

FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI
UNIVERSITAS BUNG HATTA

EXECUTIVE SUMMARY
Reg No: 01/SKRIPSI/TM/FTI/III-2026

Nama : Marchel L.R.

NPM : 2410017211125

Program Studi : Teknik Mesin

Judul Skripsi : Pengaruh Parameter Pengelasan Carbon Steel S355J0 terhadap Stainless Steel 316L Berdasarkan Standar AS/NZS 1554.6 Menggunakan Proses SMAW

Telah dikonsultasikan dan disetujui oleh pembimbing untuk di upload ke website.

Prof. Dr. Hendra S, S.T., M.T (Pembimbing)



Pengaruh Parameter Pengelasan Carbon Steel S355J0
terhadap Stainless Steel 316L Berdasarkan Standar
AS/NZS 1554.6 Menggunakan Proses SMAW

Pengaruh Parameter Pengelasan Carbon Steel S355J0 terhadap Stainless Steel 316L Berdasarkan Standar AS/NZS 1554.6 Menggunakan Proses SMAW

Marchel lorend Ratumbuisang
marchelratumbuisang@gmail.com

ABSTRAK

Pengelasan merupakan proses khusus yang memerlukan pengendalian manajemen, personel, serta penerapan standar prosedur yang tepat untuk memperoleh hasil sambungan yang memenuhi persyaratan kualitas. Untuk menjamin mutu hasil pengelasan, disusun Welding Procedure Specification (WPS) yang berfungsi sebagai pedoman bagi juru las dalam melaksanakan proses pengelasan sesuai dengan standar yang ditetapkan. Penelitian ini bertujuan untuk mengkualifikasi sambungan pengelasan antara material baja karbon S355J0 dan *stainless steel* 316L sebagai material logam tak sejenis (*dissimilar metal*) berdasarkan standar AS/NZS 1554 dengan menggunakan proses *Shielded Metal Arc Welding* (SMAW). Proses pengelasan dilakukan pada sambungan fillet dengan posisi 2F dan 3F sesuai ketentuan standar yang berlaku, Pengujian spesimen mengacu pada standar AS/NZS 2205.1:2003, sedangkan logam pengisi yang digunakan adalah elektroda 309L sesuai dengan standar AS/NZS 1554.6:2012. Evaluasi kualitas hasil pengelasan dilakukan melalui pengujian makroskopik dengan mengacu pada standar AS/NZS 2205.5.1:2019 untuk menilai penetrasi las, profil sambungan, serta potensi cacat internal. Berdasarkan hasil pengujian makroskopik, spesimen dinyatakan memenuhi kriteria penerimaan standar AS/NZS 2205.5.1:2019 karena tidak ditemukan indikasi cacat (*imperfection*) pada daerah las maupun zona pengaruh panas.

Kata Kunci: SMAW, WPS, Uji Merusak, Pengelasan Dissimilar

ABSTRACT

Welding is a special process that requires management control, personnel, and the implementation of appropriate standard procedures to obtain joints that meet quality requirements. To ensure the quality of welding results, a Welding Procedure Specification (WPS) is prepared which serves as a guideline for welders in carrying out the welding process in accordance with the established standards. This study aims to qualify welding joints between S355J0 carbon steel and 316L stainless steel as dissimilar metal materials based on the AS/NZS 1554 standard using the Shielded Metal Arc Welding (SMAW) process. The welding process is carried out on fillet joints with positions 2F and 3F according to the provisions of the applicable standards. Specimen testing refers to the AS/NZS 2205.1:2003 standard, while the filler metal used is a 309L electrode in accordance with the AS/NZS 1554.6:2012 standard. Evaluation of the quality of welding results is carried out through macroscopic testing with reference to the AS/NZS 2205.5.1:2019 standard to assess weld penetration, joint profile, and potential internal defects. Based on the macroscopic test results, the specimen was declared to meet the acceptance criteria of AS/NZS 2205.5.1:2019 standard because no indication of defects (imperfections) was found in the weld area or heat affected zone.

Keyword: SMAW, WPS, Destructive test, Dissimilar Welding

PENDAHULUAN

Berdasarkan ASME Section IX QW-490, definisi dari pengelasan adalah penyambungan terlokalisasi dari logam (metal) atau non logam yang dihasilkan dengan memanaskan material hingga temperatur las, dengan atau tanpa menggunakan tekanan (*pressure*), atau hanya tekanan, dengan atau tanpa menggunakan logam pengisi (*filler metal*).

Dalam industri struktural dan manufaktur, sambungan antara baja karbon S355 J0 dan *stainless steel* 316L semakin umum digunakan untuk menggabungkan kekuatan mekanik tinggi dengan ketahanan korosi yang unggul. Namun, kombinasi kedua material ini menghadirkan tantangan pengelasan yang signifikan, karena perbedaan sifat fisik dan kimia seperti koefisien muai panas yang berbeda serta konduktivitas termal dan komposisi kimia yang kontras menyebabkan masalah seperti retak, korosi galvanik, deformasi termal, dan kegagalan sambungan (Khan et al. 2021).

Standar AS/NZS 1554.6:2012 secara khusus mengatur pengelasan *stainless steel* untuk aplikasi struktural, termasuk persyaratan prosedur kualifikasi melalui *proses Manual Metal Arc Welding* (MMAW atau SMAW), serta penggunaan *filler metal* yang tepat agar menghasilkan sambungan berkualitas tinggi.

Dalam standar ini dijelaskan bahwa untuk menyambung baja karbon dengan *stainless steel* austenitik (304L atau 316L), filler metal yang direkomendasikan adalah 309L, atau 309L Mo untuk *stainless* dengan kandungan molibdenum seperti 316L, untuk menjaga struktur mikro austenit dan menghindari retak panas.

Proses SMAW dipilih dalam studi ini karena fleksibilitasnya pada lokasi fabrikasi, kemampuan kontrol masukan panas, serta pemenuhan persyaratan kualifikasi prosedur las menurut AS/NZS 1554.6. Standar tersebut menetapkan metode pengujian seperti uji tarik, bending, dan analisis mikrostruktur untuk memastikan integritas sambungan (ASSDA 2023).

Material S355J0 adalah material baja karbon rendah baja struktural yang bermanfaat dengan kekuatan luluh minimum 355 N/mm². S355 banyak digunakan dalam industri rekayasa struktur dan konstruksi, menawarkan kekuatan luluh dan tarik yang tinggi, serta dilengkapi dengan berbagai perlakuan dan opsi pengujian Mutu struktural S355 (S) memiliki kuat luluh minimum 355 N/mm²m. Penunjukan JR menegaskan bahwa baja tersebut telah menjalani uji dampak Charpy V-Notch longitudinal pada 27 J (Joule) pada suhu ruangan. Penunjukan Charpy lainnya meliputi J0, J2, dan K2 (Seitl et al. 2018).

Material *Stainless steel* 316L merupakan material yang umum digunakan karena ketahanan korosinya yang sangat baik, keuletan yang tinggi, dan kekuatan yang baik pada suhu tinggi (Dzogbewu dan de Beer 2023) dan (Sehhat dan Mahdianikhotbesara 2021). Meskipun kedua material tersebut banyak digunakan secara luas, perbedaan sifat fisik dan kimia di antara keduanya, seperti perbedaan koefisien muai panas, konduktivitas termal, dan komposisi kimia, menjadikan proses penyambungan terutama pengelasan sebagai tantangan teknis yang signifikan. Penyambungan yang tidak memenuhi standar kualitas dapat menimbulkan keretakan, korosi galvanik, deformasi termal, atau bahkan kegagalan sambungan (Avery dan Tuthill 1992).

Selain pertimbangan akademis, pemilihan pengelasan logam tak sejenis dissimilar welding dalam penelitian ini juga dilatarbelakangi oleh kebutuhan nyata di lapangan. Pada salah satu proyek industri, terdapat kebutuhan untuk melakukan pengelasan material *stainless steel* tipe 316L yang berfungsi sebagai earth boss pada sebuah modul struktur yang terbuat dari baja karbon S355J0. Kondisi ini mengharuskan adanya penyambungan antara dua material yang berbeda jenis dengan karakteristik mekanik dan metalurgi yang tidak sama. Untuk menjamin keselamatan, keandalan struktur, serta kepatuhan terhadap standar, maka diperlukan penyusunan dan kualifikasi *Welding Procedure Specification* (WPS) khusus untuk pengelasan *dissimilar* antara baja karbon dan *stainless steel*. Oleh karena itu, penelitian ini diarahkan untuk menjawab kebutuhan praktis tersebut melalui pendekatan yang sesuai dengan standar AS/NZS 1554.6.

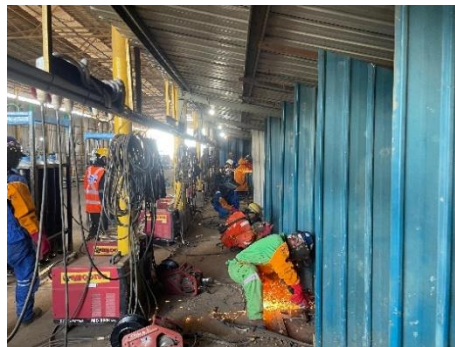
METODE PENELITIAN

1. Jenis dan Pendekatan Penelitian

Penelitian ini merupakan penelitian eksperimental aplikatif yang bertujuan untuk menghasilkan nilai parameter optimal pada sambungan fillet weld antara baja karbon S355 J0 dan *stainless steel* 316L menggunakan proses SMAW (*Shielded Metal Arc Welding*). Penelitian ini mengacu pada standar AS/NZS 1554.6:2012, khususnya bagian yang membahas pengelasan logam tak sejenis (*dissimilar metals*) dan teknik penyambungan *fillet weld*. Pada metodologi penelitian ini, proses pengelasan dilakukan pada posisi 2F dan 3F sesuai dengan klasifikasi posisi pengelasan *fillet weld*. Pengelasan dilakukan pada sambungan logam tak sejenis antara baja karbon S355 J0 dan *stainless steel* 316L dengan desain sambungan yang telah ditentukan berdasarkan ketentuan dalam standar AS/NZS 1554.6

2. Lokasi dan Waktu Penelitian

Penelitian dilakukan di Workshop Perusahaan tempat saya bekerja Yaitu PT. XIX dan Pengujian Material dilakukan di PT. XIX di tanggal 1 Juni 2025.



Gambar 1. Workshop 4 PT XIX

Sumber: PT XIX

3. Material Penelitian

Material yang digunakan dalam penelitian ini adalah:

Base Metal 1: Baja Karbon S355 J0 (EN 10025-2)

Yang Dimana merupakan baja karbon struktural dengan kekuatan luluh minimum 355 MPa yang banyak digunakan pada konstruksi dan fabrikasi. Material ini memiliki weldability yang baik serta ketangguhan impak yang cukup pada temperatur rendah.

Base Metal 2: Stainless Steel 316L (ASTM A240)

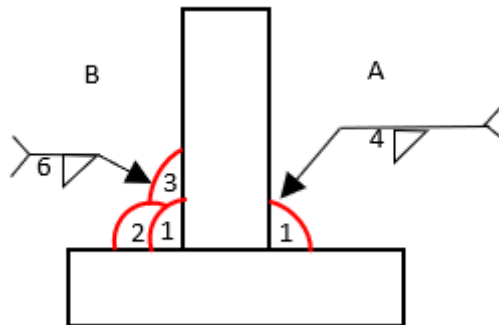
Yang Dimana Merupakan baja tahan karat austenitik dengan kandungan molibdenum yang memberikan ketahanan korosi tinggi, terutama di lingkungan agresif. Kadar karbon rendahnya mengurangi risiko sensitization saat pengelasan.

Filler Metal: Elektroda jenis E309L-16 berdiameter 2,6 mm

Elektroda E309L-16 dirancang untuk pengelasan *dissimilar metal* antara baja karbon dan *stainless steel*. Filler ini memiliki kandungan Cr dan Ni tinggi serta karbon rendah untuk mengurangi risiko retak dan meningkatkan ketahanan korosi. Diameter 2,6 mm digunakan agar kontrol panas dan penetrasi las lebih stabil.

4. Desain Sambungan

Jenis sambungan yang digunakan adalah fillet weld pada konfigurasi T-joint, dengan orientasi posisi 2F&3F. Dimensi plat dan spesifikasi sambungan ditentukan berdasarkan standar uji kualifikasi dengan tebal Plat yaitu 8mm (*carbon steel*) dan 6mm (*stainless steel*), ukuran fillet disisi utama 6mm dan disisi kedua 4mm seperti pada gambar 2, panjang sambungan yaitu 150mm dengan posisi 2F(Horizontal) & 3F (Vertical).



Gambar 2. Joint Desain

Sumber: PT XIX

5. Peralatan dan Perlengkapan

Peralatan utama yang digunakan dalam penelitian ini antara lain:

1. Mesin las merk AMCOTEC MIG 500A
2. Mesin potong plat CNC cutting PEMA CNC
3. Alat ukur dimensi vernier caliper Mitutoyo digital
4. Alat ukur Suhu: Digital Termometer fluke 62 MAX
5. Alat ukur parameter: Multimeter UNI-T UT 203
6. Alat uji tidak merusak: Liquid Penetrant MAGNA FLUX

6. Langkah-Langkah Penelitian

- Persiapan Material

Material yang digunakan dalam penelitian ini adalah baja karbon S355 J0 dan *stainless steel* 316L. Spesimen uji dipersiapkan dengan memotong pelat hingga berukuran 100 mm × 150 mm. Selanjutnya, pelat disusun dalam konfigurasi sambungan T (T-joint). Sebelum proses pengelasan, seluruh permukaan pelat dibersihkan dari oksida, minyak, dan kontaminan lainnya menggunakan grinder dan sikat kawat. Pembersihan ini bertujuan untuk meminimalkan potensi cacat las serta memastikan konsistensi kualitas sambungan. Selain itu, dilakukan pengendalian kontaminasi silang dengan memastikan permukaan *stainless steel* AISI 316L bebas dari kontak dengan logam karbon sebelum pengelasan, guna mencegah degradasi ketahanan korosi pada daerah las.

- Proses Pengelasan

Proses pengelasan pada penelitian ini menggunakan metode SMAW (*Shielded Metal Arc Welding*) dengan elektroda E309L-16 diameter 2,6 mm dan polaritas DCEP. Pengelasan dilakukan pada dua posisi yaitu 2F (*horizontal fillet*) dan 3F (*vertical fillet*) untuk membandingkan pengaruh posisi terhadap parameter dan kualitas hasil las. Material yang dilas

merupakan sambungan *dissimilar* antara S355J2+M dan *Stainless Steel* 316L tanpa preheat dan tanpa *backing*. Seluruh pengelasan dilakukan secara manual oleh welder bersertifikat

A. Pengelasan Posisi 2F

Posisi pengelasan 2F (*horizontal fillet weld*), yang merupakan posisi yang relatif lebih mudah dibandingkan dengan posisi pengelasan 3F (*vertikal fillet weld*). Pada penelitian ini, elektrode yang digunakan memiliki ukuran Ø2.6 mm dengan merek Kiswel. Untuk arus (*Amperage*) yang digunakan pada posisi pengelasan 2F ini memiliki kisaran 91–98 A dan tegangan antara 30–31 V. Kecepatan pengelasan bervariasi antara 214–300 mm/min, dengan nilai *heat input* antara 0,59–0,79 kJ/mm.

Parameter arus mempengaruhi kedalaman penetrasi, kecepatan peleburan elektroda, dan stabilitas busur. Semakin tinggi arus, semakin dalam penetrasi, tetapi risiko *overheat* dan distorsi meningkat. Pada data penelitian, arus yang digunakan berada pada kisaran menengah (91–98 A) dan cukup untuk memastikan penetrasi pada material carbon steel S355J0 yang memiliki konduktivitas termal lebih tinggi dibandingkan *stainless steel* 316L.

Tegangan yang digunakan (30–31 V) relatif tinggi untuk elektroda berdiameter 2.6 mm. Tegangan ini berfungsi memperlebar *weld pool* dan meningkatkan *wetting* pada *sisi stainless steel*, yang cenderung lebih lambat menghantarkan panas. Namun demikian, tegangan yang terlalu tinggi dapat meningkatkan *spatter* dan membuat *weld pool* menjadi lebih sulit dikontrol. Kecepatan pengelasan (*travel speed*) memberikan pengaruh signifikan pada distribusi panas. Pada kecepatan rendah (214 mm/min), *weld pool* menjadi lebih lebar dengan *heat input* lebih tinggi (0,79 kJ/mm), sedangkan dalam kecepatan tinggi (300 mm/min), *heat input* turun hingga 0,59 kJ/mm. *Heat input* rendah akan mempercepat pendinginan sehingga mengurangi risiko perubahan mikrostruktur berlebih pada HAZ, tetapi juga berpotensi mengurangi penetrasi.

B. Pengelasan Posisi 3F

Pengelasan 3F (*vertical fillet weld*) lebih menantang daripada posisi 2F karena pengelasan dilakukan secara vertikal dan *weld pool* rentan jatuh akibat gravitasi. Oleh karena itu, arus diturunkan menjadi 67–72 A dan tegangan 24–27 V, dengan kecepatan pengelasan yang lebih lambat (117–150 mm/min).

Arus rendah pada posisi vertikal diperlukan untuk menjaga agar ukuran *weld pool* tetap kecil dan mudah dikontrol. Jika arus terlalu tinggi, logam cair akan sulit ditahan dan cenderung turun karena gravitasi. Dengan rentang arus 67–72 A, penetrasi memang berkurang, tetapi pengendalian terhadap *weld pool* meningkat.

Tegangan yang lebih rendah (24–27 V) juga berfungsi untuk menjaga stabilitas busur. Pada posisi vertikal, tegangan tinggi akan memperluas *weld pool* sehingga lebih sulit dikelola, sementara tegangan rendah membantu menghasilkan *weld pool* yang lebih padat.

Travel speed lebih lambat pada posisi 3F (117–150 mm/min). Hal ini meningkatkan waktu paparan panas sehingga menghasilkan *heat input* yang lebih tinggi (0,72–0,92 kJ/mm). Dari sisi metalurgi, *heat input* yang lebih tinggi cenderung memperlebar HAZ dan meningkatkan risiko distorsi, tetapi juga membantu memastikan bahwa logam dasar *stainless steel* dapat melebur dengan baik.

Secara umum, parameter pada posisi 3F sudah sesuai dengan karakteristik pengelasan vertikal. Meskipun *heat input* lebih tinggi dibandingkan 2F, keterampilan operator dan kontrol pendinginan mampu mencegah terjadinya cacat.

C. Perbandingan Posisi 2F dan 3F

Perbedaan mendasar antara posisi 2F dan 3F dapat dilihat dari aspek arus, tegangan, *travel speed*, dan *heat input*. Arus dan tegangan pada posisi 2F lebih tinggi dibandingkan 3F. Hal ini sesuai dengan teori bahwa pada posisi horizontal, welder dapat menggunakan arus dan tegangan yang lebih besar untuk meningkatkan penetrasi. Sementara itu, pada posisi vertikal,

arus dan tegangan harus diturunkan agar weld pool tidak turun. Travel speed pada posisi 2F lebih cepat (214–300 mm/min) sehingga *heat input* lebih rendah, sedangkan pada 3F lebih lambat (117–150 mm/min) dengan heat input lebih tinggi.

Heat input pada posisi 2F (0,59–0,79 kJ/mm) lebih rendah dibandingkan 3F (0,72–0,92 kJ/mm). Perbedaan ini mencerminkan strategi pengelasan yang berbeda: 2F mengutamakan efisiensi dan pencegahan distorsi, sementara 3F menekankan keterkendalian terhadap weld pool meskipun menghasilkan panas lebih tinggi.

7. Pengujian Spesimen LAS

Setelah pengelasan selesai dan pendinginan, spesimen las akan menjalani serangkaian pengujian sesuai dengan AS/NZS 1554.6:2012 untuk memverifikasi kualitas dan integritas sambungan las.

A. Pengujian Inspeksi Visual

Seluruh panjang lasan akan diperiksa dengan *Client* ditampilkan pada gambar 16 secara visual untuk cacat permukaan seperti retak, *undercut*, *overlap*, *porositas*, dan profil lasan yang tidak sesuai. *Acceptance criteria* pada AS/NZS 1554.6:2012

B. Liquid Penetrant Testing (PT)

Permukaan lasan akan diuji menggunakan metode penetran cair untuk mendeteksi retak permukaan atau cacat lain yang terbuka ke permukaan, oleh Teknisi ahli ditampilkan pada gambar 18. *Acceptance criteria* pada AS/NZS 1554.6:2012 untuk Liquid Penetrant Testing sama seperti Visual Inspeksi

C. Pengujian Destruktif (DT)

Sampel akan dipotong dari spesimen las sesuai dengan AS/NZS 1554.6 Lampiran F untuk pengujian uji Makro (*Macro Etch Test*): Beberapa sampel penampang melintang akan dipotong, digiling, dipoles, dan dietsa untuk mengungkapkan struktur makro, penetrasi lasan, profil fillet, ukuran kaki las (*leg length*), tinggi tenggorokan (*throat thickness*), dan memeriksa adanya cacat internal seperti porositas atau inklusi. Ini juga akan membantu mengevaluasi dilusi antara S355J0 dan 316L.

Inspeksi juga akan fokus pada zona transisi antara kedua material untuk mencari indikasi ketidaksesuaian.

HASIL DAN PEMBAHASAN

1. Hasil pengujian Non-Destructive (NDT)

Tahap awal evaluasi pasca-pengelasan dilakukan melalui pengujian *non-destruktif* (NDT) untuk memvalidasi kualitas fisik permukaan sambungan fillet weld pada *spesimen dissimilar metal* S355 J0 dan 316L. Pengujian ini sangat krusial mengingat adanya perbedaan koefisien ekspansi termal dan konduktivitas panas yang drastis antara baja karbon dan *stainless steel*, yang secara teoritis berpotensi memicu diskontinuitas pada area permukaan dan batas lebur. Prosedur inspeksi dilakukan secara sistematis dengan mengacu pada kriteria keberterimaan standar AS/NZS 1554.6:2012.

Inspeksi Visual (Visual Testing)

Hasil inspeksi visual pada spesimen posisi 2F (*horizontal*) dan 3F (*vertikal*) menunjukkan integritas sambungan yang secara umum memenuhi persyaratan teknis, meskipun ditemukan beberapa diskontinuitas minor akibat fluktuasi parameter busur las:

Posisi 2F (*Horizontal*): Ditemukan adanya diskontinuitas berupa undercut pada batas lebur antara logam las dan logam induk. Namun, berdasarkan pengukuran, kedalaman *undercut* tersebut masih di bawah batas maksimum yang diizinkan oleh standar AS/NZS 1554.6:2012. Hal ini mengindikasikan bahwa meskipun arus yang digunakan (91–98 A) cukup tinggi, panas yang dihasilkan masih terkendali.

Posisi 3F (*Vertical Up*): Ditemukan adanya *single porosity* pada permukaan manik las. Diskontinuitas ini dikategorikan sebagai cacat minor yang tidak bersifat kontinu dan dimensinya masih masuk dalam batas toleransi standar yang dipersyaratkan. Munculnya porositas tunggal ini kemungkinan disebabkan oleh kontaminasi atmosfer sesaat atau jarak busur (*arc length*) yang sedikit menjauh saat proses pengelasan vertikal. Secara keseluruhan, meskipun terdapat temuan minor, profil *fillet weld* menunjukkan fusi yang baik dan tidak ditemukan cacat kritis seperti retak (*crack*) atau *overlap* seperti ditampilkan pada gambar 3.



Gambar 3. Visual Hasil Pengelasan

Sumber: PT XIX

Liquid Penetrant Test (PT)

Pengujian Liquid Penetrant Test (PT) dilakukan sebagai lanjutan dari inspeksi visual untuk mengidentifikasi kemungkinan adanya cacat permukaan halus pada sambungan las fillet yang tidak terdeteksi secara visual. Pemeriksaan ini difokuskan pada area logam las dan batas lebur (*fusion boundary*) pada spesimen pengelasan posisi 2F dan 3F, dengan mengacu pada kriteria keberterimaan standar AS/NZS 1554.6:2012.

Berdasarkan hasil pengujian PT, tidak ditemukan indikasi cacat permukaan yang bersifat kritis seperti retak (*crack*), linear indication, maupun porositas terbuka yang bersifat kontinu. Pada spesimen posisi 2F, indikasi yang terdeteksi melalui inspeksi visual seperti undercut tidak menunjukkan indikasi lanjutan pada pengujian PT, sehingga dapat disimpulkan bahwa diskontinuitas tersebut tidak berkembang menjadi cacat permukaan terbuka.

Pada spesimen posisi 3F, meskipun secara visual ditemukan indikasi porositas tunggal (*single porosity*), hasil pengujian PT tidak menunjukkan indikasi penetrasi yang bersifat kontinu atau melebihi batas toleransi standar. Hal ini menunjukkan bahwa indikasi tersebut dikategorikan sebagai cacat minor dan masih berada dalam batas penerimaan yang ditetapkan oleh AS/NZS 1554.6:2012.

Secara keseluruhan, hasil pengujian PT menunjukkan bahwa sambungan las fillet hasil pengelasan posisi 2F dan 3F memenuhi persyaratan keberterimaan standar AS/NZS, khususnya dalam aspek kebebasan dari cacat permukaan terbuka, sehingga layak untuk dilanjutkan pada evaluasi uji mikrostruktur sesuai acceptance kriteria.

2. Hasil pengujian Destructive (DT)

Pengujian *destructive test* (DT) merupakan metode pengujian yang dilakukan dengan cara merusak spesimen uji untuk memperoleh informasi mengenai kualitas dan karakteristik sambungan las secara menyeluruh. Pengujian ini umumnya digunakan untuk mengevaluasi sifat metalurgi dan kesesuaian sambungan las terhadap persyaratan standar yang berlaku.

Hasil Uji Makro

Pada penelitian ini, pengujian DT dilakukan secara terbatas melalui uji makrostruktur (*macrostructural examination*). Pembatasan jenis pengujian ini disesuaikan dengan konfigurasi sambungan dan posisi pengelasan yang digunakan, yaitu pengelasan fillet pada posisi 2F dan 3F, di mana persyaratan evaluasi sambungan las tidak mensyaratkan pengujian mekanik seperti uji tarik atau uji tekuk.

Mengacu pada AS/NZS 2205.5.1, pemeriksaan makrostruktur merupakan metode yang relevan untuk mengevaluasi kualitas metalurgi sambungan las fillet, khususnya dalam menilai kondisi logam las, daerah terpengaruh panas (*heat affected zone/HAZ*), serta logam dasar. Oleh karena itu, pada penelitian ini pengujian DT dibatasi pada uji makrostruktur sebagai metode yang memenuhi persyaratan evaluasi teknis untuk sambungan las fillet posisi 2F dan 3F sesuai standar AS/NZS yang berlaku. Uji makro dilakukan untuk mengevaluasi fusi antara logam dasar (carbon steel dan stainless steel) dan logam las. Hasil pengamatan menunjukkan bahwa fusi terbentuk dengan baik tanpa indikasi *lack of fusion*.

Secara teori, tantangan terbesar dalam pengelasan *dissimilar metal* adalah perbedaan sifat termal dan komposisi kimia yang dapat menghambat terjadinya fusi sempurna. Carbon steel memiliki konduktivitas termal lebih tinggi, sehingga menyerap panas lebih cepat, sedangkan stainless steel memiliki koefisien muai lebih besar sehingga rentan retak akibat tegangan sisa. Dengan parameter yang digunakan, kedua fenomena ini berhasil diatasi dan terbukti menghasilkan ikatan metalurgi yang baik.

Fusi sempurna ini memperkuat kesimpulan bahwa parameter yang dipilih tepat. Hal ini penting karena fusi yang tidak sempurna dapat menyebabkan kelemahan struktural, meskipun secara visual sambungan tampak baik.

KESIMPULAN

1. Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian mengenai pengelasan *dissimilar* metal antara *Carbon Steel* S355J0 dan *Stainless Steel* 316L dengan elektroda KISWEL Ø2.6 mm pada posisi pengelasan 2F dan 3F, dapat disimpulkan:

Pada posisi 2F, arus dan tegangan lebih tinggi (91–98 A, 30–31 V) dengan kecepatan pengelasan cepat (214–300 mm/min) sehingga menghasilkan *heat input* rendah (0,59–0,79 kJ/mm). Kondisi ini membuat sambungan relatif efisien dan mengurangi potensi distorsi.

Pada posisi 3F, arus dan tegangan lebih rendah (67–72 A, 24–27 V) dengan kecepatan pengelasan lambat (117–150 mm/min). Konsekuensinya, *heat input* lebih tinggi (0,72–0,92 kJ/mm) namun diperlukan untuk menjaga stabilitas *weld pool* pada posisi vertikal.

Posisi 2F lebih unggul dalam efisiensi proses dengan *heat input* rendah sehingga meminimalkan perubahan makrostruktur.

Posisi 3F membutuhkan keterampilan lebih tinggi namun tetap mampu menghasilkan sambungan dengan kualitas baik meskipun *heat input* lebih besar.

Berdasarkan hasil inspeksi visual dan *Liquid Penetrant Testing* (PT), seluruh spesimen memenuhi standar keberterimaan AS/NZS 1554.6:2012. Meskipun ditemukan diskontinuitas minor berupa *undercut* pada posisi 2F dan *single porosity* pada posisi 3F, dimensi dan frekuensi temuan tersebut masih berada di bawah batas maksimum yang diizinkan oleh *acceptance criteria*. Tidak ditemukannya indikasi retak (*crack*) menunjukkan bahwa parameter pengelasan dan pemilihan *filler metal* E309L-16 efektif dalam mereduksi risiko kegagalan permukaan pada sambungan logam tak sejenis (S355 J0 dan 316L).

Uji makro menunjukkan adanya fusi sempurna antara logam las dengan logam dasar *carbon steel* maupun *stainless steel*.

Untuk pengembangan penelitian lebih lanjut, disarankan:

Kontrol Parameter Posisi 3F: Perlu dilakukan penyesuaian jarak busur (*arc length*) yang lebih konsisten dan pembersihan material yang lebih teliti untuk mengeliminasi munculnya *single porosity* pada pengelasan vertikal.

Optimasi Kecepatan Las (*Travel Speed*): Untuk posisi 2F, disarankan untuk mengatur kecepatan las yang lebih stabil guna menghindari terjadinya *undercut* pada sisi baja karbon S355 J0, meskipun saat ini masih dalam batas aman standar AS/NZS 1554.6.

Pengujian Lanjutan: Disarankan melakukan pengujian tambahan berupa Uji Kekerasan (*Hardness Test*) dan Uji Struktur Mikro untuk melihat pengaruh dilusi logam pengisi E309L-16 terhadap zona fusi antara kedua material yang berbeda.

DAFTAR PUSTAKA

- AS/NZS 1554.6: Structural steel welding- Welding of stainless steels
ASME Section IX QW-490
ASSDA. 2023. *Welding dissimilar metals: filler selection and challenges*, AS/NZS 1554.6 Appendix H2.
Avery, R. E., & Tuthill, A. H. (1992). Guidelines for the Welded Fabrication of Nickel-containing Stainless Steels for Corrosion Resistant Services. Nickel Development Institute
Dzogbewu, T. C., & de Beer, D. (2023). Powder bed fusion of multimaterials. *Journal of Manufacturing and Materials Processing*, 7(1): 15.
Khan, M., Dewan, M. W., & Sarkar, M. Z. (2021). Effects of welding technique, filler metal and post-weld heat treatment on stainless steel and mild steel dissimilar welding joint. *Journal of Manufacturing Processes*, 64: 1307-1321.
Sehhat, M. H., & Mahdianikhotbesara, A. (2021). Powder spreading in laser-powder bed fusion process. *Granular Matter*, 23(4): 89.
Seitl, S., Miarka, P., Klusák, J., Fintová, S., & Kunz, L.(2018). Comparison of the fatigue crack propagation rates in S355 J0 and S355 J2 steel grades. *Key Engineering Materials*, 784: 91-96.