

**DETECTION OF SLAG INCLUSIONS AND DEGREE OF
ROUGHNESS IN WELDED JOINTS BY APPLICATION
APPROACH**

**DETEKSI INKLUSI TERAK DAN TINGKAT KEKASARAN PADA
SAMBUNGAN LAS DENGAN PENDEKATAN APLIKASI**

Muhammad Aqdar Fitrah^{1*}, Hermin Hardyanti Utami²

¹Program Studi Teknik Perawatan Mesin, Akademi Komunitas Industri Manufaktur Bantaeng,
Indonesia

² Program Studi Analisis Kimia, Akademi Komunitas Industri Manufaktur Bantaeng,
Indonesia

*e-Mail Corresponding Author: muh.aqdarfitrah@akom-bantaeng.ac.id

ABSTRACT

Slag Inclusion is a defect that occurs in areas in the weld. This defect is in the form of slag (melting flux) that is in the welding. In this study, an experiment was conducted using a sample of SA 106 Grade B pipe, aiming to detect slag inclusion defects and evaluate the degree of roughness in GTAW (Gas Tungsten Arc Welding) and SMAW (Shielded Metal Arc Welding) combinations with an application-based approach. This approach uses a special application to automatically detect slag inclusion defects and measure the surface roughness level of the weld results. The research method involves collecting welding samples with a variety of relevant process parameters. The collected data were then analyzed qualitatively and quantitatively. The results achieved were that in the GTAW and SMAW combination welding there were Slag inclusion weld defects in the weld metal area in the fill pass layer, the size of the slag defects in welding was obtained with a defect depth value of 0.5 μm while for SEM testing and supported by the use of software produced an average roughness with value (Ra) 70.536 nm, Roughness average root (Rq) 99.0837 nm, Maximum height of roughness (Rt) 847. 170 nm, Maximum valley depth of roughness (Rv) 313.262.)

Keywords: Flaw detection, GTAW and SMAW combination welding, Slag inclusion, Surface roughness

ABSTRAK

Slag Inclusion adalah cacat yang terjadi pada daerah dalam hasil lasan. Cacat ini berupa slag (flux yang mencair) yang berada dalam pengelasan. Pada penelitian ini dilakukan percobaan dengan menggunakan sampel pipa SA 106 Grade B, bertujuan untuk melakukan deteksi cacat slag inclusion dan evaluasi tingkat kekasaran pada pengelasan kombinasi GTAW (Gas Tungsten Arc Welding) dan SMAW (Shielded Metal Arc Welding) dengan pendekatan berbasis aplikasi. Pendekatan ini menggunakan aplikasi khusus untuk mendeteksi cacat slag inclusion secara otomatis dan mengukur tingkat kekasaran permukaan hasil pengelasan. Metode penelitian melibatkan pengumpulan sampel pengelasan dengan variasi parameter proses yang relevan. Data yang terkumpul kemudian dianalisis secara kualitatif dan kuantitatif. Hasil yang dicapai bahwa pada pengelasan kombinasi GTAW dan SMAW terdapat cacat las Slag inclusion di daerah weld metal di

*lapisan fiil pass, ukuran cacat slag dalam pengelasan didapatkan dengan nilai kedalaman cacat 0.5 μm sedangkan untuk pengujian SEM dan didukung penggunaan software dihasilkan rata-rata kekasaran dengan nilai (R_a) 70.536 nm, Akar rata-rata kekasaran (R_q) 99.0837 nm, Ketinggian maksimum kekasaran (R_t) 847. 170 nm, Kedalaman lembah kekasaran maksimum (R_v) 313.262. **Kata kunci:** Deteksi cacat, Kekasaran permukaan, Pengelasan kombinasi GTAW dan SMAW, Slag inclusion.*

1. PENDAHULUAN

Pengelasan merupakan proses yang kritis dan umum digunakan dalam berbagai industri untuk menggabungkan bahan logam menjadi suatu struktur yang kokoh dan tahan lama, bahan las dan teknik dipilih sesuai dengan lapisan dasar dan lapisan senyawa, batas lapisan dasar dan senyawa masing-masing dilas (Guo et al., 2012). Aplikasi tersebut memanfaatkan kemajuan dalam teknologi deep learning dan analisis citra untuk mengidentifikasi secara otomatis keberadaan cacat slag inclusion dan mengukur tingkat kekasaran permukaan hasil pengelasan. Pembentukan inklusi terak disebabkan oleh pembuangan terak yang tidak tepat dari bead yang sebelumnya dibuat (Jamrozik et al., 2020) untuk pengelasan TIG (Tungsten Inert Gas) menunjukkan sifat yang agak lebih rendah, tetapi perilaku dan kualitas strukturalnya lebih baik daripada metode lainnya (Cárcel-Carrasco et al., 2017). Studi ini bertujuan untuk melakukan penelitian mendalam tentang deteksi cacat slag inclusion dan evaluasi tingkat kekasaran pada pengelasan kombinasi GTAW dan SMAW dengan pendekatan berbasis aplikasi. Melalui penggunaan aplikasi yang telah dikembangkan khusus (Yu et al., 2018) diharapkan proses deteksi cacat dapat dipercepat dan objektivitas penilaian tingkat kekasaran dapat ditingkatkan. Jenis cacat memiliki amplitudo yang berbeda tergantung sudut pandangnya, digunakan untuk mengklasifikasikan jenisnya. Akhirnya, pendekatan ini didemonstrasikan dalam inspeksi sampel eksperimental (Zhang et al., 2017).

Pada penelitian (Abdul Khadeer et al., 2020) Sifat tarik sambungan pipa yang dilas dengan gesekan menunjukkan nilai yang sedikit lebih tinggi daripada baja ASTM A106 Grade B, tetapi nilai ketangguhan benturan dari sambungan pipa tersebut jauh lebih rendah dibandingkan dengan baja AISI 4140 dalam kondisi AR dan QT karena adanya karbida pada antarmuka las. Penggunaan uji penetrasi dalam kategori las baik dan las cacat membantu mendapatkan sambungan bebas cacat saat pengelasan dengan proses GTAW (Sumesh et al., 2016). Ukuran volume cacat las berpengaruh pada kekuatan patah pada konstruksi sambungan las. Pada elektroda E7018, kekuatan patah maksimum terjadi pada arus 80 A dengan nilai 1015.3 MPa. Pengujian menggunakan Ultrasonik Phased Array pada elektroda E7018 dan E7016 mengindikasikan adanya cacat las incomplete penetration pada root las dan beberapa undercut pada permukaan las. Seluruh benda kerja yang mengalami cacat incomplete penetration dan undercut tidak diizinkan atau ditolak berdasarkan tabel ASME SEC. IX (Prastita & Yunus, 2014)

Dengan pemahaman yang lebih baik untuk ekstraksi deteksi, dan klasifikasi cacat pada gambar dengan kontras rendah dibandingkan dengan teknik deteksi cacat las yang ada (Hassan et al., 2012), Efektivitas pendekatan berbasis aplikasi dalam deteksi cacat slag inclusion dan evaluasi tingkat kekasaran, diharapkan industri pengelasan dapat mengadopsi metode ini untuk meningkatkan kualitas pengelasan, mengurangi risiko kegagalan struktural, dan meningkatkan keandalan

sambungan las. Pada penelitian ini, sampel pengelasan dengan berbagai variasi parameter proses akan dievaluasi menggunakan aplikasi berbasis komputer. Data yang terkumpul akan dianalisis secara kualitatif dan kuantitatif untuk mengidentifikasi hubungan antara parameter proses, keberadaan cacat slag inclusion, dan tingkat kekasaran permukaan hasil pengelasan.

2. METODOLOGI PENELITIAN

Pada penelitian ini ada beberapa tahapan yang dilakukan yaitu persiapan alat dan bahan preparasi sample uji kemudian di Uji Makro. Bahan utama yang digunakan sebagai objek percobaan adalah sampel baja karbon SA 106 Grade.B dengan pengelasan kombinasi GTAW dan SMAW.

Tabel 1 Komposisi Kimia Pipa SA 106 Gr. B

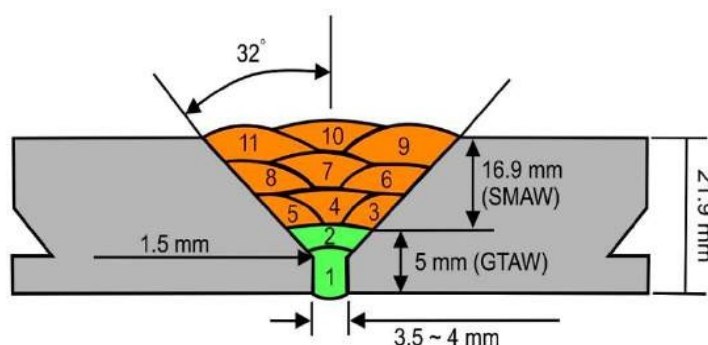
Unsur	wt%
Karbon maks%	0.30*
*Mangan%	*0.29 - 1.06
Fosfor, maks%	0.035
Sulfur, maks%	0.035
Silikon, maks%	0.10
Chrome, maks%	0.40
Tembaga, maks%	0.40
Molibdenum, maks%	0.15
Nikel, maks%	0.40
Vanadium, maks%	0.08

2.1 Elektroda

Elektroda yang digunakan adalah ER70S-6 dan E7016, klasifikasi AWS (American & Standard, 2020), Mesin las yang digunakan adalah inverter lincoln 400 sx. Pada saat proses pengelasan posisi yang digunakan adalah posisi 6G yaitu material pipa dimiringkan dengan 45° dan tidak dapat diputar saat mengelas.

2.2 Proses pengelasan

Pengelasan yang digunakan untuk root pass adalah GTAW (*Gas Metal Arc Welding*) sedangkan untuk proses pengelasan fillet dan cap adalah SMAW (*Shield Metal Arc Welding*).

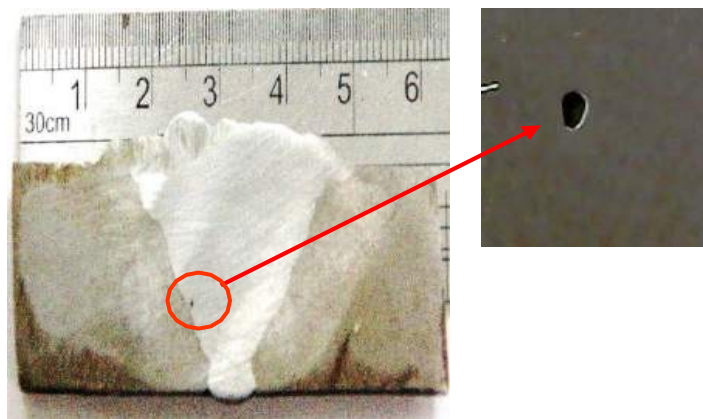


Gambar 1 Proses Pengelasan GTAW dan SMAW

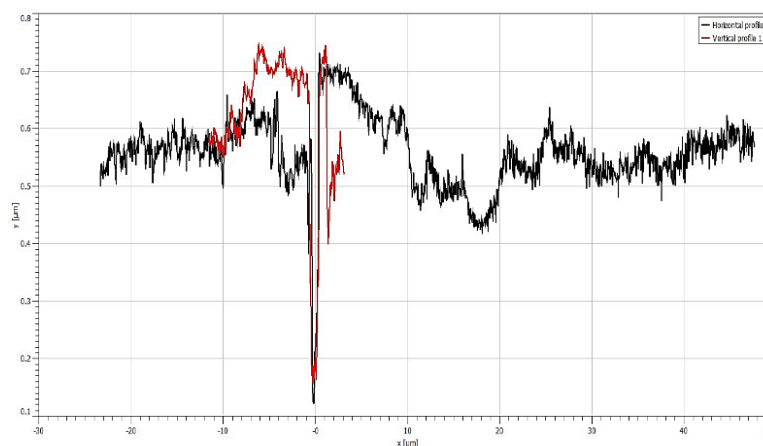
3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Hasil Pengamatan Uji Foto Makro

Proses Foto makro dilakukan pada sambungan las untuk memperlihatkan hasil las serta daerah sekitarnya. Permukaan bentuk daerah yang terjadi akibat proses las tersebut. Jadi dari hasil uji makro akan memperlihatkan cacat – cacat las dan tingkat penetrasi dan daerah fusi.



Gambar 2 Uji Foto Makro



Gambar 3 Grafik Cacat yang Terdeteksi

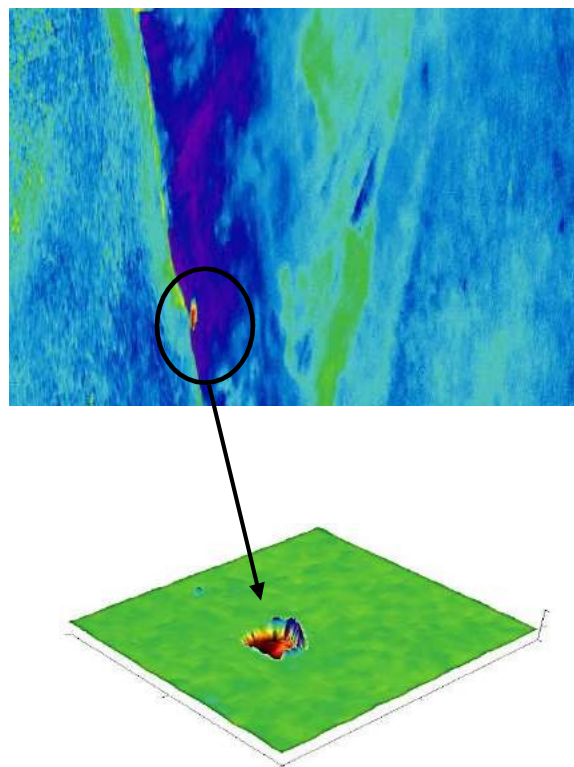
Berdasarkan **Gambar 2** dan **Gambar 3** Pada pengelasan kombinasi GTAW dan SMAW terdapat *Slag inclusion*. Hasil pengamatan pada spesimen menunjukkan adanya cacat *slag inclusion* di lapisan *fill pass*. Cacat *slag inclusion* terbentuk ketika partikel slag terperangkap di dalam pengelasan. Keberadaan cacat ini dapat mempengaruhi kekuatan struktural dan kualitas sambungan las. Oleh karena itu, deteksi dan evaluasi tingkat kekasaran permukaan adalah proses mengukur dan menilai seberapa kasar atau halus suatu permukaan. Tingkat kekasaran permukaan memiliki peran penting dalam banyak aplikasi, termasuk manufaktur, industri otomotif, elektronik, dan bidang lainnya di mana interaksi permukaan sangat kritis. Kebersihan permukaan logam tidak dibersihkan secara memadai sebelum

pengelasan, partikel-partikel slag yang ada sebelumnya dapat terjebak dalam sambungan las serta pemilihan elektroda atau bahan pengisi yang tidak sesuai dengan logam dasar dapat menyebabkan terbentuknya slag inclusion.

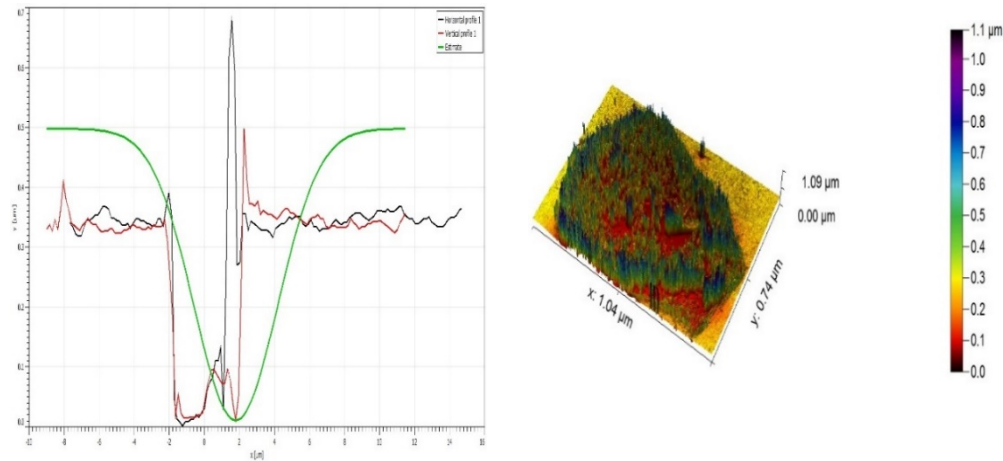
Aplikasi berbasis komputer yang mampu mendeteksi keberadaan dan tingkat kedalaman secara otomatis cacat slag inclusion akan membantu dalam meningkatkan efisiensi dan akurasi inspeksi pengelasan. Selain itu, evaluasi tingkat kekasaran permukaan juga perlu dilakukan untuk memastikan hasil pengelasan mencapai standar yang diinginkan.

3.2 HASIL IDENTIFIKASI DAN UKURAN CACAT DALAM PENGELASAN

Dari pendekatan penggunaan aplikasi untuk deteksi cacat slag inclusion pada pengelasan kombinasi GTAW dan SMAW menunjukkan keberhasilan dalam mengidentifikasi dan memperlihatkan lokasi identifikasi cacat dengan akurat. Aplikasi ini memberikan bantuan yang signifikan bagi operator pengelasan dalam menemukan cacat slag inclusion pada lapisan fil pass, yang memungkinkan mereka untuk mengambil tindakan perbaikan yang tepat pada area yang terkena. Dengan menggunakan pendekatan aplikasi, proses inspeksi kualitas pengelasan menjadi lebih efisien dan terstandardisasi, mengurangi ketergantungan pada inspektur manusia, dan meningkatkan kecepatan dan objektivitas dalam deteksi cacat.

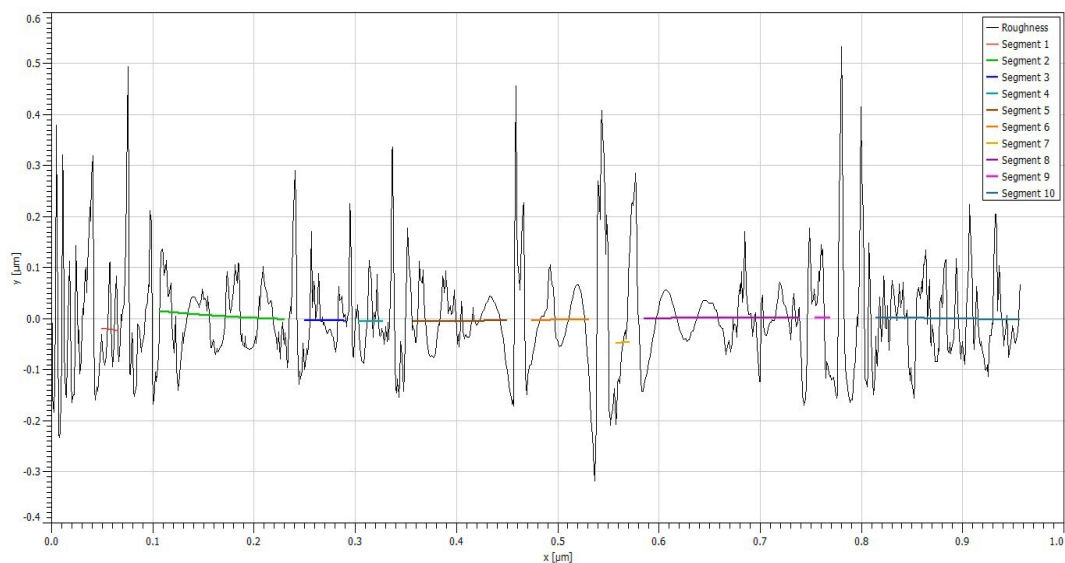


Gambar 4 Lokasi Cacat yang Terdeteksi



Gambar 1 Kedalaman Cacat Slag dan Slag Inclusion 3 Axis

Berdasarkan analisis grafik yang dilakukan, hasil penelitian menunjukkan bahwa ukuran cacat slag inclusion pada pengelasan kombinasi GTAW dan SMAW memiliki kedalaman sebesar $0.5 \mu\text{m}$. Dalam konteks ini, ukuran cacat yang terdeteksi tergolong kecil, namun tetap memiliki potensi untuk mempengaruhi integritas struktural dan kekuatan sambungan las dan dapat berdampak pada integritas struktural dan kekuatan sambungan las. Informasi ini memberikan wawasan yang penting dalam mengevaluasi tingkat keparahan cacat untuk mengambil langkah-langkah perbaikan yang tepat guna meningkatkan kualitas pengelasan.



Gambar 6 Grafik Level Roughness

Dari analisis tingkat kekasaran pada cacat slag inclusion pada pengelasan kombinasi GTAW dan SMAW, ditemukan bahwa level kekasaran permukaan cacat tersebut berada pada tingkat yang signifikan. Hal ini menunjukkan adanya

ketidakrataan pada permukaan pengelasan akibat adanya slag inclusion yang terperangkap di dalamnya. Tingkat kekasaran yang tinggi pada cacat tersebut dapat memengaruhi kualitas sambungan las dan memperburuk karakteristik mekanik struktur. Oleh karena itu, perbaikan dan tindakan yang tepat perlu dilakukan untuk mengurangi tingkat kekasaran dan meningkatkan kualitas permukaan pengelasan secara keseluruhan.

Tabel 2 Level Roughness Cacat Slag Inclusion pada Pengelasan Kombinasi GTAW dan SMAW

Roughness average (Ra)
70.5361 nm
Root mean square roughness (Rq)
99.0837 nm
Maximum height of the roughness (Rt)
847.170 nm
Maximum roughness valley depth (Rv)
313.262 nm
Maximum roughness peak height (Rp)
533.908 nm

4. KESIMPULAN DAN SARAN

Dari hasil data yang pada pengujian foto makro terdapat cacat slag inclusion didaerah weld metal dilapisan fiil pass. Hasil Deteksi dan ukuran cacat dalam pengelasan akan memperoleh nilai kedalaman cacat 0.5 μm ditunjukkan pada grafik sedangkan untuk penggunaan aplikasi dihasilkan rata-rata kekasaran dengan nilai (Ra) 70.536 nm, Akar rata-rata kekasaran (Rq) 99.0837 nm, Ketinggian maksimum kekasaran (Rt) 847. 170 nm, Kedalaman lembah kekasaran maksimum (Rv) 313.262 nm, dan tinggi puncak kekasaran maksimum (Rp) didapatkan nilai 533.908 nm. Secara keseluruhan, penelitian ini berhasil melakukan deteksi cacat slag inclusion dan evaluasi tingkat kekasaran pada pengelasan kombinasi GTAW dan SMAW dengan pendekatan berbasis aplikasi. Pendekatan ini menggunakan aplikasi untuk mendeteksi secara otomatis keberadaan cacat slag inclusion serta mengukur tingkat kekasaran permukaan hasil pengelasan. Dalam penelitian ini, ditemukan bahwa aplikasi secara efektif mendeteksi cacat slag inclusion pada pengelasan dengan tingkat akurasi yang tinggi. Selain itu, aplikasi ini juga mampu memberikan informasi mengenai lokasi identifikasi cacat dengan akurat, yang memungkinkan operator untuk mengambil tindakan perbaikan yang tepat pada area yang terkena. Selain deteksi cacat, aplikasi juga berhasil melakukan evaluasi tingkat kekasaran permukaan hasil pengelasan. Melalui analisis citra dan pengolahan data, aplikasi dapat mengukur tingkat kekasaran secara objektif dan akurat, memberikan informasi penting mengenai kualitas permukaan pengelasan. Dengan pendekatan berbasis aplikasi,

proses inspeksi kualitas pengelasan menjadi lebih efisien, terstandardisasi, dan akurat.

ACKNOWLEDGEMENT

Penulis dengan tulus mengucapkan terima kasih kepada Ketua Prodi Teknik Perawatan Mesin yang telah memberikan fasilitas di workshop AK-Manufaktur Bantaeng, serta kepada Bapak Haeruddin Hafid, Ketua Jurusan Teknik Pengelasan BBPVP Makassar.

REFERENSI

- Abdul Khadeer, S. K., Ramesh Babu, P., Ravi Kumar, B., & Seshu Kumar, A. (2020). Evaluation of friction welded dissimilar pipe joints between AISI 4140 and ASTM A 106 Grade B steels used in deep exploration drilling. *Journal of Manufacturing Processes*, 56(February), 197–205. <https://doi.org/10.1016/j.jmapro.2020.04.078>
- American, A., & Standard, N. (2020). *Structural Welding Code — Steel Structural Welding Code — Steel* (A. W. Society (ed.); 24th ed.). 2020.
- Cárcel-Carrasco, J., Pascual, M., Pérez-Puig, M., & Segovia, F. (2017). Comparative study of TIG and SMAW root welding passes on ductile iron cast weldability. *Metalurgija*, 56(1–2), 91–93.
- Guo, B., Du, X., & Hu, J. (2012). Study on TIG and SMAW comprehensive welding process of 1Cr18Ni9Ti/Q235 compound steel. *Advanced Materials Research*, 487(1), 371–374. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/AMR.487.371>
- Hassan, J., Awan, A. M., & Jalil, A. (2012). Welding defect detection and classification using geometric features. *2012 10th International* <https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/6424312/>
- Jamrozik, W., Górka, J., & Kiel-Jamrozik, M. (2020). DETECTION of SLAG INCLUSIONS in MMA JOINTS with PASSIVE THERMOGRAPHY TECHNIQUES. *Diagnostyka*, 21(2), 111–117. <https://doi.org/10.29354/diag/122843>
- Prastita, I. W. P., & Yunus. (2014). Pengaruh Variasi Arus dan Jenis Elektroda Hasil Proses Pengelasan SMAW Terhadap Cacat Las Menggunakan Pengujian Ultrasonik Phased Array. *Jurnal Teknik Mesin*, 2(3), 29–37.
- Sumesh, A., Ramnadh, L. V. S., Manish, P., Harnath, V., & Lakshman, V. (2016). A Computational approach in optimizing process parameters of GTAW for SA 106 Grade B steel pipes using Response surface methodology. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 149(1). <https://doi.org/10.1088/1757-899X/149/1/012038>
- Yu, W., Fan, M., Shi, J., Xue, F., Chen, X., & Liu, H. (2018). A comparison between fracture toughness at different locations of SMAW and GTAW welded joints of primary coolant piping. *Engineering Fracture Mechanics*, 202(March), 135–146. <https://doi.org/10.1016/j.engfracmech.2018.09.021>
- Zhang, J., Barber, T., Nixon, A., & Wilcox, P. (2017). Investigation into distinguishing between small volumetric and crack-like defects using multi-view total focusing method images. *AIP Conference Proceedings*, 1806. <https://doi.org/10.1063/1.4974590>