

# PENGEMBANGAN MATERIAL *FILLER* DENGAN PENAMBAHAN SERBUK *SiC* PADA SAMBUNGAN *ALUMINIUM* SERI 1100 DAN *STAINLESS STEEL* SERI 304 DENGAN METODE *BRAZING*

Maulana Fajar Baharrudin; Ir. Agus Dwi Anggono, S.T., M.Eng., Ph.D  
Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Surakarta

## Abstrak

Brazing merupakan proses penyambungan dimana logam induk dipanaskan pada temperature yang sesuai diatas 450°C dan dengan menggunakan logam pengisi (*filler*) *ferrous* atau *nonferrous* yang harus memiliki temperatur *liquidus* diatas 450°C. Hasil pengujian foto struktur mikro SEM dan EDX setelah proses pematrian mengalami perubahan butir dikarenakan beberapa faktor antara lain karakteristik material, suhu, dan laju pengelasan, disamping itu proses pematrian antara material aluminium dan *stainless steel* dengan penambahan serbuk serbuk *Silikon Carbide* (*SiC*) sebesar 0,05 gram terdapat perubahan *fasa*. Pada daerah antarmuka terlihat jelas batas butir antara logam induk aluminium maupun *stainless steel*. Nilai kekerasan pada daerah sambungan logam las tanpa penambahan serbuk didapatkan sebesar 117 HV, sedangkan dengan variasi penambahan serbuk *SiC* didapatkan hasil 366 HV. Pengaruh penambahan serbuk memiliki hasil tidak jauh dari tanpa penambahan serbuk, hal ini dikarenakan ketika mematri serbuk *SiC* dan *filler* sama-sama meleleh dan bisa mengikat sempurna. Kekuatan tarik tertinggi didapatkan pada variasi tanpa penambahan serbuk dengan tegangan sebesar 0,10 Mpa dan regangan sebesar 0,045 (4,5%), sedangkan pada variasi penambahan serbuk *SiC* didapatkan hasil tegangan yang lebih tinggi sebesar 0,10 Mpa dan regangan sebesar 0,020 (2%). Pengaruh penambahan serbuk *SiC* berpengaruh terhadap hasil tegangan dan regangan specimen yang menyebabkan sambungan pada specimen semakin kuat.

**Kata Kunci** : *Brazing, Aluminium, Stainless Steel, Filler, Lap Joint, Silikon Carbide (SiC)*

## Abstract

Brazing is a joining process in which the base metal is heated to a suitable temperature above 450°C and by using a ferrous or nonferrous filler metal which must have a liquidus temperature above 450°C. The results of testing the SEM and EDX microstructure photos after the soldering process experienced grain changes due to several factors including material characteristics, temperature, and welding level, besides that the soldering process between aluminum and stainless steel materials with the addition of *SiC* powder of 0.05 grams there is a phase change. In the interface region, grain boundaries are clearly visible between the parent metal aluminum and stainless steel. The hardness value in the area of weld metal joints without powder addition was obtained at 117 HV, while with variations in the addition of *SiC* powder the results were 366 HV. The effect of adding powder has results that are not far from without adding powder, this is because when soldering *SiC* powder and filler both melt and can bind perfectly. The highest tensile strength was in the variation without the addition of powder with a stress of 0.10 MPa and a strain of 0.020 (2%), while in the variation of the addition of *SiC* powder, a higher stress yield of 0.11 MPa and a strain of 0.065 was obtained. (6.5%). The effect of the addition of *SiC* powder has an effect on the results of stress and strain specimens which causes the joints in the specimen to become stronger.

**Keywords** : *Brazing, Aluminium, Stainless Steel, Filler, Lap Joint, Silikon Carbide (SiC)*

## 1. PENDAHULUAN

*Brazing* (Mematri) menciptakan ikatan logam yang permanen, kuat, antara bahan. Aspek yang menentukan mematri adalah mencairnya logam di sendi paduan harus mampu membasahi logam dasar dan memiliki suhu di atas 450 °C, tetapi di bawah titik leleh bahan yang disambungkan. Mematri menghadirkan sejumlah fitur unik dibandingkan dengan teknologi penyambungan alternatif, seperti perekat, pengencang, atau pengelasan, dan, seperti yang kami survei di bawah, ini bisa menjadi proses yang sangat serbaguna. Keuntungan utama *brazing* bila dibandingkan dengan teknik penyambungan lainnya adalah kemampuannya untuk menyambung bahan yang sangat berbeda, dan untuk melakukannya dengan sedikit modifikasi bahan yang disambung. Sementara pengelasan biasanya memberikan sambungan yang lebih kuat, sebagian besar membutuhkan logam dasar yang serupa dan pemanasan lokal yang intensif menyebabkan distorsi termal, yang dihindari dengan pemanasan seragam rakitan di tungku mematri. Namun demikian, rakitan *brazing* akan memiliki suhu operasi yang agak lebih rendah daripada las fusi, dan seringkali lebih lemah. Kekuatan sambungan *brazing* umumnya lebih besar daripada pengisi (Way et al., 2020)

Penyambungan *brazing* di dunia industri dipilih karena metodenya sederhana untuk mendapatkan area penggabungan yang luas dan panjang dengan kemampuan untuk menggabungkan logam dan non logam dengan mempertahankan karakteristik metalurgi khusus dari logam. Temperatur *brazing* mendekati kapabilitas logam induk dengan distribusi tegangan dan transfer panas yang optimal, (Schwartz, 2003)

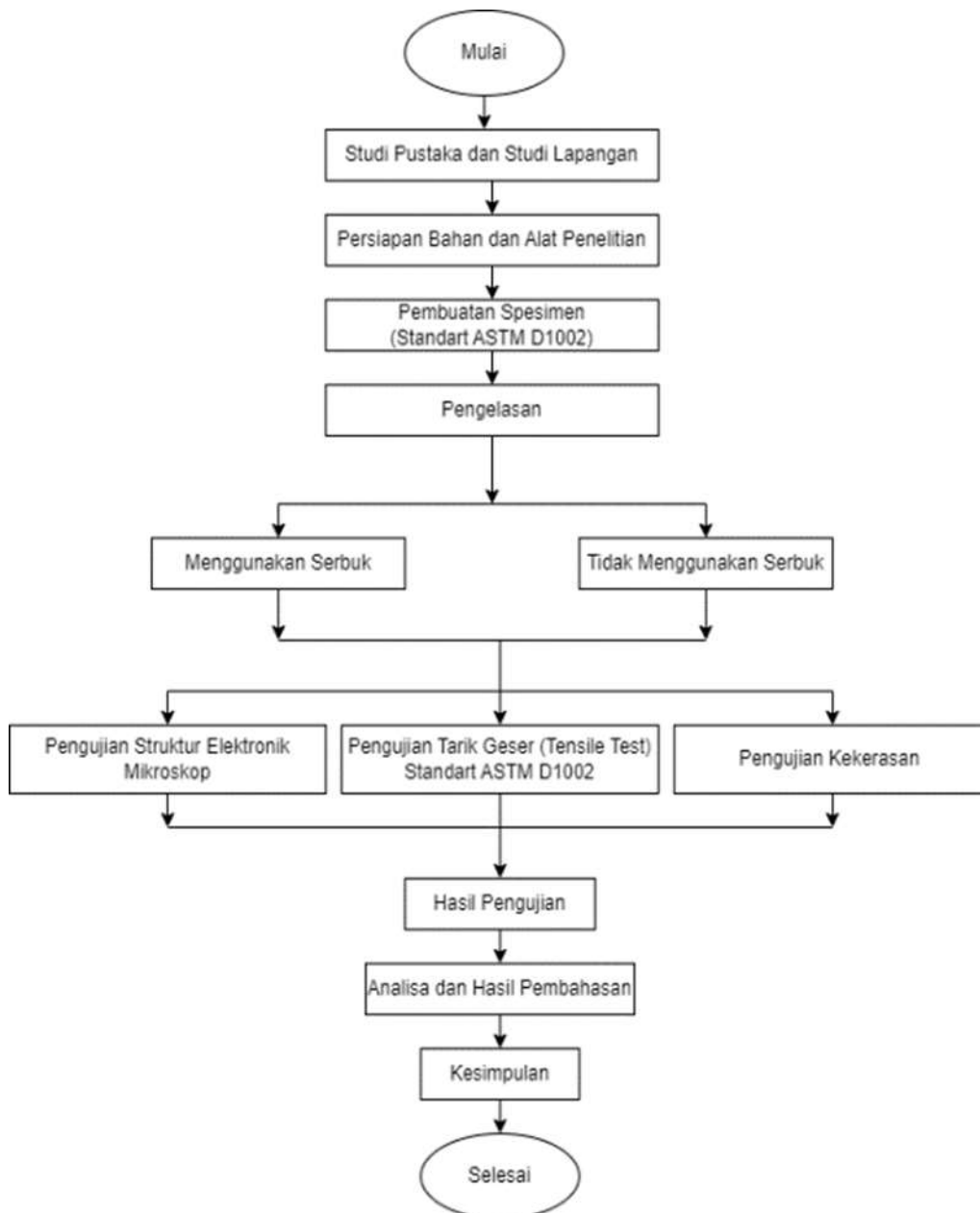
Pencapaian luar biasa terhadap proses penggabungan *brazing* pada aluminium paduan adalah pengangkatan lapisan oksida pada permukaan dan perlindungan permukaan yang dikehendaki dari oksidasi sampai sambungan selesai. Hal tersebut dicapai menggunakan bantuan fluks *brazing* dan persiapan pelakuan permukaan yang sesuai. Fluks *brazing* aluminium merupakan campuran alkali dan alkali tanah fluorida dan garam anorganik klorida yang berfungsi untuk menurunkan tegangan permukaan logam pengisi dan meningkatkan karakteristik pembasahan logam dasar. Namun, fluks dapat meninggalkan residu korosif, dengan merendamnya dalam air panas yang dikocok dan diikuti dengan pembersihan kimia untuk menghilangkan bekas-bekas terakhir. *Chloride-free, non-corrosive* sedang dikembangkan dan residunya tidak berbahaya. (Roger Lumley, 2011)

*Silikon Carbide* (SiC) adalah bahan rekayasa keramik non-oksida yang telah menarik banyak perhatian. Ini memiliki berbagai aplikasi industri yang memainkan peran utama dalam aplikasi perangkat semikonduktor tegangan tinggi, suhu dan frekuensi. Senyawa SiC terdiri dari satu atom Silikon (Si) dan empat atom Karbon (C) yang terikat secara kovalen di antara keduanya. Keempat atom C mengelilingi atom Si melalui ikatan kombinasi tetrahedral  $sp^3$  yang kuat. Struktur susunan rapat antara atom Si dan C dapat dipertimbangkan dalam satu periode struktur kristalografi SiC. Politipe dalam SiC terbentuk ketika ada perbedaan yang terbentuk dalam kristalografi. Lebih dari 200

politipe atau 250 politipe dalam beberapa laporan diklaim telah diidentifikasi tetapi hanya sedikit yang dipelajari (Mohd Sohor et al., 2017)

Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui perbedaan penambahan serbuk SiC dengan tidak ditamahnya serbuk SiC terhadap struktur mikro, nilai uji tarik dan nilai kekerasan plat aluminium seri 1100 dengan *stainless steel* seri 304, penyambungannya menggunakan jenis *lap joint* dan menggunakan metode *gas torch*.

## 2. METODE



Gambar 1. Diagram Alir Penelitian

Penelitian ini diawali dengan peneliti mencari referensi yang berhubungan dengan *Brazing*, jenis sambungan *brazing*, metode *brazing*, standar pengujian Tarik ASTM D1002, standart pengujian kekerasan *Vickers* ASTM E92 dan standar pengujian untuk uji struktur mikro (SEM). Sumber

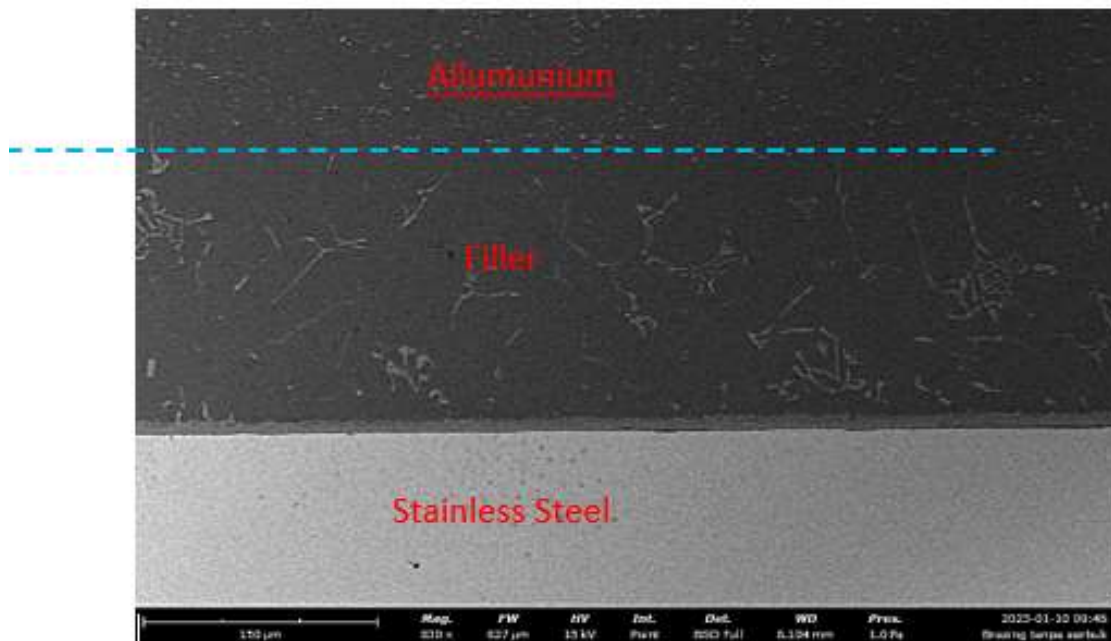
referensi sendiri dapat diambil dari jurnal, makalah tugas akhir terdahulu, situs internet, dan beberapa sumber lainnya.

### 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

#### 3.1 Hasil Pengujian *Scanned Electron Microscope* (SEM)

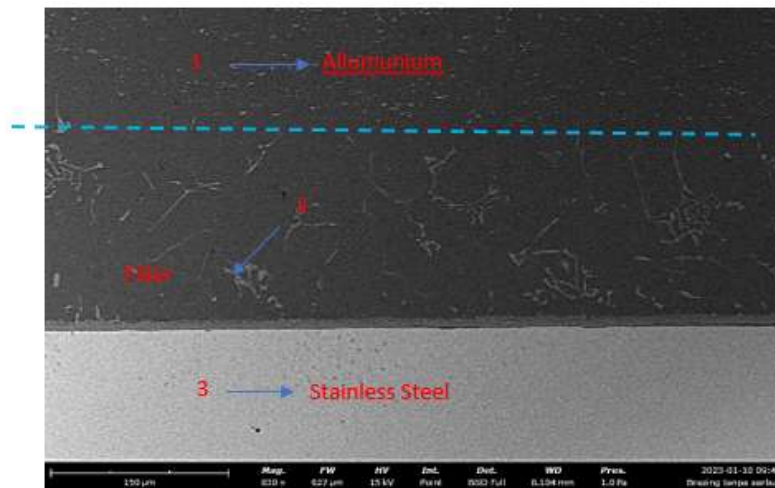
Pengujian SEM dilakukan di Laboratorium Teknik Mesin Universitas Muhammadiyah Surakarta. Spesimen yang diuji merupakan hasil pengelasan *brazing* metode *torch brazing* dengan variasi tanpa penambahan serbuk dan penambahan serbuk *SiC*.

##### 3.1.1 Hasil Pengujian SEM Tanpa Serbuk



Gambar 2. Foto SEM-EDX Tanpa Penambahan Serbuk

Dari hasil pengujian SEM pengelasan alumunium dan *stainless steel* dan *filler* AlSi tanpa serbuk dapat dilihat pada gambar 2. Pada daerah antarmuka/*interface* terlihat dengan jelas batas butir antara logam induk *stainless steel* dengan paduan filler AlSi tanpa tambahan serbuk SiC. Pada bagian antarmuka logam induk alumunium dengan logam paduan *filler* tidak adanya batas butir, hal ini menandakan bahwa paduan logam pengisi dapat menyatu dengan logam induk alumunium dengan baik. Secara mikrostruktur, bagian *filler* didominasi oleh fasa abu abu gelap yang menandakan fasa alumunium yang dapat dibuktikan dengan pengujian EDX seperti pada gambar 3.



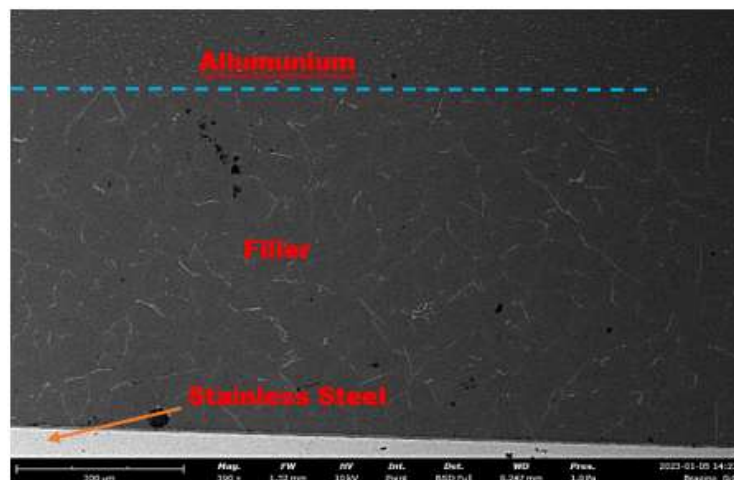
Gambar 3. Foto SEM-EDX Tanpa Penambahan Serbuk di Setiap Spot

Tabel 1. Hasil SEM-EDX Tanpa Serbuk

Titik	O (wt%)	Al (wt%)	Si (wt%)	Cr (wt%)	Mn (wt%)	Fe (wt%)	Ni (wt%)
1	1,10	98,9	-	-	-	-	-
2	0,40	66,0	5,50	2,30	-	25,80	-
3	0	-	-	18,91	0,70	72,77	7,60

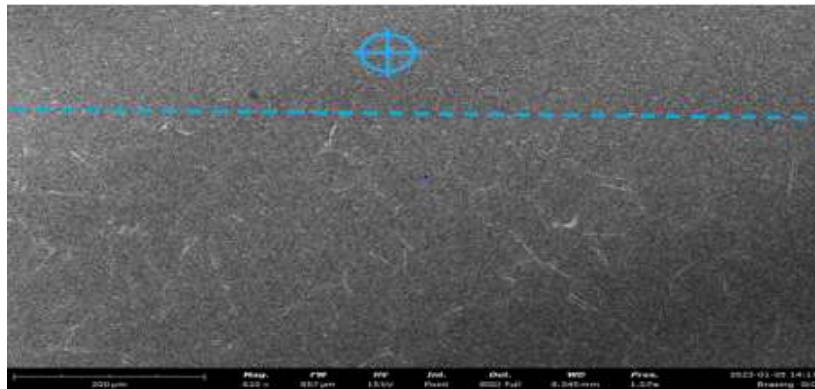
Pada spot 1 bisa diketahui kandungan Oksigen sebesar 1,1% sedangkan kandungan Alumunium sebesar 98,9% dengan warna abu abu dan berbentuk titik. Spot ke-2 diketahui kandungan Oksigen sebesar 0,4%, kandungan Alumunium 66%, kandungan Silikon 5,5%, kandungan Kromium 2,3%, dan kandungan Iron sebesar 25,8% dengan warna abu abu terang. Spot ke-3 diketahui kandungan Kromium sebesar 18,9%, kandungan Mangan 0,7% kandungan Iron 72,7%, dan kandungan Nikel sebesar 7,6% dengan daerah berwarna putih. Hasil ini didapatkan dari SEM-EDX dengan pembesaran 830x.

### 3.1.2 Hasil Pengujian SEM-EDS Dengan Tambahan Serbuk SiC



Gambar 4. Foto SEM-EDX Dengan Penambahan Serbuk SiC

Dari hasil pengujian SEM pengelasan aluminium – *stainless steel* dan *filler* AlSi dengan tambahan serbuk SiC sebesar 0,05 gram dapat dilihat pada gambar 4. Pada daerah antarmuka terlihat batas butir antara logam induk aluminium maupun *stainless steel* dengan paduan *filler* AlSi dengan tambahan serbuk SiC. Secara mikrostruktur, bagian *filler* didominasi oleh fasa abu abu gelap yang menandakan fasa aluminium yang dapat dibuktikan dengan pengujian EDX seperti pada gambar 5 fasa abu-abu cerah bergaris menandakan fasa Silikon sedangkan fasa hitam pekat menandakan Carbon .

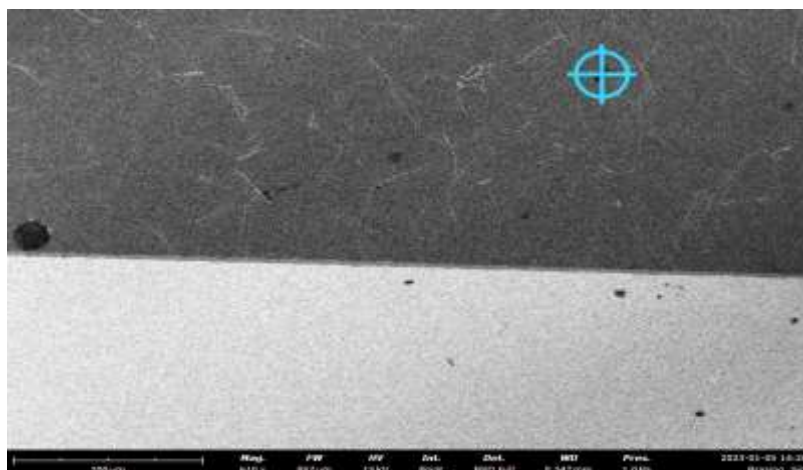


Gambar 5. Foto SEM-EDX Aluminium dan *Filler* dengan Serbuk SiC pada spot 1

Tabel 2. Hasil SEM-EDX Aluminium dan *Filler* dengan Serbuk SiC pada spot 1

Element Number	Element Symbol	Element Name	Atomic Conc.	Weight Conc.
8	O	Oksigen	2.006	1.200
13	Al	Aluminium	97.994	98.800

Pada spot 1 bisa diketahui kandungan Oksigen sebesar 1,2% sedangkan kandungan Aluminium sebesar 98,8 %. Spot ini didapatkan dari hasil SEM-EDX dengan pembesaran 610x di bagian Aluminium yang berbentuk titik dengan warna abu abu.

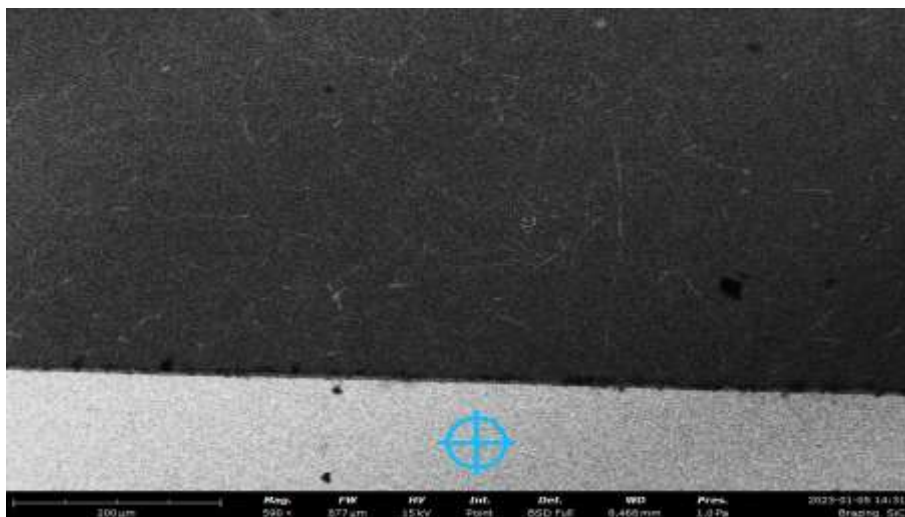


Gambar 6. Foto SEM-EDX Filler dan Stainless steel dengan Serbuk SiC spot 2

Tabel 3. Hasil SEM-EDX Filler dan Stainless steel dengan Serbuk SiC pada spot 2

Element Number	Element Symbol	Element Name	Atomic Conc.	Weight Conc.
6	C	Carbon	81.141	65.800
8	O	Oksigen	5.184	5.600
13	Al	Aluminium	7.908	14.400
14	Si	Silikon	1.740	3.300
20	Ca	Kalsium	4.028	10.900

Pada spot 2 bisa diketahui kandungan Carbon sebesar 65,8%, kandungan Oksigen sebesar 5,6%, kandungan Alumunium sebesar 14,4%, kandungan Silikon sebesar 3,3%, dan kandungan Kalsium sebesar 10,9%. Spot ini didapatkan dari hasil SEM-EDX dengan pembesaran 610x di bagian *Filler* dengan spot berwarna hitam.



Gambar 7. Foto SEM-EDX *Filler* dan *Stainless Steel* dengan Serbuk SiC pada spot 3

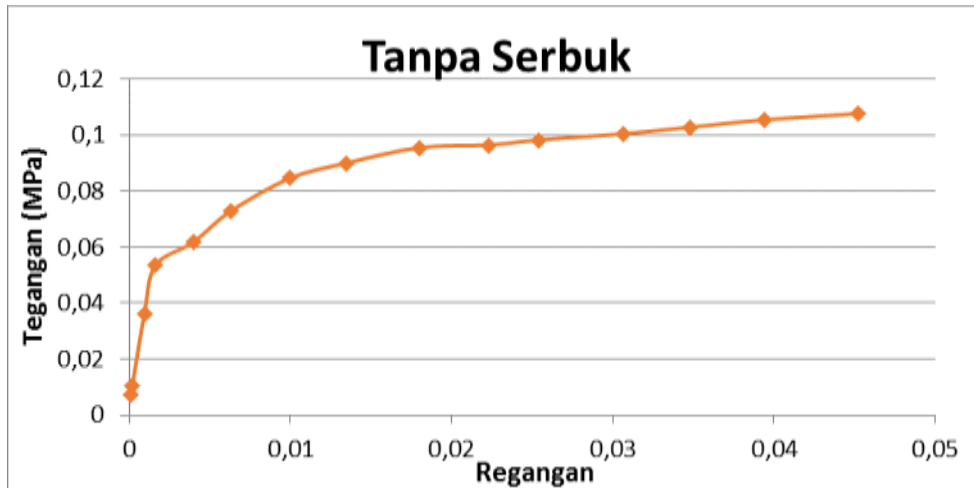
Tabel 4. Hasil SEM-EDX *Filler* dan *Stainless Steel* dengan Serbuk SiC spot 3

Element Number	Element Symbol	Element Name	Atomic Conc.	Weight Conc.
8	O	Oksigen	0.344	0.100
24	Cr	Kromium	20.026	18.900
26	Fe	Iron	74.090	75.100
28	Ni	Nikel	5.539	5.900

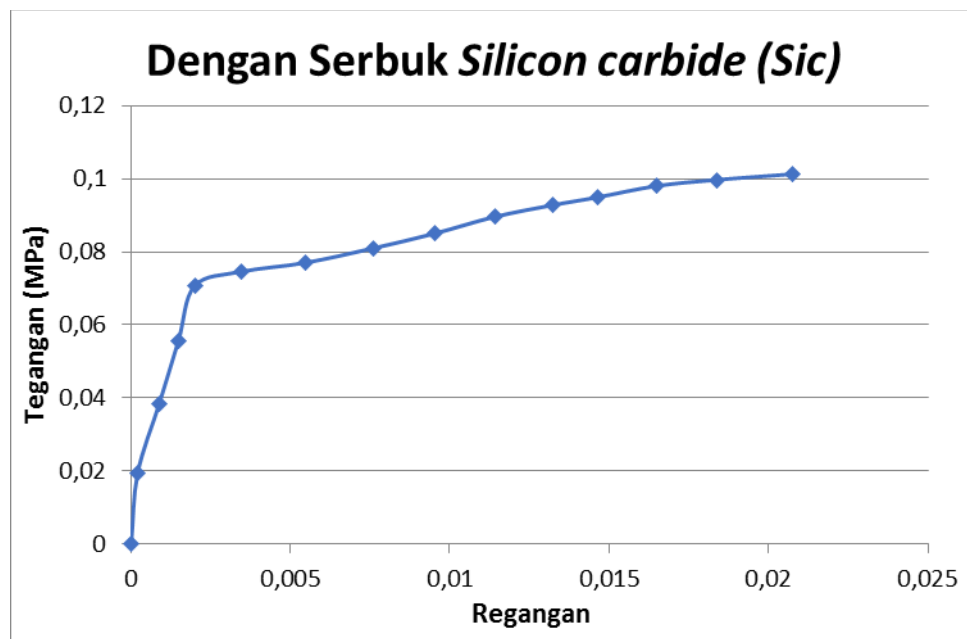
Pada spot 3 bisa diketahui kandungan Oksigen sebesar 0,1%, kandungan Kromium sebesar 18,9%, kandungan Iron sebesar 75,1%, dan kandungan Nikel sebesar 5,9%. Spot ini didapatkan dari hasil SEM-EDX dengan pembesaran 590x di bagian Stainless steel dengan daerah warna putih.

### 3.2 Analisa Pengujian Tarik

Hasil pengujian tarik atau geser tanpa serbuk dan dengan penambahan serbuk *SiC* secara berturut-turut seperti ditunjukkan pada grafik 8,9, dan 10.

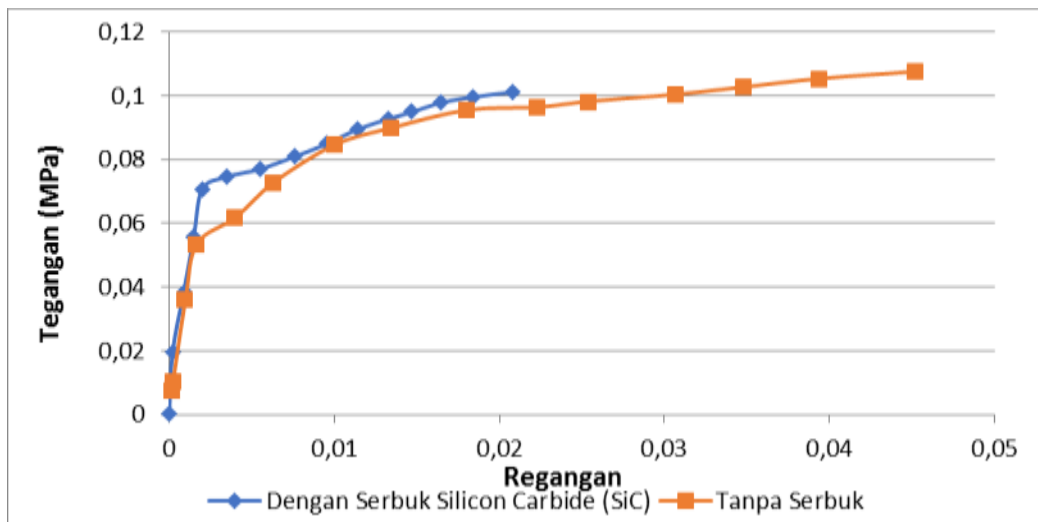


Gambar 8. Grafik Hasil rata-rata Pengujian Tarik Sambungan tanpa tambahan Serbuk *SiC*



Gambar 9. Grafik Hasil rata-rata Uji Tarik Sambungan dengan Tambahan Serbuk *SiC*





Gambar 10. Grafik Hasil rata-rata Pengujian Tarik Sambungan dengan dan tanpa Serbuk SiC

Dari analisa grafik tegangan regangan pengujian geser, peneliti mendapatkan hasil pengujian tarik dan geser pada sambungan *lap joint* antara aluminium dengan *stainless steel* dengan tebal 2 mm menggunakan *filler AlSi ER4043* dan tambahan serbuk *SiC*. Pada sambungan tanpa tambahan serbuk SiC didapatkan hasil rata-rata tegangan geser tertinggi sebesar 0,10 MPa dan rata-rata regangan tertinggi sebesar 0,045 (4,5%). Sedangkan pada sambungan dengan tambahan serbuk SiC didapatkan hasil rata-rata tegangan geser tertinggi sebesar 0,10 MPa dan rata-rata regangan tertinggi sebesar 0,020 (2,0 %). Spesimen hasil pengujian tarik dan geser adalah seperti pada gambar 11 dan 12.



Gambar 11. Spesimen Hasil Pengujian Tarik dan Geser sambungan jenis *Lap Joint* Tanpa Serbuk SiC



Gambar 12. Spesimen Hasil Pengujian Tarik dan Geser sambungan jenis *Lap Joint* dengan Serbuk SiC

Seperti yang ditunjukkan gambar 11 hasil dari pengujian tarik dan geser 3 spesimen *brazing* material aluminium dan *stainless steel* tanpa penambahan serbuk. Hasilnya terdapat 2 spesimen tanpa

penambahan serbuk putus di area sambungan dan 1 spesimen putus pada area basemetal aluminium, hal ini dikarenakan pada 2 spesimen yang putus di area sambungan kurang kuat atau belum mencapai titik lebur dan belum sepenuhnya mencair pada proses *brazing*, sedangkan pada 1 spesimen putus pada bagian *basemetal* aluminium disebabkan oleh sambungan *brazing* yang kuat serta dimungkinkan sifat aluminium seri 1100 yang lunak dan dipengaruhi oleh *HAZ (Heat Affected Zone)* setelah proses penyambungan material sehingga pada *HAZ* aluminium menjadi lebih lemah.

Pada 3 spesimen dengan penambahan serbuk SiC putus pada sambungan *brazing* dikarenakan serbuk SiC dimungkinkan belum mencapai temperatur leburnya dan belum sepenuhnya mencair pada area sambungan namun serbuk yang belum mencair justru menghalangi distribusi *filler* cair yang mengalir menuju permukaan daerah sambungan sehingga serbuk tersebut justru melemahkan kekuatan sambungan.

### 3.3 Analisa Pengujian Kekerasan *Vickers*

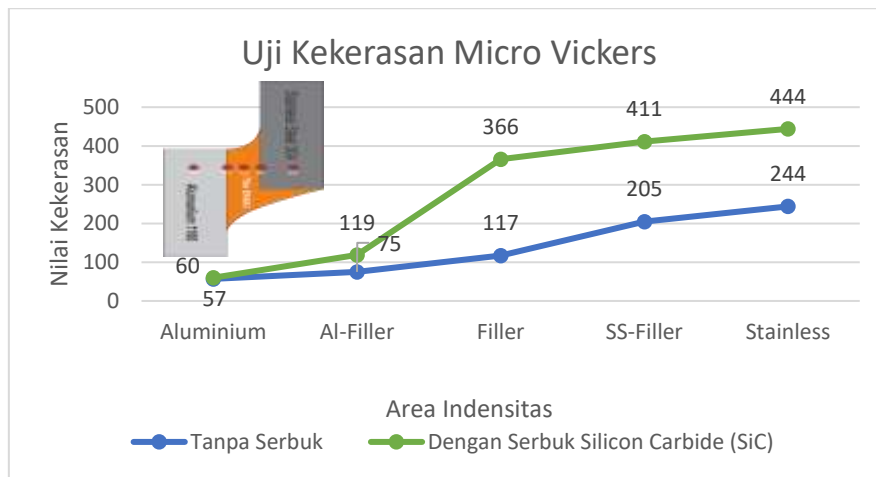
Hasil pengujian kekerasan mikro *vickers* dengan dan tanpa penambahan serbuk SiC secara berturut-turut seperti ditunjukkan pada grafik 13,14, dan 15.



Gambar 13. Grafik Hasil Uji Kekerasan Spesimen Tanpa Penambahan Serbuk



Gambar 14. Grafik Hasil Uji Kekerasan Spesimen Dengan Penambahan Serbuk SiC



Gambar 15. Grafik Hasil Uji Kekerasan Spesimen Dengan dan Tanpa Penambahan Serbuk SiC

Hasil grafik seperti pada gambar diatas peneliti memperoleh hasil pengujian kekerasan pada sambungan *brazing* dengan dan tanpa penambahan serbuk SiC. Hasil pengujian kekerasan memiliki hasil yang berbeda karena dilakukan di 5 titik pengujian.

Pada hasil sambungan *brazing* tanpa penambahan serbuk, *base metal* aluminium memiliki nilai kekerasan sebesar 57 HV, pada batas aluminium dengan *filler* memiliki sebesar 75 HV, pada *filler* memiliki sebesar 117 HV, pada batas *stainless steel* dengan *filler* memiliki sebesar 205 HV dan pada *base metal stainless steel* memiliki sebesar 244 HV. Sedangkan hasil sambungan *brazing* dengan penambahan serbuk SiC, *base metal* aluminium memiliki nilai kekerasan sebesar 60 HV, pada batas aluminium dengan *filler* memiliki sebesar 119 HV, pada *filler* memiliki sebesar 366 HV, pada batas *stainless steel* dengan *filler* memiliki sebesar 411 HV dan pada *base metal stainless steel* memiliki sebesar 444 HV.

Pada daerah *filler* tanpa penambahan serbuk memiliki nilai kekerasan yang lebih tinggi daripada *base metal* aluminium seri 1100 dikarenakan material *filler* yang digunakan menggunakan seri ER4043 dimana memiliki komposisi bahan mengandung unsur-unsur yang pada dasarnya memiliki tingkat kekerasan yang tinggi. Sedangkan pada titik batas antara Al-*filler* memiliki nilai kekerasan yang lebih tinggi daripada *base metal* Aluminium seri 1100 dikarenakan adanya unsur-unsur dari *filler* yang sudah menyambung dan menjadi satu dengan unsur pada aluminium seri 1100 tetapi nilai kekerasannya masih dibawah nilai kekerasan pada daerah *filler*. Pada titik batas antara SS-*filler* memiliki nilai yang lebih rendah daripada *base metal stainless steel* seri 304 dan *filler* itu sendiri dikarenakan unsur-unsur yang terkandung pada *stainless steel* pada dasarnya memiliki tingkat kekerasan yang lebih tinggi daripada unsur yang terkandung *filler* ER4043. Sedangkan pada batas SS-*filler* memiliki nilai kekerasan yang lebih rendah daripada *base metal stainless steel* seri 304 dikarenakan adanya unsur-unsur yang terkandung pada *stainless steel* seri 304 steel pada dasarnya memiliki tingkat kekerasan yang lebih tinggi daripada unsur yang terkandung *filler* ER4043.

Hasil dari pengujian kekerasan dengan penambahan serbuk SiC menyatakan bahwa seluruh pengujian di 5 titik lebih tinggi dibandingkan tanpa penambahan serbuk. Hal ini dipengaruhi penambahan unsur SiC pada sambungan sudah mencapai titik leburnya sehingga lelehan *filler metal* bisa bercampur dengan sempurna terhadap unsur SiC yang menyebabkan ikatan atom pada sambungan *brazing* yang meningkat tingkat kekerasannya.

## 4. PENUTUP

### 4.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian dan analisa maka dapat diambil kesimpulan sebagai berikut :

1. Hasil tugas akhir ini, peneliti mendapatkan hasil sambungan dari proses *brazing* material *Stainless Steel* dan Aluminium dengan *filler* AlSi dengan variasi penambahan serbuk SiC dan tanpa penambahan serbuk. Serta ditemukannya cacat porositas berupa lubang lubang kecil, hal ini dikarenakan terkontaminasinya logam las berbentuk gas yang terperangkap dalam proses *brazing* yang mengakibatkan menurunkan tingkat kekuatan sambungan.
2. Hasil uji SEM dapat disimpulkan bahwa penggabungan *stainless steel* ke aluminium dapat dicapai dengan baik menggunakan *filler* AlSi . Struktur mikro yang terjadi nyaris terlihat homogen dan tidak ada cacat pada sambungan. Hasil EDX pada *brazing* penambahan serbuk didapatkan kandungan SiC terbesar pada spot ke 2 dengan kandungan Karbon 65,8% , Oksigen 5,6% , Aluminium 14,4% , Silikon 3,3% , dan Kalsium 10,9%.
3. Hasil pengujian tarik dan geser dengan jenis sambungan *lap joint*, pada spesimen tanpa penambahan serbuk didapatkan hasil rata-rata tegangan sebesar 0,10 MPa dan regangan sebesar 0,045 (4,5%). sedangkan pada variasi penambahan serbuk *SiC* didapatkan hasil rata-rata tegangan sebesar 0,10 MPa dan rata-rata regangan tertinggi sebesar 0,020 (2,0 %). Penambahan serbuk *SiC* berpengaruh terhadap hasil tegangan dan regangan spesimen yang menyebabkan sambungan pada spesimen semakin getas.
4. Hasil pengujian kekerasan yang dilakukan dengan metode *brazing*, pada daerah *Al-Filler*, *Filler* dan *SS-Filler* penambahan serbuk *SiC* lebih tinggi daripada tanpa penambahan serbuk SiC. Hal ini dikarenakan serbuk SiC yang melebur sehingga serbuk SiC bisa mengikat dengan sempurna dan menaikkan nilai kekerasannya.

### 4.2 Saran

Berdasarkan hasil penelitian, sambungan *brazing* antara aluminium seri 1100 dan *stainless steel* seri 304 dengan penambahan serbuk SiC dan tanpa penambahan serbuk SiC yang telah dilakukan penulis menyarankan :

1. Memastikan jarak atau gap pada sambungan tidak terlalu tebal.

2. Mencatat waktu saat melakukan proses *brazing*.
3. Menentukan berat serbuk sebelum proses *brazing*.
4. Lebih memperhatikan transfer panas dan tetap menjaga temperatur *brazing* pada saat proses penyambungan agar *filler* meleleh sempurna.

## DAFTAR PUSTAKA

- Ahmad, Zaki. 2012. Aluminium Alloys – New Trends in Fabrication and Applications. Croatia: InTech DTP Team
- Al-Roubaiy, A. O., Al-Shafaie, S. H., & Wurood Asaad, M. (2019). Modeling and optimization of brazing for AA 6061/ AISI 304 using grey relational analysis. *International Journal of Mechanical Engineering and Technology*, 1, 107–118.
- Alloys, P. (2008). *Er4043 Data Sheet*. <http://www.pinnaclealloys.com/wp/wp-content/uploads/2015/11/ER4043-11.16.pdf>
- Hohmann, B. P. (2007). Mechanical Behavior of Dip-Brazed Aluminum Sandwich Panels. In *Innovation* (Issue 2004).
- Laansoo, A., Kübarsepp, J., Vainola, V., & Viljus, M. (2012). Induction brazing of cermets to steel. *Estonian Journal of Engineering*, 18(3), 232–242. <https://doi.org/10.3176/eng.2012.3.08>
- Liu, B., Yang, Q., & Wang, Y. (2019). Intereaction and intermetallic phase formation between aluminum and stainless steel. *Results in Physics*, 12(November 2018), 514–524. <https://doi.org/10.1016/j.rinp.2018.11.076>
- Mathers, Gene. 2002. The Welding of Aluminium and Its Alloys. Cambridge: Woodhead Publishing Limited.
- Matweb. (2015). *Material Property Data Aluminium 1100*. MatWeb. <http://www.matweb.com/search/datasheet.aspx?MatGUID=ff6d4e6d529e4b3d97c77d6538b29693>
- Mohd Sohor, M. A. H., Mustapha, M., & Chandra Kurnia, J. (2017). Silikon carbide- from synthesis to application: A review. *MATEC Web of Conferences*, 131, 1–6. <https://doi.org/10.1051/mateconf/201713104003>
- Prasetyo, I. A., Studi, P., Mesin, T., Teknik, F., & Surakarta, U. M. (2020). *PENGARUH PENAMBAHAN SERBUK ZINC TERHADAP PROPERTI MEKANIS SAMBUNGAN ALUMINIUM 1000 DAN STAINLESS STEEL 304 DENGAN METODE BRAZING*. Universitas Muhammadiyah Surakarta.
- Products, H. (2015). *Material Safety Data Sheet Al-Braze EC*.
- Qin, G., Ji, Y., Ma, H., & Ao, Z. (2017). Effect of modified flux on MIG arc brazing-fusion welding of aluminum alloy to steel butt joint. *Journal of Materials Processing Technology*, 245, 115–121. <https://doi.org/10.1016/j.jmatprotec.2017.02.022>
- Rajesh, A. M., & Kaleemulla, M. (2016). Experimental investigations on mechanical behavior of aluminium metal matrix composites. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 149(1). <https://doi.org/10.1088/1757-899X/149/1/012121>
- Schwartz, M. M. (2003). Brazing Second Edition Second Edition ASM International. In *ASM International* (Issue June).
- Way, M., Willingham, J., & Goodall, R. (2020). Brazing filler metals. *International Materials Reviews*, 65(5), 257–285. <https://doi.org/10.1080/09506608.2019.1613311>

- Wiezorek, J. M. K., Kulovits, A. K., Yanar, C., & Soffa, W. A. (2011). Grain boundary mediated displacive-diffusional formation of  $\tau$ -phase MnAl. *Metallurgical and Materials Transactions A: Physical Metallurgy and Materials Science*, 42(3), 594–604. <https://doi.org/10.1007/s11661-010-0308-1>
- William D. Callister, J. (1991). Materials Science and Engineering An Introduction. In *Journal of Materials Science* (Vol. 26, Issue 14). <https://doi.org/10.1007/BF01184995>
- Wiryo Sumarto, H., & Okumura, T. (2000). Teknologi Pengelasan Logam. *PT. Pradnya Paramita*, 8.
- XUE, J. yu, LI, Y. xing, CHEN, H., & ZHU, Z. tao. (2018). Wettability, microstructure and properties of 6061 aluminum alloy/304 stainless steel butt joint achieved by laser-metal inert-gas hybrid welding-brazing. *Transactions of Nonferrous Metals Society of China (English Edition)*, 28(10), 1938–1946. [https://doi.org/10.1016/S1003-6326\(18\)64839-3](https://doi.org/10.1016/S1003-6326(18)64839-3)