif, sedangkan untuk mesin las DC polaritas terbalik (DC+) digunakan bila titik cair bahan induk rendah dan kapasitas kecil, untuk pemegang elektrodanya dihubungkan dengan kutub positif dan logam induk dihubungkan dengan kutub negatif.

Tidak semua logam memiliki sifat mampu las yang baik. Bahan yang mempunyai sifat mampu las yang baik diantaranya adalah baja paduan sedang. Baja ini dapat dilas dengan las busur elektroda terbungkus, las busur rendam dan las MIG (las logam gas mulia). Baja paduan sedang biasa digunakan untuk pelat-pelat tipis dan konstruksi umum. Penyetelan kuat arus pengelasan akan mempengaruhi hasil las. Bila arus yang digunakan terlalu rendah akan menyebabkan sukarnya penyalaan busur listrik. Busur listrik yang terjadi menjadi tidak stabil. Panas yang terjadi tidak cukup untuk melelehkan elektroda dan bahan dasar sehingga hasilnya merupakan rigi-rigi las yang kecil dan tidak rata serta penembusan kurang dalam. Sebaliknya bila arus terlalu tinggi maka elektroda akan mencair terlalu cepat dan akan menghasilkan permukaan las yang lebih lebar dan penembusan yang dalam sehingga menghasilkan kekuatan tarik yang rendah (Wiryo Sumarto, 2020)

Pada pengelasan *Shielding Metal Arc Welding* (SMAW) tinggi rendahnya temperatur salah satunya ditentukan oleh besaran arus listrik yang dialirkan, perubahan struktur mikro logam salah satu dampaknya berpengaruh pada kekuatan mekanik suatu logam. Kuat arus merupakan parameter las yang sangat penting karena berpengaruh langsung terhadap besar masuknya panas pada proses pengelasan.

Pada penelitian Budiarsa, (2008) berubahnya nilai kekuatan tarik dari hasil pengelasan tersebut terjadi karena adanya perubahan perbedaan struktur mikro yang terjadi saat proses pengelasan berlangsung, Semakin banyak dan rapat posisi unsur (perlite) maka menunjukkan kekuatan tarik semakin besar dan begitu pula sebaliknya. Ferrite merupakan larutan padat dari atom murni yang mempunyai sel-

sel kubus dan memiliki sifat yang lebih lunak dan liat, sedangkan pearlite juga tersusun oleh lapisan-lapisan halus dan memiliki sifat yang lebih kuat dan keras dari pada ferrite. Hal ini bisa terjadi karena pada saat proses pengelasan berlangsung terjadi perbedaan masukan panas (kuat arus) pada daerah las. Masukan panas (*heat input*) ini, nilainya berbanding lurus dengan arus dan tegangan yang digunakan, serta berbanding terbalik dengan kecepatan pengelasan. Bila menggunakan heat input yang rendah maka mengharuskan kecepatan pengelasan yang relatif pelan, sehingga energi panas banyak yang menyebar kebagian logam, sehingga makin banyak pula daerah yang mengalami perubahan struktur kristal dan begitu pula sebaliknya.

Menurut Toshie, (2015) arus las mempengaruhi peleburan, semakin besar arus maka semakin besar pencampuran antara elektroda dan logam induk. Arus las yang tinggi dapat memperdalam leburan logam dan berpengaruh melebar daerah *Heat Affected Zone* (HAZ). Daerah yang terpengaruh panas ataupun HAZ merupakan logam inti yang bersebelahan dengan logam las sepanjang proses pengelasan.

Samsudin, (2012) melakukan penelitian tentang pengaruh variasi arus listrik terhadap sifat mekanis sambungan las *Shielding Metal Arc Welding* (SMAW), diperoleh kedalaman peleburan sambungan las berpengaruh terhadap kekuatan tarik hasil sambungan las, semakin tinggi arus las semakin dalam peleburan sambungan las dan semakin rendah arus las semakin dangkal peleburan sambungan las. Pada arus 95 ampere didapat kekuatan tarik sebesar 591,7 MPa, pada arus 115 ampere didapat kekuatan tarik sebesar 618,6 MPa dan arus 130 ampere didapat kekuatan tarik sebesar 668,2 MPa. Dalam hal ini arus 130 ampere memiliki kedalaman lebur yang tinggi sehingga menghasilkan kekuatan sambungan las yang baik

Pada penelitian Eko Suryono (2014) mengenai pengaruh kuat arus pengelasan pada sambungan las TIG terhadap sifat fisis dan mekanis plat baja karbon rendah menyimpulkan bahwa pada kuat arus pengelasan yang lebih tinggi menghasilkan kekuatan mekanis yang lebih baik. Dari grafik hasil uji tarik didapat pada

penggunaan arus 90 ampere menghasilkan kekuatan tarik sebesar 13,2 kg/mm², arus 120 ampere menghasilkan kekuatan tarik 21,5 kg/mm² dan arus 150 ampere menghasilkan kekuatan tarik sebesar 28,1 kg/mm².

Arifin dan Hendrianto, (2018) melakukan penelitian dengan judul pengaruh arus dan jarak kampuh pengelasan terhadap distorsi sambungan pelat baja karbon rendah dengan menggunakan SMAW. Penyetelan arus pengelasan sangat mempengaruhi hasil las. Apabila arus las terlalu rendah akan menyebabkan sukar penyalaan busur listrik, akibatnya busur listrik menjadi tidak stabil. Metode pengujian yang digunakan adalah pengujian impak dan kekerasan dari hasil pengelasan SMAW. Tujuan dari penelitian ini untuk menginvestigasi pengaruh arus dan jarak kampuh pengelasan terhadap distorsi, yang terjadi pada hasil las. Dari hasil penelitian ini menunjukkan bahwa terdapat hubungan linear antara peningkatan arus dan penambahan jarak kampuh terhadap distorsi yang dihasilkan. Selain itu pengujian kekerasan menunjukkan bahwa kekerasan relatif lebih rendah pada pengelasan yang menggunakan arus 50 A.

Kekuatan hasil lasan dipengaruhi oleh faktor-faktor seperti tegangan busur, besar arus, kecepatan pengelasan, besarnya penembusan dan polaritas listrik juga mempengaruhi kekuatan dari hasil lasan. Penentuan besarnya arus dalam penyambungan logam menggunakan las busur mempengaruhi efisiensi pekerjaan dan bahan las. Berdasarkan latar belakang diatas maka penelitian ini mengambil judul **“Pengaruh Kuat Arus Terhadap Hasil Pengujian Tarik pada Pengelasan SMAW pada Baja AISI 1045”**.

1.2 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan dari penelitian ini ialah sebagai berikut:

1. Menganalisis pengaruh kuat arus terhadap hasil pengujian tarik pada pengelasan SMAW pada baja AISI 1045”
2. Mengamati perbedaan struktur mikro setelah dilakukan pengelasan pada spesimen di bagian *base metal*, *HAZ*, dan *weld metal*.

1.3 Batasan Masalah

Agar penelitian yang dilakukan lebih terfokus dan mencapai tujuan yang telah ditetapkan, berikut beberapa batasan masalah dari penelitian ini:

1. Proses pengelasan dilakukan dengan menggunakan las *Shielding Metal Arc Welding* (SMAW).
2. Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah logam baja AISI 1045.
3. Kuat arus yang digunakan adalah *90 ampere*, *120 ampere*, *150 ampere*.
4. Jenis sambungan yang dipakai adalah sambungan tumpul (*butt joint*) jenis V Tunggal.
5. Pengujian dilakukan dengan uji tarik untuk mengetahui kekuatan tarik hasil sambungan las dengan dimensi spesimen uji sesuai standar ASTM E-8.

1.4 Manfaat Penelitian

Adapun manfaat yang diharapkan dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Dapat meningkatkan wawasan mengenai material baja khususnya jenis baja AISI 1045.
2. Penelitian ini dapat dijadikan acuan dalam peningkatan kualitas pengelasan pada baja AISI 1045.

1.5 Sistematika Penulisan

Adapun sistematika penulisan dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1 BAB I : PENDAHULUAN

Berisi tentang latar belakang, tujuan, batasan masalah, dan Sistematika penulisan dari penelitian ini.

2. BAB II : TINJAUAN PUSTAKA

Berisi tentang pengelasan, klasifikasi pengelasan, jenis sambungan, las SMAW, baja dan parameter-parameter lain yang berhubungan dengan penelitian.

3. BAB III : METODOLOGI PENELITIAN

Bab ini berisi tentang tempat dan waktu pelaksanaan, alat dan bahan, komponen, prosedur pengujian dan diagram alir.

4. BAB IV : HASIL DAN PEMBAHASAN

Berisi data-data yang terdapat dilapangan dan pembahasan masalah- masalah dari hasil pengamatan proses penyambungan, variasi kuat arus terhadap hasil kekuatan tarik dan lain-lain.

5. BAB V : SIMPULAN DAN SARAN

Pada bab ini menyimpulkan dari hasil dan pembahasan sekaligus memberikan saran yang dapat menyempurnakan penelitian ini.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Baja Karbon

Baja adalah logam paduan antara besi (Fe) sebagai unsur dasar dan karbon (C) sebagai unsur paduan utamanya. Kandungan karbon dalam baja berkisar antara 0,2 % hingga 2,1 % sesuai gradenya. Fungsi karbon dalam baja adalah sebagai unsur penguat. Unsur paduan lain yang biasa ditambahkan selain karbon adalah mangan (*manganese*), krom (*chromium*), vanadium dan nikel. Dengan memvariasikan kandungan karbon dan unsur lainnya, berbagai jenis kualitas baja bisa didapatkan. Penambahan kandungan karbon pada baja meningkatkan kekerasan (*hardness*), namun disisi lain membuatnya menjadi getas (*brittle*) serta menurunkan keuletanya (*ductility*) pengaruh utama dari kandungan karbon dalam baja adalah pada kekuatan, kekerasan dan sifat mudah dibentuk. Kandungan karbon yang besar dalam baja (Davis, 2020).

Baja karbon adalah paduan antara besi dan karbon dengan sedikit tambahan Si, Mn, P, S dan Cu. Sifat baja sangat tergantung pada kadar karbon, bila kadar karbon naik maka kekuatan dan kekerasan juga akan bertambah tinggi. Karena itu baja karbon dikelompokkan berdasarkan kadar karbonnya

a. Baja Karbon Rendah

Baja karbon rendah memiliki kandungan karbon dibawah 0,3%. Baja karbon rendah sering disebut dengan baja ringan (*mild steel*) atau baja perkakas, jenis baja yang umum dan banyak digunakan adalah jenis *cold roll steel* kandungan

sebesar karbon 0,08 % - 0,30 % yang biasa digunakan untuk *body* kendaraan (sack, 1997).

b. Baja Karbon Sedang

Baja karbon sedang merupakan baja yang memiliki kandungan karbon 0,30 %- 0,60 %. Baja karbon sedang memiliki kekuatan yang lebih baik dari baja karbon rendah dan mempunyai kualitas perlakuan panas yang tinggi. Baja karbon sedang biasa dilas dengan las busur listrik elektroda terlindungi dan proses pengelasan yang lain. Untuk hasil yang lebih baik maka dilakukan pemanasan mula sebelum pengelasan dan *normalizing* setelah pengelasan (sack, 1997).

c. Baja Karbon Tinggi

Baja karbon tinggi memiliki kandungan karbon paling tinggi jika dibandingkan dengan baja karbon yang lain, yakni memiliki kandungan karbon 0,60 % - 1,7%. Kebanyakan baja karbon tinggi sukar untuk dilas jika dibandingkan dengan baja karbon rendah dan sedang (Sack, 1997).

2.2 Baja AISI 1045

American Iron and Steel Institute (AISI) 1045 adalah baja karbon yang kandungan karbonya sekitar 0,42% - 0,50% baja ini termasuk dalam golongan baja menengah. AISI 1045 menunjukkan bahwa 45 adalah kandungan atau kadar karbon pada baja tersebut yaitu 0,45 %. Sifat mekanik dari baja AISI 1045 sangat baik dimana baja tersebut memiliki sifat mekanik dan kemampuan pengelasan mesin, serta tingkat kekerasan dan ketahanan aus yang baik (Yusman, 2018). Baja AISI ini dapat mempunyai ketahanan aus yang baik sehingga dapat berfungsinya untuk menahan keausan akibat bergesekan dengan rantai. Pada umumnya nilai dari kekuatan tarik baja AISI 1045 sebesar 550 hingga 720 MPa, dan nilai kekerasan *brinell* berkisar

antara 170 hingga 210 BHN. Suhu Austenitic baja AISI 1045 berkisar antara 820°C - 860°C yang dimana sifat yang didapatkan berupa kemampuan las yang baik, mampu mesin yang baik. Berikut merupakan hasil dari proses pengujian komposisi kimia yang dilakukan oleh PT. TIRA AUSTETITE Tbk, dengan standar DIN 50049/EN 10204/2.3 menggunakan baja AISI 1045 yang dapat ditunjukkan pada tabel 2.1.

Tabel 2.1 Spesifikasi Baja Karbon AISI 1045 (Pramono,2011).

Spesifikasi	Detail
Nama baja	AISI 1045
Standar	AISI, S45C, C45
Karbon (C)	0.45%
Mangan (Mn)	0.60% - 0.90%
Fospor (P)	Maks. 0.040%
Belerang (S)	Maks. 0.050%
Kekuatan tarik	550 -720 MPa
Kekuatan luluh	310 - 450 MPa
Perpanjangan	16% - 23%
Kekerasan	170 - 210 HB
Kepadatan (density)	7.86 g/cm ³
Modulus elastisitas	203 GPa
Konduktivitas termal	50.3 W/Mk
Koefisien muai panjang	11.7 $\mu\text{m}/\text{m}^\circ\text{C}$
Proses pembentukan	<i>Cold rolled, Hot rolled</i>
Kemampuan las	Sangat baik, dapat dilas dengan semua metode pengelasan
Kemampuan mesin	Baik, dapat dilakukan pemesinan dengan baik menggunakan alat potong standar
Aplikasi umum	Komponen otomotif, bagian mesin, pipa, struktur baja, alat pertanian
Tersedia dalam bentuk	Batang, pelat, lembaran, pipa, profil
Proses panas	<i>Annealing, Normalizing, Quenching, Tempering</i>

2.3 Pengelasan

Berdasarkan pengertian dari *Deutsche Industrie Normen* (DIN), las adalah ikatan metalurgi pada sambungan logam atau paduan logam yang dilaksanakan dalam keadaan cair. Penggolongan jenis las ditinjau dari sumber panas di bagi menjadi sumber panas mekanik, sumber panas listrik, dan sumber panas kimia. Sedangkan menurut cara pengelasannya dibagi pengelasan pegelasan cair (*fusion welding*), pengelasan tekan (*pressur welding*) dan pematrian (WiryoSumarto, 2020).

Karakteristik Kaca Secara Umum:

2.3.1 Pengelasan Cair (*fusion welding*)

Pengelasan cair (*fusion welding*) adalah proses mencairkan logam dengan cara mencairkan logam yang tersambung.

Jenis-jenis pengelasan cair yaitu sebagai berikut:

- a. *Oxyacetyline Welding*
- b. *Electric Arc Welding*
- c. *Shield Gas Arc Welding*
 - 1) *TIG (Tungsten Inert Gas)*
 - 2) *MIG (Metal Inert Gas)*
 - 3) *MAG (Metal Aktive Gas)*
 - 4) *Submerged Welding*
- d. *Resistance Welding*
 - 5) *Spot welding*
 - 6) *Seam Welding*
 - 7) *Upset Welding*
 - 8) *Flash Welding*
 - 9) *Electro Slag Welding*
 - 10) *Electro Gas Welding*

2.3.2 Pengelasan Tekan (*Pressure Welding*)

pengelasan dimana kedua logam yang disambung, dipanaskan hingga meleleh, lalu keduanya ditekan hingga menyambung. Adapun pengelasan tekan itu dibagi menjadi:

a. Pengelasan Tempa

Merupakan proses pengelasan yang diawali dengan proses pemanasan yang diteruskan dengan penempaan sehingga terjadi penyambungan logam.

b. Pengelasan Tahanan proses ini meliputi:

1. Las Proyeksi

Merupakan proses pengelasan yang hasil pengelasannya sangat dipengaruhi oleh distribusi arus dan tekanan yang tepat. Prosesnya yaitu plat yang disambung dijepit dengan elektroda dari paduan tembaga kemudian dialiri arus yang besar.

2) Las Titik

Prosesnya hampir sama dengan las proyeksi yaitu pelat yang akan disambung dijepit dahulu dengan elektroda dari paduan tembaga, kemudian dialiri arus yang besar dan waktunya dapat diatur sesuai dengan ketebalan plat yang akan dilas.

3) Las Kampuh

Merupakan proses pengelasan yang menghasilkan sambungan las yang kontinu pada dua lembar logam yang tertumpah. Ada tiga jenis las kampuh, yaitu las kampuh sudut, las kampuh tumpang.

2.3.3 Pematrian

Pematrian adalah seperti pengelasan cair, akan tetapi bedanya adalah penggunaan bahan tambalan atau *filler* yang mempunyai titik leleh. Pengelasan fusion juga dapat dibedakan beberapa bagian menjadi:

a. Pengelasan Laser

Pengelasan laser merupakan pengelasan yang lambat dan hanya diterapkan pada lasan yang kecil, khususnya dalam industri elektronika.

b. Pengelasan listrik berkas elektron

Pengelasan jenis ini digunakan untuk pengelasan pada logam biasa, logam tahan api, logam yang mudah teroksidasi dan beberapa jenis paduan super yang tak mungkin dilas.

c. Pengelasan *thermit*

Merupakan satu-satunya pengelasan yang menggunakan reaksi kimia eksotermis sebagai sumber panas. Thermit merupakan campuran serbuk Al dan Oksida besi dengan perbandingan 1:3.

2.4 *Shielded Metal Arc Welding (SMAW)*

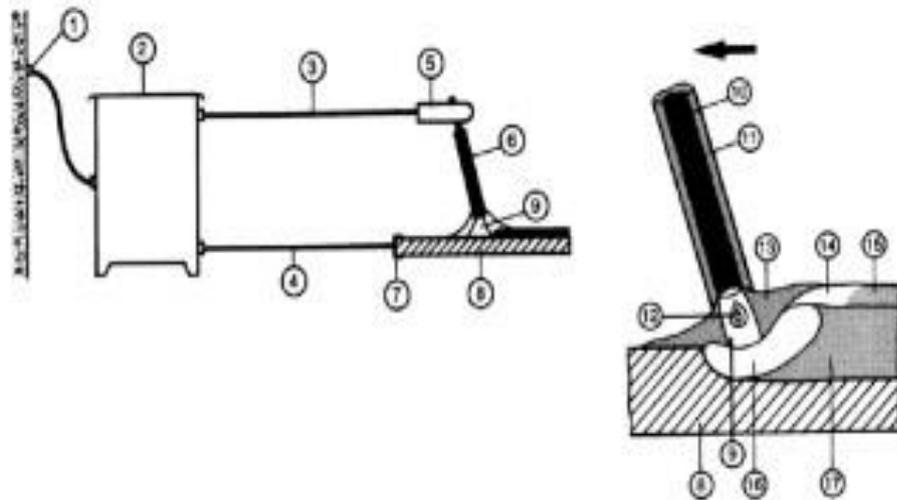
Shielded Metal Arc Welding (SMAW) dikenal juga dengan istilah manual metal arc welding (MMAW) atau las elektroda yang terbungkus adalah suatu proses penyambungan dua keping logam atau lebih, menjadi sambungan yang tetap dengan menggunakan sumber panas listrik dan bahan tambah atau pengisi berupa elektroda terbungkus. Las elektroda terbungkus merupakan suatu teknik pengelasan dengan menggunakan arus listrik yang membentuk busur arus dan elektroda berselaput. Didalam pengelasan SMAW ini terjadi gas pelindung ketika elektroda berselaput itu mencair, sehingga dalam proses ini tidak diperlukan tekanan atau pressure gas inert untuk menghilangkan pengaruh oksigen atau udara yang dapat menyebabkan korosi atau gelembung- gelembung didalam hasil pengelasan. Proses pengelasan terjadi karena adanya hambatan arus listrik yang mengalir diantara elektroda dan bahan las membuat elektroda dan bahan yang akan dilas mencair akibat hambatan arus listrik yang mengalir.

2.4.1 Proses Terjadinya Busur Las Listrik SMAW

Proses pengelasan SMAW yang umumnya disebut las listrik adalah proses pengelasan yang dapat menggunakan panas untuk mencairkan material dasar dan elektroda. Panas tersebut ditimbulkan oleh lonjakan ion listrik yang terjadi antara katoda dan anoda (ujung elektroda dan permukaan plat yang akan di las). Panas yang timbul dari lonjakan ion listrik ini besarnya dapat mencapai 4000°C. Sumber tegangan yang digunakan ada dua macam yaitu arus las listrik AC (Arus bolak-balik) dan arus listrik DC (Arus searah). Proses terjadinya pengelasan karena adanya kontak antara ujung elektroda dan material dasar sehingga terjadi hubungan pendek dan saat itu terjadi hubungan pendek tersebut juru las (*welder*) harus menarik elektroda sehingga terbentuk busur listrik yaitu lonjakan ion yang menimbulkan panas. Panas ini akan mencairkan elektroda dan material dasar sehingga cairan elektroda dan cairan material dasar akan menyatu membentuk logam lasan (*weld metal*). Untuk menghasilkan busur las yang baik dan konstan juru las harus menjaga jarak ujung elektroda dan permukaan material dasar tetap sama. Adapun jarak yang paling baik adalah sama dengan diameter elektroda yang dipakai.

2.4.2 Perangkat Las SMAW

Didalam proses suatu pengelasan yang dilakukan maka diperlukan arus listrik khusus yang akan dipakai pada pengelasan, dimana arus listriknya yang digunakan sebelum pengelasan dilakukan dapat diatur oleh operator dan tegangan bebas muatannya terbatas, selain itu juga ada hal yang harus diperhatikan yaitu tinggi tegangan maksimal harus sampai dengan batas yang diijinkan dalam pengelasan yang berlangsung. Adapun komponen-komponen penting dari perangkat las SMAW ialah salah satunya dijelaskan pada gambar 2.1 dibawah ini, terdapat tujuh belas bagian yang akan dijelaskan satu persatu, yaitu sebagai berikut :



Gambar 2.1 Perangkat las SMAW
 Sumber: (Teknik Las SMAW jilid I 2013:98).

Keterangan:

1. Sumber Arus listrik.
2. Sumber Arus Las (Mesin Las).
3. Kabel Arus Las (Elektroda).
4. Kabel Arus Las (kabel massa).
5. Pemegang Elektroda.
6. Elektroda.
7. Klem massa pada Benda Kerja.
8. Benda Kerja.
9. Busur Las.
10. Inti Elektroda.
11. Salutan/selubung Elektroda.
12. Tetesan Cairan Elektroda.
13. Gas Pelindung dari Salutan Elektroda.
14. Terak Cair.
15. Terak Padat.
16. Kawah Las / cairan las.
17. Hasil Lasan.

2.4.3 Peralatan Utama Las SMAW

Peralatan utama adalah peralatan yang berhubungan langsung dengan proses pengelasan terdiri dari sambungan antara sumber arus pengelas dan tempat kerja, memakai kabel-kabel dan pada waktu mengelas benda kerja tersebut berada dalam lingkaran arus las. Sumber arus lasnya disambungkan pada jaringan arus listrik yang ada dan semua sambungan listriknya memakai stekker atau kontak stekker yang dilengkapi dengan uliran sebagai pengaman. Dari sumber arus las tersebut selalu dilengkapi dua kabel yang terpisah satu sama lain ke tempat kerja. melalui dua kabel ini akan tersusun lingkaran arus lewat pemegang / penjepit elektroda dan benda kerja.

2.4.3.1 Mesin Las

Mesin las merupakan bagian terpenting dari peralatan las. Mesin ini harus dapat memberi jenis tenaga listrik yang diperlukan dan tegangan yang cukup untuk melangsungkan suatu lengkung listrik las.



Gambar 2.2 Mesin Las
Sumber: (Mukhsoni, 2015)

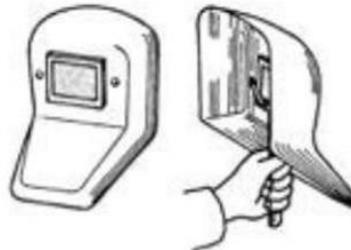
2.4.3.2 Pakaian Kerja

Pada waktu mengelas juru las, juru las harus dapat mengamankan diri dari panas, pancaran sinar busur listrik dan dari percikan dan juga lerusan api las. Dalam pekerjaan las busur listrik pengelas harus memakai pakaian kerja yang celananya tidak mempunyai lipatan. Sepatu kerja hendaknya dipakai sepatu yang terbuat dari kulit dengan sol karet. Pakaian kerja untuk juru las sebaiknya dilengkapi dengan tutup kepala (*helm*), kulit pelindung badan (*apron*) dan pelindung kaki. Kedua tangan dilindungi dengan memakai sarung tangan dari kulit atau asbes.



Gambar 2.3 Pakaian Pengelas (*welder*)
 Sumber: (Teknik Las SMAW Jilid I 2013:102)

Untuk melindungi muka dan terutama mata, juru las harus memakai topeng pelindung dan kaca pelindungnya harus sesuai dengan standar. Topeng pelindung tersebut biasanya dilengkapi juga dengan kaca terang, yang dapat digunakan sebagai pelindung pada waktu membersihkan terak las.



Gambar 2.4 Topeng pelindung
 Sumber: (Teknik Las SMAW Jilid I 2013:102).

2.4.3.3 Kabel Las

Kabel las (*lead* superfleksibel) digunakan untuk menghantar arus dari mesin pengelasan ke benda kerja dan sebaliknya. Seperti terlihat pada gambar di bawah. Kabel las terdiri dari *lead* yang dilapisin dengan karet, kain, dan penguat lapisan *fabric*, seperti ditunjukkan dalam gambar. *Holder* elektroda dikenal sebagai *lead* elektroda. *Lead* dari benda kerja ke mesin dikenal sebagai *lead* benda kerja. Tegangan pada *lead* bervariasi antara 14 dan 80 *volt*.



Gambar 2.5 Kabel Las SMAW
Sumber: (Mukhsoni, 2015)

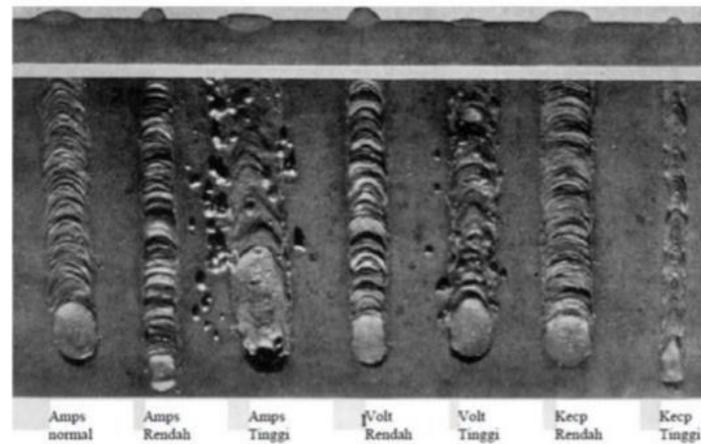
2.4.3.4 Pemegang (*Holder*) Elektroda

Holder elektroda adalah bagian peralatan las busur yang dipegang oleh *welder* ketika mengelas. *Holder* ini digunakan untuk menahan elektroda logam atau karbon. *Lead* elektroda biasanya disambung dengan *holder* elektroda dengan menggunakan penyambung mekanik didalam *handle* elektroda. *Handle* terbuat dari bahan pelapis yang mempunyai tahanan panas tinggi dan tahanan listrik yang rendah. *Holder* elektroda dibuat untuk menyeimbangkan pegangan tangan *welder*. Pada waktu melakukan pengelasan yang berat, seharusnya holder elektroda dilengkapi dengan *shield* (plat kecil tahan panas). *Shield* ini untuk mencegah panas radiasi dari las ke tangan *welder*.

2.5 Kuat Arus Pengelasan

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

maka akan menghasilkan manik yang melebar, butiran percikan kecil, penetrasi dalam serta matrik las tinggi.



Gambar 2.6 Pengaruh Aruh dan Kecepatan Pengelasan Terhadap Hasil Sambungan Las

Sumber : (Wiryosumarto, 2020).

Penyetelan kuat arus pengelasan akan mempengaruhi hasil las, bila arus yang digunakan terlalu rendah akan menyebabkan sukarnya penyalaan busur listrik dan busur listrik yang terjadi tidak stabil. Panas yang terjadi tidak cukup untuk melelehkan elektroda dan bahan dasar sehingga hasilnya merupakan rigi-rigi las yang kecil dan tidak rata serta penembusan kurang dalam. Sebaliknya bila arus listrik terlalu tinggi maka elektroda akan mencair terlalu cepat dan akan menghasilkan permukaan las yang lebar dan penembusan yang terlalu dalam sehingga menghasilkan kekuatan tarik yang rendah dan menambah kerapuhan dari hasil pengelasan (Sack, 1997).

2.6 Metalurgi Las

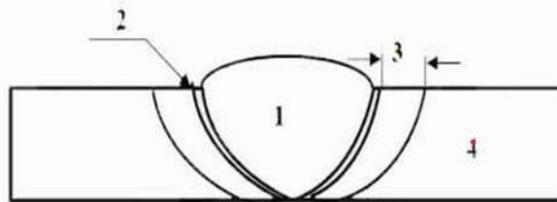
Pengelasan adalah proses penyambungan dengan menggunakan energi panas, karena proses ini maka logam di sekitar lasan mengalami siklus termal cepat yang menyebabkan terjadinya perubahan-perubahan metalurgi yang rumit, deformasi dan tegangan-tegangan thermal. Hal ini sangat berhubungan erat

dengan ketangguhan, cacat las, retak dan lain sebagainya yang umumnya memiliki pengaruh yang fatal terhadap keamanan dan konstruksi las. Logam akan mengalami pengaruh pemanasan hasil pengelasan dan mengalami perubahan struktur mikro didaerah lasan. Bentuk struktur mikro tergantung pada temperatur tinggi yang di capai pada pengelasan, kecepatan pengelasan, dan laju pendinginan pengelasan. Daerah logam yang mengalami perubahan struktur mikro akibat mengalami pemanasan karena pengelasan disebut daerah pengaruh panas (DPP) atau (HAZ) *Heat Effekted Zone* (Sibrani. 2004).

Daerah lasan terdiri dari tiga bagian, yaitu:

1. Logam las adalah bagian dari logam yang pada waktu pengelasan mencair kemudian membeku.
2. *Fusion line* yaitu garis penggabungan atau garis batas cair antara logam las dan logam induk.

Daerah pengaruh panas disebut HAZ (*Heat Effekted Zone*) adalah logam dasar yang bersebelahan dengan logam las selama pengelasan mengalami pemanasan dan pendinginan yang cepat. Pembagian daerah lasan dapat dilihat pada gambar 2.7.



Gambar 2.7 Daerah Lasan
Sumber: (Sonawan, 2003)

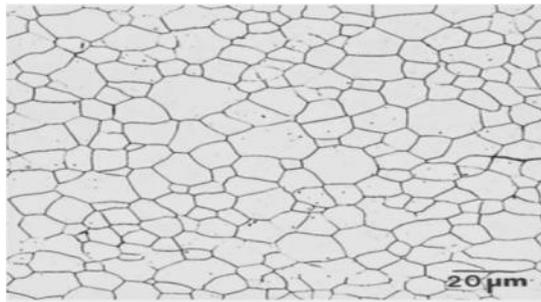
Keterangan:

1. *Weld Metal* (Logam Las)
2. *Fusion Line* (Garis Penggabungan)
3. HAZ (Daerah Terpengaruh Panas)
4. Logam Induk

Struktur mikro pada logam las biasanya terdiri dari dua atau lebih fasa berikut ini:

a) *Ferrite* (disimbolkan dengan α)

Ferrite adalah fasa larutan padat yang memiliki struktur BCC (*body centered cubic*). *Ferrite* ini akan terbentuk pada proses pendinginan lambat dari *austenite* baja *hipoeutectoid* (baja dengan kandungan karbon $< 0,8\%$) yang bersifat lunak, ulet, memiliki kekerasan (70-100) BHN dan konduktivitas *thermalnya* tinggi.



Gambar 2.8. Struktur Mikro *Ferrite*

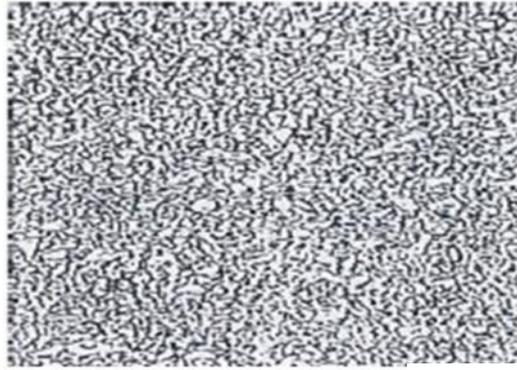
Sumber: (Sonawan, 2006)

b) *Austenite* (disimbolkan dengan γ)

Fase *Austenite* memiliki struktur atom FCC (*Face Centered Cubic*). Dalam keadaan setimbang fasa *austenite* ditemukan pada temperatur tinggi. Fasa ini bersifat non magnetik dan ulet (*ductile*) pada temperatur tinggi. Kelarutan atom karbon di dalam larutan padat *austenite* lebih besar jika dibandingkan dengan kelarutan atom karbon pada fasa *ferrite*. Secara geometri, dapat dihitung perbandingan besarnya ruang intertisi di dalam fasa *austenite* (kristal FCC) dan fasa *Ferrite* (kristal BCC).

c) *Cementite* (disimbolkan dengan Fe_3C)

Adalah senyawa besi dengan karbon yang pada umumnya dikenal sebagai karbida besi dengan rumus kimia Fe_3C dengan bentuk sel satuan *ortorombik* dan bersifat keras (65-68) HRC.

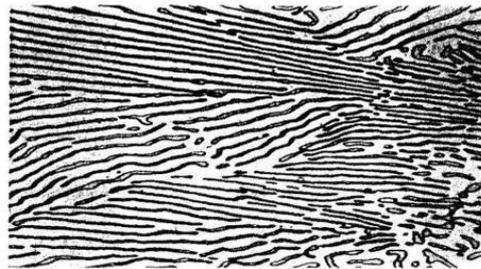


Gambar 2.9 Struktur Mikro Cementite

Sumber: (Sonawan, 2003)

d) *Perlit* (disimbolkan dengan $\alpha + \text{Fe}_3\text{C}$)

Perlit adalah campuran ferite dan cementit berlapis dalam suatu struktur butir, dengan nilai kekerasan (10-30) HRC. Pendinginan yang lambat akan menghasilkan struktur *perlit* yang kasar, sedangkan struktur mikro perlit halus terbentuk dari hasil pendinginan cepat. Baja yang memiliki struktur mikro *perlit* kasar kekuatannya lebih rendah,



Gambar 2.10 Struktur Mikro *Perlit*

Sumber: (Sonawan, 2006)

e). *Martensit*

Terbentuk dari pendinginan cepat fasa *austenit* sehingga mengakibatkan sel satuan FCC bertransformasi secara cepat menjadi BCC. Unsur karbon yang larut dalam BCC terperangkap dan tetap berada dalam sel satuan itu, hal tersebut menyebabkan terjadinya distorsi sel satuan sehingga sel satuan BCC berubah menjadi BCT.



Gambar 2.11 Struktur Mikro Martensit
Sumber: (Sonawan,2006)

2.7 Kekuatan Tarik

Pengujian tarik dilakukan untuk mengetahui kekuatan sambungan logam yang telah dilas, karena mudah dilakukan, dan menghasilkan tegangan seragam (*uniform*) pada penampang serta kebanyakan sambungan logam yang telah dilas mempunyai kelemahan untuk menerima tegangan tarik. Kekuatan tarik sambungan las sangat dipengaruhi oleh sifat logam induk, sifat daerah HAZ, sifat logam las, dan geometri serta distribusi tegangan dalam sambungan. Dalam pengujian, spesimen uji dibebani dengan kenaikan beban sedikit demi sedikit hingga spesimen uji tersebut patah, kemudian sifat-sifat tariknya dapat dihitung dengan persamaan (Wiryosumarto, 2020):

$$\text{Tegangan } \sigma = \frac{F}{A_0} \dots\dots\dots(1)$$

Dimana: F = Beban (kg)

A_0 = luas mula dari penampang batang uji (mm^2)

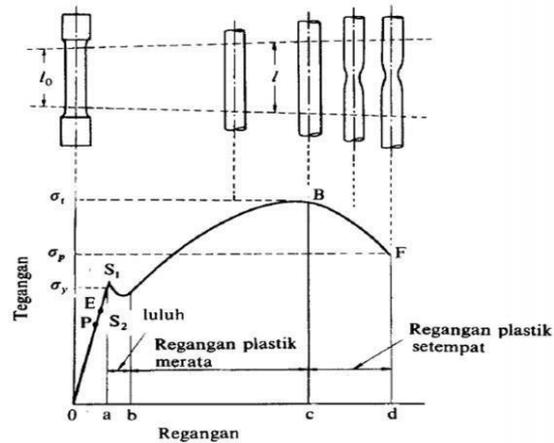
$$\text{Regangan: } \epsilon = \frac{L-L_0}{L} \times 100\% \dots\dots\dots(1)$$

Dimana: L_0 = panjang mula dari batang uji (mm)

L = panjang batang uji yang dibebani (mm)

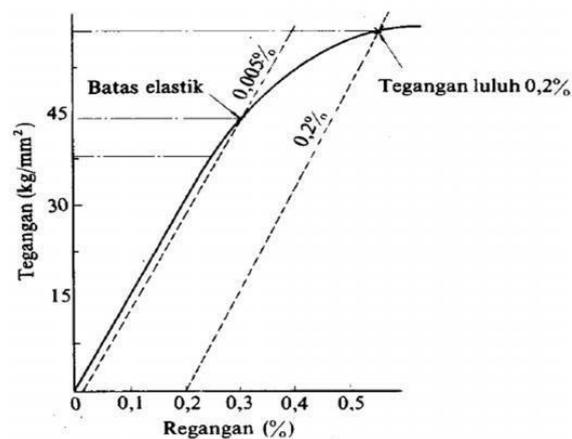
Hubungan antara tegangan dan regangan dapat dilihat pada gambar 2.12.

proporsi, dan titik E menunjukkan batas dimana bila beban diturunkan ke nol lagi tidak akan terjadi perpanjangan tetap pada batang uji, pada kondisi ini disebut batas elastis.



Gambar 2.12 Kurva Tegangan-Regangan
Sumber : (Wiryosumarto,2020)

Titik E sukar ditentukan dengan tepat karena itu biasanya ditentukan batas elastis dengan perpanjangan tetap sebesar 0,005% sampai 0,01%. Titik S_1 disebut titik luluh atas dan titik S_2 titik luluh bawah. Pada beberapa logam, batas luluh ini tidak kelihatan dalam diagram tegangan – regangan. Dan dalam hal ini tegangan luluhnya ditentukan sebagai tegangan dan regangan sebesar 0,2%. Seperti ditunjukkan pada gambar 2.13 (Wiryosumarto, 2020).



Gambar 2.13. Batas Elastis Dan Tegangan Luluh
Sumber: (Wiryosumarto, 2020).

Uji tarik suatu material dapat dilakukan dengan menggunakan *universal testing machine* seperti yang ditunjukkan pada gambar 2.14.



Gambar 2.14. Mesin uji tarik
Sumber: (Aljufri, 2008).

Benda uji dijepit pada mesin uji tarik, kemudian beban statik dinaikan secara bertahap sampai spesimen mengalami putus. Besarnya beban dan pertambahan panjang dihubungkan langsung dengan *plotter*, sehingga diperoleh grafik tegangan (MPa) dan regangan (%) yang memberikan data berupa tegangan luluh (σ_{ys}), tegangan *ultimate* (σ_{ult}), modulus elastisitas beban (E). Ketangguhan dan keuletan sambungan las yang diuji dengan menggunakan *universal testing machine*

2.8 Pengamatan Struktur Mikro

Struktur bahan dalam orde kecil sering disebut struktur mikro, struktur ini tidak dapat dilihat dengan mata telanjang tetapi harus dilihat menggunakan alat pengamat struktur mikro. Alat uji struktur mikro dapat dilihat pada gambar 2.15.



Gambar 2.15 . Alat uji struktur mikro
Sumber: (Setiawan, 2009).

Sebelum melakukan pengamatan struktur mikro, spesimen dipersiapkan melalui langkah-langkah seperti pemontingan, pengamplasan, pemolesan, dan pengetsaan. Bahan uji yang dipilih diratakan menggunakan mesin kikir dan amplas, dengan menjaga kehati-hatian agar tidak menghasilkan panas yang dapat memengaruhi struktur mikro. Pengampelasan dilakukan dengan mengubah arah pada setiap tahap untuk mendapatkan permukaan yang halus dan rata. Setelah itu, bahan yang telah dihaluskan diberi autosol untuk membersihkan noda. Langkah terakhir melibatkan pencelupan spesimen ke dalam larutan etsa, diikuti dengan pencucian untuk memperoleh gambaran struktur mikro yang jelas.

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

3.1. Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan pada waktu dan tempat, yaitu sebagai berikut ini:

3.1.1 Tempat Penelitian

Tempat pengujian untuk pengambilan data pada penelitian tugas akhir ini akan dilakukan di Laboratorium Material Teknik, Fakultas Teknik, Jurusan Teknik Mesin Universitas Lampung.

3.1.2 Tempat Pemotongan Spesimen

Tempat pemotongan spesimen pada penelitian tugas akhir ini ialah dilakukan di laboratorium Pengelasan SMKN 2 Bandar Lampung.

3.1.3 Tempat Pengelasan

Tempat pengelasan setelah dilakukan pemotongan spesimen pada penelitian tugas akhir ini ialah dilakukan pada laboratorium Pengelasan SMKN 2 Bandar Lampung

3.1.4 Tempat Pengujian Tarik

Pengujian tarik dilakukan pada Fakultas Teknik, Gedung Teknik dua, Lantai 1, Laboratorium Rekayasa Material Institut Teknologi Sumatra (ITERA)

3.1.5 Tempat Pengujian Struktur Mikro

Pengujian struktur mikro dilakukan di Labortorium Material Teknik Universitas Diponegoro

3.2 Alat dan Bahan Penelitian

Adapun alat dan bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

3.2.1 Mesin Gergaji

Mesin gergaji digunakan untuk pemotongan spesimen uji sesuai dengan ukuran yang diinginkan.

3.2.2 Mesin Las

Mesin las yang digunakan adalah mesin las SMAW (*Shielded Metal Arc Welding*) yang digunakan untuk menyambung atau mengelas spesimen uji

3.2.3 Elektroda Las

Dalam pengelasan SMAW melibatkan proses peleburan elektroda E7018 dan logam dasar untuk membentuk sambungan pengelasan.

3.2.4 Mesin Gerinda

Digunakan untuk membuat geometri mata pahat sesuai dengan geometri yang diinginkan (mengasah mata pahat).

3.2.5 Mesin Skrap

Digunakan untuk membuat spesimen uji pada proses pembuatan kampuh las alur V tunggal.

3.2.6 Mistar dan Jangka Sorong

Digunakan untuk membantu dalam membuat ukuran spesimen uji.

3.2.7. Alat bantu dan alat keamanan pengelasan

Digunakan untuk membantu dan menjaga keamanan dalam proses pengelasan dan pembuatan spesimen uji, seperti palu, kikir, sikat baja, kikir, helm las, sarung tangan dan lain-lain

3.3 Prosedur Penelitian

Adapun prosedur penelitian dalam melakukan penelitian ini adalah sebagai berikut:

3.3.1 Persiapan Spesimen Uji

Persiapan spesimen uji merupakan langkah awal dari penelitian ini. Ada dua tahap dalam melakukan persiapan spesimen uji yakni pemilihan material yang akan digunakan dan pembuatan kampuh las.

a. Pemilihan Material Spesimen Uji

Material yang digunakan pada penelitian ini adalah baja karbon AISI 1045 dengan ketebalan 12 mm.

b. Pemilihan Elektroda

Elektroda yang digunakan pada penelitian ini adalah elektroda berlapis rutil (E7018). Elektroda ini memiliki lapisan pelindung yang mengandung zat tambahan seperti rutil, yang membantu dalam pembentukan busur listrik yang stabil dan memberikan sifat-sifat mekanis yang baik pada sambungan las.

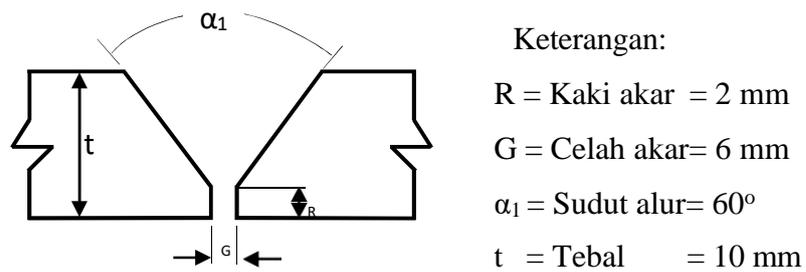
c. Pemilihan arus dan kecepatan pengelasan

Jenis polaritas listrik yang digunakan pada penelitian ini yaitu polaritas lurus atau DCEN (*Direct Current Elektrode Negative*). Pada pengelasan dengan menggunakan polaritas lurus menghasikan 1/2 panas pada elektroda dan 2/3 panas sisanya pada benda kerja polaritas

lurus ini menghasilkan penetrasi yang dalam, sehingga baik digunakan untuk pengelasan material tebal. Variasi arus yang digunakan yaitu 90, 120 dan 150 *ampere* dengan kecepatan pengelasan 1 mm/s.

d. Pembuatan Kampuh Las

jenis kampuh las yang digunakan dalam penelitian ini adalah sambungan las tumpul alur V tunggal, seperti pada gambar 3.1 dibawah ini:



Gambar 3.1 Dimensi sambungan las tumpul dengan alur V tunggal

Ukuran alur pada gambar 3.1 (alur V tunggal) diambil berdasarkan rekomendasi JSSC-1997 (*Japan Society of Steel Construction*) tentang persiapan sisi untuk pengelasan baja. Pembuatan kampuh dilakukan dengan cara baja karbon AISI 1045 dipotong dengan mesin gergaji dan kemudian dibentuk kampuh las dengan mesin sekrap sesuai dengan dimensi yang diperlukan. Adapun mesin las dan spesifikasi yang digunakan ialah sebagai berikut:



Gambar 3.2 Mesin Las SMAW (*Shielded Metal Arc Welding*)

Tabel 3. 1 Spesifikasi Alat Las

Spesifikasi	Keterangan
Model	<i>Shielded Metal Arc Welding (SMAW) 300A</i>
Tipe	Inverter atau Transformer
Tegangan input	220V atau 380V AC
Fase	<i>Single-phase</i> atau <i>Three-phase</i>
frekuensi	50/60 Hz
Daya input	6kVA - 15kVa
Arus input	20A - 300A
Voltage no-load	60V - 80V
Duty cycle	60% pada 300A, 100% pada 200A
Efisiensi	>85%
Power factor	0,93
Diameter elektroda	1,6 mm - 5 mm
Jenis elektroda	E6010, E6011, E6013, E7018, dll.
Dimensi	500 mm x 220 mm x 370 mm
Berat	15 kg - 25 kg
Fitur tambahan	<i>Hot Start, Arc Force, Anti-Stick</i>
Pendinginan	Kipas angin
Material casing	Metal atau plastik tahan panas
Aksesoris	Kabel las, Tang elektroda, <i>Clamp</i> massa, <i>Brush, Shield Mask</i>

3.3.2 Proses Pengelasan

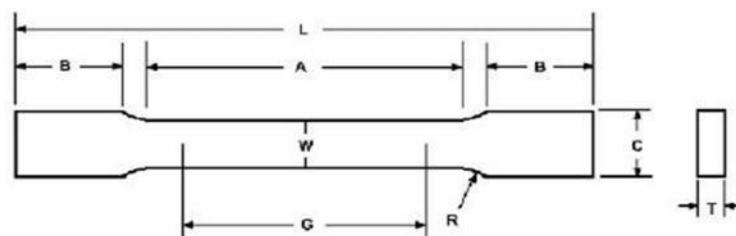
Dalam penelitian ini jenis las yang digunakan adalah *Shielded Metal Arc Welding (SMAW)*. Sebelum proses pengelasan dimulai, logam induk yang sudah dibuat kampuh las tersebut harus dibersihkan dari kotoran seperti debu, minyak, oli atau lemak, karat, air dan lain sebagainya untuk

menghindari terjadinya cacat las. Selanjutnya baja dilas dengan prosedur dan cara pengelasan yang sesuai serta berdasarkan parameter-parameter yang sudah di tentukan yaitu:

1. Pengelasan dengan arus 90 *ampere* dan diameter elektroda 3,2 mm.
2. Pengelasan dengan arus 120 *ampere* dan diameter elektroda 3,2 mm.
3. Pengelasan dengan arus 150 *ampere* dan diameter elektroda 3,2 mm.

3.3.3 Pembuatan Spesimen Uji

Setelah proses pengelasan selesai dilakukan tahap selanjutnya adalah pembuatan spesimen uji tarik yang sesuai dengan standar. Standar yang digunakan untuk pengujian tarik ini adalah ASTM E-8. Pada gambar 3.2 ditunjukkan dimensi dari spesimen uji tarik.



Gambar 3.3.. Dimensi Spesimen Uji Tarik [Standar ASTM E-8]

Keterangan:

L : 200 mm	R : 12,5 mm	W : 10 mm	A : 66 mm
T : 6,5 mm	C : 20 mm	B : 65 mm	G : 60 mm

Adapun gambar dan spesifikasi alat uji tarik pada Laboratorium Rekayasa Material Institut Teknologi Sumatra yang dipakai untuk mengetahui kekuatan tarik dari material AISI 1045 dan perpanjangan dari spesimen pada penelitian ini ialah pada gambar dan tabel sebagai berikut ini:



Gambar 3.4 Alat Uji Tarik Mesin *Zwick Roell 250 KN*

Adapun spesifikasi pada alat uji tarik Mesin *Zwick Roell 250 KN* ialah sebagai berikut ini:

Tabel 3. 2 Spesifikasi Alat Uji Tarik

Spesifikasi	Keterangan
Model	<i>Zwick Roell 250 Kn</i>
Tipe mesin	Mesin Uji Universal
Kapasitas beban maksimal	0.01-500 mm/menit (bisa diatur)
Sistem penggerak	<i>Servo-hydraulic atau Electromechanical</i>
Rentang kecepatan pengujian	0.0005 - 1000 mm/min
Panjang maksimal stroke	1200 mm
Rresolusi pengukuran beban	0,001 N
Akurasi beban	$\pm 0.5\%$ dari nilai terukur
Resolusi pengukuran posisi	0.1 μm
Jenis pengujian	Tarik, Tekan, Lentur, Shear, dan Pengujian Multiaxial
Tinggi area pengujian	1200 mm

Spesifikasi	Keterangan
Lebar area pengujian	600 mm
Jenis kontrol	Kontrol PC dengan <i>software Zwick Roell testXpert III</i>
Antarmuka pengguna	Layar sentuh atau PC dengan <i>software</i>
Fitur keamanan	Perlindungan Overload, Emergency Stop
Konstruksi rangka	Rangka baja kaku dengan desain ergonomis
kalibrasi	Otomatis dan Manual, sesuai dengan standar ISO 7500-1
Daya input	220-240V AC, 50/60 Hz
Konsumsi daya	3 Kw
Dimensi (P x L x T)	1000 mm x 800 mm x 2200 mm
Berat	1200 kg
Aksesoris tambahan	Ragam Grip (Hydraulic, Pneumatic, Mechanical), Extensometers, Temperature Chambers

3.4 Variabel Penelitian

Dari pengujian tarik diperoleh data-data yang berupa nilai tegangan tarik (*ultimate tensile strength*), tegangan luluh (*yield strength*) dan perpanjangan serta grafik tegangan regangan. Data-data tersebut dapat dianalisis dengan cara melihat hubungan tegangan tarik, tegangan luluh, dan regangan yang terjadi pada spesimen uji berdasarkan variasi yang atau parameter yang digunakan pada saat pengelasan. Data dari tiap-tiap spesimen dirata-ratakan dan dimasukkan kedalam tabel data hasil uji tarik untuk keperluan analisis. Sedangkan pada pengujian struktur mikro pada daerah logam las, didapat data-data berupa foto struktur mikro yang kemudian dilakukan suatu analisa untuk

mengetahui struktur mikro dan juga sifat mekanik hasil sambungan las yang sudah selesai.

Adapun tabel pengambilan data pengujian tarik pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

Tabel 3. 3 Data Kekuatan Tarik dan Regangan

Material	Kuat Arus	Nomor spesimen	Kekuatan Tarik Max /UTS (Mpa)	Rata-rata kekuatan tarik max (Mpa)	Max Strain	

Tabel 3. 4 Data Kekuatan Luluh Material (*Yield Strength*)

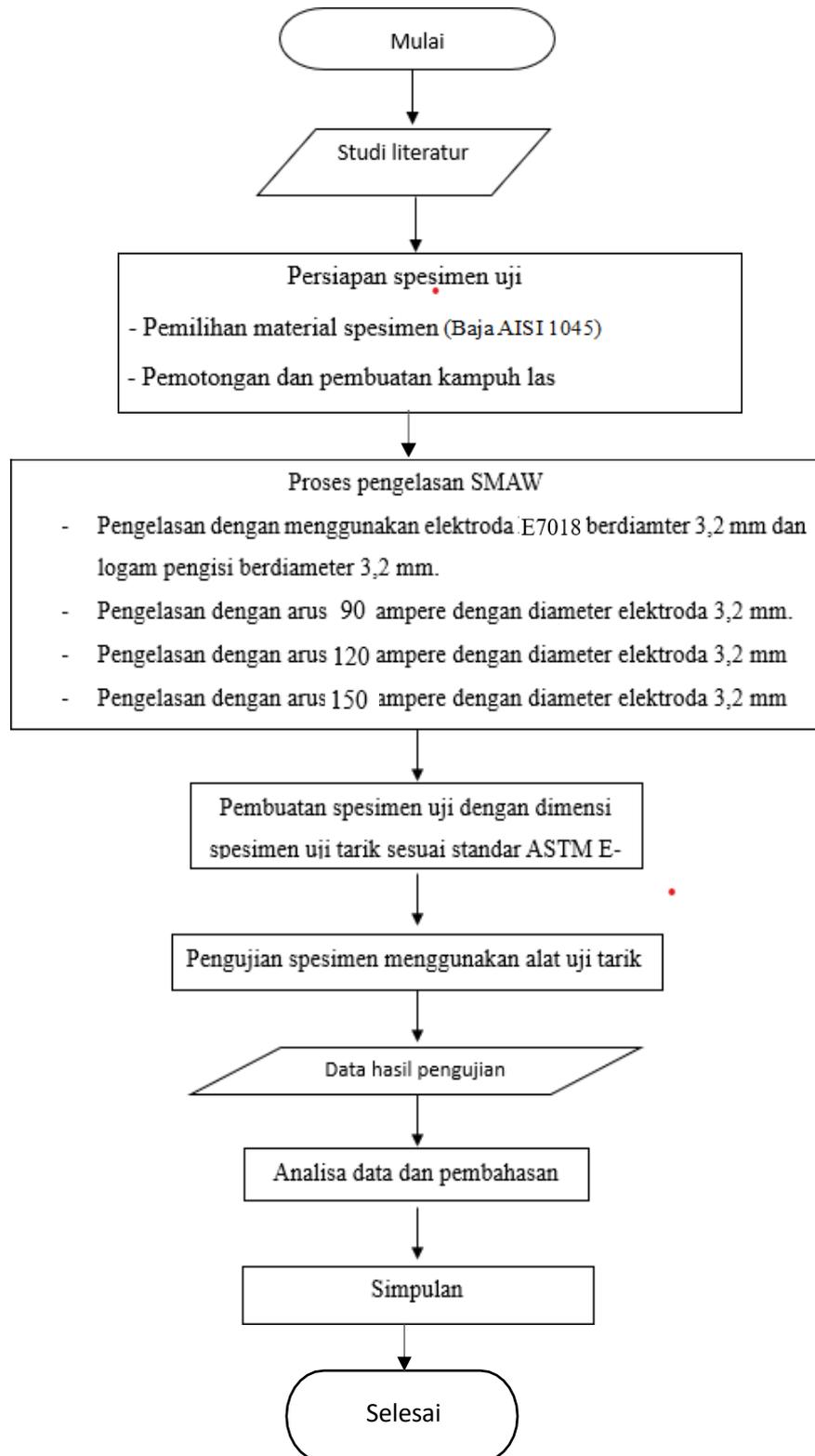
Material	Kuat Arus	Nomor spesimen	Kekuatan Luluh (Mpa)	Rata-rata kekuatan luluh(Mpa)	Modulus (Gpa)	

3.5 Pengamatan Foto Mikro

Setelah spesimen diuji kemudian foto mikro dilakukan, foto spesimen diambil menggunakan mikroskop optik dengan pembesaran yang diinginkan. Prosedur ini diterapkan pada setiap spesimen yang akan diuji hingga selesai.

3.6 Diagram Alir

Adapun diagram alir pada penelitian ini adalah sebagai berikut:



BAB V **SIMPULAN DAN SARAN**

5.1. Simpulan

Berdasarkan hasil dari penelitian tentang pengaruh variasi kuat arus pengelasan terhadap kekuatan tarik hasil pengelasan *Shielded Metal Arc Welding* (SMAW) pada baja AISI 1045 dapat diambil kesimpulan :

1. Penggunaan kuat arus sangat mempengaruhi kekuatan sambungan hasil pengelasan, dimana semakin besar kuat arus yang digunakan maka hasil pengelasannya akan semakin baik. Dari hasil pengelasan SMAW dengan variasi kuat arus 90 ampere, 120 ampere dan 150 ampere menghasilkan kekuatan tarik yang berbeda dan dapat diambil kesimpulan pada penelitian ini bahwa setiap kenaikan arus yang dipakai dalam pengelasan maka berbanding lurus juga terhadap kenaikan kekuatan tarik yang dapat diterima baja karbon AISI 1045. Kekuatan tarik tertinggi dihasilkan pada pengelasan dengan menggunakan kuat arus 150 ampere dengan nilai rata – rata kekuatan tarik sebesar 495,931 MPa, sedangkan kekuatan tarik terendah terdapat pada pengelasan dengan menggunakan kuat arus 90 ampere dengan nilai rata – rata kekuatan tarik sebesar 401,989 MPa.
2. Hasil analisa dari pengamatan struktur mikro pada penelitian ini menunjukkan bahwa pada *base metal* fasa ferrit dan perlite seimbang dan pada *weld metal* memiliki sifat *ductile* karna dominan fasa nya ialah ferrit lalu pada HAZ butiran struktur mikro terlihat kasar yang mengurangi kekuatan serta ketangguhan pada daerah HAZ. Maka disimpulkan bagian yang terpengaruh panasnya pengelasan memiliki titik terlemah spesimen, sehingga pada pengujian tarik mengalami putus pada daerah HAZ .

5.2 Saran

Belajar dari pengalaman yang telah didapat dari penelitian ini, penulis mencobamemberikan beberapa saran agar penelitian selanjutnya menjadi lebih baik yaitu:

1. Sebaiknya pada proses pengelasan harus memperhatikan faktor–faktor yang mempengaruhi hasil sambungan las. Diantaranya penggunaan parameter las yang sesuai, kebersihan kampuh las dan kontaminasi dari udara luar, sehingga dapat mengurangi cacat yang terjadi pada logam hasil pengelasan.
2. Sebaiknya melakukan uji porositas dalam pengelasan agar dapat mengetahui cacat yang terjadi akibat terjebaknya gas dalam logam cair yang kemudian menjadi gelembung gas saat logam tersebut mendingin dan mengeras. Uji porositas bertujuan untuk mendeteksi dan mengevaluasi keberadaan porositas dalam sambungan las

DAFTAR PUSTAKA

- Agus Pramono. 2011. Karakteristik Mekanik Proses Hardening Baja Aisi 1045 Media Quenching Untuk Aplikasi Sprocket Rantai. Jurnal Ilmiah Teknik Mesin Vol. 5 No.1. April 2011 (32-38) 32
- Aljufri. 2008. Pengaruh Variasi Sudut Kampuh V Tunggal Dan Kuat Arus Pada Sambungan Logam Aluminium – Mg 5083 Terhadap Kekuatan Tarik Hasil Pengelasan Tig.
- Arifin, A., & Hendrianto, M. (2018). Pengaruh Arus dan Jarak Kampuh Pengelasan Terhadap Distorsi Sambungan Pelat Baja Karbon Rendah dengan Menggunakan SMAW. Jurnal Teknik Mesin UNTIRTA, IV(1), 20–25.
- ASTM. 2004. Metals_Mechanical Testing_ Elevated and Low-Temperature Tests_ Metallograph, Annual Book of ASTM Standard, Vol. 03.01, E-8M.
- Avner, H, S. 1974. Introduction to Physical Metallurgy. 2nd edition, New York; McGraw- Hill international Editions.
- Budiarsa, I. G. N. N. S. dan I. N. (2008). Pengaruh posisi pengelasan dan gerakan elektroda terhadap kekerasan hasil las baja JIS SSC 41. Jurnal Ilmiah Teknik Mesin Cakram, 2(2)
- Cary, B. Howard. 1989. Modern Welding Technology, second edition, PrenticeHall International, Inc. Engewood. New Jersey.
- Davis, Troxell, dan Hauck. 2020. The Testing of Engineering Materials. Edisi 4. Penerbit Mc Graw Hill. New York.
- Dinata, Ryan., Mardin., dan Habib, Faisal. 2022. Pengaruh Perlakuan Panas Baja

AISI 1045 Terhadap Kekuatan Tarik. JOURNAL TECHNOLOGY PROCESS (JTP). Vol. 02, No. 01. Universitas Muslim Indonesia, Kota Makassar.

Dowling E, Norman. 1999. Mechanical Behavior of Materials. 2nd adition. Printed in the United States of America.

Glyn, et.al. 2001. Physical Metallurgy of Steel. Class Notes and lecture material. For MSE 651.01. Katulistiwa, Inggil. 2014. Pengaruh besar arus pengelasan dan jenis elektroda las Tungsten Inert Gas (TIG) pada baja karbon rendah terhadap kekuatan tarik dan bending. Surabaya: Universitas Negri Surabaya.

Ninien, Sckolastika dan Ponimin. 2011. Analisa Pengaruh Penggunaan Variasi Besaran Arus Pada Las TIG Terhadap Perubahan Struktur. Bandung: Politeknik Negeri Bandung.

Sack, Raymond J. 1997. "Welding: Principles and Prantices". Ms GrawHill. USA.Robert, E.,R., dan Abbaschian, L.(2009). Physical Metallurgy Principles, 4th ed.Printed in the United States of America

Samsudin, H. dan JP, Rubijanto. 2012. Variasi Arus Listik Terhadap Sifat Mekanis Sambungan Las Shielding Metal Arc Welding (SMAW). Semarang: Universitas Muhammadiyah Semarang.

Setiawan, Rahmat. 2009.Studi Sifat Mekanis Perbandingan Dari Hasil Pengelasan Oksiasitilin dan Arc Listrik Pada Plat ST37 dengan Ketebalan 3,5 mm. Medan. Universitas Sumatra Utara.

Sibrani, H. 2004. Pengelasan TIG Pada Pelat Alluminium Paduan Seri E1145. ITB Library.

Sonawan H dan Suratman R 2006. Pengantar untuk memahami proses pengelasan logam, cetakan kedua, cv alfabeta bandung.Sriwidharto. 2006. Petunjuk Kerja Las. Cetakan Ke 6. Pradnya Paramita. Jakarta.

Sunaryo, H. 2008. Teknik Pengelasan Kapal Jilid I Untuk SMK. Direktorat Pembinaan Sekolah Menengah Kejuruan, Departemen Pendidikan

Nasional. Jakarta.

Suryono, Eko. 2014. Pengaruh Kuat Arus Pengelasan sambungan las Tungsten Inert gas (TIG) Terhadap sifat fisis dan mekanis Plat Baja Karbon Rendah. Yogyakarta: Institut Sains dan Teknologi AKPRIND. Tim Penyusun, Fakultas Teknik UNY. 2004. Mengelas Dengan proses Las Gas Tungsten. Direktorat Jenderal Pendidikan Dasar dan Menengah, Departemen Pendidikan Nasional

Wiryo Sumarto, Harsono dan Okumura, T. 2020. Teknologi Pengelasan Logam. Cetakan Ke VIII. Pradnya Paramita. Jakarta.