

Kekuatan Sambungan Dan Ketahanan Korosi Melalui Penambahan *Filler Zinc* Pada Las Titik *Dissimilar* Antara Aluminium AL 1100 Dan Baja Tahan Karat SS 316

Gede Jovial Jumaniana Jaya, I Nyoman Budiarsa, Dewa Ngakan Ketut Putra
Negara

Program Studi Teknik mesin Universitas Udayana, Kampus Bukit Jimbaran Bali

Abstrak

Las titik merupakan salah satu metode pengelasan yang dapat digunakan untuk menyambungkan plat logam yang tipis dan dapat diaplikasikan pada industri otomotif. Ada beberapa parameter yang mempengaruhi kekuatan sambungan yang dihasilkan pada las titik. Parameter yang diketahui dan dapat mempengaruhi hasil sambungan las pada penelitian ini diantaranya adalah penggunaan sambungan dissimilar pada logam, diameter taper elektroda yang digunakan, lamanya waktu penekanan saat proses pengelasan, dan penambahan filler zinc pada sambungan las. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui kekuatan sambungan las melalui pengujian geser dan ketahanan logam terhadap korosi pada sambungan dissimilar antara logam AL 1100 dan SS 316 dengan penambahan filler zinc. Hasil data yang diperoleh dari pengujian geser adalah tegangan geser dan regangan. Sambungan las yang memiliki tegangan geser maksimum tertinggi adalah sambungan pada penggunaan variasi ($\varnothing 7\text{mm}$, 1detik, filler zinc) dengan tegangan geser maksimum sebesar 66,5 MPa. Hasil dari pengujian korosi adalah pengamatan korosi secara visual pada logam dan nilai laju korosi, serta efisiensi penggunaan filler zinc. Pada pengamatan visual, sampel uji yang tanpa filler zinc mengalami perubahan yang signifikan dibandingkan sampel yang menggunakan filler zinc. Untuk laju korosi yang dimiliki oleh sampel yang tanpa filler zinc adalah 12,586 mpy sedangkan pada sampel yang menggunakan filler zinc memiliki laju korosi sebesar 4,413 mpy. Sehingga filler zinc ini memiliki efisiensi sebesar 64,9%. Berdasarkan pengujian korosi yang dilakukan, filler zinc sebagai anoda korban dapat berfungsi dengan baik dalam memperlambat laju korosi pada sambungan dissimilar antara logam AL 1100 dan SS 316.

Kata Kunci: sambungan dissimilar, las titik, aluminium 1100, stainless steel 316, uji korosi, uji geser.

Abstract

Spot welding is a welding method that can be used to connect thin metal plates and can be applied to the automotive industry. There are several parameters that affect the strength of the resulting joint at a given point. Parameters that are known and can affect the results of welded joints in this study include the use of different joints on the metal, the diameter of the taper electrode used, the pressing time during the welding process, and the addition of zinc filler to the weld joint. The purpose of this study was to determine the strength of the welded connection through testing and the metal's resistance to corrosion at different joints between AL 1100 and SS 316 metals with the addition of zinc filler. The results of the data obtained from the shear test are the shear stress and strain. Welded joints that have the maximum shear stress are connections with variations ($\varnothing 7\text{mm}$, 1s, zinc filler) with a maximum shear stress of 66.5 MPa. The results of the test are a visual assessment of corrosion of the metal and the rate of corrosion, as well as the efficiency of using zinc filler. On visual observation, the test sample without zinc filler experienced a significant change compared to the sample using zinc filler. The corrosion rate of the sample without zinc filler is 12,586 Mpy while the sample using zinc filler has a corrosion rate of 4,413 Mpy. So that this zinc filler has an efficiency of 64.9%. Based on the corrosion tests carried out, zinc filler as a sacrificial anode can work well in slowing the corrosion rate at different joints between AL 1100 and SS 316 metals.

Keywords: dissimilar connection, spot welding, aluminum 1100, stainless steel 316, corrosion test, shear test.

1. Pendahuluan

Seiring kemajuan teknologi, terutama pada industri di bidang otomotif salah satu contohnya adalah pada bagian *body* kendaraan dalam pengembangan kualitas material yang dapat dilas dan sebagai tambahan dapat mempertahankan kondisinya terhadap korosi. Terdapat 2000-5000 sambungan yang menggunakan las titik pada kendaraan modern karena penggunaan plat tipis juga diterapkan pada perakitan *body* kendaraan [1]. Pengelasan titik adalah suatu proses dialirkannya tekanan listrik pada dua elektroda yang menuju

pada logam yang ingin disambungkan dan menghasilkan energi panas sehingga terdapat satu atau lebih titik sambungan [2].

Pada saat ini, metode pengelasan yang dikembangkan salah satunya adalah dengan metode penyambungan logam yang tidak sejenis atau dengan kata lain penyambungan *dissimilar* logam, dengan tujuan untuk mendapatkan kualitas material yang kuat dan ringan dalam mempertahankan bobot kendaraan sehingga pada pemakaian bahan bakar kendaraan menjadi lebih efisien [3].

Material logam dapat mengalami korosi. Korosi ini dapat terjadi karena adanya reaksi yang berupa reaksi elektrokimia dengan lingkungan disekitar logam, sehingga material berbahan logam ataupun paduannya dapat mengalami kerusakan akibat korosi [4]. Maka dari itu diperlukan suatu metode yang dapat menghambat proses korosi atau laju korosi yang dialami suatu logam terutama pada penggunaan logam untuk sambungan las titik.

Metode yang dapat menjadi solusi untuk menghambat laju korosi pada logam adalah salah satunya dengan penggunaan anoda korban atau *sacrificial anode*. Metode ini merupakan pengendalian korosi yang sengaja membuat logam yang memiliki sifat lebih reaktif menjadi dikorbankan sehingga logam tersebut dapat sebagai pelindung korosi [5]. Pada metode ini, logam yang sengaja dikorbankan ini disebut sebagai anoda dan logam yang dilindungi atau diproteksi disebut sebagai katoda. Dalam hal ini, logam yang digunakan sebagai anoda haruslah bersifat lebih *anodic* dibandingkan logam yang digunakan sebagai katoda. Karena logam yang lebih *anodic* adalah jenis logam yang lebih mudah mengalami korosi dibandingkan logam katoda yang digunakan, Sehingga logam yang sebagai anoda dapat berfungsi sebagai proteksi katodik atau anoda korban. Pada umumnya, logam yang dapat digunakan sebagai anoda korban atau *sacrificial anode* adalah Al, Zn, dan Mg [5].

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui kekuatan geser dan ketahanan korosi dengan penambahan *filler zinc* pada sambungan las titik *dissimilar* antara logam AL 1100 dan SS 316.

2. Dasar Teori

2.1 Material Logam

- Logam SS 316
Logam *Stainless Steel* 316 atau SS 316 merupakan jenis logam yang mengandung unsur kromium-molibdenum-nikel [6].
- Logam AL 1100
Logam Aluminium 1100 atau AL 1100 merupakan jenis logam dengan seri 1XXX yang memiliki komposisi aluminium murni tetapi tidak sepenuhnya berkomposisi aluminium. Unsur lainnya dapat berupa Si, Fe, Mn, dan Cu [7].
- Logam *Zinc*
Logam seng atau *zinc* untuk anoda korban adalah yang berkomposisi *zinc* murni. Unsur lainnya dapat berupa Al, Fe, dan Cd [8].

2.2 Panas yang dihasilkan saat pengelasan

Panas yang dihasilkan yang dimaksud adalah jumlah panas yang masuk pada benda kerja karena dialirkan arus listrik melewati benda kerja. Ada tiga faktor yang mempengaruhi jumlah panas yang dihasilkan, diantaranya adalah arus, resistansi, dan

durasi arus. Ketiga faktor ini dapat dinyatakan dalam persamaan berikut [9]:

$$Q = I^2Rt \quad (1)$$

Dimana:

- Q = total masukan panas (joule)
- I = Arus (Ampere)
- R = Resistansi elektrik (Ω)
- t = Durasi arus (detik)

Pada penelitian ini menggunakan parameter durasi arus sebagai waktu penekanan saat proses pengelasan titik untuk memvariasikan spesimen uji. Karena semakin lama waktu penekanan, maka semakin banyak jumlah masukan panas yang dihasilkan sehingga berpengaruh pada kekuatan sambungan las yang dimiliki.

2.3 Kualitas Las Titik

Salah satu standar prosedur untuk mengetahui diameter taper elektroda pada las titik adalah berdasarkan tebal material yang dimiliki. Umumnya, hal ini bertujuan untuk mendapatkan diameter taper elektroda yang dibutuhkan pada spesimen yang dimiliki [10]. Standar diameter taper elektroda ini telah direkomendasikan oleh beberapa industri dan dapat ditentukan dengan persamaan berikut [11].

- Menurut standar AWS/ANSI/AISI, ukuran diameter taper elektroda dapat ditentukan dengan persamaan berikut:

$$D = 4t^{0.5} \quad (2)$$

Dimana:

- D = diameter las (mm)
- t = ketebalan benda kerja (mm)

- Menurut standar DVS 2923178 Jerman, dan JIS Z3140177 Jepang, ukuran diameter taper elektroda dapat ditentukan dengan persamaan berikut:

$$D = 5t^{0.5} \quad (3)$$

Dimana:

- D = diameter las (mm)
- t = ketebalan benda kerja (mm)

2.4 Seri Galvanik logam

Berikut merupakan beberapa seri galvanik pada logam tertentu.

Tabel 1. Deret galvanik [5]

<i>katodic</i> ↑	Emas
	Perak
	Perunggu
	Tembaga
	Kuningan
	Timah
	Besi tuang
	Baja atau besi
	Aluminium 2024

<p style="text-align: center;">anodic</p>	Kadmium
	Aluminium murni komersial (1100)
	Seng
	Magnesium dan paduannya

Berdasarkan tabel 1, dapat diketahui bahwa logam *zinc* yang digunakan pada penelitian ini bersifat lebih *anodic* dibandingkan AL 1100 dan SS 316 yang merupakan jenis baja. Maka, *filler zinc* dapat digunakan sebagai anoda korban atau *sacrificial anode*.

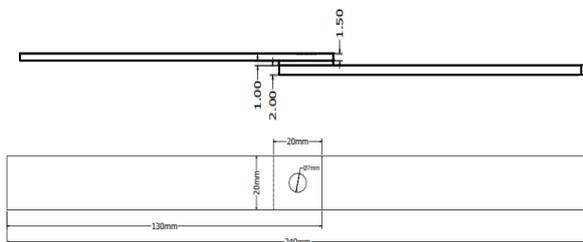
3. Metode Penelitian

3.1 Bahan Penelitian

- Plat logam aluminium AL 1100, tebal 2mm.
- Plat baja tahan karat SS 316, tebal 1,5mm
- Plat logam *zinc*, tebal 1mm
- Larutan Aseton

3.2 Pengujian Geser

Sampel uji pengujian geser menggunakan standar JIS Z3138 (1989)



Gambar 1. Skema sampel pengujian geser

Pengujian geser ini didapatkan data tentang tegangan geser maksimum. Berikut persamaan dalam pengujian geser:

$$\tau = \frac{Ps}{A} \quad (4)$$

Dimana:

τ = Tegangan geser maksimum (MPa)

Ps = Beban geser (N)

A = Luas penampang (mm^2)

3.3 Pengujian Korosi

Pengujian korosi ini didapatkan data tentang laju korosi berdasarkan metode kehilangan berat. Berikut persamaan untuk menentukan laju korosi[12]:

$$CR = \frac{KW}{AT\rho} \quad (5)$$

CR = laju korosi / *corrosion rate* (mpy)

W = kehilangan berat / *weight loss* (g)

K = konstanta

ρ = densitas sampel uji (g/cm^3)

A = luas permukaan / *surface area* (cm^2)

T = waktu / *time* (jam)

3.4 Variabel penelitian

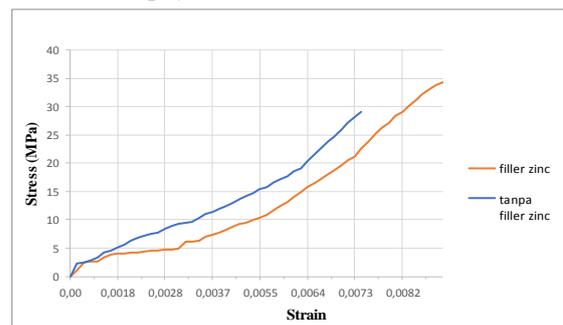
- Variabel bebas
Variasi diameter taper elektroda ukuran $\varnothing 5\text{mm}$, $\varnothing 6\text{mm}$, dan $\varnothing 7\text{mm}$ dengan waktu penekanan 1detik dan 2detik pada penggunaan *filler zinc* dan tanpa *filler zinc*.
- Variabel terikat
Tegangan geser dan Laju korosi

4. Hasil dan Pembahasan

4.1 Hasil Pengujian Geser

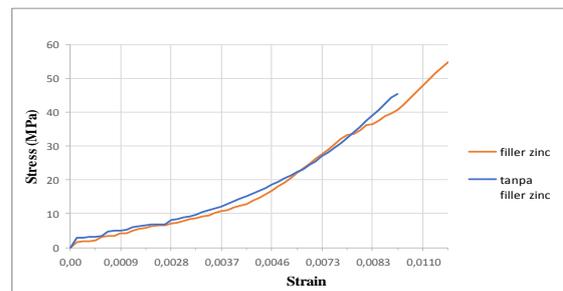
Pada pengujian geser terhadap sambungan las titik dengan variasi diameter taper, waktu penekanan, dan penggunaan *filler zinc* maupun tanpa *filler zinc* didapatkan data yang berupa grafik dan tabel sebagai berikut.

- Hasil pengujian geser ($\varnothing 5\text{mm}$, 1detik, dengan dan tanpa *filler zinc*)



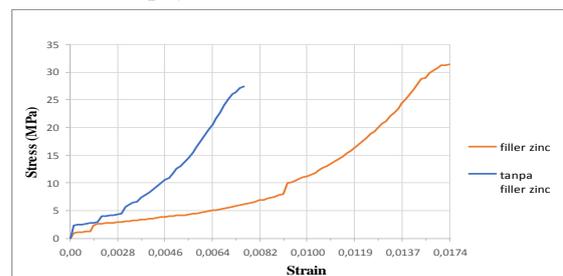
Gambar 2. Grafik uji geser ($\varnothing 5\text{mm}$, 1detik, dengan dan tanpa *filler zinc*)

- Hasil pengujian geser ($\varnothing 5\text{mm}$, 2detik, dengan dan tanpa *filler zinc*)



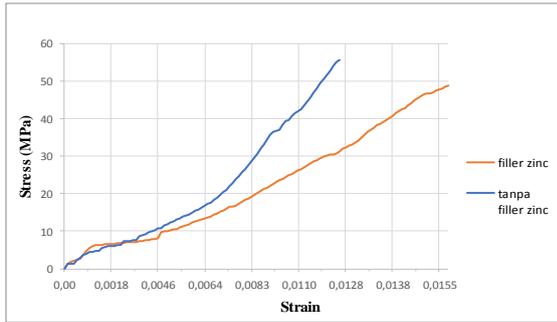
Gambar 3. Grafik uji geser ($\varnothing 5\text{mm}$, 2detik, dengan dan tanpa *filler zinc*)

- Hasil pengujian geser ($\varnothing 6\text{mm}$, 1detik, dengan dan tanpa *filler zinc*)



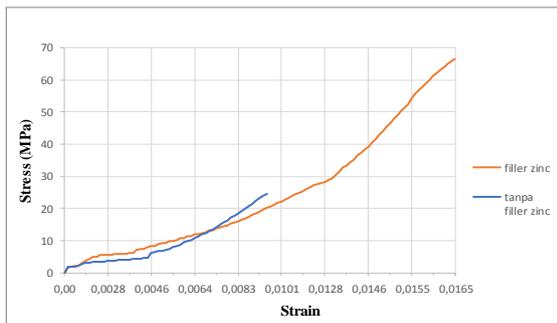
Gambar 4. Grafik uji geser ($\varnothing 6\text{mm}$, 1detik, dengan dan tanpa *filler zinc*)

- Hasil pengujian geser ($\varnothing 6\text{mm}$, 2detik, dengan dan tanpa *filler zinc*)



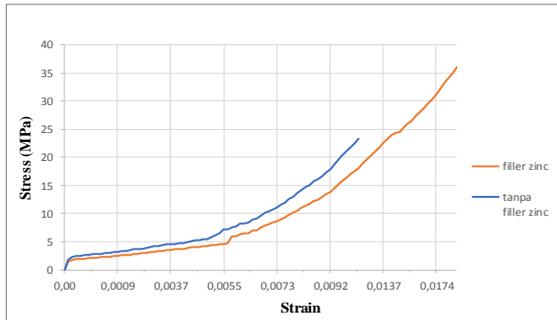
Gambar 5. Grafik uji geser ($\varnothing 6\text{mm}$, 2detik, dengan dan tanpa *filler zinc*)

- Hasil pengujian geser ($\varnothing 7\text{mm}$, 1detik, dengan dan tanpa *filler zinc*)



Gambar 6. Grafik uji geser ($\varnothing 7\text{mm}$, 1detik, dengan dan tanpa *filler zinc*)

- Hasil pengujian geser ($\varnothing 7\text{mm}$, 2detik, dengan dan tanpa *filler zinc*)



Gambar 7. Grafik uji geser ($\varnothing 7\text{mm}$, 2detik, dengan dan tanpa *filler zinc*)

- Hasil perhitungan uji geser
Data yang diperoleh dari pengujian geser adalah beban geser (N) dan regangan (mm), yang selanjutnya dihitung dengan persamaan pengujian geser untuk menentukan nilai tegangan geser maksimum pada sampel uji. Grafik diatas sudah dikonversikan menjadi grafik perbandingan tegangan geser (MPa) dan regangan. Nilai tegangan geser maksimum pada setiap sampel uji dapat dilihat pada tabel hasil perhitungan pengujian geser dengan parameter-parameter yang telah ditentukan ketika proses pengelasan sambungan AL 1100 dan SS 316. Tabel yang dimaksud adalah sebagai berikut.

Tabel 2. Data Hasil Perhitungan Uji Geser

No	Variasi			Tegangan Geser Maks.
	Diameter taper	Waktu tekan	Jenis Sambungan	
1	$\varnothing 5 \text{ mm}$	1	Tanpa <i>filler zinc</i>	29
2	$\varnothing 5 \text{ mm}$	1	<i>filler zinc</i>	34,4
3	$\varnothing 5 \text{ mm}$	2	Tanpa <i>filler zinc</i>	45,4
4	$\varnothing 5 \text{ mm}$	2	<i>filler zinc</i>	54,8
5	$\varnothing 6 \text{ mm}$	1	Tanpa <i>filler zinc</i>	27,4
6	$\varnothing 6 \text{ mm}$	1	<i>filler zinc</i>	31,4
7	$\varnothing 6 \text{ mm}$	2	Tanpa <i>filler zinc</i>	55,7
8	$\varnothing 6 \text{ mm}$	2	<i>filler zinc</i>	48,8
9	$\varnothing 7 \text{ mm}$	1	Tanpa <i>filler zinc</i>	24,5
10	$\varnothing 7 \text{ mm}$	1	<i>filler zinc</i>	66,5
11	$\varnothing 7 \text{ mm}$	2	Tanpa <i>filler zinc</i>	23,3
12	$\varnothing 7 \text{ mm}$	2	<i>filler zinc</i>	36,1

4.2 Analisa Hasil Pengujian Geser

Berdasarkan hasil data uji geser diatas, terdapat beberapa faktor yang menjadi pengaruh pada penggunaan variasi terhadap kekuatan sambungan las titik dalam pengujian geser. Faktor-faktor tersebut adalah sebagai berikut.

Penggunaan variasi diameter taper elektroda $\varnothing 5\text{mm}$, $\varnothing 6\text{mm}$, dan $\varnothing 7\text{mm}$ pada sampel uji sambungan las titik. Berdasarkan data yang diperoleh, sampel uji yang memiliki tegangan geser maks. tertinggi adalah sambungan las dengan penggunaan diameter taper elektroda $\varnothing 7\text{mm}$ (waktu tekan 1detik) yang memiliki tegangan geser sebesar 66,5 MPa. Menurut standar DVS 2923178 Jerman, dan JIS Z3140177 Jepang, ukuran dari diameter taper elektroda berdasarkan tebalnya plat yang digunakan dapat ditentukan dengan persamaan $D = 5t^{0.5}$. Dimana t merupakan tebal plat dalam satuan mm. Pada penelitian ini digunakan plat AL 1100 dengan tebal 2mm dan plat SS 316 dengan tebal 1,5mm, dari persamaan tersebut didapatkan standar untuk ketebalan plat AL 1100 yang memiliki tebal 2mm adalah dengan diameter taper elektroda 7mm dan standar untuk ketebalan plat SS 316 yang memiliki tebal 1,5mm adalah dengan diameter taper elektroda 6mm. Namun berdasarkan hasil data pengujian geser yang telah dilakukan, penggunaan diameter taper elektroda $\varnothing 7\text{mm}$ (waktu tekan 1detik) memiliki tegangan geser maks. lebih tinggi dibandingkan penggunaan diameter taper elektroda 5mm dan 6mm untuk sambungan *dissimilar* antara AL 1100 dan SS 316 yang memiliki ketebalan plat yang berbeda.

Penggunaan variasi waktu penekanan 1 detik dan 2 detik pada sampel uji sambungan las titik.

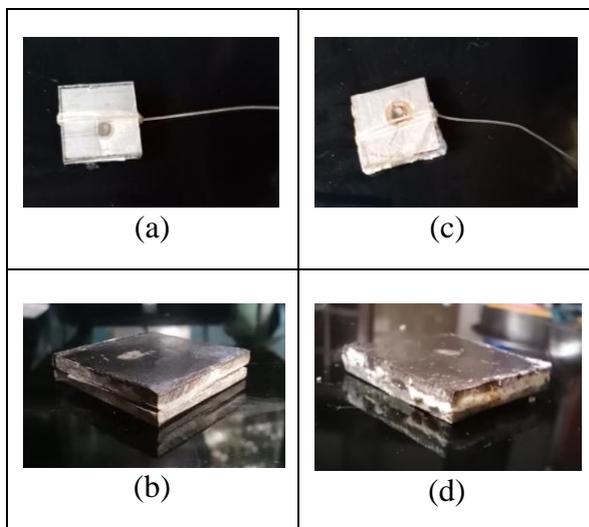
Hasil pengujian sambungan las pada variasi diameter taper 5mm dan 6mm yang menggunakan waktu penekanan 2 detik lebih baik dibandingkan yang menggunakan waktu penekanan 1 detik dan sebaliknya untuk hasil pengujian sambungan las pada variasi diameter taper 7mm yang menggunakan waktu penekanan 1 detik lebih baik dibandingkan yang menggunakan waktu penekanan 2 detik. Hal ini didasarkan pada persamaan masukan panas yaitu $Q = I^2Rt$. Bila nilai t (waktu) yang diberikan semakin besar maka nilai Q (panas) yang diperoleh juga akan semakin besar, sehingga waktu penekanan pada saat proses pengelasan dapat berpengaruh pada kekuatan sambungan las terhadap pengujian geser.

Penggunaan variasi dengan *filler zinc* dan tanpa *filler zinc* pada sampel uji sambungan las titik. Sampel uji yang memiliki sambungan las terbaik adalah sambungan las dengan penggunaan *filler zinc*. Dimana pada setiap sampel uji terdapat peningkatan kekuatan sambungan las bila ditambahkan *filler zinc*. Namun berbeda dengan sambungan las pada penggunaan diameter taper 6mm dengan waktu penekanan 2 detik yang kekuatannya menjadi menurun bila ditambahkan *filler zinc*. Hal ini dapat dipengaruhi karena faktor penggunaan diameter taper dan waktu penekanannya sehingga bila ditambahkan *filler zinc* akan berpengaruh pada kekuatan sambungan las yang dihasilkan.

4.3 Hasil Pengujian Korosi

Dari pengujian yang dilakukan, didapatkan hasil yang berupa pengamatan korosi dan nilai laju korosi pada sampel yang diujikan. Berikut adalah hasil dari pengujian korosi.

a. Hasil Pengamatan Visual



Gambar 8. Sampel hasil pengujian korosi

Gambar (a) dan (b) adalah sampel dengan *filler zinc*, sedangkan gambar (c) dan (d) adalah sampel yang tanpa *filler zinc*. Berdasarkan pengamatan visual yang dilakukan, dapat dikatakan bahwa *filler*

zinc sebagai *Sacrificial Anode* dapat berfungsi dengan baik. Hal ini ditunjukkan pada sampel yang tanpa *filler zinc* mengalami perubahan yang signifikan dibandingkan sampel yang dengan *filler zinc*, yaitu ditandai dengan menumpuknya butiran garam pada bagian celah sambungan las yang tanpa *filler zinc*, berbeda dengan sampel yang menggunakan *filler zinc* terlihat lebih bersih. Selain itu kedua sampel mengalami perubahan warna pada logam AL 1100 menjadi kehitaman, akan tetapi sampel yang dengan *filler zinc* perubahan warna yang dialami lebih sedikit dibandingkan sampel yang tanpa *filler zinc*. Sehingga ditambahkan *filler zinc* dapat mempengaruhi ketahanan korosi pada logam sambungan las titik.

b. Nilai laju korosi dan efisiensi *filler zinc*

Dari pengujian korosi yang dilakukan, didapatkan data kehilangan berat sebagai berikut :

Tabel 3. Data kehilangan berat sampel uji

Status sampel	Waktu (T)	Berat		
		W0 (g)	W1 (g)	ΔW (g)
<i>Filler zinc</i>	168 jam	9,388	9,375	0,013
Tanpa <i>filler zinc</i>	168 jam	7,830	7,793	0,037

Berdasarkan data kehilangan berat yang diperoleh, maka dapat ditentukan laju korosi dan efisiensi *filler zinc* dari sampel yang telah diujikan. Berikut merupakan hasil dari perhitungannya :

Tabel 4. Hasil perhitungan laju korosi dan efisiensi *filler zinc*

Status sampel	Laju korosi (mpy)	Efisiensi <i>filler zinc</i>
<i>Filler zinc</i>	4,413	64,9%
Tanpa <i>filler zinc</i>	12,586	

Efisiensi *filler zinc* tersebut dapat diperoleh dengan menggunakan persamaan berikut [12]:

$$\eta(\%) = \frac{(CR_{unanoded} - CR_{anoded})}{CR_{unanoded}} \times 100\% \quad (6)$$

Dimana:

η = Efisiensi anoda

$CR_{unanoded}$ = laju korosi tanpa anoda (mpy)

CR_{anoded} = laju korosi dengan anoda (mpy)

5. Simpulan

Dari hasil pengujian yang dilakukan, maka dapat disimpulkan sebagai berikut :

- Dari hasil pengujian geser, sambungan las yang memiliki nilai tegangan geser maks. tertinggi tanpa *filler zinc* adalah pada variasi (\varnothing 6mm, 2detik) dengan nilai tegangan geser maks. sebesar 55,7. Serta yang memiliki nilai

tegangan geser maks. tertinggi dengan *filler zinc* adalah sambungan las pada variasi ($\varnothing 7\text{mm}$, 1detik) dengan nilai tegangan geser maks. sebesar 66,5 MPa. Maka, dengan ditambahkannya *filler zinc* dapat mempengaruhi kekuatan las titik terhadap pengujian geser.

- b. Dari pengamatan visual dan perhitungan laju korosi, *filler zinc* sebagai *sacrificial anode* dapat berfungsi dengan baik dalam memperlambat laju korosi pada sambungan *dissimilar* antara logam AL 1100 dan SS 316. Pada sampel yang dengan *filler zinc* memiliki laju korosi sebesar 4,413 *mpy*, sedangkan sampel yang tanpa *filler zinc* memiliki laju korosi sebesar 12,586 *mpy*.

Daftar Pustaka

- [1] Pouranvari, M., & Marashi, S. P. H, 2013, *Critical review of automotive steels spot welding: Process, structure and properties*, Science and Technology of Welding and Joining, 18(5), 361–403.
- [2] Charde, N, 2003, *Effects of Electrode Deformation on Carbon Steel Weld Geometry of Resistance Spot Welding*, Archives of ..., 1(2), 1–12.
- [3] Rusmawan, D. D., & Hendrawan, M. A, 2014, *Studi Pengaruh Arus Dan Waktu Pengelasan Terhadap Sifat Mekanik Sambungan Las Titik (Spot Welding) Logam Tak Sejenis*. 6–13.
- [4] Haryono, G., Sugiarto, B., & Tanoto, H. F. dan Y, 2010, *Ekstrak Bahan Alam sebagai Inhibitor Korosi*, Pengembangan Teknologi Kimia untuk Pengolahan Sumber Daya Alam Indonesia Yogyakarta. www.chem-is-try.org
- [5] Gapsari, F., Press, U. B., Media, U. B., & Soenoko, R, 2017, *Pengantar Korosi*. Universitas Brawijaya Press. <https://books.google.co.id/books?id=FFpVDwAAQBAJ>
- [6] Sandmeyer, S, 2014, *Specification Sheet: Alloy 316 / 316L. 1*, 9–11.
- [7] ASTM International, 1996, *Standard Specification For Aluminum And Aluminum-Alloy Sheet And Plate*. In ASTM International, pp. 296–325.
- [8] Ihza, T. dan D, 2022, *Proteksi Katodik Menggunakan Zinc Anode Untuk Menghambat Korosi Pada Lambung Kapal*, Port Link Vii Jakarta, 3(1), 56–62.
- [9] Aslanlar, S., Ogur, A., Ozsarac, U., & Ilhan, E, 2008, *Welding time effect on mechanical properties of automotive sheets in electrical resistance spot welding*. Materials and Design, 29(7), 1427–1431. <https://doi.org/10.1016/j.matdes.2007.09.004>
- [10] Williams, N. T., & Parker, J. D, 2004, *Review of resistance spot welding of steel sheets: Part 1 - Modelling and control of weld nugget formation*. International Materials Reviews, 49(2), 45–75. <https://doi.org/10.1179/095066004225010523>
- [11] Pouranvari, M., Asgari, H. R., Mosavizadch, S. M., Marashi, P. H., & Goodarzi, M, 2007, *Effect of weld nugget size on overload failure mode of resistance spot welds*. Science and Technology of Welding and Joining, 12(3), 217–225. <https://doi.org/10.1179/174329307X164409>
- [12] Mulyaningsih, N., Mujiarto, S., & Ubaydilah, G, 2019, *Pengaruh Daun Jambu Biji Sebagai Inhibitor Korosi Alami Rantai Kapal*. Journal of Mechanical Engineering, 3(1). <https://doi.org/10.31002/jom.v3i1.1523>



**Gede Jovial Jumaniana
Jaya**

- a. Menyelesaikan studi di SMKN 1 Denpasar tahun 2018
- b. Program studi S1 Teknik Mesin Universitas Udayana tahun 2018-2022.

Penelitian ini adalah bagian dari bidang konsentrasi Rekayasa Manufaktur