

## **STUDI KUALITAS PENGELASAN MATERIAL A694/F65 OVERLAY INCONEL 625 MENGGUNAKAN METODE KOMBINASI GTAW DAN SMAW**

Ebeng Sugondo<sup>1\*</sup>, Adi Syahputra Purba<sup>2</sup>, Kms M Avrieldi<sup>2</sup>, Ismiyatun Nurjannah<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Program Studi Teknologi Rekayasa Metalurgi, Politeknik Negeri Batam

<sup>2</sup> Program Studi Teknik Mesin, Politeknik Negeri Batam

\*Corresponding author: [ebeng@polibatam.ac.id](mailto:ebeng@polibatam.ac.id)

### **Article history**

**Received:**

28-07-2025

**Accepted:**

24-12-2025

**Published:**

30-12-2025

Copyright © 2025  
Jurnal Teknologi dan  
Riset Terapan

**Open Access**

### **Abstrak**

Pengelasan ialah suatu teknik penyambungan pada logam dengan cara mencairkan sebagian logam induk dan logam pengisi hingga dapat menyatunya serta dilaksanakan dalam keadaan cair. Saat ini proses pengelasan semakin banyak digunakan khususnya di industri migas. Salah satunya adalah metode kombinasi GTAW dan SMAW. Metode pengelasan kombinasi GTAW dan SMAW banyak diterapkan dalam industri migas karena mampu menghasilkan sambungan yang kuat dan tahan korosi. Pada penelitian yang dilaksanakan akan membahas proses pengelasan pada material A694/F65 yang dioverlay dengan Inconel 625. Baja A694/F65 akan memberikan ketangguhan untuk aplikasi pada kondisi lapangan suhu rendah, sedangkan Inconel 625 memiliki ketahanan terhadap korosi dan retak akibat tegangan. Kombinasi proses pengelasan ini secara strategis mengintegrasikan keunggulan dari metode pengelasan. GTAW akan memberikan kualitas penetrasi dan kebersihan permukaan pada *root weld*, sementara SMAW menawarkan efisiensi pengisian serta kekuatan mekanik yang tinggi untuk bagian *fill* hingga *cap weld*. Hasil pengujian meliputi inspeksi visual, *Magnetic Particle Inspection* (MPI), dan *Ultrasonic Testing* (UT) yang menunjukkan bahwa tidak ditemukan indikasi cacat yang signifikan melebihi *acceptance criteria* dari standar yang dijadikan acuan, yaitu AWS D1.1:2020 pengujian MPI dan ASME Section IX Div.1 Appendix 12 pengujian UT. Studi yang sudah dilakukan, diharapkan menjadi referensi bagi proses pengelasan pada pipa migas.

**Kata Kunci:** GTAW, Pengelasan, Pengujian, SMAW

### **Abstract**

*Welding is a method of connecting metal that involves melting a portion of the parent and filler metals until they are liquid enough to fuse. Nowadays, welding is becoming more and more common, particularly in the oil and gas sector. Combining GTAW with SMAW techniques is one of them. Because it can create robust and corrosion-resistant joints, the oil and gas industry frequently uses the combination of GTAW and SMAW welding techniques. The welding procedure on ASTM A694/F65 material covered with Inconel 625 will be covered in this study. While Inconel 625 is resistant to corrosion and stress cracking, A694/F65 steel will offer toughness for applications with low temperature field circumstances. The benefits of the various welding techniques are strategically integrated by this combination of welding procedures. While SMAW delivers great mechanical strength and filling efficiency for the fill to cap weld portions, GTAW will offer superior penetration and surface cleanliness on the root weld. The results of the tests, which included visual inspection, Magnetic Particle Inspection (MPI), and Ultrasonic Testing (UT), demonstrated that no evidence of serious flaws exceeding the acceptance criteria of the cited standards AWS D1.1:2025 for MPI and ASME Section VIII Div. 1 Appendix 12 for UT was discovered. It is anticipated that the study will serve as a guide for the welding procedure on gas and oil pipes.*

**Keywords:** GTAW, SMAW, Testing, Welding

## 1.0 PENDAHULUAN

Industri minyak dan gas sampai saat ini masih menjadi industri utama untuk mendukung perekonomian Indonesia dan masih menggunakan pipa penghubung sebagai sarana transportasi untuk mendistribusikan gas dan minyak dari sumur minyak ke tempat penampungan dan pengolahan (*refinery*). Sesuai dengan Keputusan Direktur Jenderal Minyak dan Gas Bumi No. 84. K/38/DJM/1998 pemerintahan Indonesia, tentang Pedoman Tata Cara Keselamatan dan Kesehatan Kerja, dari Instalasi, Peralatan Teknik, yang digunakan dalam Pertambangan dan Minyak Bumi, serta Pengusahaan Sumber Daya Panas Bumi, harus dapat memperhatikan beberapa hal yang dapat meningkatkan hasil kualitas konstruksi dan menghindari adanya faktor kegagalan dalam proses konstruksi pembangunan, salah satu faktor pengendalian kualitas proses konstruksi adalah hasil dari pengelasan. Sambungan logam dengan proses pengelasan semakin banyak digunakan, baik pada industri migas, dikarenakan banyaknya ketergantungan dari penyambungan atau pabrikasi dengan cara dilas. Luasnya penggunaan penyambungan pengelasan karena biaya murah, proses pengelasan relatif lebih cepat, kekuatan yang lebih baik, lebih ringan dan bentuk konstruksi yang lebih variatif [1].

Pengelasan adalah teknik menyambungkan dua buah benda padat dengan cara mencairkannya melalui pemanasan. Akibat proses ini, maka logam di sekitar daerah lasan akan mengalami siklus termal yang cepat yang menyebabkan perubahan sifat-sifat mekanis dan struktur mikro [2]. Metode pengelasan secara kombinasi merupakan metode pengembangan dalam pengelasan terhadap dua material baja untuk mendapatkan sifat tertentu. Pengaplikasian metode pengelasan kombinasi ini diperuntukkan pada penyambungan baja yang membutuhkan tingkat kekuatan dan ketangguhan yang tinggi pada sambungannya [3]. Proses pengelasan yang sering ditemui adalah pengelasan metode GTAW (*Gas Tungsten Arc Welding*), akan tetapi pengelasan jenis ini sangat mahal jika dibandingkan dengan pengelasan dengan busur nyala logam terlindung atau biasa disebut pengelasan SMAW (*Shielded Metal Arc Welding*) yang memiliki nilai ekonomi dan kualitas pengelasan yang sangat rendah. Sumber tegangan yang digunakan pada pengelasan SMAW terdapat dua macam yaitu Arus bolak-balik (AC) dan Arus searah (DC).

Proses terjadinya pengelasan, karena adanya kontak antara ujung elektroda dan material sehingga terjadi hubungan pendek, saat terjadi hubungan pendek tersebut *welder* harus menarik elektroda sehingga terbentuk busur listrik yaitu lompatan ion yang menimbulkan panas yang tinggi [4]. Dalam proses pengelasan SMAW masih sering ditemukan persoalan cacat las di antaranya cacat penetrasi, *undercut*, *porosity* dan distorsi [5]. Pengelasan SMAW yang dilakukan banyak terjadi cacat penetrasi karena tidak dilindungi oleh gas pelindung, maka gabungan dari metode pengelasan yang dilakukan dapat menutupi kekurangan dari metode tersebut. Proses pengelasan SMAW merupakan proses yang menyatukan lebih dari dua logam melalui proses melelehkan logam

induk melalui penghantar energi panas, diakibatkan pada saat proses pengelasan suhu bisa mencapai 1.500 °C.

Dalam pengelasan SMAW, arus listrik yang digunakan bervariasi sesuai dengan kebutuhan, namun besar arus sangat memengaruhi hasil logam yang dilas, sehingga menimbulkan perubahan pada struktur mikro di daerah pengelasan dengan karakteristik yang berbeda. Proses pengelasan menghasilkan panas yang menyebabkan terjadinya siklus termal di sekitar logam, yang berdampak pada perubahan sifat fisik material tersebut. Elektroda pada pengelasan SMAW berfungsi sebagai bahan pengisi, sedangkan *cover pass* merujuk pada lapisan pengisi bagian luar dalam proses pengelasan SMAW. Pada pengelasan dengan dua lapisan, pengelasan dilakukan pada *root pass* yang kemudian langsung ditutup dengan *cover pass*.

Namun, pada pengelasan dengan tiga lapisan atau lebih, selain *root pass* dan *cover pass*, terdapat juga *hot pass* yang terletak di bagian tengah, yang biasa disebut inti pada pengelasan *multilayer* [1]. Pada las busur listrik (*arc welding*) yang menggunakan *inert gas* sebagai pelindung dengan *tungsten* atau *wolfram* sebagai penghantar arus listrik untuk menghasilkan las adalah pengertian dari GTAW [6]. Prinsip kerja pengelasan GTAW adalah meleburkan dan menggabungkan logam dengan cara memanaskan benda kerja dengan busur listrik yang berasal dari *tungsten* yang digunakan pada *stang las*. [7] Cacat las yang spesifik terjadi pada proses pengelasan GTAW adalah *tungsten inclusion*, karena hanya pengelasan GTAW yang menggunakan jarum *tungsten* sebagai pengantar panas yang melelehkan kawat atau *wire*. Keunggulan pengelasan SMAW yakni memiliki produktivitas yang tinggi dengan pengisian yang cepat, dengan tujuan mempercepat proses dan menghemat *cost*.

Keunggulan metode GTAW sendiri memiliki hasil pengelasan yang lebih halus dan bersih, sehingga membuat permukaan *root* lebih mulus ketika dialiri hasil minyak ataupun gas. Metode kombinasi ini digunakan dengan tujuan meningkatkan kualitas hasil, mempercepat proses, dan mengurangi biaya produksi. Metode pengelasan kombinasi merupakan sebuah metode pengembangan dalam penyambungan dua material baja untuk mendapatkan sifat tertentu [8]. Material yang digunakan adalah ASTM A694/F65, spesifikasi ini mencakup *flensa* pipa baja yang ditempa atau digulung, *fitting* yang ditempa, katup, dan suku cadang yang sesuai untuk digunakan dengan pipa layanan transmisi berkekuatan tinggi. Material tersebut memiliki sifat mekanik berupa *yield strength* (*offset 0,2%*) minimum sebesar 65 ksi (450 MPa), *tensile strength* minimum sebesar 77 ksi (530 MPa), serta *elongation* minimum sebesar 20% pada panjang ukur 2 inci (50 mm) [9].

Selain itu, bagian dalam *overlay* dilapisi dengan material lain, yaitu *Inconel 625*. Inconel 625 merupakan salah satu jenis superalloy berbasis nikel (Ni) yang memiliki ketahanan yang sangat baik terhadap korosi, oksidasi, dan karburisasi pada temperatur tinggi. Kombinasi dua material ini membuat struktur komponen yang selain kuat tapi juga tahan korosi [10]. Penelitian yang sudah dilaksanakan menyatakan bahwa Pengelasan kombinasi GTAW dan SMAW terbukti efektif menghasilkan sambungan yang kuat dan berkualitas

antara kedua material yang berbeda. Proses ini menghasilkan mikrostruktur sambungan yang homogen dan minim cacat, serta sifat mekanik seperti kekuatan dan kekerasan yang optimal.

Penggunaan GTAW untuk pengelasan awal membantu mengontrol panas sehingga mengurangi distorsi, sementara SMAW digunakan untuk menambah material pengisi dengan efisien. Metode ini sangat potensial untuk aplikasi industri yang memerlukan sambungan material dengan karakteristik berbeda secara termal dan mekanik [10], [11]. Selain itu penelitian yang sudah dilakukan juga [1], Metode kombinasi pada pengelasan mendapatkan sambungan las yang kuat, dengan struktur mikro homogen dan kekerasan yang sesuai standar. Penelitian yang juga sudah dilaksanakan [11], [12].

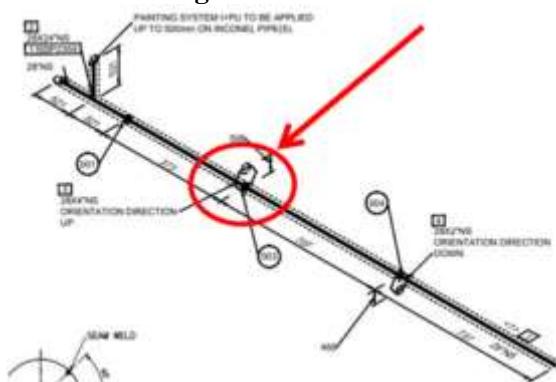
Metode pengelasan kombinasi yang digunakan menggabungkan GTAW dan SMAW untuk menyambung baja *dissimilar* 316L dan ASTM A106. GTAW digunakan sebagai proses pengelasan awal karena kemampuannya menghasilkan sambungan yang presisi dengan kontrol panas yang baik, menggunakan elektroda pengisi 309L atau Inconel 82 untuk menyesuaikan sifat material yang berbeda. Setelah itu, SMAW diterapkan sebagai lapisan pengisi tambahan untuk memperkuat sambungan dan meningkatkan efisiensi penggerjaan.

Kombinasi kedua metode ini bertujuan untuk mendapatkan sambungan las dengan kualitas mikrostruktur yang baik dan sifat mekanik yang optimal antara kedua jenis baja yang berbeda. Sehingga pada penelitian ini akan dibatasi pada proses pengelasan pipa dengan diameter 4 inci dan total ketebalan 50 mm, yang terdiri dari material dasar A694 F65 setebal 45 mm dan lapisan *overlay* Inconel 625 setebal 5 mm. Proses pengelasan dilakukan dengan metode GTAW untuk *root* hingga *fill* awal, dilanjutkan dengan SMAW hingga *capping*. Evaluasi hasil dilakukan melalui inspeksi visual, MPI, dan UT.

Tujuan dari penelitian ini adalah mengevaluasi mutu pengelasan kombinasi GTAW dan SMAW serta menilai kelayakannya untuk aplikasi di sektor industri minyak dan gas. Hasil studi ini diharapkan menjadi referensi teknis dalam penerapan metode pengelasan kombinasi untuk kebutuhan serupa di masa mendatang.

## 2.0 METODE

### 2.1. Proses Pengelasan



Gambar 1: *Pipe Drawing* Pada Proses Pengelasan Kombinasi GTAW dan SMAW

Proses pengelasan yang digunakan adalah kombinasi GTAW untuk *root*, *hotpass* dan *fill* untuk mula-mula dan selanjutnya dilakukan pengisian menggunakan SMAW sampai dengan *capping*, dengan *pipe drawing* dalam satu *spool* dengan beberapa titik *joint weld*, pada penelitian ini menggunakan *joint* yang ditunjukkan pada Gambar 1 dengan tanda lingkaran berwarna merah. Proses pengelasan dalam penelitian ini menggunakan kawat las yang sesuai dengan *base metal* menurut standar AWS A5.11 dan AWS A5.14, yaitu ErNiCrMo-3 untuk *wire* GTAW dan E NiCrMo-3 untuk elektroda SMAW dengan merek dagang *Lincoln Electric*. Spesifikasi *filler metal* ditunjukkan pada tabel 1.

Tabel 1: *Filler Metal*

FILLER METAL		
Process	GTAW	SMAW
F. NO	43	43
Specification No. (Sfa)	A 5.14	A 5.11
AWS Classification	ERNiCrMo-3 (Inconel 625)	E NiCrMo-3 (Inconel 625)
Trade Name (Electrode)	Lincoln Electric Techalloy 625	Lincoln Electric Techrod 112
Diameter	Ø2.4	Ø2.5, Ø3.2, Ø4.0

Parameter pengelasan mengacu pada WPS yang sudah dilakukan PQR sebelumnya, seperti ditunjukkan pada tabel 2.

Tabel 2. Parameter Pengelasan Berdasarkan WPS

RUN NO	WELD PROCESS	WELDING PARAMETER				INPUT MM/MIN
		GAS OR FLUX	AMP	VOLT	SPEED	
ROOT	GTAW	99.995 %AR	80-120	21-27	36-93	0.46 - 2.00
HOTPASS	GTAW	99.995 %AR	137-150	21-27	79-87	0.85 - 1.25
1ST FILL	GTAW	99.995 %AR	160-187	21-27	62-76	1.14 - 1.99
FILL	SMAW	N/A	75-115	21-27	83-167	0.57 - 2.24
		N/A	95-145	24-27	113-133	1.03 - 2.08
CAP	SMAW	N/A	70-95	19-25	111-135	0.59 - 1.29
CAP	SMAW	N/A	74-95	20-27	118-150	0.59 - 1.30

### 2.2. Prosedur Pengelasan

Prosedur pengelasan mengacu pada ASME *Section IX* edisi 2021 dan AWS D1.1 edisi 2020. Urutan pengelasan diawali dengan tahap persiapan, yaitu pembersihan permukaan material menggunakan gerinda untuk menghilangkan kotoran, oksida, dan kontaminan yang dapat memengaruhi kualitas hasil las.

Setelah proses pembersihan, dilakukan pengaturan sambungan dengan *root gap* sebesar 3-4 mm dan *root face* antara 0-1 mm. Toleransi ketidaksejajaran (*maximum misalignment tolerance*) ditetapkan sekitar 1,5 mm. Selanjutnya, *tack weld* dilakukan menggunakan parameter pengelasan *root pass*, dengan metode *bridge tack* untuk menjaga kestabilan dan keselarasan sambungan sebelum proses pengelasan utama.

Tahap berikutnya meliputi pemasangan gas *purgung* untuk melindungi bagian dalam lapisan dari oksidasi dan kontaminasi selama proses pengelasan. Setelah itu, peralatan *Post-Weld Heat Treatment* (PWHT) dipasang, dengan *ceramic beaded heating coil* yang dililitkan di sekitar area pengelasan dan dilapisi menggunakan *ceramic fiber blanket (wool)* sebagai isolasi termal. Proses ini diakhiri dengan pemanasan pada *expansion area* dengan suhu minimum sebesar 52 °C.

### 2.3. Pengujian Hasil Pengelasan

Untuk memastikan keberhasilan hasil pengelasan, dilakukan beberapa prosedur pengujian. Tahap awal pengujian diawali dengan pembersihan area pengelasan (*cleaning*), yaitu membersihkan permukaan las dari *spatter* dan kotoran lain yang menempel menggunakan sikat kawat dan palu *chipping*. Tahap ini bertujuan untuk memastikan permukaan las siap dilakukan inspeksi lebih lanjut.

Setelah proses pembersihan, dilakukan inspeksi visual (*visual inspection*), yaitu pemeriksaan langsung terhadap permukaan las menggunakan penglihatan manusia. Metode ini merupakan salah satu teknik *non-destructive testing* (NDT) yang paling umum digunakan untuk mengevaluasi kondisi material, komponen, atau peralatan karena mudah dilakukan dan memiliki biaya relatif rendah dibandingkan metode NDT lainnya. Beberapa alat bantu yang digunakan dalam inspeksi visual meliputi cermin bertangkai (*mirror with handle*), *welding gauge*, senter, dan kaca pembesar (*magnifying glass*).

Tahap berikutnya adalah *Magnetic Particle Inspection* (MPI), yaitu metode pengujian yang memanfaatkan medan magnet dan partikel magnetik halus untuk mendeteksi cacat pada permukaan atau dekat permukaan material. Pengujian ini hanya dapat dilakukan pada komponen yang terbuat dari bahan feromagnetik, yaitu material yang dapat dimagnetisasi, seperti besi, nikel, kobalt, atau beberapa paduan tertentu[13].

Pengujian terakhir yang dilakukan adalah *Ultrasonic Testing* (UT), yaitu metode NDT yang memanfaatkan perambatan gelombang ultrasonik dengan frekuensi tinggi, berkisar antara 1 MHz hingga 10 MHz. Gelombang ultrasonik merambat ke dalam material dan akan dipantulkan kembali apabila menemui bidang pantul, termasuk adanya cacat di dalam material[14]. Meskipun tingkat sensitivitasnya dalam mendeteksi cacat tidak setinggi *Phased Array Ultrasonic Testing* (PAUT) atau *Radiographic Testing* (RT), metode UT masih banyak digunakan dalam industri minyak dan gas. Peralatan utama yang digunakan dalam pengujian UT meliputi *probe* sebagai *transduser* atau sensor ultrasonik, *flaw detector* sebagai perangkat elektronik untuk memproses dan menampilkan sinyal, serta *couplant*, yaitu cairan atau gel yang digunakan untuk menghilangkan udara antara *probe* dan permukaan benda uji.

## 3.0 HASIL DAN PEMBAHASAN

### 3.1. Hasil Inspeksi Visual

Hasil inspeksi visual terhadap hasil pengelasan menggunakan proses kombinasi ditunjukkan pada Gambar 2. Gambar 2(a) memperlihatkan permukaan

*capping* hasil pengelasan dengan proses SMAW yang telah dilakukan penggerindaan halus (*flush grinding*) sebagai persiapan sebelum dilakukan pengujian NDT menggunakan metode *Ultrasonic Testing* (UT). Berdasarkan standar ASME B31.1, tidak diperbolehkan adanya tonjolan atau *undercut* yang tajam pada bagian dalam pipa. Oleh karena itu, hasil *flush grinding* harus memiliki permukaan yang halus dan tidak menimbulkan gangguan terhadap aliran fluida.



(a)



(b)

Gambar 2: Permukaan Las Setelah (a) *Grind Flush* dan (b) Permukaan *Root*

Sementara itu, Gambar 2(b) menunjukkan hasil pengelasan pada bagian *root* yang menggunakan proses *Gas Tungsten Arc Welding* (GTAW). Berdasarkan hasil inspeksi visual, dapat disimpulkan bahwa pengelasan tidak menunjukkan adanya cacat permukaan. Kondisi ini telah memenuhi kriteria penerimaan yang mengacu pada standar AWS D1.1 edisi 2020 [15], baik pada bagian *root* maupun *cap*.

### 3.2. Hasil Pengujian MPI

Berdasarkan Gambar 3, mengacu pada AWS D1.1:2020 Bagian 8.10, metode *Magnetic Particle Testing* (MT) digunakan untuk mendeteksi cacat permukaan, seperti retakan dan diskontinuitas memanjang, pada material feromagnetik. Metode ini efektif dalam mengidentifikasi indikasi cacat yang berada di permukaan maupun dekat

permukaan logam. Kriteria penerimaan (*acceptance criteria*) menyatakan bahwa seluruh indikasi berupa retakan (*cracks*) dan indikasi linear tidak diperbolehkan. Sementara itu, indikasi berbentuk membujat (*rounded indications*) masih dapat diterima selama tidak melebihi batas ukuran dan jumlah yang telah ditetapkan.



(a)



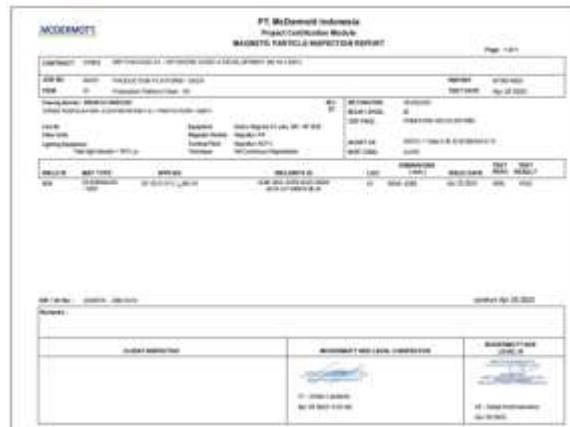
(b)

Gambar 3: Hasil Pengujian MPI Bagian *Surface* (A), Dan *Root* (B)

Berdasarkan hasil laporan pengujian pada gambar 4, pengelasan material A694/F65 dengan *overlay* Inconel 625 menggunakan kombinasi metode *Gas Tungsten Arc Welding* (GTAW) dan *Shielded Metal Arc Welding* (SMAW) mampu menghasilkan sambungan las dengan kualitas mekanik dan ketahanan korosi yang memadai. Hasil pengujian lentur serta pengamatan mikrostruktur menunjukkan tidak adanya cacat las yang signifikan, sehingga sambungan las tersebut memenuhi persyaratan standar kekuatan mekanik. Selain itu, hasil pengujian laju korosi mengindikasikan bahwa proses GTAW memberikan ketahanan korosi yang lebih baik dibandingkan SMAW, yang dipengaruhi oleh perbedaan *heat input* dan laju pendinginan selama proses pengelasan.

Selanjutnya, inspeksi non-destructive testing (NDT) menggunakan Magnetic Particle Inspection (MPI) pada sambungan las produksi platform menunjukkan hasil yang memenuhi persyaratan standar teknis, tanpa ditemukannya cacat permukaan maupun subpermukaan.

Hasil ini memperkuat validitas pengelasan yang dihasilkan melalui penerapan prosedur pengelasan yang telah ditetapkan serta pengawasan yang ketat oleh *inspector* bersertifikat. Secara keseluruhan, kombinasi metode GTAW dan SMAW pada proses *overlay welding* material A694/F65 dengan Inconel 625 sebagai material *overlay* dapat diandalkan untuk aplikasi industri yang memerlukan sambungan las dengan performa mekanik tinggi serta ketahanan korosi yang baik.



Gambar 4: Report pengujian MPI

### 3.3. Hasil Pengujian UT



Gambar 5: Hasil Pengujian UT

Berdasarkan laporan hasil pengujian Ultrasonic Testing (UT), tidak ditemukan cacat yang berada di luar batas standar sesuai dengan *acceptance criteria* ASME Section VIII Division 1 edisi 2021, khususnya pada *Mandatory Appendix 12: Ultrasonic Examination of Welds* (UT)[16]. Hasil inspeksi UT pada sambungan las menunjukkan bahwa kualitas sambungan telah memenuhi persyaratan yang ditetapkan. Pengujian dilakukan menggunakan peralatan USIGL dengan *probe* yang sesuai dengan ketentuan standar pengujian. Dimensi sambungan las yang diuji adalah sepanjang 10.000 mm dengan diameter  $\phi 280$  mm.

Persentase pemeriksaan pada pengujian UT mencapai 100% dari panjang sambungan las. Hasil pengujian menunjukkan status *PASS*, yang menandakan tidak ditemukannya indikasi cacat internal[17]. Cacat yang dimaksud meliputi retakan, inklusi, porositas, maupun ketidakseragaman struktur yang berpotensi mengganggu integritas sambungan las. Hasil lengkap pengujian UT tersebut ditunjukkan pada gambar yang disajikan di Gambar 4.



Gambar 6: Report Pengujian UT

## 4.0 KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian, penerapan kombinasi metode *Gas Tungsten Arc Welding* (GTAW) dan *Shielded Metal Arc Welding* (SMAW) pada material ASTM A694/F65 dengan *overlay* Inconel 625 terbukti mampu menghasilkan sambungan las yang memenuhi persyaratan kualitas untuk aplikasi industri migas. Penggunaan GTAW pada *root weld* memberikan kontrol panas dan kebersihan yang baik sehingga menghasilkan penetrasi yang optimal, sedangkan SMAW pada tahap *fill* hingga *cap weld* meningkatkan efisiensi proses serta memastikan kekuatan mekanik sambungan. Hasil pengujian *non-destructive testing* yang meliputi inspeksi visual, *Magnetic Particle Inspection* (MPI), dan *Ultrasonic Testing* (UT) menunjukkan tidak ditemukannya indikasi cacat yang melampaui *acceptance criteria* sesuai standar AWS D1.1:2020 dan ASME Section VIII Division 1 Appendix 12. Temuan ini menunjukkan bahwa penerapan prosedur pengelasan yang tepat, pengendalian parameter proses, serta keterampilan *welder* tersertifikasi berperan penting dalam menjamin integritas dan keandalan sambungan las pada material kritis seperti Inconel 625.

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] L. E. Bilak., Chamim, M. A. N Tri. And W.H Lilih. "Analisis Pengaruh Arus Pada Pengelasan Bertingkat (Multilayer Welding) Terhadap Struktur Mikro, Kekerasan Dan Kuat Tarik". Vol :14, Issue :1 pages 205-212. DOI : 10.21776/jrm.v14i1.1210. 2023.
- [2] A. Amir, dan S. Tommy. "Peningkatan Kualitas Sambungan Las Baja Karbon Rendah Dengan Metode Taguchi". Vol III, Issue 2, Page:59-63.2017
- [3] Y. R. Fauzi dan A. E. Heka. "Pengaruh heat input pada pengelasan combine GTAW- SMAW dissimillar material baja AISI 1045 dengan SS 304 terhadap sifat mekanik". Vol :10, Issue : 2, Pages : 47-52.2024.
- [4] A. S. Ismy, dan R. Nanda. "Pengaruh arus pengelasan SMAW terhadap kekuatan sambungan las double lap joint pada material AISI 1050," vol. 2, no. 1, pp. 1–7, 2020.
- [5] U. Sukamto, dan C Umam. "Pengaruh Variasi Kuat Arus Pengelasan Terhadap Berat Deposit Las Per Milimeter Pada Pengelasan Test Ring Astm A694 Gr F65 Dan Pipa Dnvg1 Smls 450 Sfpdu Mod Menggunakan Proses Pengelasan Smaw Di Pt. McDermott Indonesia-Batam". Vol. 3, No. 2, February 2023, pp. 159-169 P-ISSN: 2723-6854, E-ISSN: 2798-1037. 2023.
- [6] Herizal, Hasrin, and Hanif, "Analisa Pengaruh Proses GTAW Dan SMAW Terhadap Ketangguhan Sambungan Pengelasan Material AISI 1050," *J. Weld. Technol.*, vol. 2, no. 1, pp. 19–25, 2020.
- [7] F. Candra, S. Sugiyarto, "Analisis Penyambungan Las Gtaw (Gas Tungsten Arc Welding)/Tig Menggunakan Mesin Las Smaw (Shielded Metal Arc Welding) Seminar. Nasional. 2022.
- [8] Desmon , Semuel ; Analisa Pengaruh Variasi Arus Pengelasan Kombinasi Smaw Dan Gtaw Terhadap Pengujian Kekerasan , Kekuatan Impak Serta Pengamatan Struktur Mikro Pada Baj," vol. 8, no. 1, pp. 24–33, 2022.
- [9] Y. Indriati And N. 02511640000085, "Tugas Akhir – TI 184834 Review: Evolusi Struktur Mikro Dan Fase Inconel 625 Pada Oksidasi Temperatur Tinggi," 2020.
- [10] ASME BPVC 2023 SEC IX," *Secret Doctrin.*, pp. 91–97, 2023.
- [11] S.Sirohi, S.M. Pandey, A. Swierczynska, G. Rogalski, M. Landowski, D. Fydrych, and C. Pandey. "Microstructure and Mechanical Properties of Combined GTAW and SMAW Dissimilar Welded Joints between Inconel 718 and 304L Austenitic Stainless Steel". 13, 14.
- [12] E. T. S. Çelik1, B. E. Çelik, S. Talaş. "Weldability of Dissimilar 316L and A106 Steels with GTAW and SMAW Using 309L and Inconel 82 Electrodes". Volume 13, Issue 4, Page 41-48, <https://doi.org/10.46810/tdfd.1496947.2024>.
- [13] Y. Yang, Y. Yang, L. Li, C. C dan Z. Min. "Automatic Defect Identification Method for Magnetic Particle Inspection of Bearing Rings Based on Visual Characteristics and High-Level Features". *Appl. Sci.* 2022, 12, 1293. <https://doi.org/10.3390/app12031293.2022>.
- [14] A. A. Supriyanto dan Syafrizal. "Penentuan Cacat Dengan Metode Ultrasonic Testing". *Jurnal RAMATEKNO*, Vol. 2 No. 1, April 2022, hal. 7 – 13 ISSN 2828-2108. 2022.
- [15] A. American and N. Standard, *Structural Welding Code — Structural Welding Code — Steel*. 2020.
- [16] ASME, "ASME BPVC Section VIII División 1," pp. 651–652, 2020.
- [17] A. Fikrie1, W. D. Pratiwi, A. A. Fakhri. "Overlay welding analysis on GTAW and SMAW processes in terms of mechanical properties and corrosion rate". *Journal of Engineering and Applied Technology Online ISSN 2716-2265 Vol. 3, No. 2, August 2022*, pp. 87-93 Printed ISSN 2716-2257.2022.