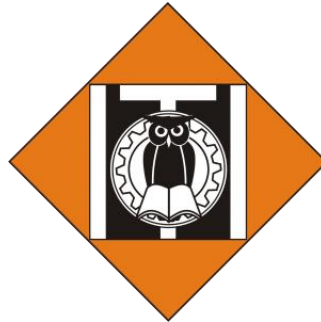


# **LAPORAN PENELITIAN**

## **Peningkatan Kualitas Pengelasan *Gas Metal Arc Welding* (GMAW) Pada *Stainless Steel***



### **Tim Peneliti:**

Ketua Peneliti : Dr. Pathya Rupajati, ST, MT (NIDN.0313108701)  
Anggota Mahasiswa : Aprilio (NRP.1122000005)

**PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN  
INSTITUT TEKNOLOGI INDONESIA  
TANGERANG SELATAN**

**FEBRUARI 2025**



# INSTITUT TEKNOLOGI INDONESIA

Jl. Raya Puspiptek, Tangerang Selatan - 15314  
(021) 7562757

[www.iti.ac.id](http://www.iti.ac.id) [institutteknologiindonesia](https://www.instagram.com/institutteknologiindonesia) [@kampusITI](https://www.facebook.com/kampusITI) [Institut Teknologi Indonesia](https://www.youtube.com/channel/UCkampusITI)

## SURAT TUGAS

No. : 009/ST-PLT/PRPM-PP/ITI/XII/2024

- Pertimbangan : Bahwa dalam rangka melaksanakan kegiatan Penelitian Bagi dosen Program Studi Teknik Mesin Institut Teknologi Indonesia, perlu dikeluarkan surat tugas.
- Dasar : 1. Pembebanan Tugas Dosen Program Studi Teknik Mesin;  
2. Surat Permohonan Tanggal 09 Desember 2024;  
3. Kepentingan Institut Teknologi Indonesia.

## DITUGASKAN

- Kepada : Dosen Program Studi Teknik Mesin – ITI (Terlampir)
- Untuk : 1. Melaksanakan kegiatan Penelitian pada Semester Ganjil Tahun Akademik 2024/2025;  
2. Melaporkan hasil tugas kepada Kepala PRPM - ITI;  
3. Dilaksanakan dengan penuh rasa tanggung jawab.

Tangerang Selatan, 11 Desember 2024  
Pusat Riset dan Pengabdian Masyarakat  
Kepala,

  
Prof. Dr. Ir. Ratnawati, M.Eng.Sc., IPM

Tembusan Yth.

1. Wakil Rektor Bid Akademik, Penelitian dan Kemahasiswaan
2. Ka. Biro SDMO
3. Ka. Prodi T.Mesin
4. Arsip

Lampiran Surat Tugas  
No. 009/ST-PLT/PRPM-PP/ITI/XII/2024  
Tanggal 09 Desember 2024

DAFTAR PENELITIAN DOSEN PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN SEMESTER GANJIL TAHUN AKADEMIK 2024/2025

NO	TOPIK PENELITIAN	BIDANG	NAMA DOSEN	SUMBER DANA	JUMLAH DANA (Rp)	KETERLIBATAN PRODI/INSTITUSI LAIN	KETERLIBATAN MAHASISWA
1	Analisa Kegagalan Produk Pengelasan Komponen Boom Hydraulic Excavator (PC400)	Engineering & Technology	Prof. Dr. Ir. Dwita Suastyanti, M.Si., IPM., Asean.Eng	Mandiri	15.000.000	PT. Komatsu Indonesia	Bagus Nur Ramadhan (NRP: 1122200010)
2	Konversi Energi Listrik Menggunakan Bulb Turbine dengan Memanfaatkan Arus Air Laut (Tidal Energy)	Engineering & Technology	Ir. J. Victor Tuapetel, S.T., M.T., PhD., IPM., ASEAN.Eng	Mandiri	10.000.000	Tidak Ada	Hanif Dwi Rahmanda (NRP: 1122000019)
3	Studi Literatur Perbandingan Koefisien Konkordansi Kendall dengan Analytical Hierarchy Process dalam Pengambilan Keputusan	Engineering & Technology	Dra. Ir. Perak Samosir, M.Si., IPU	Mandiri	10.000.000	Tidak Ada	Galih Mahesa Fitriadhy (NRP: 1122200008)
4	Perancangan Sasis Karavan Menggunakan Software Elemen Hingga	Engineering & Technology	Dipl. Ing. Mohammad Kurniadi Rasyid	Mandiri	10.000.000	Tidak Ada	Aditya Aghnia Abadi (NRP: 1122100022)
5	Peningkatan Kualitas Pengelasan GMAW pada Stainless Steel	Engineering & Technology	Dr. Pathya Rupajati, S.T., M.T	Mandiri	10.000.000	Tidak Ada	Aprilio (NRP: 11200005)



Pusat Riset dan Pengabdian Masyarakat  
Institut Teknologi Indonesia  
Kepala  
Prof. Dr. Ir. Ratnawati, M.Eng.Sc., IPM

## HALAMAN PENGESAHAN

Judul	: “Peningkatan Kualitas Pengelasan <i>Gas Metal Arc Welding</i> (GMAW) Pada <i>Stainless Steel</i>
Jenis Penelitian	: Penelitian Dasar
Bidang Penelitian	: Materials Engineering
Tujuan Sosial Ekonomi	: Manufacturing
Peneliti/Pelaksana	
Nama Lengkap	: Dr. Pathya Rupajati, ST, MT
Perguruan Tinggi	: Institut Teknologi Indonesia (ITI)
NIDN	: 0313108701
Jabatan Fungsional	: Lektor
Program Studi	: Teknik Mesin
Nomor HP	: 082131636757
Alamat email	: pathya.rupajati@iti.ac.id
Anggota (1) Nama Mahasiswa	: Aprilio
NRP	: 1122000005
Perguruan Tinggi	: Institut Teknologi Indonesia (ITI)
Institusi Sumber Dana	: Mandiri
Biaya Tahun Berjalan	: Rp 10.000.000.
Biaya Keseluruhan	: Rp 10.000.000.
Tahun Pelaksanaan	: Tahun ke 1 dari rencana 1 tahun

Tangerang Selatan, 18 Februari 2025

Mengetahui,  
Ketua Program Studi Teknik Mesin ITI

  
Ir. J. Victor Tuapeta, ST, MT, PhD, IPM, ASEAN Eng  
NIDN. 0322096803

Ketua Tim Peneliti

  
Dr. Pathya Rupajati, ST, MT  
NIDN. 0313108701

Menyetujui  
Kepala Pusat Riset dan Pengabdian Masyarakat ITI

  
(Prof. Dr. Ir. Ratnawati, M. Eng. Sc., IPM)  
NIDN. 0301036503

## KATA PENGANTAR

Dengan mengucapkan Syukur Alhamdulillah kepada Allah SWT, maka laporan penelitian yang berjudul : “Peningkatan Kualitas Pengelasan *Gas Metal Arc Welding* (GMAW) Pada *Stainless Steel*”. Kegiatan yang mulai dilaksanakan pada bulan Agustus 2024 sampai dengan bulan Februari 2025 telah berhasil disusun sebagai laporan akhir. Pada kesempatan ini, penulis menyampaikan ucapan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada :

1. Ir. Jones Victor Tuapetel, ST, MT, PhD, IPM, ASEAN Eng sebagai Ketua Program Studi Teknik Mesin ITI
2. Prof. Dr. Ir. Ratnawati, MT, IPM, sebagai Ketua Pusat Riset dan Pengabdian Kepada Masyarakat ITI yang telah memberikan penugasan untuk kegiatan ini.
3. Mahasiswa Teknik Mesin ITI Angkatan 2021 yang telah membantu penulis dalam pengambilan data.
4. Mbak Marni, tenaga kependidikan Program Studi Teknik Mesin ITI.
5. Mbak Rita, tenaga kependidikan Pusat Riset dan Pengabdian Masyarakat ITI
6. Seluruh pihak yang telah membantu atas kelancaran pengabdian masyarakat ini.

Tim pelaksanaan sangat terbuka untuk menerima masukan, saran maupun kritik terhadap kegiatan dan pembuatan laporan ini. Semoga laporan kegiatan ini mempunyai manfaat.

Serpong, Februari 2025  
Ketua Peneliti

(Dr. Pathya Rupajati, ST, MT)

# **Peningkatan Kualitas Pengelasan *Gas Metal Arc Welding* (GMAW) Pada *Stainless Steel***

## **ABSTRAK**

Proses pengelasan *Gas Metal Arc Welding* (GMAW) merupakan salah satu teknik pengelasan yang umum digunakan dalam berbagai industri, termasuk industri manufaktur dan konstruksi, untuk menyambungkan bahan logam. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh parameter pengelasan GMAW terhadap kualitas sambungan las pada material *stainless steel*. Dalam penelitian ini, variasi parameter yang diuji meliputi arus listrik, kecepatan las, dan jenis gas pelindung yang digunakan. Variable respon yang diamati adalah pengujian tarik, struktur makro, struktur mikro. Hasil pengujian menunjukkan bahwa perubahan arus listrik dan kecepatan las dapat memengaruhi sifat mekanik sambungan las, seperti kekuatan tarik, ketangguhan, serta kualitas visual dari sambungan las.

Kata kunci: GMAW, *Stainless Steel*

## BAB I

### PENDAHULUAN

#### 1. 1. Latar Belakang

*Gas Metal Arc Welding* (GMAW) merupakan proses pengelasan busur yang memiliki produktivitas lebih tinggi dan kualitas yang baik. Proses *Metal Inert Gas* (MIG) yang juga disebut GMAW adalah proses yang meliputi pemanasan, peleburan dan pemadatan logam induk dan bahan pengisi (elektroda kawat) di zona fusi terbatas oleh sumber panas sementara untuk membentuk sambungan antara logam induk. Elektroda kawat kontinu dari pengumpan kawat otomatis dan diumpankan melalui ujung kontak di dalam obor las dilebur atau dilelehkan oleh daya resistif internal dan panas yang ditransfer dari busur las. Panas ditentukan dari ujung elektroda leleh ke kolam las cair dan oleh logam cair yang ditransfer ke kolam las. Baja tahan karat atau *stainless steel* 316 L memiliki ketahanan korosi yang baik dan kualitas mekanik karena dimasukkannya unsur-unsur seperti Mo, Ni, dan Cr. SS 316 L memiliki temperatur pengelasan yang lebih tinggi antara 1300°C-1400°C, di mana sangat baik untuk fusi antara dua lapisan. SS 316 L terutama digunakan dalam GMAW karena tingkat deposisi yang lebih tinggi. Karena tingkat deposisi yang lebih tinggi, komponen berkekuatan tinggi dapat dengan mudah dibuat dengan baik sifat mekanik. SS 316 L adalah austenitik rendah karbon baja tahan karat dengan kandungan karbon 0,03 persen. Karena ketahanan korosi dan kemampuan las yang sangat baik, dengan kekuatan dan keuletan yang tinggi, biokompatibilitas yang kuat, dan biaya rendah, SS 316 L dapat diaplikasikan untuk industri aplikasi peralatan maritim, lepas pantai, biomedis, mobil, fasilitas petrokimia, dan reaktor nuklir. GMAW berbasis *wire arc additive manufacturing* untuk fabrikasi struktur berlapis-lapis pada Baja 2,25 Cr-1,0 Mo menggunakan kawat inti logam. Teknik optimasi digunakan untuk menghasilkan pengaturan parameter yang sesuai dari variabel GMAW untuk fabrikasi struktur berlapis-lapis tipis. Hasil yang diperoleh menunjukkan bahwa struktur berlapis-lapis dengan deposisi manik-manik yang identik tanpa pelepasan diperoleh melalui pengaturan parametrik yang dioptimalkan [1]. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh variasi parameter GMAW terhadap kualitas pengelasan stainless steel mikrostruktur dan sifat mekanik baja karbon.

Pengaruh berbagai parameter GMAW, seperti arus listrik, kecepatan las, dan jenis gas pelindung terhadap kualitas sambungan las stainless steel tipe 304. Hasil penelitian menunjukkan bahwa arus listrik yang lebih tinggi menghasilkan kedalaman penetrasi yang

lebih baik, tetapi juga meningkatkan risiko terjadinya porositas pada sambungan. Kecepatan las yang lebih tinggi cenderung mengurangi kualitas visual sambungan, meskipun tidak berpengaruh signifikan terhadap kekuatan tarik sambungan las. Gas pelindung argon dengan campuran karbon dioksida (CO<sub>2</sub>) terbukti memberikan hasil yang lebih baik dalam hal kekuatan sambungan dan ketahanan terhadap korosi. Dengan menganalisis hasil pengelasan melalui pengujian kekuatan tarik, kekerasan, dan karakterisasi mikrostruktur, sehingga dapat diperoleh korelasi antara parameter pengelasan dan kualitas sambungan. pengaruh parameter pengelasan GMAW terhadap mikrostruktur dan sifat mekanik pada pengelasan stainless steel 316. Penelitian ini menunjukkan bahwa peningkatan arus listrik menyebabkan perubahan mikrostruktur yang lebih besar pada zona pengaruh panas (HAZ), dengan terbentuknya fasa yang lebih keras. Selain itu, sifat mekanik, seperti kekuatan tarik dan ketangguhan, mengalami penurunan pada sambungan las yang memiliki microstructure yang tidak homogen. Penelitian ini juga menyoroti pentingnya kontrol yang tepat terhadap parameter pengelasan untuk mencegah kerusakan material.

## **1. 2. Rumusan Masalah**

Perumusan masalah berdasarkan latar belakang yang telah diberikan adalah bagaimana pengaruh-pengaruh parameter pengelasan pengelasan *gas metal arc welding* (GMAW) terhadap kualitas stainless steel.

## **1. 3. Batasan Masalah**

Batasan masalah yang digunakan agar penelitian dapat berjalan fokus dan terarah serta dapat mencapai tujuan yang diinginkan adalah sebagai berikut

1. Material yang digunakan adalah plat *stainless steel* dengan dimensi 300 mm x 150 mm x 8 mm.
2. Proses pengelasan menggunakan metode GMAW
3. Elektrode yang digunakan adalah ER309[2]
4. Gas pelindung yang digunakan adalah gas argon dengan laju aliran gas
5. Bentuk bevel yang digunakan adalah single v groove butt joint.
6. Kuat arus yang digunakan sebesar 90-150 A serta tegangan sebesar 18-26 volt.

## **1. 4. Tujuan Penelitian**

Tujuan penelitian berdasarkan rumusan masalah adalah menganalisis parameter pengelasan terhadap kualitas pengelasan *gas metal arc welding* (GMAW) pada stainless steel

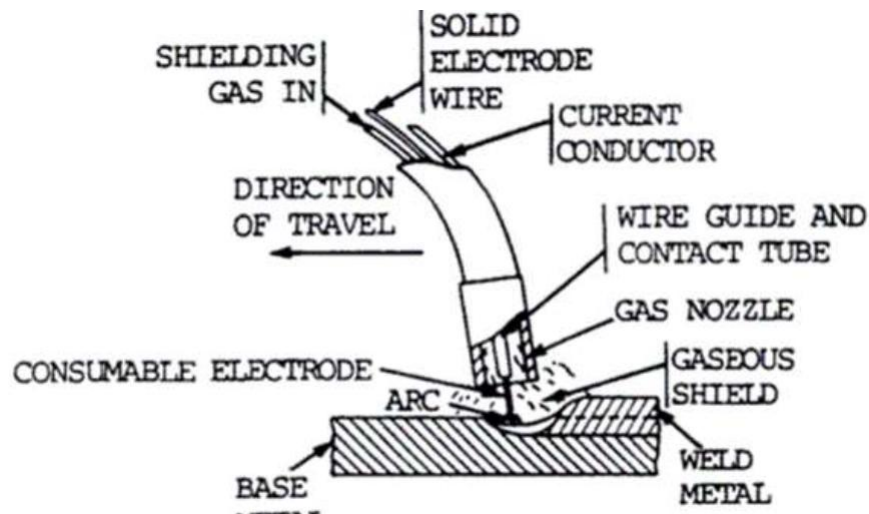


## BAB II

### TINJAUAN PUSTAKA

#### 2.1. *Gas Metal Arc Welding (GMAW)*

*Gas Metal Arc Welding (GMAW)* adalah proses pengelasan busur yang menghasilkan penggabungan logam dengan memanaskannya dengan busur antara elektroda logam pengisi yang diumpankan secara kontinu dan benda kerja. Proses ini menggunakan pelindung dari gas yang disuplai secara eksternal untuk melindungi kolam las cair. Gas metal arc welding (GMAW), kadang-kadang disebut dengan subtype pengelasan *metal inert gas (MIG)* atau pengelasan *metal active gas (MAG)*, adalah proses pengelasan di mana busur listrik terbentuk di antara elektroda kawat yang dapat dikonsumsi dan logam benda kerja, yang memanaskan logam benda kerja, menyebabkannya meleleh dan bergabung. Bersamaan dengan elektroda kawat, gas pelindung dialirkan melalui *torch*, yang melindungi proses dari kontaminan di udara. Prosesnya bisa semi-otomatis atau otomatis. Tegangan konstan, sumber daya arus searah paling sering digunakan dengan GMAW, tetapi sistem arus konstan, serta arus bolak-balik. Pengelasan busur logam gas pada awalnya dikembangkan sebagai proses deposisi tinggi, laju pengelasan tinggi yang memiliki keuntungan dari arus pengelasan tinggi dan pengumpanan kawat yang kontinu. Namun, dalam beberapa tahun terakhir, industri telah menjadi lebih efisien dan upaya dilakukan untuk mengatasi keterbatasan pengelasan busur logam gas konvensional yang pada gilirannya mengarah pada pengembangan pengelasan busur logam gas berdenyut (GMAW-P). Mekanisme pengelasan gas metal arc welding ditunjukkan pada Gambar 2.1.[2]



### Gambar 1. Skema Proses Pengelasan *Gas Metal Arc Welding* (GMAW)

Tejas Vyas dkk telah melakukan penelitian tentang optimasi parametrik proses GMAW untuk material baja tahan karat austenitik (AISI 304L) dengan menggunakan metode taguchi. Percobaan tersebut tentang optimasi proses GMAW dengan metode taguchi. Beberapa upaya telah dilakukan oleh peneliti yang berbeda untuk mengetahui pengaruh parametrik pada karakteristik yang diinginkan. Selain itu, beberapa penelitian telah dilakukan untuk mengembangkan model matematis perpindahan panas, model jaringan syaraf tiruan (*artificial neural network*) juga telah dibuat untuk memprediksi pengaruh parameter proses terhadap respon. Optimasi proses dan aspek terkait lainnya dari GMAW telah dipertimbangkan oleh banyak peneliti.

## 2.2. *Stainless Steel*

Stainless steel merupakan logam yang anti korosi yang mengandung setidaknya 11,50% kromium (menurut standar Eropa EN10088) dan mengandung elemen paduan lainnya. Ketahanan korosi dari baja paduan ini disebabkan oleh adanya lapisan oksida pasif pada permukaannya. Saat terkena kondisi yang menghilangkan lapisan oksida pasif, baja tahan karat akan mengalami serangan korosif. Laju pembentukan kembali lapisan pasif baja tahan karat di atmosfer tergantung pada kandungan kromiumnya. Berikut ini merupakan faktor-faktor dalam pemilihan baja tahan karat[3]:

- Ketahanan terhadap korosi
- Ketahanan terhadap oksidasi dan sulfidasi
- Kesesuaian untuk teknik fabrikasi yang dimaksudkan
- Kesesuaian untuk prosedur pembersihan yang dimaksudkan
- Ketangguhan pada temperatur sekitar (Rendah & Tinggi)
- Ketahanan terhadap abrasi dan erosi
- Ketahanan terhadap rasa sakit dan perebutan
- Permukaan akhir dan / atau reflektifitas

Baja Tahan Karat Austenitik memiliki tiga jenis utama, yaitu:

Karbon Rendah kelas 304L, biasanya 0,03% Maks

304 kelas Karbon Sedang, biasanya 0,08% Maks

Karbon Tinggi kelas 304H, biasanya hingga 0,1%

Baja tahan karat austenitik sensitif terhadap retak pemadatan. Pengotor seperti fosfor dan sulfur memiliki pengaruh yang merugikan pada fenomena ini karena menyebabkan terjadinya fase dengan titik leleh rendah, menyebabkan lapisan cair di antara

butiran selama pemadatan, yang tidak mampu menahan gaya penyusutan. Oleh karena itu, sangat penting untuk menggunakan baja dan bahan pengisi dengan konsentrasi rendah dari pengotor ini dan membersihkan benda kerja sebelum pengelasan. Sertifikat material membuktikan bahwa grade yang digunakan dalam penelitian ini memiliki konsentrasi pengotor yang rendah. Struktur mikro yang mengandung sedikit ferit dapat membantu mengurangi pengaruh tersebut karena pengotor larut lebih baik dalam ferit daripada austenit. Selain itu, butiran ferit meningkatkan jumlah total batas butir dalam material sehingga fase leleh yang rendah harus menutupi permukaan yang lebih besar, tidak dapat membentuk film yang kontinu. Material austenitik yang digunakan dalam penelitian ini secara inheren mengandung ferit, seperti yang dapat diturunkan dari diagram Schaeffler yang diberikan. Geometri las yang dioptimalkan juga dapat meningkatkan ketahanan terhadap retak pemadatan karena las dengan rasio kedalaman terhadap lebar yang tinggi lebih rentan terhadap jenis kegagalan ini. Alasannya dapat ditemukan pada pemisahan fase leleh rendah ke tengah kolam las, di mana retak akan terjadi, bukan di bagian atas las. Hal ini dapat dipertimbangkan selama pemilihan parameter dan optimalisasi prosedur pengelasan.

Karena adanya ferit dalam struktur mikronya, baja tahan karat dupleks tidak terlalu rentan terhadap retak pemadatan. Lebih penting lagi, keseimbangan austenit-ferit dalam struktur mikro mendekati 50%-50% untuk bahan dasar tetapi dapat sangat dipengaruhi oleh pengelasan karena pendinginan yang cepat, dikombinasikan dengan pemadatan feritik, dapat mencegah pembentukan austenit. Jumlah austenit yang rendah akan menghasilkan ketangguhan dan keuletan yang lebih rendah, sementara jumlah austenit yang berlebihan akan mempengaruhi kekuatan dan ketahanan terhadap retak korosi secara negatif. Dengan mengontrol input panas (dan dengan demikian parameter pengelasan) dalam kaitannya dengan geometri benda kerja dan karena adanya penambahan elemen pembentuk austenit dalam material pengisi, kandungan austenit dalam logam las dan HAZ. Keseimbangan austenit-ferit dengan 30-55% ferit (biasanya sekitar 45% ferit) harus dipertahankan dan dikontrol dalam DSS 2205. Penyimpangan yang signifikan dalam rasio austenit-ferit dari kisaran ini dapat berdampak negatif pada sifat mekanik dan ketahanan korosi sambungan las. Kandungan ferit yang sangat rendah ( $<25\%$ ) dapat menyebabkan penurunan kekuatan dan risiko retak korosi tegangan. Kandungan ferit yang sangat tinggi ( $>75\%$ ) dapat menyebabkan berkurangnya ketahanan korosi dan ketangguhan benturan

### 2.3. Daerah-daerah Pengelasan

Dalam proses pengelasan, terdapat beberapa daerah yang penting untuk dipahami. Daerah-daerah ini terbentuk karena pengaruh panas yang dihasilkan selama proses pengelasan dan memiliki sifat yang berbeda-beda. Berikut adalah penjelasan tentang daerah-daerah pengelasan:

#### 1. Daerah Leleh (*Fused Zone* atau *Weld Pool* atau *weld metal*)

Daerah leleh adalah area di sekitar titik pengelasan yang mengalami temperatur sangat tinggi, sehingga logam menjadi cair. Setelah proses pendinginan, logam ini mengeras dan membentuk sambungan pengelasan. Daerah ini terdiri dari logam induk yang sudah meleleh dan logam pengisi (electrode atau filler metal).

#### 2. Daerah Pengaruh Panas (Heat Affected Zone - HAZ)

HAZ adalah bagian dari logam induk yang tidak melebur tetapi terpengaruh oleh temperatur tinggi selama pengelasan. Walaupun tidak leleh, temperatur yang tinggi dapat mengubah sifat material, seperti struktur kristal, kekuatan, dan ketahanan terhadap korosi. HAZ dibagi menjadi beberapa sub-daerah yang terpengaruh oleh temperatur yang berbeda:

- Daerah Aplikasi Panas Rendah (Low Heat Affected Zone): Bagian yang hanya mengalami sedikit perubahan struktur.
- Daerah Aplikasi Panas Tinggi (High Heat Affected Zone): Bagian yang mengalami perubahan lebih besar, dengan kemungkinan retak atau perubahan sifat mekanik yang signifikan.

#### 3. Daerah Dasar (Base Metal)

Daerah ini adalah bagian dari logam induk yang tidak terkena panas pengelasan langsung dan tidak mengalami perubahan apapun. Logam ini berada di luar pengaruh panas pengelasan atau berada pada jarak yang cukup jauh dari titik pengelasan sehingga tetap dalam kondisi awal.

### 2.4. Diagram Scaeffler

*Stainless steel* atau baja tahan karat umumnya dianggap sebagai material yang dapat dilas, tetapi ada banyak aturan yang harus dipertimbangkan untuk mendapatkan hasil pengelasan yang bebas cacat dan dengan struktur mikro yang diharapkan untuk mendapatkan perilaku yang baik dalam perlakuan logam stainless steel. Ferit penting untuk menghindari keretakan panas selama pendinginan dari pengelasan baja tahan karat

austenitik. 'Diagram konstitusi diagram' digunakan untuk memprediksi tingkat ferit dari komposisi dengan membandingkan efek austenit dan ferit elemen penstabil. Diagram Schaeffler dan Delong adalah metode asli untuk memprediksi keseimbangan fase dalam pengelasan baja tahan karat austenitik. Lebih tepatnya,  $\delta$ -ferrit sisa yang dapat ditemukan pada temperatur kamar setelah baja tahan karat dilas, yaitu setelah mengalami proses peleburan yang diikuti dengan pemadatan, akan menentukan perilaku selama masa pakainya. Telah diketahui bahwa pemadatan feritik primer menghindari fenomena retak panas pada baja tahan karat austenitik, tetapi penentuan mode pemadatan memerlukan analisis metalografi, yang merupakan uji destruktif. Oleh karena itu, secara praktis, kandungan  $\delta$ -ferrit minimum 3-4 FN (angka ferit) dianggap sebagai indikator yang dapat diterima untuk memastikan tidak adanya retak panas selama pemadatan. Namun, untuk aplikasi atau kondisi perlakuan tertentu, perlu untuk menerapkan kandungan  $\delta$ -ferrit maksimum, mis, untuk kondisi temperatur tinggi atau siklus termal (350-900°C) ketika  $\delta$ -ferrit dapat mengalami dekomposisi spinodal atau diubah menjadi ( $\sigma$ ) fase sigma, menyebabkan penggetasan dan penurunan ketahanan terhadap korosi. Hal ini juga diperlukan untuk menetapkan kandungan  $\delta$ -ferrit maksimum dalam kasus baja tahan karat yang digunakan dalam kondisi kriogenik, karena hal ini memengaruhi keuletan material dan ketangguhan temperatur rendah [2]

Hubungan antara kandungan  $\delta$ -ferrit dan sifat mekanik dan ketahanan korosi pada baja tahan karat telah mendorong para peneliti untuk menemukan alat prediktif dan metode pengukuran sejak awal abad ke-20. Metode prediktif sangat penting selama tahap desain proyek untuk mendapatkan pendekatan yang baik terhadap tingkat  $\delta$ -ferit yang akan dicapai, ketika deposit atau bantalan las tidak tersedia.

Nickel Equivalent dihitung untuk elemen penstabil austenit dan elemen penstabil ferit 'setara kromium'. Ini digunakan sebagai sumbu untuk diagram, yang menunjukkan area setara komposisi di mana fasa austenit, ferit, martensit (dan campurannya) harus ada. Meskipun dimaksudkan untuk menunjukkan keseimbangan fasa dari filler las, diagram ini juga dapat digunakan untuk mengilustrasikan keseimbangan fasa dari material 'induk'. Ada diagram yang berbeda untuk sistem paduan yang berbeda. Persamaan untuk nickel and chromium equivalents

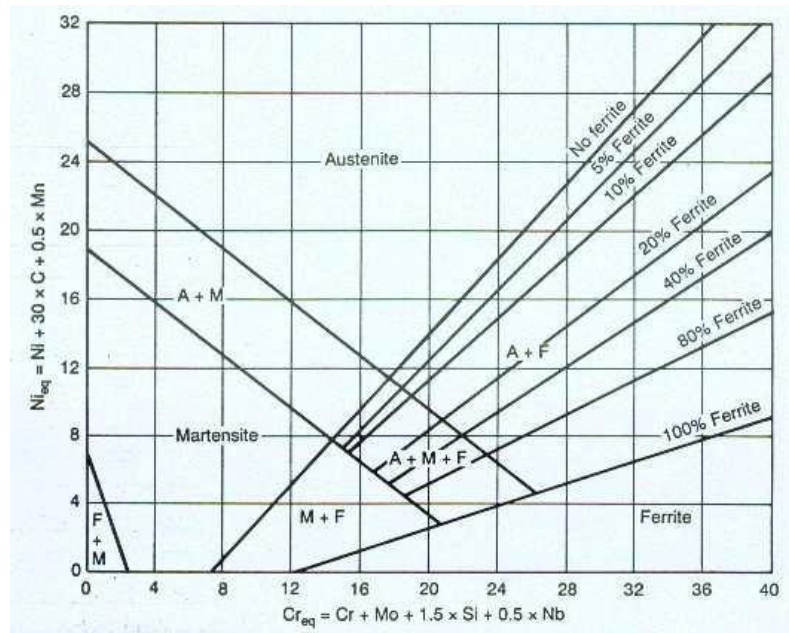
$$\text{Ni (eq)} = \text{Ni} + (30 \times \text{C}) + (0.5 \times \text{Mn})$$

$$\text{Cr (eq)} = \text{Cr} + \text{Mo} + (1.5 \times \text{Si}) + (0.5 \times \text{Nb})$$

Ini memberikan diagram yang berguna untuk baja austenitik, kecuali yang ditambahkan nitrogen. Nilai untuk komposisi stainless steel 304 (1.4301) dan 316 (1.4401) ditunjukkan pada Tabel 2.1.

Tabel 2.1. Komposisi kimia stainless steel 304

Stainless steel	Ni (equiv)	Cr (Equiv)
304	10.15	18.92
316	13.15	19.83



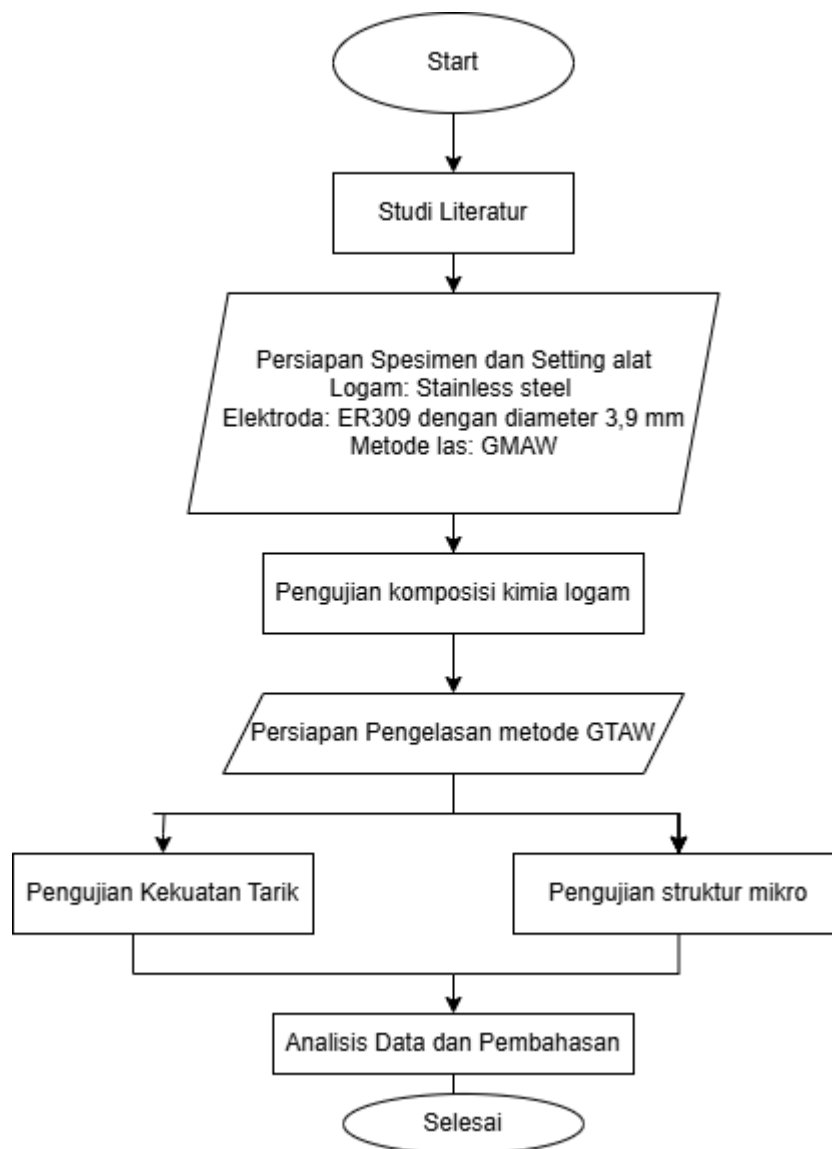
Gambar 2.2. Diagram Schaeffler[2]

## BAB III

### METODOLOGI PENELITIAN

#### 3.1. Tahapan-Tahapan Penelitian

Tahapan – tahapan yang akan dilakukan pada penelitian ini mengikuti diagram alir yang ditunjukkan pada Gambar 3.1



Gambar 3.1 Diagram alir penelitian (lanjutan)

### 3.2. Variabel-variabel dalam penelitian

#### 1) Variabel Kontrol

Variabel yang dapat dikendalikan dan nilainya dapat ditentukan berdasarkan tujuan dari penelitian yang dilakukan dan pertimbangan yang lain. Variabel kontrol yang digunakan pada penelitian ini adalah kuat arus

#### 2) Variabel Respon

Variabel respon merupakan respon yang akan diamati dalam penelitian. Variabel respon yang digunakan pada penelitian ini adalah kekuatan tarik dan struktur mikro.

### 3.3. Bahan dan peralatan penelitian

#### 1) Bahan Penelitian

Material yang digunakan ppada penelitian ini adalah material *stainless steel* beserta dimensinya ditunjukkan pada Gambar 3.1. Elektroda yang digunakan adalah E308 dengan dimaeter 0.8 mm dengan komposisi kimia ditunjukkan pada Tabel.3.1.

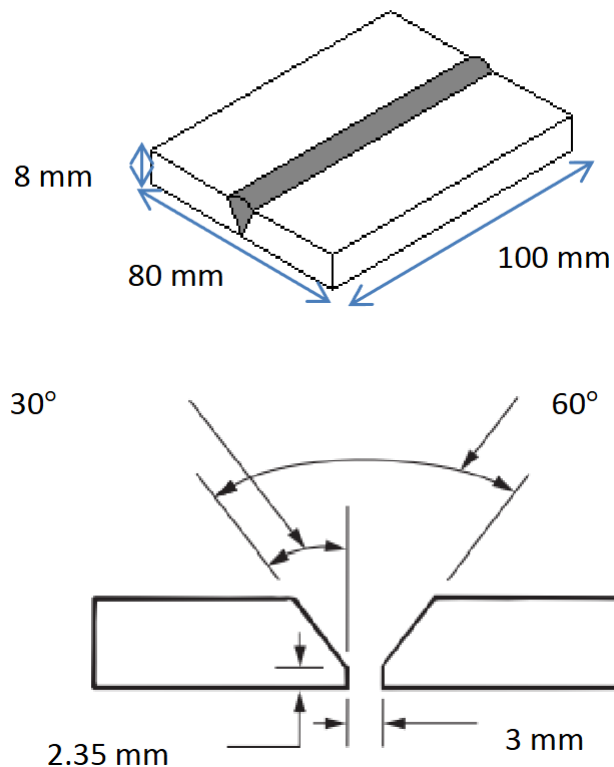
Tabel 3.1. Komposisi Kimia Stainlsess Steel dan Elektroda ER309.

Bahan	C	Si	Mn	P	S	Ni	Cr	Mo
Stainlees Steel	0.018	0.05	1.04	0.023	0.004	10.3	16.81	2.2
E308	0.016	0.88	2.1	0.021	0.0079	10.1	19.8	0.17

#### 2) Peralatan Penelitian

Peralatan yang digunakan dalam penelitian ini adalah peralatan GMAW yang ditunjukkan pada Gambar 3.2.





Gambar 3.2. Spesimen untuk proses pengelasan GMAW

### 3.4. Pengujian

Pengujian-pengujian yang dilakukan pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

#### 1. Pengujian Tarik

Metode pengujian standar untuk pengujian tegangan bahan logam. Pentingnya pentingnya uji tegangan menurut standar adalah untuk memberikan informasi tentang kekuatan dan keuletan material. Hasil uji tegangan dari spesimen mesin untuk menstandarisasi dimensi dari bagian material yang dipilih mungkin tidak sepenuhnya mewakili sifat kekuatan dan keuletan seluruh produk akhir.

Metode pengujian ini mencakup pengujian tegangan bahan logam dalam bentuk apa pun pada suhu kamar. Dimensi spesimen yang akan diuji juga termasuk dalam hal ini standar.

#### 2. Pengujian Struktur Makro dan Struktur Mikro

Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui struktur mikro dari daerah lasan setelah proses pengelasan dengan menggunakan mikroskop optik. Pengujian ini dilakukan pada daerah logam induk, batas antara logam induk dan HAZ, daerah HAZ, daerah batas antara

HAZ dan daerah las, serta daerah las dan berdasarkan standar ASTM E3, *Standard Guide for Preparation of Metallographic Spesimen*. Berikut ini merupakan langkah-langkah pengamatan metalografi menggunakan mikroskop optik adalah sebagai berikut:

1. Spesimen dibentuk dengan menggunakan jigsaw dengan ukuran panjang 3,5 cm, lebar 2.5 cm dan tebal 3 mm.
2. Permukaan spesimen dihaluskan dengan kertas gosok grid 50 sampai dengan grid 2000 pada mesin *grinding* dan *polishing*.
3. Permukaan spesimen di polish dengan menggunakan kain yang diberi serbuk alumina hingga diperoleh spesimen tanpa goresan.
4. Spesimen di-etching menggunakan larutan kalling's reagent pada logam stainless steel dilakukan pengetsaan 10 detik
5. Setelah dietsa material harus segera dicuci dengan menggunakan alkohol dan aquades yang bertujuan untuk mengekstraksikan struktur mikro yang terbentuk.
6. Spesimen diamati struktur mikro dan fase yang terjadi dengan mikroskop optik dengan perbesaran 200x dan 500x

## BAB IV

### ANALISIS DATA DAN PEMBAHASAN

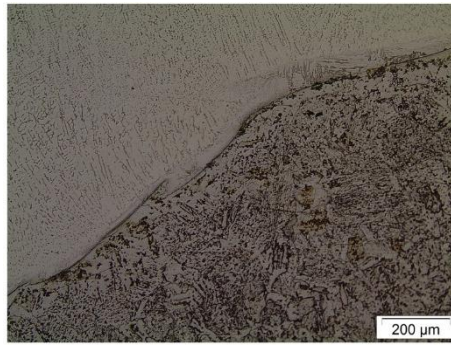
Pelaksanaan eksperimen electroplating pada material *stainless steel* dilakukan dengan menggunakan parameter arus. Gambar 4.1 menunjukkan sampel hasil pengelasan GMAW.



Gambar 4.1 Sampel hasil pengelasan GMAW

Tabel 4.1 Hasil pengujian tarik hasil pengelasan GMAW

Sample No.	Yield strength (Mpa)	Ultimate Tensile Strength (Mpa)	Place of fracture
1	266.322	421.742	Base metal
2	280.012	407.998	HAZ
3	276.57	411.641	Base metal
4	244.719	381.214	HAZ
5	220.499	400.704	HAZ
6	230.454	345.678	HAZ
7	281.51	415.699	Base metal
8	269.953	401.790	Base metal



Gambar 4.2 Hasil Struktur mikro pengelasan GMAW

Spesimen uji tarik dibuat dengan menggunakan mesin EDM yang dipotong dengan kawat sesuai dengan ASTM E8. Hasil yang diperoleh menunjukkan *ultimate tensile strength* (UTS) 421 MPa, kekuatan luluh (YS) 282,51 MPa, dan persentase perpanjangan 45% untuk SS316. Nilai-nilai sifat tarik ini dibandingkan dengan hasil tiga spesimen uji tarik yang diperoleh dari struktur berlapis. Tabel 4.1 menunjukkan hasil uji tarik.

Struktur mikro yang terbentuk pada *weld metal* dari semua sampel menunjukkan perlit (daerah gelap) dan ferit (daerah terang). Hal ini juga memungkinkan untuk mengamati keberadaan dendrit kolumnar  $\gamma$ -austenit (berwarna putih) dan beberapa residu  $\delta$ -ferit (berwarna hitam) di wilayah deposit, yang diamati pada Gambar 4.2 diprediksi untuk deposisi baja tahan karat austenit dengan penambahan silikon [4] dan ketika deposisi dilakukan dengan menggunakan *stainless steel* [5]. Sisa  $\delta$ -ferit terutama didistribusikan di batas austenit untuk lapisan las dari kelas material yang sama dengan penambahan molibdenum dan 316LSi [6]. Di sisi lain, struktur mikro logam dasar di daerah HAZ untuk semua sampel terdiri dari bainit dan perlit.

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] J. Vora *et al.*, "Optimization of Bead Morphology for GMAW-Based Wire-Arc Additive Manufacturing of 2.25 Cr-1.0 Mo Steel Using Metal-Cored Wires," *Applied Sciences*, vol. 12, no. 10, p. 5060, 2022.
- [2] S. Kou, *Welding Metallurgy*. Wiley, 2020.
- [3] N. Ghosh, P. K. Pal, and G. Nandi, "GMAW dissimilar welding of AISI 409 ferritic stainless steel to AISI 316L austenitic stainless steel by using AISI 308 filler wire," *Engineering Science and Technology, an International Journal*, vol. 20, no. 4, pp. 1334-1341, 2017/08/01/ 2017.
- [4] C. Chen, T. Feng, G. Sun, and H. Zhang, "Microstructure and mechanical characteristics of 307Si stainless steel thin-wall parts in wire arc additive manufacturing hybrid interlayer high-speed friction," *Manufacturing Letters*, vol. 33, pp. 42-45, 2022/08/01/ 2022.
- [5] L. P. Raut, R. V. Taiwade, and A. Agarwal, "Investigation of microstructural and corrosion behavior of 316LSi structure developed by wire arc additive manufacturing," *Materials Today Communications*, vol. 35, p. 105596, 2023/06/01/ 2023.
- [6] F. Veiga, M. Arizmendi, A. Suarez, J. Bilbao, and V. Uralde, "Different path strategies for directed energy deposition of crossing intersections from stainless steel SS316L-Si," *Journal of Manufacturing Processes*, vol. 84, pp. 953-964, 2022/12/01/ 2022.