

Analysis of the Effect of Filler on the Brazing Weld Strength of Aluminum and Copper Materials in Milk Pasteurization Units Based on Tensile Testing.

[Analisis Pengaruh Filler Pada Kekuatan Pengelasan Brazing Material Aluminium Dan Tembaga Pada Unit Pasteruasi Susu Terhadap Uji Tarik]

Moch. Aliefian Zakariya¹⁾, Ali Akbar ^{*.2)}

¹⁾Program Studi Teknik Mesin, Universitas Muhammadiyah Sidoarjo, Indonesia

²⁾Program Studi Teknik Mesin, Universitas Muhammadiyah Sidoarjo, Indonesia

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

Abstract. Brazed joints between aluminum and copper are widely used in milk pasteurization units due to their important role in heat transfer systems, requiring strong and pressure-resistant joints. This study aims to analyze the effect of filler variation on the strength of brazed joints between aluminum and copper. The method used is an experimental approach with filler variations of Al-Si, Al-Si-Mg, Al-Zn, Cu-P, Cu-P + Ag, and Ag-based, while process parameters were kept constant. The tests conducted include hydrostatic and tensile tests to evaluate joint quality. The results show that filler type significantly affects strength and ductility. Ag-based filler produced the highest UTS value of 198.6 MPa with 11.8% elongation, followed by Cu-P + Ag at 166.8 MPa, while Al-Zn showed the lowest value of 102.3 MPa. These differences are influenced by wettability, diffusion capability, and intermetallic phase formation. Silver-based filler is recommended as it provides stronger and more reliable joints.

Keywords - Brazing, Filler, Aluminum, Copper.

Abstrak. Sambungan brazing antara aluminium dan tembaga banyak digunakan pada unit pasteurisasi susu karena berperan penting dalam sistem perpindahan panas, sehingga membutuhkan kualitas sambungan yang kuat dan tahan terhadap tekanan. Penelitian ini bertujuan menganalisis pengaruh variasi filler terhadap kekuatan sambungan brazing aluminium dan tembaga. Metode yang digunakan adalah eksperimen dengan variasi filler Al-Si, Al-Si-Mg, Al-Zn, Cu-P, Cu-P + Ag, dan Ag-based, dengan parameter proses dijaga konstan. Pengujian meliputi uji hidrostatis dan uji tarik untuk menentukan kualitas sambungan. Hasil menunjukkan bahwa filler berpengaruh signifikan terhadap kekuatan dan keuletan. Filler Ag-based menghasilkan nilai UTS tertinggi sebesar 198,6 MPa dengan regangan 11,8%, diikuti Cu-P + Ag sebesar 166,8 MPa, sedangkan Al-Zn terendah sebesar 102,3 MPa. Perbedaan ini dipengaruhi oleh wettability, difusi, dan pembentukan fasa intermetalik. Filler berbasis perak direkomendasikan karena menghasilkan sambungan yang lebih kuat dan andal.

Kata Kunci - Brazing, Filler, Aluminium, Tembaga.

I. PENDAHULUAN

Perkembangan industri pengolahan pangan, khususnya pada sistem pasteurisasi susu, menuntut penggunaan peralatan yang memiliki tingkat keandalan tinggi terhadap tekanan dan temperatur operasi[1]. Salah satu komponen penting dalam sistem tersebut adalah sambungan logam pada pipa atau heat exchanger yang berfungsi sebagai media perpindahan panas dan fluida[2]. Material aluminium dan tembaga banyak digunakan karena memiliki konduktivitas termal yang tinggi, ringan, serta efisien dalam proses transfer panas[3]. Untuk menyatukan kedua material tersebut, metode brazing menjadi pilihan yang umum digunakan karena mampu menghasilkan sambungan yang relatif homogen tanpa melelehkan logam dasar[4].

Proses brazing melibatkan penggunaan logam pengisi (*filler metal*) yang memiliki titik leleh lebih rendah dibandingkan material induk[5]. Mekanisme penyambungan terjadi melalui fenomena wetting dan kapilaritas, di mana logam cair mengalir dan mengisi celah sambungan, kemudian membentuk ikatan metalurgi setelah proses pendinginan[6]. Namun demikian, kualitas sambungan brazing sangat dipengaruhi oleh parameter proses seperti temperatur pemanasan, waktu penahanan, kebersihan permukaan, serta jenis filler yang digunakan. Ketidaksiharian parameter tersebut dapat menyebabkan terbentuknya cacat seperti porositas, incomplete bonding, dan pembentukan senyawa intermetalik yang bersifat getas[7].

Pada aplikasi yang melibatkan fluida bertekanan, seperti unit pasteurisasi susu, integritas sambungan terhadap kebocoran menjadi aspek yang sangat kritis[8]. Oleh karena itu, diperlukan pengujian awal untuk memastikan bahwa sambungan mampu menahan tekanan internal tanpa mengalami kegagalan. Uji hidrostatis merupakan salah satu metode non-destruktif yang digunakan untuk mengevaluasi kemampuan sambungan dalam menahan tekanan fluida[9]. Pengujian ini dilakukan dengan mengisi spesimen menggunakan fluida inkompresibel[10], kemudian

diberikan tekanan secara bertahap hingga mencapai tekanan tertentu[11]. Keberhasilan uji hidrostatik ditandai dengan tidak adanya kebocoran, rembesan, maupun penurunan tekanan selama periode pengujian[12].

Setelah spesimen dinyatakan lolos uji hidrostatik, pengujian dilanjutkan dengan uji tarik untuk mengetahui sifat mekanik sambungan secara kuantitatif[13]. Uji tarik merupakan metode destruktif yang bertujuan untuk menentukan kekuatan tarik maksimum, regangan, serta karakteristik deformasi material hingga terjadi kegagalan[14]. Parameter seperti *Ultimate Tensile Strength* (UTS) dan elongation digunakan sebagai indikator utama dalam mengevaluasi kekuatan sambungan brazing. Selain itu, analisis terhadap lokasi dan jenis patahan juga memberikan informasi penting mengenai kualitas ikatan antara material aluminium dan tembaga[15].

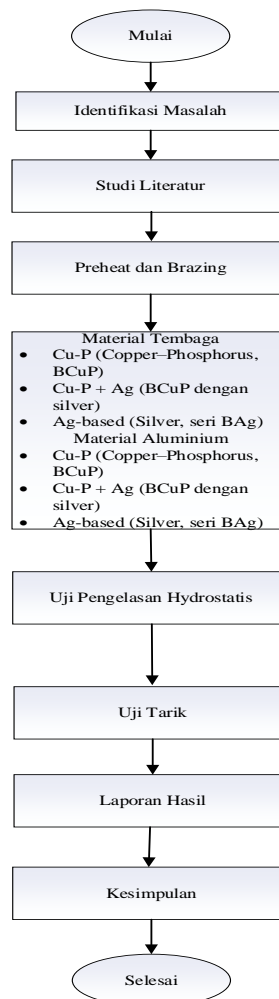
Kombinasi antara uji hidrostatik dan uji tarik memberikan pendekatan yang komprehensif dalam mengevaluasi performa sambungan brazing. Uji hidrostatik berfokus pada aspek ketahanan terhadap tekanan dan kebocoran, sedangkan uji tarik memberikan gambaran mengenai kekuatan mekanik dan ketahanan terhadap beban eksternal. Dengan demikian, kedua metode pengujian ini saling melengkapi dalam memastikan bahwa sambungan yang dihasilkan memenuhi standar kualitas yang dibutuhkan dalam aplikasi industri.

Berdasarkan hal tersebut, penelitian ini dilakukan untuk menganalisis pengaruh penggunaan filler terhadap kualitas sambungan brazing aluminium dan tembaga melalui pengujian hidrostatik dan uji tarik. Hasil penelitian diharapkan dapat memberikan informasi yang lebih mendalam mengenai hubungan antara jenis filler dan performa sambungan, serta menjadi dasar dalam parameter proses brazing untuk meningkatkan keandalan komponen pada unit pasteurisasi susu.

II. METODE

A. Diagram Alir Penelitian

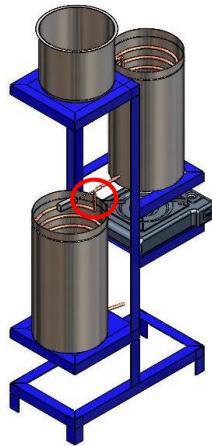
Dalam penelitian ini, langkah-langkah proses penelitian akan dijelaskan dalam diagram alir (*flow chart*), Diagram alir (*flow chart*) dapat dilihat gambar tersebut.



Gambar 1. Kerangka Konsep

B. Teknik Pengumpulan Data

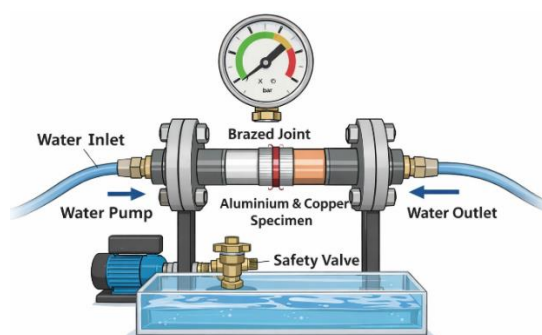
Teknik pengumpulan data dalam penelitian ini dilakukan dengan menggunakan metode eksperimen terhadap sambungan brazing material aluminium dan tembaga pada unit pasteurisasi susu dengan variasi jenis filler yang berbeda. Data yang dikumpulkan merupakan data primer yang diperoleh secara langsung melalui proses pembuatan spesimen, pengujian hidrostatis, dan pengujian tarik. Spesimen dibuat dengan variasi jenis filler yang digunakan pada sambungan aluminium dan tembaga, sedangkan 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 filler yang digunakan.



Gambar 2. Obyek Penelitian

Proses brazing aluminium dan tembaga diawali dengan persiapan material yang meliputi pemotongan dan pembersihan permukaan dari kotoran serta oksida agar filler dapat melekat dengan baik. Selanjutnya, kedua material disusun dengan celah sambungan tertentu dan diberikan flux untuk mencegah oksidasi selama pemanasan. Proses dilanjutkan dengan pemanasan hingga mencapai suhu di atas titik leleh filler, sehingga filler mencair dan mengalir ke dalam celah sambungan melalui gaya kapiler. Pada tahap ini terjadi difusi antar material yang membentuk ikatan metalurgi. Setelah itu, sambungan didinginkan secara alami dan dibersihkan dari sisa flux. Tahap akhir dilakukan pengujian, yaitu uji hidrostatis untuk mendeteksi kebocoran dan uji tarik untuk mengetahui kekuatan sambungan.

Setelah proses brazing, setiap spesimen dilakukan pengujian hidrostatis untuk mengetahui kedapatan 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 Hidrostatik

No	Filler	Material 2	Tekanan Uji (Psi)	Waktu
1	Al-Si (Aluminium-Silicon)	Aluminium	10	5
2	Al-Si-Mg (Aluminium-Silicon-Magnesium)	Aluminium	10	5
3	Al-Zn (Aluminium-Zinc)	Aluminium	10	5
4	Cu-P (Copper-Phosphorus, BCuP)	Tembaga	10	5
5	Cu-P + Ag (BCuP dengan silver)	Tembaga	10	5
6	Ag-based (Silver, seri BAg)	Tembaga	10	5

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.

**Gambar 4.** Hasil Las *Brazing*

Selain itu, dilakukan observasi dan dokumentasi visual pada area sambungan brazing antara material aluminium dan tembaga 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 jenis filler terhadap kualitas sambungan brazing pada unit pasteurisasi susu.

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Uji Hidrostatik

Berdasarkan hasil pengujian hidrostatik yang disajikan pada tabel di atas, dapat diketahui bahwa setiap variasi filler menunjukkan perbedaan dalam kemampuan menahan tekanan serta tingkat kecocokan filler terhadap sambungan brazing antara material aluminium dan tembaga.

Tabel 2. Hasil Uji Hidrostatik

No	Filler	Material	Tekanan Psi (bar)	Waktu Tahan (menit)	Hasil Pengujian
1	Al-Si (Aluminium-Silicon)	Aluminium	10	2	Tidak Bocor
2	Al-Si-Mg (Aluminium-Silicon-Magnesium)	Aluminium	10	2	Tidak Bocor
3	Al-Zn (Aluminium-Zinc)	Aluminium	10	2	Tidak Bocor
4	Cu-P (Copper-Phosphorus, BCuP)	Tembaga	10	2	Tidak Bocor
5	Cu-P + Ag (BCuP dengan silver)	Tembaga	10	2	Tidak Bocor
6	Ag-based (Silver, seri BAg)	Tembaga	10	2	Tidak Bocor

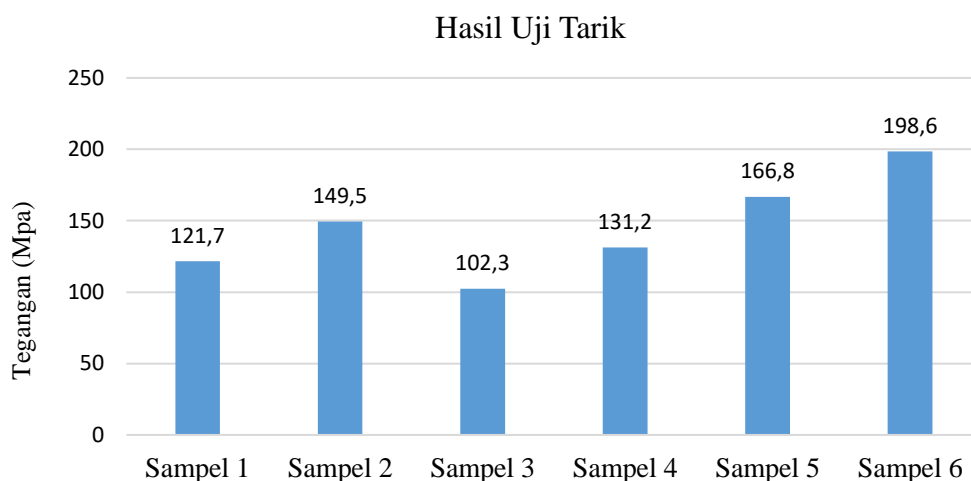
Berdasarkan tabel uji hidrostatis, seluruh spesimen sambungan brazing aluminium dan tembaga diuji pada tekanan yang sama 10 Psi dengan waktu penahanan selama 2 menit. Penggunaan parameter yang konstan ini bertujuan agar perbedaan hasil pengujian hanya dipengaruhi oleh jenis filler yang digunakan.

Hasil pengujian hidrostatis digunakan untuk mengetahui kemampuan sambungan dalam menahan tekanan fluida tanpa mengalami kebocoran. Indikator utama keberhasilan pengujian adalah tidak adanya kebocoran pada area sambungan selama waktu penahanan. Kebocoran yang terjadi umumnya disebabkan oleh cacat pada hasil brazing seperti porositas, retak mikro, atau ikatan metalurgi yang kurang sempurna antara material aluminium dan tembaga.

Dari variasi filler yang digunakan, dapat dianalisis bahwa filler dengan komposisi tertentu seperti berbasis perak (Ag-based) dan kombinasi Cu-P + Ag cenderung memberikan kualitas sambungan yang lebih baik karena mampu menghasilkan ikatan yang lebih homogen dan memiliki ketahanan terhadap tekanan yang lebih tinggi. Sementara itu, filler berbasis aluminium seperti Al-Si dan Al-Si-Mg berpotensi menghasilkan sambungan yang kurang optimal pada material berbeda (aluminium–tembaga) akibat terbentuknya senyawa intermetalik yang rapuh.

Dengan demikian, melalui uji hidrostatis ini dapat disimpulkan bahwa jenis filler memiliki pengaruh signifikan terhadap kualitas sambungan brazing, khususnya dalam hal ketahanan terhadap kebocoran. Hasil ini selanjutnya dapat dikorelasikan dengan pengujian tarik untuk memperoleh analisis yang lebih komprehensif terhadap kekuatan mekanik sambungan.

B. Hasil Uji Tarik



Gambar 8. Grafik Perbandingan Uji Tarik

Berdasarkan grafik yang ditampilkan, terlihat bahwa nilai kekuatan tarik maksimum (Ultimate Tensile Strength/UTS) pada setiap sampel menunjukkan variasi yang cukup signifikan. Sampel dengan nilai UTS tertinggi berada pada Sampel 6, diikuti oleh Sampel 5 dan Sampel 2, sedangkan nilai terendah terdapat pada Sampel 3. Perbedaan ini menunjukkan bahwa jenis filler yang digunakan dalam proses brazing aluminium dan tembaga sangat memengaruhi kualitas sambungan, khususnya dalam hal kekuatan mekanik dan keuletan material.

Secara teori, uji tarik bertujuan untuk mengetahui kemampuan material atau sambungan dalam menahan beban tarik hingga mengalami kegagalan. Nilai UTS yang tinggi menunjukkan bahwa sambungan memiliki ikatan metalurgi yang kuat dan mampu mendistribusikan tegangan secara merata. Hal ini biasanya dipengaruhi oleh beberapa faktor seperti kemampuan pembasahan (wettability) filler, proses difusi antar material, serta minimnya cacat seperti porositas dan retak mikro. Pada sampel dengan nilai UTS tinggi, seperti Sampel 6 dan 5, dapat diasumsikan bahwa filler yang digunakan memiliki kompatibilitas yang baik dengan aluminium dan tembaga, sehingga menghasilkan sambungan yang homogen dan kuat.

Sebaliknya, nilai UTS yang rendah pada Sampel 3 menunjukkan bahwa sambungan memiliki kualitas yang buruk dan cenderung bersifat rapuh. Hal ini dapat disebabkan oleh terbentuknya fasa intermetalik yang tebal dan getas, serta adanya cacat pada sambungan seperti porositas atau distribusi filler yang tidak merata. Kondisi ini menyebabkan konsentrasi tegangan pada titik tertentu sehingga sambungan mudah mengalami kegagalan saat diberikan beban tarik.

Hasil uji tarik ini dapat dikorelasikan dengan uji hidrostatis yang dilakukan. Uji hidrostatis bertujuan untuk mengetahui kemampuan sambungan dalam menahan tekanan fluida tanpa terjadi kebocoran. Sambungan dengan nilai UTS tinggi umumnya juga menunjukkan hasil yang baik pada uji hidrostatis, karena struktur sambungan yang rapat

dan homogen mampu menahan tekanan tanpa mengalami kebocoran. Sebaliknya, sambungan dengan nilai UTS rendah cenderung memiliki cacat internal yang dapat menjadi jalur kebocoran saat diuji dengan tekanan fluida.

Uji tarik memberikan gambaran kekuatan mekanik sambungan, sedangkan uji hidrostatik menunjukkan integritas dan kedekatan sambungan terhadap fluida. Kombinasi kedua pengujian ini memberikan evaluasi yang lebih komprehensif terhadap kualitas sambungan brazing. Secara keseluruhan, filler yang mampu menghasilkan nilai UTS tinggi juga cenderung memberikan performa terbaik pada uji hidrostatik, sehingga dapat disimpulkan bahwa pemilihan filler yang tepat sangat penting untuk menghasilkan sambungan yang kuat, tahan tekanan, dan andal dalam aplikasi industri seperti unit pasteurisasi susu.

Tabel 3. Hasil Uji Tarik

No	Filler	Material	UTS (MPa)	Regangan (%)
Sampel 1	Al-Si (Aluminium-Silicon)	Aluminium	121,7	6,3
Sampel 2	Al-Si-Mg (Aluminium-Silicon-Magnesium)	Aluminium	149,5	7,1
Sampel 3	Al-Zn (Aluminium-Zinc)	Aluminium	102,3	5,2
Sampel 4	Cu-P (Copper-Phosphorus, BCuP)	Tembaga	131,2	8,4
Sampel 5	Cu-P + Ag (BCuP dengan silver)	Tembaga	166,8	10,7
Sampel 6	Ag-based (Silver, seri BAg)	Tembaga	198,6	11,8

Berdasarkan hasil uji tarik pada enam variasi filler yang digunakan pada sambungan brazing aluminium dan tembaga, diperoleh nilai kekuatan tarik maksimum (ultimate tensile strength/UTS) dan regangan yang menunjukkan perbedaan yang cukup signifikan pada setiap sampel. Sampel 6 dengan filler berbasis perak (Ag-based) menunjukkan nilai UTS tertinggi sebesar 198,6 MPa dengan regangan 11,8%, yang menandakan bahwa sambungan memiliki kekuatan dan keuletan terbaik. Hal ini disebabkan oleh kemampuan filler berbasis perak dalam menghasilkan wettability yang sangat baik serta membentuk ikatan metalurgi yang homogen antara aluminium dan tembaga, sekaligus meminimalkan pembentukan fasa intermetalik yang rapuh. Selanjutnya, Sampel 5 dengan filler Cu-P + Ag juga menunjukkan nilai yang tinggi yaitu 166,8 MPa dengan regangan 10,7%, yang mengindikasikan bahwa penambahan perak mampu meningkatkan kekuatan dan keuletan sambungan melalui peningkatan sifat alir dan distribusi tegangan yang lebih merata.

Sampel 2 (Al-Si-Mg) menunjukkan nilai UTS sebesar 149,5 MPa dengan regangan 7,1%, yang lebih tinggi dibandingkan Sampel 1 (Al-Si) dengan nilai UTS 121,7 MPa dan regangan 6,3%. Peningkatan ini disebabkan oleh adanya unsur magnesium yang secara teori dapat meningkatkan kekuatan melalui mekanisme penguatan larutan padat (solid solution strengthening) serta memperbaiki kemampuan pembasahan filler terhadap material dasar. Sementara itu, Sampel 4 (Cu-P) memiliki nilai UTS sebesar 131,2 MPa dengan regangan 8,4%, yang menunjukkan bahwa filler berbasis tembaga cukup kompatibel dalam menghasilkan sambungan yang ulet, meskipun kekuatannya belum maksimal akibat perbedaan sifat dengan aluminium.

Di sisi lain, Sampel 3 (Al-Zn) menunjukkan nilai UTS terendah yaitu 102,3 MPa dengan regangan 5,2%, yang mengindikasikan bahwa sambungan bersifat lebih rapuh dan kurang mampu menahan beban tarik. Hal ini kemungkinan disebabkan oleh ketidaksesuaian filler dengan material aluminium-tembaga serta terbentuknya cacat seperti porositas dan distribusi filler yang tidak merata. Selain itu, pembentukan fasa intermetalik yang berlebihan juga dapat menurunkan kekuatan sambungan secara signifikan.

Secara keseluruhan, hasil pengujian menunjukkan bahwa jenis filler sangat berpengaruh terhadap kekuatan dan keuletan sambungan brazing. Filler berbasis perak memberikan hasil terbaik karena mampu menghasilkan ikatan yang kuat, homogen, dan minim cacat, sedangkan filler berbasis aluminium cenderung menghasilkan kekuatan yang lebih rendah akibat keterbatasan kompatibilitas dan kecenderungan pembentukan fasa rapuh. Dengan demikian, pemilihan filler yang tepat menjadi faktor utama dalam meningkatkan kualitas sambungan brazing aluminium dan tembaga.

IV. SIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian dan analisis yang telah dilakukan, dapat disimpulkan bahwa variasi jenis filler memiliki pengaruh yang signifikan terhadap kualitas sambungan brazing aluminium dan tembaga, khususnya terhadap kekuatan tarik dan keuletan. Filler berbasis perak (Ag-based) menunjukkan performa terbaik dengan nilai UTS dan regangan tertinggi, yang menandakan terbentuknya ikatan metalurgi yang kuat, homogen, serta minim cacat. Filler Cu-P + Ag juga memberikan hasil yang baik, sementara filler berbasis aluminium seperti Al-Si dan Al-Si-Mg menghasilkan kekuatan yang lebih rendah, dan filler Al-Zn menunjukkan performa paling rendah akibat kecenderungan terbentuknya fasa rapuh dan cacat sambungan. Secara keseluruhan, pemilihan filler yang tepat sangat menentukan kualitas sambungan brazing, sehingga filler berbasis perak direkomendasikan untuk menghasilkan sambungan yang lebih kuat dan andal pada aplikasi unit pasteurisasi susu.

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] Z. He, F. Liu, P. Gao, L. Pang, And Y. Su, "Influence Of Ag-18cu-10zn Filler Material On Microstructure And Properties Of Laser-Welded Al/Cu Dissimilar Butt Joints," *Materials*, Vol. 17, No. 23, Dec. 2024, Doi: 10.3390/Ma17235726.
- [2] Z. Rui, S. Huang, H. Wang, And Z. Meng, "The Influence Of Temperature On The Microstructure And Properties Of Cu/Al Tube Joints In Magnetic Pulse-Assisted Semi-Solid Brazing," *Journal Of Advanced Joining Processes*, Vol. 11, Jun. 2025, Doi: 10.1016/J.Jajp.2025.100313.
- [3] H. Yu *Et Al.*, "Microstructure And Mechanical Properties Of Brazing Joint Of Silver-Based Composite Filler Metal," *Nanotechnol. Rev.*, Vol. 9, No. 1, Pp. 1034–1043, Jan. 2020, Doi: 10.1515/Ntrev-2020-0083.
- [4] D. Kaisheva *Et Al.*, "Electron Beam Welding Of Copper And Aluminum Alloy With Magnetron Sputtered Titanium Filler," *Crystals (Basel)*, Vol. 14, No. 9, Sep. 2024, Doi: 10.3390/Cryst14090752.
- [5] X. Wang, X. Chen, And X. Yuan, "Influence Of Filler Alloy On Microstructure And Properties Of Induction Brazed Al/Cu Joints," *Materials Research*, Vol. 25, 2022, Doi: 10.1590/1980-5373-Mr-2021-0610.
- [6] E. A. Lemma, J. M. S. Dias, A. A. Bastos, B. Mascate, And A. Horovistiz, "Advances In Induction Brazing Of Copper And Dissimilar Metals: Challenges And Emerging Trends," Jun. 01, 2025, *Elsevier B.V.* Doi: 10.1016/J.Jajp.2025.100302.
- [7] H. Yu *Et Al.*, "Phase Analysis And Corrosion Behavior Of Brazing Cu/Al Dissimilar Metal Joint With Ba188si Filler Metal," *Nanotechnol. Rev.*, Vol. 10, No. 1, Pp. 1318–1328, Jan. 2021, Doi: 10.1515/Ntrev-2021-0081.
- [8] W. Long, "A Review On Corrosion Resistant Of Cu-Al Joints," *Industrial Engineering & Management*, Vol. 07, No. 01, 2018, Doi: 10.4172/2169-0316.1000247.
- [9] K. Hofmann, M. Holzer, F. Hugger, S. Roth, And M. Schmidt, "Reliable Copper And Aluminum Connections For High Power Applications In Electromobility," In *Physics Procedia*, Elsevier B.V., 2014, Pp. 601–609. Doi: 10.1016/J.Phpro.2014.08.048.
- [10] 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.
- [11] 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.
- [12] S. Syaiful, Arminas, And Mahlina Ekawati, "Tensile Stress Analysis Against Temperature Variations With Oil Coolant In Welding And Heat Treatment Process," *Jtm : Jurnal Terapan Teknik Mesin*, Vol. 6, No. 1, Pp. 145–151, Apr. 2025, Doi: 10.37373/Jtm.V6i1.1561.
- [13] 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.
- [14] P. Mahardhika, Adi Wirawan Husodo, Ekky Nur Budiyanto, 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.
- [15] 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.

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.