

# Analysis of the Effect of Material Variations on Brazing Welding in Evaporator Units through Hydrostatic and Tensile Testing

## [Analisis Pengaruh Variasi Material pada Pengelasan Brazing Unit Evaporator Melalui Hidrostatik dan Pengujian Tarik]

Hendri Setiawan<sup>1)</sup>, Ali Akbar <sup>\*2)</sup>

<sup>1)</sup>Program Studi Teknik Mesin, Universitas Muhammadiyah Sidoarjo, Indonesia

<sup>2)</sup>Program Studi Teknik Mesin, Universitas Muhammadiyah Sidoarjo, Indonesia

\*Email Penulis Korespondensi: aliakbar@umsida.ac.id

**Abstract.** *The evaporator is a critical component in HVAC systems that functions as a heat exchange medium. The quality of brazed joints significantly affects the strength and leak tightness of the system. This study aims to analyze the effect of material variation on brazed joint quality through hydrostatic and tensile testing. The material combinations include copper–aluminum, copper–brass, brass–aluminum, copper–copper, aluminum–aluminum, and brass–brass. Hydrostatic testing was conducted to detect leakage, while tensile testing was performed to determine ultimate tensile strength (UTS) and elongation. The results show that homogeneous joints exhibit the best performance without leakage and higher strength, while dissimilar joints tend to leak and have lower strength. The highest UTS was found in copper–copper at 256.2 MPa with 18.7% elongation, while the lowest was in brass–aluminum at 76.8 MPa with 3.1% elongation.*

**Keywords -** *Brazing, evaporator, hydrostatic test, tensile test, material variation.*

**Abstrak.** *Unit evaporator merupakan komponen penting dalam sistem pendingin (HVAC) yang berfungsi sebagai media pertukaran panas. Kualitas sambungan brazing sangat menentukan kekuatan dan kedapatan sistem. Penelitian ini bertujuan menganalisis pengaruh variasi material terhadap kualitas sambungan melalui uji hidrostatik dan uji tarik. Variasi material meliputi tembaga–aluminium, tembaga–kuningan, kuningan–aluminium, tembaga–tembaga, aluminium–aluminium, dan kuningan–kuningan. Uji hidrostatik dilakukan untuk mendeteksi kebocoran, sedangkan uji tarik untuk menentukan nilai ultimate tensile strength (UTS) dan regangan. Hasil menunjukkan bahwa sambungan sejenis memiliki performa terbaik tanpa kebocoran dan kekuatan tinggi, sedangkan sambungan berbeda cenderung mengalami kebocoran dan kekuatan lebih rendah. Nilai UTS tertinggi terdapat pada tembaga–tembaga sebesar 256,2 MPa dengan regangan 18,7%, dan terendah pada kuningan–aluminium sebesar 76,8 MPa dengan regangan 3,1%.*

**Kata Kunci -** *Brazing, evaporator, uji hidrostatik, uji tarik, variasi material.*

## I. PENDAHULUAN

Dalam industri manufaktur dan sistem pendingin (HVAC), unit evaporator merupakan salah satu komponen utama yang berfungsi sebagai media pertukaran panas melalui proses evaporasi fluida kerja[1]. Kinerja evaporator sangat bergantung pada efektivitas perpindahan panas yang terjadi antara fluida refrigeran dan lingkungan sekitarnya[2]. Oleh karena itu, kualitas konstruksi evaporator, khususnya pada bagian sambungan antar material seperti pipa dan sirip (fin), menjadi faktor kritis dalam menentukan efisiensi dan keandalan sistem secara keseluruhan[3].

Proses penyambungan pada evaporator umumnya menggunakan metode pengelasan brazing, yaitu teknik penyambungan logam dengan memanfaatkan logam pengisi (*filler metal*) yang memiliki titik leleh lebih rendah dibandingkan logam induk tanpa mencairkan material dasar[4]. Brazing banyak digunakan karena mampu menghasilkan sambungan yang memiliki kekuatan mekanik yang baik, distribusi panas yang merata, serta tingkat deformasi yang relatif rendah[5]. Selain itu, brazing juga memberikan keunggulan berupa kemampuan menghasilkan sambungan yang kedap fluida (*leak tight*), yang sangat penting dalam sistem pendingin yang bekerja dengan tekanan dan fluida refrigeran[6].

Dalam aplikasinya, sambungan brazing pada evaporator dapat diklasifikasikan menjadi dua jenis, yaitu sambungan sejenis (*homogeneous joint*) dan sambungan berbeda (*dissimilar joint*)[7]. Sambungan sejenis merupakan penyambungan antara dua material yang sama, seperti tembaga dengan tembaga atau aluminium dengan aluminium, yang umumnya memiliki kompatibilitas sifat mekanik dan termal yang lebih baik sehingga menghasilkan sambungan yang lebih stabil[8]. Sementara itu, sambungan berbeda merupakan penyambungan antara dua material yang berbeda, seperti tembaga dengan aluminium atau kuningan dengan aluminium, yang memiliki perbedaan sifat fisik dan metalurgi sehingga berpotensi menimbulkan permasalahan pada kualitas sambungan[9].

Namun demikian, kualitas sambungan brazing sangat dipengaruhi oleh berbagai faktor, salah satunya adalah variasi material yang digunakan. Kombinasi material seperti tembaga dengan aluminium atau penggunaan jenis filler

metal yang berbeda dapat menimbulkan perbedaan sifat mekanik dan termal, seperti perbedaan koefisien muai termal, konduktivitas panas, serta kompatibilitas metalurgi antar material[10]. Ketidaksesuaian sifat-sifat tersebut dapat memicu terbentuknya cacat pada daerah sambungan, seperti porositas, retak mikro (*microcrack*), incomplete bonding, maupun inklusi.[11] Cacat-cacat ini berpotensi menjadi titik awal kegagalan (*failure initiation*) yang dapat menurunkan performa dan umur pakai komponen[12].

Dalam kondisi operasional, evaporator bekerja pada tekanan tertentu yang menuntut sambungan memiliki integritas struktural dan kedekatan yang tinggi. Oleh karena itu, evaluasi kualitas sambungan brazing tidak hanya dilakukan dari sisi kekuatan mekanik, tetapi juga dari sisi ketahanan terhadap kebocoran. Salah satu metode yang umum digunakan adalah uji hidrostatis, yaitu pengujian dengan memberikan tekanan fluida (biasanya air) ke dalam sistem untuk mendeteksi adanya kebocoran[13]. Uji ini sangat penting karena mampu mensimulasikan kondisi tekanan aktual dan mengidentifikasi cacat yang tidak terlihat secara visual.

Adanya kebocoran pada uji hidrostatis mengindikasikan bahwa sambungan memiliki cacat, seperti porositas atau retak mikro, yang menyebabkan fluida dapat keluar dari sistem[14]. Secara mekanika material, keberadaan cacat tersebut akan mengurangi luas penampang efektif dan menimbulkan konsentrasi tegangan (*stress concentration*) pada daerah tertentu[15]. Kondisi ini menyebabkan distribusi tegangan menjadi tidak merata dan mempercepat terjadinya deformasi plastis maupun kegagalan material. Dengan demikian, sambungan yang mengalami kebocoran cenderung memiliki kekuatan mekanik yang lebih rendah.

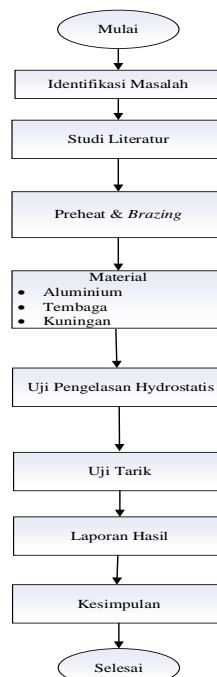
Untuk mengkaji lebih lanjut pengaruh cacat terhadap kekuatan sambungan, dilakukan pengujian tarik yang bertujuan untuk menentukan nilai kekuatan tarik maksimum (*ultimate tensile strength*) serta karakteristik deformasi material. Hasil uji tarik memberikan informasi kuantitatif mengenai kemampuan sambungan dalam menahan beban tarik sebelum mengalami kegagalan. Dengan mengombinasikan hasil uji hidrostatis dan uji tarik, dapat diperoleh pemahaman yang lebih komprehensif mengenai hubungan antara kualitas sambungan, keberadaan cacat, serta performa mekanik material.

Berdasarkan uraian tersebut, penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh variasi material pada proses pengelasan brazing unit evaporator melalui pengujian hidrostatis dan pengujian tarik. Penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi dalam menentukan kombinasi material dan parameter proses yang optimal, baik pada sambungan sejenis maupun sambungan berbeda, guna meningkatkan kualitas sambungan, keandalan sistem, serta efisiensi operasional pada unit evaporator.

## II. METODE

### A. Diagram Alir Penelitian

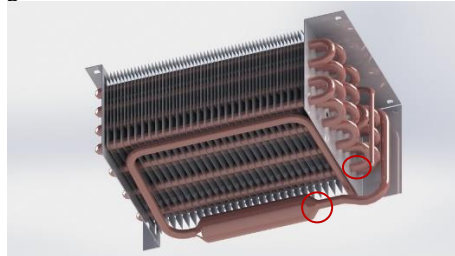
Dalam penelitian ini, langkah-langkah proses penelitian akan dijelaskan dalam diagram alir (*flow chart*), Diagram alir (*flow chart*) dapat dilihat gambar tersebut.



**Gambar 1.** Kerangka Konsep Penelitian

## B. Teknik Pengumpulan Data

Teknik pengumpulan data dalam penelitian ini dilakukan dengan menggunakan metode eksperimen terhadap sambungan brazing pada unit evaporator dengan variasi material yang berbeda. Data yang dikumpulkan merupakan data primer yang diperoleh secara langsung melalui proses pembuatan spesimen, pengujian hidrostatis, dan pengujian tarik. Spesimen dibuat dengan variasi berbagai kombinasi material, proses penyambungan dilakukan menggunakan metode brazing dengan parameter proses seperti temperatur dan waktu pemanasan yang dijaga konstan, sehingga perbedaan hasil pengujian hanya dipengaruhi oleh variasi material.



Gambar 2. Obyek Penelitian

Proses pengelasan brazing pada unit evaporator dengan variasi material tembaga, aluminium, dan kuningan diawali dengan tahap persiapan spesimen yang meliputi pemotongan sesuai dimensi serta pembersihan permukaan dari kotoran, minyak, dan lapisan oksida untuk meningkatkan kualitas sambungan. Selanjutnya, material disusun dengan celah sambungan tertentu sesuai prinsip kapilaritas, kemudian diberikan flux untuk mencegah oksidasi selama proses pemanasan. Proses brazing dilakukan dengan memanaskan daerah sambungan hingga mencapai suhu di atas titik leleh filler, sehingga filler mencair dan mengalir mengisi celah sambungan melalui gaya kapiler. Pada tahap ini terjadi proses difusi antar material yang menghasilkan ikatan metalurgi antara tembaga, aluminium, dan kuningan. Setelah proses pemanasan selesai, sambungan didinginkan secara alami pada suhu ruang, kemudian dibersihkan dari sisa flux. Tahap akhir dilakukan pengujian, yaitu uji tarik untuk mengetahui kekuatan mekanik sambungan serta uji hidrostatis untuk mengevaluasi ketahanan terhadap tekanan dan mendeteksi kebocoran, sehingga dapat diketahui pengaruh variasi material terhadap kualitas sambungan brazing pada unit evaporator.

Setelah proses brazing, setiap spesimen dilakukan pengujian hidrostatis untuk mengetahui kekedapan sambungan terhadap tekanan fluida. Pengujian dilakukan dengan mengisi spesimen menggunakan air, kemudian diberikan tekanan tertentu dan ditahan dalam waktu yang telah ditentukan.



Gambar 3. Ilustrasi Uji Hidrostatis

Data yang dikumpulkan meliputi tekanan uji, waktu penahanan, serta hasil pengujian berupa kondisi kebocoran. Dalam praktiknya, apabila ditemukan kebocoran, maka dilakukan perbaikan (*repair*) dan pengujian ulang hingga spesimen dinyatakan tidak bocor, sehingga seluruh spesimen yang digunakan dalam penelitian berada dalam kondisi lolos uji hidrostatis.

Tabel 1. Parameter Uji Hydostatik

No	Material	Tekanan Uji (Psi)	Waktu
1	Tembaga Aluminium	10	2
2	Tembaga Kuningan	10	2
3	Kuningan Aluminium	10	2
4	Tembaga Tembaga	10	2
5	Aluminium Aluminium	10	2
6	Kuningan Kuningan	10	2

Selanjutnya, spesimen yang telah lolos uji hidrostatik diuji menggunakan mesin uji tarik untuk mengetahui kekuatan mekanik sambungan. Data yang diperoleh dari pengujian tarik meliputi Yield Strength (MPa), Ultimate Tensile Strength (MPa), dan Regangan (%), serta gaya maksimum dan karakteristik patahan yang terjadi pada spesimen. Parameter-parameter tersebut digunakan untuk mengevaluasi kemampuan sambungan dalam menahan beban serta tingkat deformasi sebelum terjadi kegagalan.

Selain itu, dilakukan observasi dan dokumentasi visual pada area sambungan untuk mengidentifikasi adanya cacat seperti porositas atau retak yang dapat memengaruhi hasil pengujian. Seluruh data yang diperoleh kemudian dicatat secara sistematis dan dianalisis untuk mengetahui pengaruh variasi material terhadap kualitas sambungan brazing pada unit evaporator.

### III. HASIL DAN PEMBAHASAN

#### A. Uji Hidrostatik

Berdasarkan hasil pengujian hidrostatik yang disajikan pada tabel di bawah ini, dapat diketahui bahwa setiap variasi material menunjukkan perbedaan dalam kemampuan menahan tekanan dan tingkat kedapatan sambungan brazing.

**Tabel 2.** Hasil Uji Hydrostatik

No	Material 1	Material 2	Tekanan Psi	Waktu Tahan (menit)	Hasil Pengujian
1	Tembaga	Aluminium	10	2	Tidak Bocor
2	Tembaga	Kuningan	10	2	Tidak Bocor
3	Kuningan	Aluminium	10	2	Tidak Bocor
4	Tembaga	Tembaga	10	2	Tidak Bocor
5	Aluminium	Aluminium	10	2	Tidak Bocor
6	Kuningan	Kuningan	10	2	Tidak Bocor

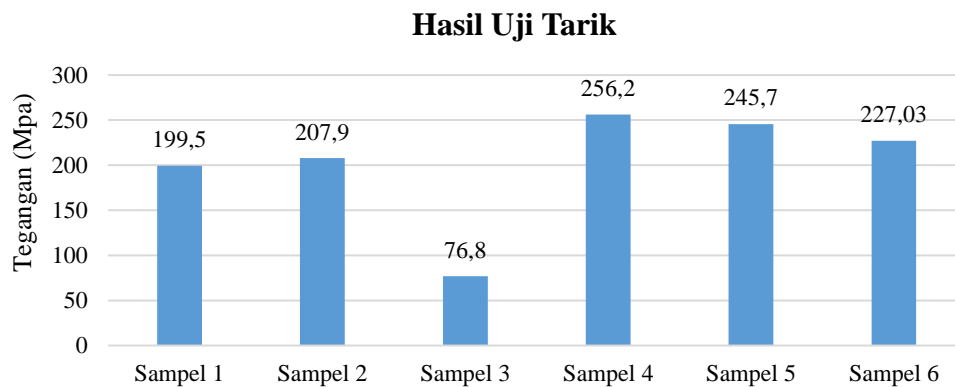
Berdasarkan hasil uji hidrostatik dengan tekanan konstan, variasi material berpengaruh terhadap kualitas sambungan brazing, terutama dalam hal kedapatan. Secara umum, sambungan diklasifikasikan menjadi sambungan sejenis (*homogeneous joint*) dan sambungan berbeda (*dissimilar joint*).

Sambungan sejenis seperti tembaga–tembaga dan kuningan–kuningan tidak menunjukkan kebocoran karena kesamaan sifat material menghasilkan ikatan yang lebih stabil dan minim tegangan sisa. Namun, pada aluminium–aluminium masih ditemukan kebocoran akibat adanya lapisan oksida yang menghambat proses pembasahan (*wetting*) dan menyebabkan *incomplete bonding*.

Pada sambungan berbeda seperti tembaga–aluminium dan kuningan–aluminium, kebocoran lebih sering terjadi akibat perbedaan sifat termal dan metalurgi, yang memicu tegangan sisa, porositas, serta pembentukan senyawa intermetalik yang bersifat getas. Sementara itu, sambungan tembaga–kuningan menunjukkan hasil yang baik karena kompatibilitas material yang tinggi.

Secara keseluruhan, kualitas sambungan dipengaruhi oleh kesesuaian sifat material. Sambungan sejenis cenderung lebih baik, sedangkan kebocoran pada sambungan berbeda menunjukkan adanya cacat seperti porositas dan retak mikro, sehingga diperlukan proses repair melalui perbaikan parameter brazing dan persiapan permukaan.

#### B. Hasil Uji Tarik



**Gambar 8.** Grafik Perbandingan Uji Tarik

Gambar diatas menunjukkan bahwa kekuatan tarik maksimum (UTS) tertinggi dimiliki oleh Sampel 4 (256 MPa), diikuti Sampel 5 (246 MPa) dan Sampel 6 (227 MPa), yang menandakan kualitas sambungan atau material pada ketiga sampel tersebut paling baik. Sampel 2 (208 MPa) dan Sampel 1 (199 MPa) berada pada tingkat menengah, sedangkan Sampel 3 memiliki nilai paling rendah (77 MPa), menunjukkan kekuatan tarik yang jauh lebih lemah dibanding sampel lainnya. Secara umum, grafik ini memperlihatkan adanya variasi signifikan antar sampel yang kemungkinan dipengaruhi oleh perbedaan material atau proses brazing yang digunakan.

**Tabel 3.** Hasil Uji Tarik

No	Material	Yield Strenght (Mpa)	UTS (MPa)	Regangan (%)
Sampel 1	Tembaga – Aluminium	139,7	199,5	8,2
Sampel 2	Tembaga – Kuningan	145,5	207,9	10,5
Sampel 3	Kuningan – Aluminium	53,8	76,8	3,1
Sampel 4	Tembaga – Tembaga	179,3	256,2	18,7
Sampel 5	Aluminium – Aluminium	172	245,7	12,4
Sampel 6	Kuningan – Kuningan	158,9	227,03	14,2

Berdasarkan hasil uji tarik pada enam variasi material, diperoleh nilai kekuatan tarik maksimum (ultimate tensile strength/UTS) dan regangan yang menunjukkan perbedaan signifikan antar sambungan brazing. Secara umum, sambungan sejenis (homogeneous joint) menunjukkan performa mekanik yang lebih baik dibandingkan sambungan berbeda (dissimilar joint).

Sampel 4 (tembaga–tembaga) memiliki nilai UTS tertinggi sebesar 256,2 MPa dengan regangan 18,7%, yang menunjukkan bahwa sambungan memiliki kekuatan dan keuletan (ductility) yang sangat baik. Hal ini disebabkan oleh kesamaan sifat material yang memungkinkan terjadinya difusi optimal dan pembentukan ikatan metalurgi yang homogen. Selanjutnya, sampel 5 (aluminium–aluminium) dan sampel 6 (kuningan–kuningan) juga menunjukkan nilai UTS yang relatif tinggi, masing-masing sebesar 245,7 MPa dan 227,03 MPa, dengan regangan 12,4% dan 14,2%. Meskipun aluminium memiliki lapisan oksida, hasil yang diperoleh menunjukkan bahwa proses brazing masih mampu menghasilkan sambungan yang cukup baik.

Pada sampel 2 (tembaga–kuningan), nilai UTS sebesar 207,9 MPa dengan regangan 10,5% menunjukkan bahwa sambungan berbeda dengan basis material yang serupa (Cu-based) masih memiliki kompatibilitas yang cukup baik. Namun, nilai ini tetap lebih rendah dibandingkan sambungan sejenis akibat adanya perbedaan komposisi material.

Sementara itu, sampel 1 (tembaga–aluminium) menunjukkan nilai UTS sebesar 199,5 MPa dengan regangan 8,2%, yang mengindikasikan penurunan kekuatan akibat perbedaan sifat termal dan kemungkinan terbentuknya senyawa intermetalik yang bersifat getas. Penurunan paling signifikan terjadi pada sampel 3 (kuningan–aluminium) dengan nilai UTS hanya 76,8 MPa dan regangan 3,1%. Nilai ini menunjukkan bahwa sambungan sangat rapuh (brittle) dan

memiliki kualitas yang rendah, yang kemungkinan disebabkan oleh ketidaksesuaian sifat material serta terbentuknya cacat seperti porositas dan retak mikro.

Secara keseluruhan, hasil uji tarik menunjukkan bahwa kesesuaian sifat material sangat memengaruhi kekuatan dan keuletan sambungan brazing. Sambungan sejenis menghasilkan performa terbaik, sedangkan sambungan berbeda, khususnya yang melibatkan aluminium, cenderung memiliki kekuatan lebih rendah dan sifat yang lebih getas.

#### IV. SIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian, dapat disimpulkan bahwa variasi material berpengaruh signifikan terhadap kualitas sambungan brazing pada unit evaporator, yang diawali melalui uji hidrostatis dan dilanjutkan dengan uji tarik. Hasil uji hidrostatis menunjukkan bahwa sambungan sejenis (*homogeneous joint*) memiliki kedekatan yang lebih baik dibandingkan sambungan berbeda (*dissimilar joint*), ditandai dengan tidak adanya kebocoran pada beberapa variasi material. Sementara itu, sambungan yang mengalami kebocoran mengindikasikan adanya cacat seperti porositas dan retak mikro pada daerah brazing. Hasil tersebut sejalan dengan uji tarik, di mana sambungan tanpa kebocoran memiliki nilai kekuatan tarik (UTS) dan regangan yang lebih tinggi, seperti pada tembaga–tembaga sebesar 256,2 MPa dengan regangan 18,7%, sedangkan sambungan yang mengalami kebocoran, seperti kuning–aluminium, menunjukkan nilai terendah sebesar 76,8 MPa dengan regangan 3,1%. Dengan demikian, dapat disimpulkan bahwa kualitas sambungan sangat dipengaruhi oleh kesesuaian material, serta hasil uji hidrostatis berkorelasi dengan kekuatan mekanik sambungan, sehingga diperlukan proses *repair* pada sambungan yang mengalami kegagalan.

#### UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih kepada Ayah dan Ibu atas dukungan dan doa tak pernah putus selama studi Teknik Mesin. Semoga Allah membalas kebaikan kalian dengan kebahagiaan berlimpah. Terima kasih juga kepada teman-teman seangkatan Teknik Mesin atas persahabatan, diskusi mesin, dan dukungan dalam penelitian.

#### REFERENSI

- [1] J. Feng, M. Herrmann, A.-M. Reinecke, and A. Hurtado, "Active Brazing for Energy Devices Sealing," *Journal of Experimental and Theoretical Analyses*, vol. 2, no. 1, pp. 1–27, Jan. 2024, doi: 10.3390/jeta2010001.
- [2] J.-W. Yu, S.-H. Park, C.-S. Kim, and C.-Y. Kang, "Effect of Brazing Condition on Tensile Properties in Brazing Joints of Inconel-625/Ni-201 Using MBF-30," *Journal of the Korean Welding and Joining Society*, vol. 30, no. 6, pp. 106–112, Dec. 2012, doi: 10.5781/kwjs.2012.30.6.592.
- [3] S. Syaiful, Arminas, and Mahlina Ekawati, "Tensile stress analysis against temperature variations with oil coolant in welding and heat treatment process," *JTTM : Jurnal Terapan Teknik Mesin*, vol. 6, no. 1, pp. 145–151, Apr. 2025, doi: 10.37373/jttm.v6i1.1561.
- [4] P. Mahardhika, Adi Wirawan Husodo, Ekky Nur Budiyo, Benedicta Dian Alfanda, and Rina Sandora, "Analisis Tegangan Sistem Perpipaan Cold Reheat Boiler Berkapasitas 2300 Ton/Jam Pada Kondisi Tidak Operasi," *Jurnal Teknologi Maritim*, vol. 7, no. 2, pp. 1–11, Oct. 2024, doi: 10.35991/jtm.v7i2.34.
- [5] A. F. Nugroho and O. W. Irawan, "Perencanaan Ulang Tube Boiler Type AL-LSB-6000 pada Pusat Pengembangan Sumber Daya Manusia Minyak dan Gas Cepu," vol. 5, no. 2, 2021.
- [6] M. Way, J. Willingham, and R. Goodall, "Brazing filler metals," Jul. 03, 2020, *Taylor and Francis Ltd*. doi: 10.1080/09506608.2019.1613311.
- [7] \* Deivandra, G. Bhakti, G. Dwi Haryadi, and Y. Umardani, "ANALISIS STRUKTUR MIKRO DAN SIFAT MEKANIS HASIL LAS TITIK DAN BRAZING UNTUK INDUSTRI RUMAHAN," 2013.
- [8] F. Teknik, P. Studi, and T. Mesin, "ANALISIS SIFAT MEKANIK DAN STRUKTUR MIKRO PADA SAMBUNGAN LAS BEDA PROPERTIES ALUMINIUM DENGAN METODE FRICTION STIR WELDING," 2016.
- [9] S. Tierce, N. Pébère, C. Blanc, C. Casenave, G. Mankowski, and H. Robidou, "Corrosion behaviour of brazing material AA4343," *Electrochim. Acta*, vol. 52, no. 3, pp. 1092–1100, Nov. 2006, doi: 10.1016/j.electacta.2006.07.007.
- [10] A. Djafar Shieddieque, D. Setiawan, N. Rahdiana, P. Studi Teknik Mesin, and S. Tinggi Tekologi Wastukencana, "Purwakarta, 41151 4 Program Studi Teknik Industri Otomotif," *Politeknik STMI Jakarta Jl Letjen Suprpto*, vol. 1, no. 2, p. 41361, 2021, [Online]. Available: <http://journal.ubpkarawang.ac.id./index.php/JTMMX>
- [11] M. H. Asiri, M. Husen, B. Ahad Badia, and M. Syafrun, "Studi kekuatan sambungan las terhadap material baja TRS 500 menggunakan variasi gerakan elektroda," 2020.

- [12] A. Amin, M. Firman, S. Arief, and M. Rizki, "Pengaruh Variasi Arus Listrik Terhadap Sifat Mekanik Sambungan Las Titik Beda Material Antara Aluminium dan Baja Karbon," *AL JAZARI : JURNAL ILMIAH TEKNIK MESIN*, vol. 8, no. 1, Apr. 2023, doi: 10.31602/al-jazari.v8i1.10438.
- [13] MEGIS HEFRIDHA, "ANALISIS SIFAT MEKANIK DAN STRUKTUR MIKRO PADA PENYAMBUNGAN PLAT BEDA MATERIAL ALUMUNIUM DAN TEMBAGA MENGGUNAKAN METODE FRICTION STIR WELDING".
- [14] R. Yudistira Pratama, M. Basuki, dan Erifive Pranatal, and J. Teknik Perkapalan FTMK-ITATS Jl Arief Rachman Hakim, "PADA MATERIAL BAJA KAPAL SS 400 TERHADAP CACAT PENGELASAN."
- [15] Saifuddin, "ANALISA KEKUATAN IMPAK PADA PENYAMBUNGAN PENGELASAN SMAW MATERIAL ASSAB 705 DENGAN VARIASI ARUS PENGELASAN," 2017.

***Conflict of Interest Statement:***

*The author declares that the research was conducted in the absence of any commercial or financial relationships that could be construed as a potential conflict of interest.*