

**ANALISA METALOGRAFI PENGARUH *FILLER ZINC*
PADA PENGELASAN TITIK BEDA MATERIAL
*ALUMINIUM DAN STAINLESS STEEL***



PUBLIKASI ILMIAH

**Disusun Sebagai Syarat Untuk Menyelesaikan Program Studi
Strata Satu Pada Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik
Universitas Muhammadiyah Surakarta**

Disusun Oleh :

RIKA ISNANTO

NIM : D 200 120 154

**PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SURAKARTA
2016**

PERNYATAAN KEASLIAN PUBLIKASI ILMIAH

Saya menyatakan dengan sesungguhnya bahwa PUBLIKASI ILMIAH dengan judul “**ANALISA METALOGRAFI PENGARUH FILLER ZINC PADA PENGELASAN TITIK BEDA MATERIAL ALUMINIUM DAN STAINLESS STEEL**” , yang dibuat sebagai salah satu syarat untuk mendapatkan gelar sarjana pada Jurusan Teknik Mesin Universitas Muhammadiyah Surakarta, sejauh yang saya ketahui bukan merupakan tiruan atau duplikasi dari penelitian atau skripsi yang sudah dipublikasikan dan atau digunakan untuk mendapatkan gelar sarjana di lingkungan Universitas Muhammadiyah Surakarta atau instansi manapun, kecuali bagian yang sumber informasinya saya cantumkan sebagaimana mestinya.

Surakarta, 29 September 2016

Yang menyatakan,



Rika Isnanto

HALAMAN PERSETUJUAN

**ANALISA METALOGRAFI PENGARUH *FILLER ZINC*
PADA PENGELOMAN TITIK BEDA MATERIAL
*ALUMINIUM DAN STAINLESS STEEL***

UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SURAKARTA

PUBLIKASI ILMIAH

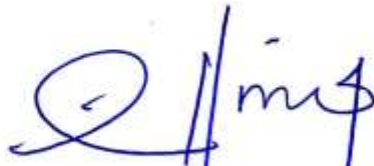
oleh :

RIKA ISNANTO

D 200 120 154

Telah diperiksa dan disetujui untuk diuji oleh :

Dosen Pembimbing



Muh. Alfatih Hendrawan, S.T., M.T

NIK.679

HALAMAN PENGESAHAN

**ANALISA METALOGRAFI PENGARUH *FILLER ZINC*
PADA PENGELASAN TITIK BEDA MATERIAL
*ALUMINIUM DAN STAINLESS STEEL***

UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SURAKARTA

oleh :

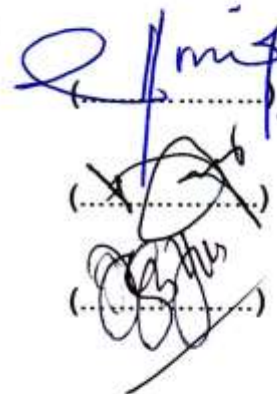
RIKA ISNANTO

D 200 120 154

**Telah dipertahankan di depan Dewan Penguji
Fakultas Teknik Jurusan Teknik Mesin
Universitas Muhammadiyah Surakarta
Pada hari Kamis, 29 September 2016
Dan dinyatakan memenuhi syarat**

Dewan Penguji :

1. Muh. Alfatih Hendrawan, S.T., M.T.
(Ketua Dewan Penguji)
2. Patna Partono, S.T., M.T.
(Anggota I Dewan Penguji)
3. Agus Yulianto, S.T., MT.
(Anggota II Dewan Penguji)



Dekan,



In. Sa Sunarjono, MT., Ph.D
NIK. 682

ANALISA METALOGRAFI PENGARUH *FILLER ZINC* PADA PENGELASAN TITIK BEDA MATERIAL *ALUMINIUM DAN STAINLESS STEEL*

Abstrak

Las titik sangat banyak digunakan dalam industri otomotif. Pengelasan beda material merupakan hasil pengembangan dari teknologi pengelasan, yang mana dapat menurunkan beban kendaraan. Penggabungan antara aluminium dengan stainless steel merupakan hal yang tidak mudah karena sifat dan titik lebur yang berbeda. Penelitian ini menggabungkan aluminium tebal 1,2mm dan stainless steel tebal 1mm dan filler zinc tebal 0,2mm di antara kedua material. Penelitian ini bertujuan mengetahui pengaruh filler zinc pada pengelasan beda material. Pertama-tama pengujian komposisi kimia menggunakan standar ASTM A751-07 untuk mengetahui tipe material, kemudian, pengujian foto mikro dan makro menggunakan standar ASTM E407-07 untuk mengetahui sifat fisisnya. Parameter pengelasan yaitu dengan variasi arus (6000, 7000 dan 8000A), variasi waktu (0,2; 0,3; dan 0,4dt). Berdasarkan uji komposisi kimia, aluminium termasuk jenis aluminium paduan seri 6019, stainless steel termasuk martensite ferrite 430 dan zinc termasuk seri ZA-12. Pada pengujian makro menunjukkan kenaikan diameter logam las (nugget) seiring dengan kenaikan arus dan waktu. Selain itu, pengelasan dengan menggunakan filler zinc memiliki nugget yang lebih besar dari pada yang tidak menggunakan filler, dan juga nugget aluminium terlihat lebih besar dari pada stainless steel karena perbedaan konduktivitas. Pada pengujian mikro struktur, area HAZ terlihat butiran pada aluminium mengecil, tetapi butiran pada stainless steel membesar, itu terjadi karena karena proses pendinginan pada aluminium lebih cepat dari stainless steel. Sementara itu, di dalam nugget, butiran dari filler zinc hanya dapat bercampur dengan butiran aluminium. Sedangkan butiran stainless steel tidak dapat bercampur dengan aluminium maupun filler zinc.

Kata kunci : *Las titik, aluminium, stainless steel, filler zinc, nugget, HAZ*

Abstracts

Spot welding is a widely used in automotive manufacturing. A dissimilar spot welding is one of welding technology developments which can reduce the weight of vehicles. To join between aluminum and stainless steel, there is still difficult since they have different melting point . This research has been conducted by joining between aluminum with thickness 1,2 mm and stainless steel with thickness 1 mm, and puts 0,2 mm filler zinc in the middle of those parts. This study aims to describe the functions of a filler zinc in dissimilar spot welding. Firstly, chemical composition has been tested by using ASTM A751-0 to know type of the materials, macro and micro structure with ASTM E407-07 to know the physique. Then the parameters of welding are variety such current (6000, 7000, 8000 A) and weld time (0,2, 0,3, 0,4 s). Based on the chemical composition test, the type aluminum speciment is 6019 series, stainless steel is martensite ferrite 430 series, and zinc is ZA-12 series. In the macro structure test, it shows that the increasing of diameter nuggets are related of amount current and weld timing. Beside that, welding using filler zinc have nugget more larger than non-filler, and also its aluminum looks bigger to stainless steel because different conductivity. In the micro structure test, HAZ area shows grain on alumunum becomes smaller, but on the stainless steel the grain become bigger. It happens because a cooling process on alumunum is faster than stainless steel. Meanwhile in the nugget, the grain of a filler zinc can be mixed only with alumunum grain. However, the grain of stainless steel cannot be mixed with alumunum and filler zinc grain.

Keywords: *Spot welding, aluminium, stainless steel, filler zinc, nugget, HAZ*

1. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang Masalah

Perkembangan teknologi dalam bidang konstruksi semakin maju, baik di dalam perakitan maupun perawatan. Seiring kemajuan teknologi dalam bidang konstruksi, membuat kebutuhan pengelasan semakin dibutuhkan. Semakin luas penggunaan las mempengaruhi kebutuhan penggunaan teknologi las. Teknologi pengelasan sendiri terbagi dalam beberapa jenis, salah satunya adalah las titik (*spot welding*). Las titik merupakan teknologi las yang banyak digunakan di dalam industri untuk menyambung dua buah material berbentuk lembaran/pelat. Dalam industri otomotif, penggunaan las titik banyak digunakan untuk pengelasan bodi kendaraan yang merupakan material berbentuk lembaran/pelat. Tuntutan bagi perusahaan adalah bagaimana dapat menghasilkan produk yang berkualitas. Pemilihan material yang digunakan sebagai bahan baku harus berbentuk baik, mampu las, mampu diperbaiki, material itu juga harus ringan. Penggabungan material beda jenis dengan metode pengelasan titik sudah dilakukan oleh beberapa peneliti. Namun penggabungan beda material dengan menggunakan lembaran/pelat dengan ketebalan 1-2 mm dengan tambahan *filler* di tengah-tengah material yang berfungsi sebagai perantara material yang satu dengan material lainnya merupakan pengembangan dalam teknik pengelasan.

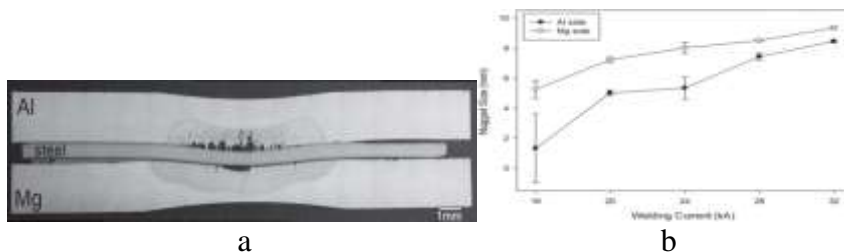
1.2 Tujuan

1. Mengidentifikasi komposisi kimia logam dari material *stainless steel* dan *aluminium*, serta *zinc* sebagai *filler* yang digunakan untuk penelitian.
2. Mendeskripsikan ukuran diameter *nugget* pada hasil pengelasan.
3. Mendeskripsikan hasil uji struktur makro.
4. Membandingkan pengaruh *filler* dalam pengelasan titik beda material terhadap struktur mikro di daerah terpengaruh panas (HAZ) dan daerah logam las.

1.3 Tinjauan Pustaka

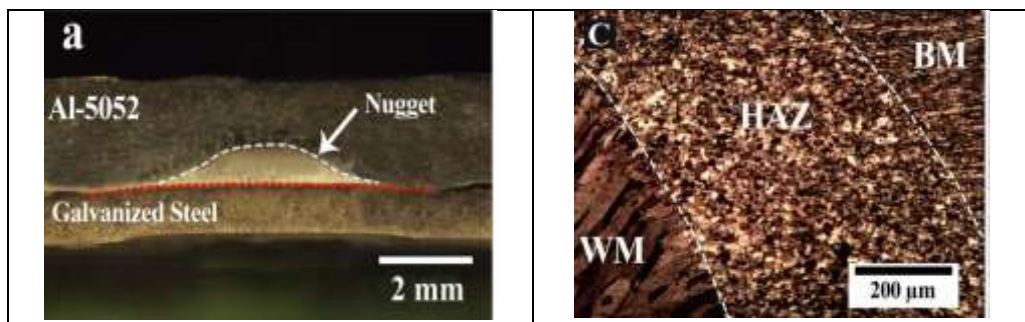
M Mazar Atabaki melaporkan bahwa ada baja yang bisa bergabung dengan *aluminium*. Dalam penelitian tersebut arus yang digunakan antara 5kA sampai 12kA dengan waktu 0,2s dan kekuatan penekanan sebesar 2kN. Pada daerah sekeliling lapisan tersebut tipis sedangkan di daerah tengah-tengah ikatan las, lapisan tersebut tebal. Celah retakan secara signifikan disebabkan paduan *aluminium* (A5052) di wilayah sekeliling las dan melalui reaksi di tengah-tengah las dari lapisan intermetalik dengan ketebalan 1,5 μm . sebuah perbandingan dibuat untuk lapisan reaksi yang terbentuk di antarmuka A5052/SUS304 dan antarmuka A5052/SPCC menunjukkan lapisan reaksi pada antarmuka A5052/SUS304 lebih tipis dibandingkan A5052/SPCC.

Penner, L. Liu, A. Gerlich, And Y. Zhou (2014) melakukan penelitian tentang pengelasan beda material menggunakan mesin las titik (*Spot Welding*). Material yang digunakan dalam penelitian tersebut adalah *Aluminium* paduan 5754 dengan *Magnesium* paduan AZ31B menggunakan *interlayer* berupa plat baja yang berlapis *Zinc*. Ukuran Al dan Mg 100 x 35 x 2 mm dan baja *galvanis* dengan tebal 0,7 mm lapisan Zn murni dengan tebal lapisan 0,25 mm dengan ukuran 20 x 20 mm. Parameter yang digunakan dalam pengelasan 16-32 kA, dengan *cyce time* 5, gaya pengelasan 4 kN diameter elektroda 50,8 mm. Hasil penelitian tersebut adalah lebar nugget dan kekerasan. Penelitian tersebut menyatakan bahwa arus berpengaruh terhadap lebar diameter logam las (*nugget aluminium*). Semakin besar arus, lebar diameter logam las (*nugget*) semakin besar pula Untuk struktur mikro menggunakan uji SEM.



Gambar 1 a. Hasil uji struktur makro **b.** Grafik pengaruh arus terhadap lebar *nugget*
(Penner, L. Liu, A. Gerlich, And Y. Zhou (2014))

M.R Arghafani, M. Movahedi dan A.H. Kokabi (2016) melakukan penelitian tentang las antara *aluminium-galvanis* dan antara *aluminium-baja karbon rendah* yang dilapisi *zinc*. Efek dari lapisan *zinc* pada stuktur mikro dan perlakuan mekanik pengelasan tanpa hambatan *aluminium-galvanis* dan *aluminium-baja karbon rendah*, hasil penelitian menunjukkan bahwa meskipun besar diameter *nugget aluminium-baja karbon* lebih besar, namun ketika lapisan *zinc* meleleh diameter antara keduanya hampir sama. Getaran pada pengelasan mengakibatkan *fragmentasi* dan penurunan senyawa intermetalik antar permukaan. Untuk *aluminium-galvanis* pada arus kurang dari 12 kA mempunyai kekuatan yang lebih besar dari *aluminium-baja karbon rendah*, namun sebaliknya untuk arus di atas 12 kA kekuatan *aluminium-galvanis* lebih rendah.



Gambar 2. Hasil uji struktur makro dan mikro (M.R Arghafani, M. Movahedi dan A.H. Kokabi (2016))

2. METODE

2.1 Alat

- Alat pengelasan : las titik (RSW) merk Dayok
- Alat bantu : alat ukur, mesin potong, tang, gergaji potong, cekam, kikir, *stop watch*, *resin*, *catalist*, ampelas, *hair dryer*, cairan *etsa*.
- Alat pengujian : alat uji komposisi kimia (*Spectrometer*) , mikroskop makro, mikroskop mikro.

2.2 Bahan

- Bahan penelitian : material plat *aluminium*, *stainless steel*, dan *filler zinc*.

2.3 Tempat penelitian

Tempat Penelitian : Laboratorium Material Politeknik Manufaktur (POLMAN) Ceper, Laboratorium Proses Produksi Teknik Mesin Universitas Muhammadiyah Surakarta dan Laboratorium Metalurgi Teknik Mesin Universitas Sebelas Maret.

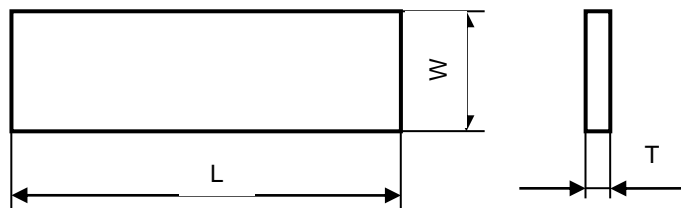
2.4 Langkah pengujian

Penelitian dilakukan menggunakan pengelasan las titik (*spot welding*) dengan tipe sambungan tumpang (*lap joint*). Spesimen dibagi menjadi 2 kelompok yaitu tanpa *filler* dan menggunakan *filler* dengan variasi parameter arus 6000; 7000; 8000 *Amphere* dan waktu pengelasan 0,2; 0,3; 0,4 detik.

a. Pengujian komposisi kimia

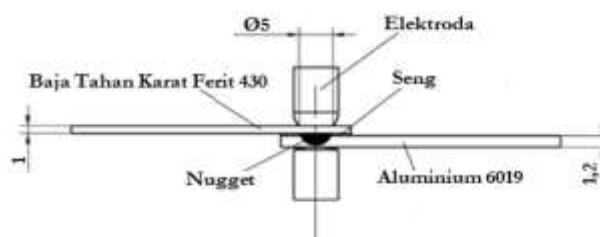
Pengujian komposisi kimia menggunakan standar ASTM A751-01.

b. Proses pengelasan



	Aluminium (mm)	Stainless Steel (mm)
T	1,2	1
W	25	25
L	100	100

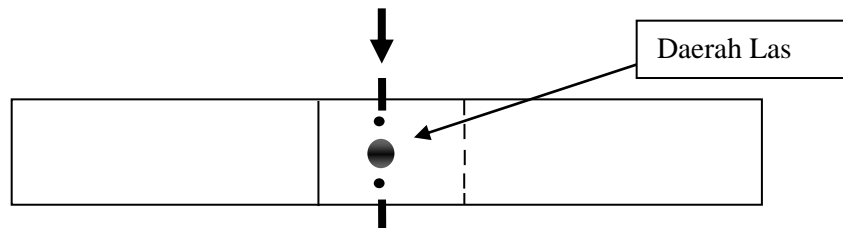
Gambar 3 . Pemotongan spesimen standar ASME QW 462.9



Gambar 4. Skema pengelasan titik

c. Pengujian metalografi

Pengujian metalografi dimanfaatkan untuk pengamatan struktur makro dan mikro menggunakan mikroskop. Perbesaran yang dipilih untuk foto makro adalah 25 X, sedangkan untuk foto mikro yaitu 100 X dan 240 X perbesaran.

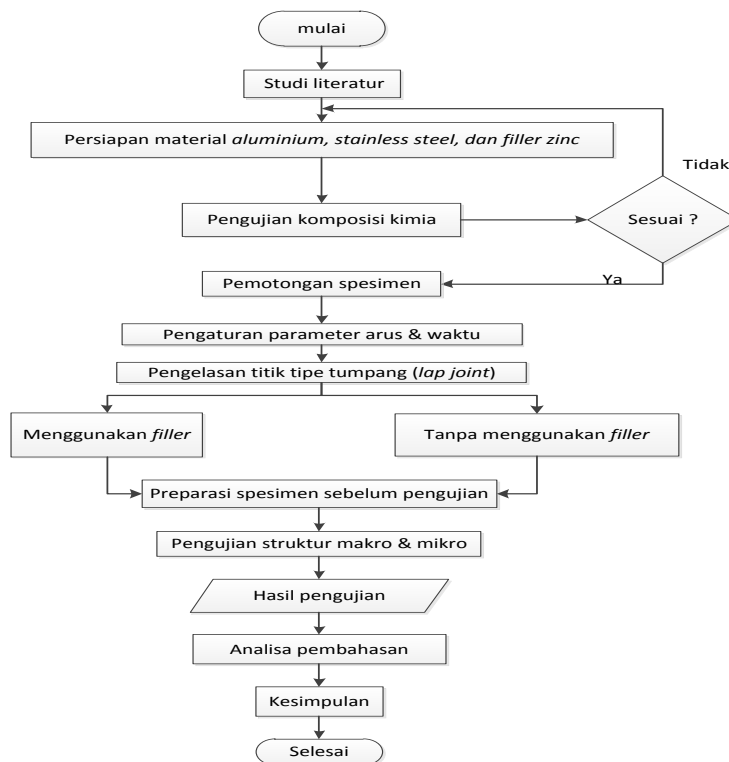


Gambar 5. Arah pemotongan spesimen



Gambar 6. Spesimen setelah dipotong dan di *mounting*

2.5 Diagram alir penelitian



Gambar 7. Diagram alir penelitian

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1. Uji komposisi kimia

Pengujian komposisi kimia dilakukan untuk mengetahui unsur kimia yang terdapat pada material dan memastikan jenis material yang digunakan untuk penelitian. Penelitian ini menggunakan material *aluminium*, *stainless steel* dan *zinc*. *Aluminium* dan *stainless steel* sebagai logam induk, *zinc* sebagai logam pengisi (*filler*). Pengujian menggunakan alat *spectrometer*. Pengujian dilakukan dengan menembakkan alat uji ke material sebanyak tiga kali, dari pengujian itu, komputer akan memunculkan unsur-unsur kimia yang terkandung dalam material tersebut dan di ambil nilai rata-rata. Berikut pemaparan hasil pengujian komposisi kimia *Aluminium*, *stainless steel* dan *zinc*.

Tabel 1. Hasil uji komposisi kimia *aluminium*

No	Unsur	Prosentase (%)
1	Al	97,97
2	Si	0,197
3	Fe	0,456
4	Cu	0,169
5	Mn	0,158
6	Zn	0,781
7	V	0,105
8	unsur lain	0,164
	Jumlah	100

Dari tabel 1 diketahui bahwa unsur-unsur yang terkandung merupakan jenis *aluminium* paduan. Unsur –unsur yang dominan yaitu Al =97,97%,Fe=0,456% dan Zn=0,781%, dari 3 unsur tersebut kita masukkan data ke dalam “*MatWeb Material Property Data*” , kita dapatkan jenis material *aluminium* tersebut termasuk seri 6xxx yaitu 6019.

Tabel 2. Hasil uji komposisi kimia *stainless steel*

No	Unsur	Prosentase (%)
1	Fe	82,0
2	C	0,0621
3	Si	0,389
4	Mn	0,638
5	Cr	16,0
6	Ni	0,255
7	Al	0,0366
8	W	0,117
9	unsur lain	0,502
	Jumlah	100

Dari pengujian *spectrometer* material *stainless steel* diperoleh hasil dengan prosentase tertinggi Fe= 82,0%, selain itu unsur yang dominan adalah Cr= 16,0%, sedangkan unsur paduan lainnya dibawah 1%. berdasarkan *ASM Handbook* vol 6 menggunakan *diagram schaeffler* dengan mencari % Cr dan % Ni, rumus tersebut yaitu :

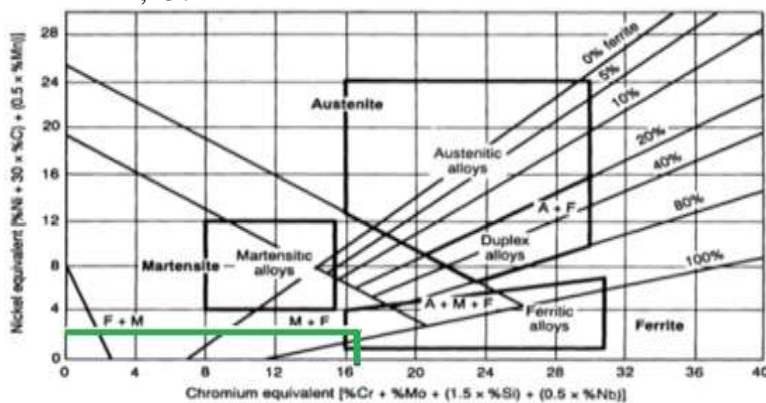
$$\text{Cr eq} = \% \text{Cr} + \% \text{Mo} + 1,5 \times \% \text{Si} + 0,5 \times \% \text{Nb}$$

$$\text{Ni eq} = \% \text{Ni} + 30 \times \% \text{C} + 0,5 \times \% \text{Mn}$$

Perhitungannya sebagai berikut,

$$\begin{aligned} \text{Cr eq} &= \% \text{Cr} + \% \text{Mo} + 1,5 \times \% \text{Si} + 0,5 \times \% \text{Nb} \\ &= 16,0 + 0,0672 + (1,5 \times 0,389) + (0,5 \times 0,0137) \\ &= 16,658 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Ni eq} &= \% \text{Ni} + 30 \times \% \text{C} + 0,5 \times \% \text{Mn} \\ &= 0,255 + (30 \times 0,0621) + (0,5 \times 0,638) \\ &= 2,437 \end{aligned}$$



Gambar 8. Diagram *schaeffler*

Tabel 4. Hasil uji komposisi kimia *zinc*

No	Unsur	Prosentase (%)
1	Zn	73,5
2	Al	12,5
3	Cd	>0,600
4	Fe	>2,00
5	Mn	>0,120
6	Pb	2,84
7	Sn	1,90
8	unsur lain	6,34
	jumlah	100

Dari hasil uji komposisi kimia *zinc*, unsur yang mendominasi adalah Zn yaitu sebanyak 73,5 %, Al sebanyak 12,5% dan Pb sebanyak 2,84%. Berdasarkan "*MatWeb Material Property Data*", material tersebut termasuk *zinc* paduan seri

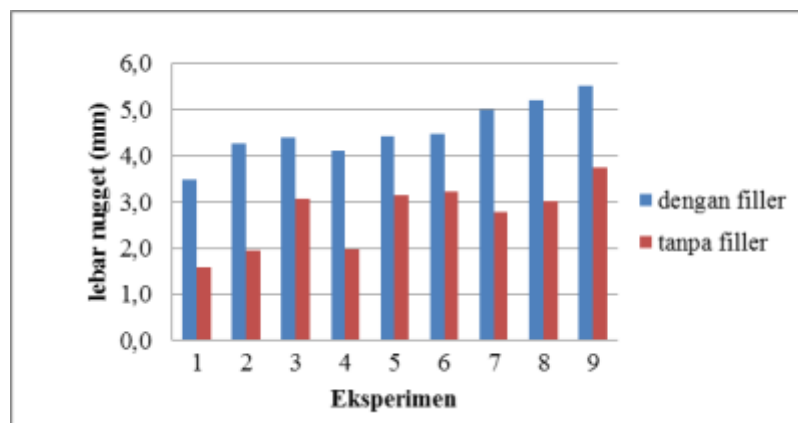
ZA-12. Material jenis ini merupakan material yang memiliki kekuatan pembebanan besar.

3.2. Pengujian Metalografi

Pengujian metalografi dilakukan untuk mengetahui sifat fisis suatu material. Sifat fisis tersebut terbagi atas daerah logam induk (*Base Metal*), logam las (*Nugget*), dan daerah terpengaruh panas (*Heat Affective Zone*). Uji struktur makro untuk mengetahui diameter daerah las, sedangkan uji foto mikro untuk mengetahui daerah HAZ dan logam induknya. Pengambilan gambar menggunakan mikroskop *Olympus SZX7* dengan pembesaran 25x. sedangkan untuk pengambilan foto mikro menggunakan mikroskop mikro dengan pembesaran 100-200x. Berikut hasil uji metalografi untuk las beda material *aluminium* dan *stainless steel* dengan menggunakan *filler* dan *nonfiller*.

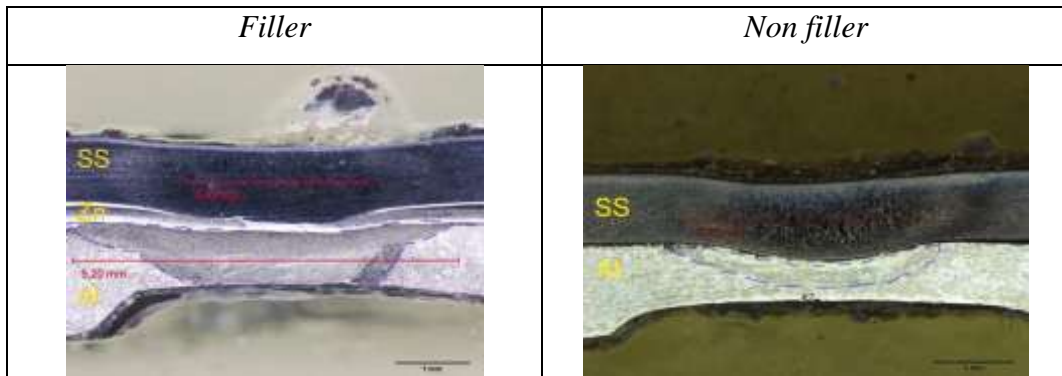
Tabel 5. Pengaruh arus dan waktu pada lebar *nugget*

Eksperimen	Arus (Ampere)	Waktu (detik)	Lebar <i>Nugget</i>			
			Dengan <i>Filler</i> (mm)		Tanpa <i>Filler</i> (mm)	
			Al	SS	Al	SS
1	6000	0.2	3.49	2.74	1.58	-
2		0.3	4.28	2.22	1.95	-
3		0.4	4.41	2.88	3.08	-
4	7000	0.2	4.11	2.21	1.98	-
5		0.3	4.42	2.60	3.15	-
6		0.4	4.47	2.97	3.24	-
7	8000	0.2	5.01	2.68	2.79	-
8		0.3	5.2	2.45	3.03	-
9		0.4	5.52	2.63	3.75	-



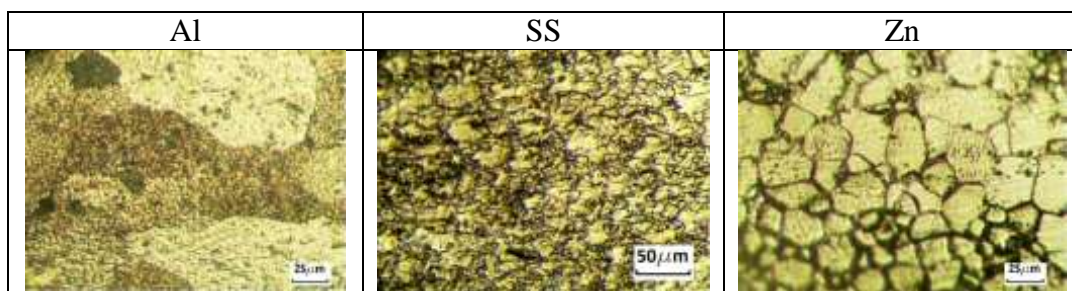
Gambar 9. Histogram pengaruh arus dan waktu terhadap lebar *nugget aluminium*

Gambar 9 menunjukkan bahwa variasi arus dan waktu berpengaruh terhadap lebar diameter *nugget*. Hal ini sesuai dengan rumus $H = I^2 R \cdot t$, bahwa semakin besar arus (I) dan semakin lama waktu (t) maka semakin besar pula masukkan panas yang terjadi. Hal ini juga pernah diteliti oleh P Penner dkk (2012) bahwa semakin besar arus, maka semakin besar pula lebar diameter *nugget*.



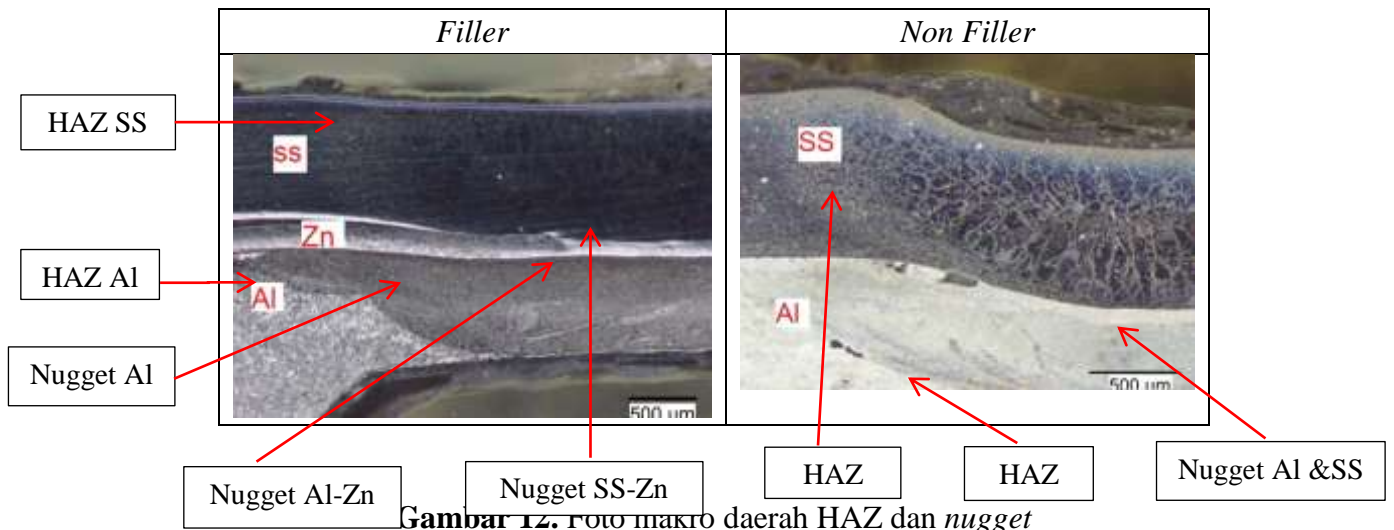
Gambar 10. Perbandingan foto makro *filler* dan *non filler*

Dari gambar 10 menunjukkan lebar diameter *nugget aluminium* tampak lebih besar daripada *stainless steel*. Penelitian sebelumnya, Arghafani dkk (2016) menyatakan bahwa lembaran *aluminium* dengan lapisan *zinc* meleleh lebih besar pada pengelasan baja karbon daripada dengan *galvanis* saat pengelasan dan membentuk *nugget* karena melelehnya logam *zinc* terhadap *aluminium*. Hal ini juga berkaitan dengan titik lebur *aluminium* lebih kecil daripada titik lebur *stainless steel*. Sambungan pada daerah *nugget* pada las dengan menggunakan *filler* lebih besar dibandingkan dengan *non filler*. Dari gambar 10 terlihat bahwa lebar diameter *nugget aluminium* pada pengelasan menggunakan *filler* yaitu sebesar 5,20 mm, sedangkan *non filler* sebesar 3,03 mm. *Aluminium* cenderung meleleh sedangkan *stainless steel* terlihat tidak meleleh.

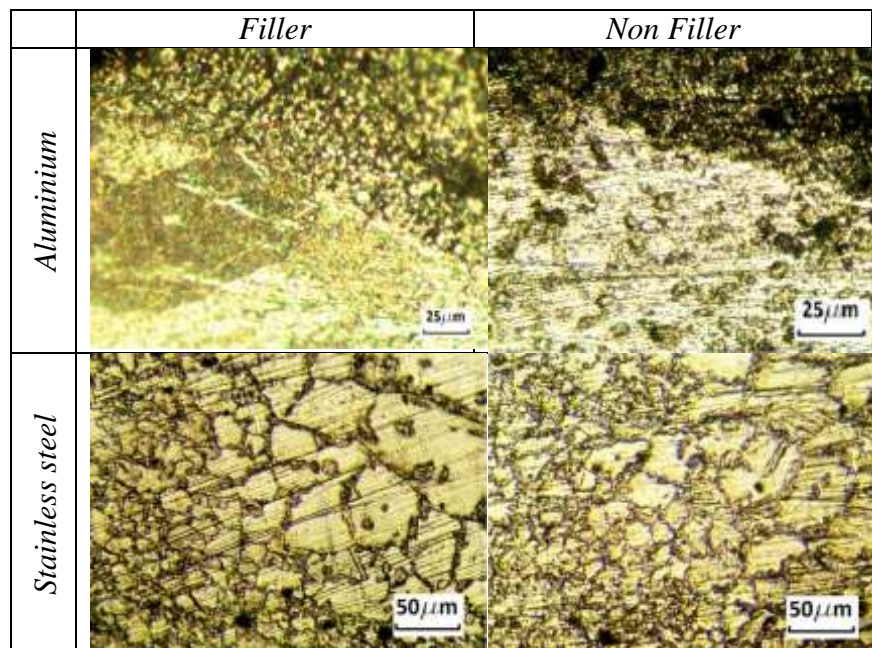


Gambar 11. Logam Induk (*base metal*) spesimen uji

Gambar 11 merupakan gambar yang diambil pada spesimen uji. Mikrostruktur pada spesimen sudah mendekati dan sesuai dengan ASM Handbook Vol 9.



Gambar 12. Foto makro daerah HAZ dan nugget

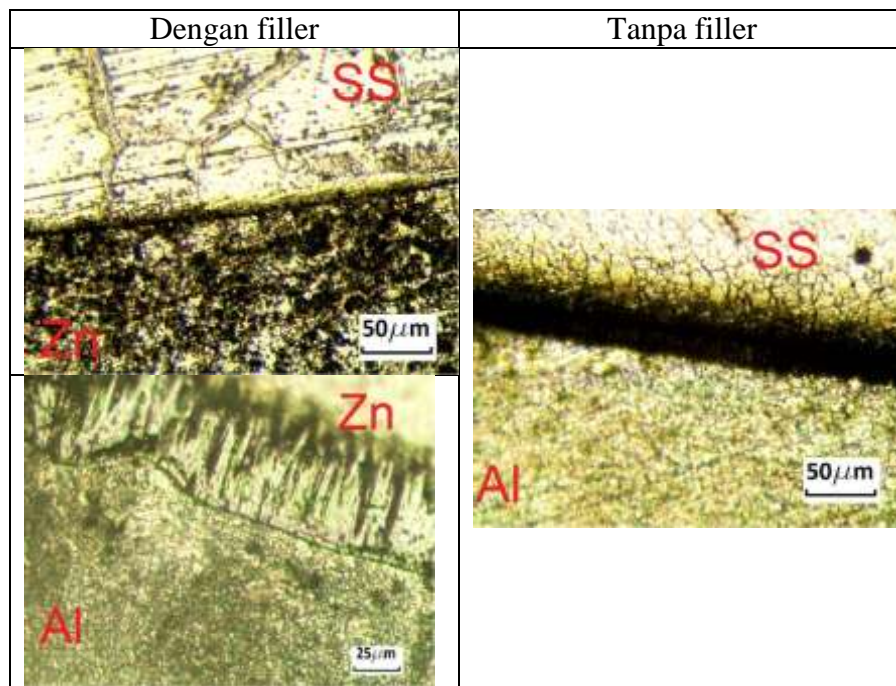


Gambar 13. Hasil penelitian daerah HAZ

Perubahan daerah HAZ dari data diatas yang menggunakan *filler* maupun *nonfiller* nampak berbeda. Pada las yang menggunakan *filler* nampak daerah logam lasnya melebur dengan butiran kecil. Pada material *aluminium* perubahan

butiran dari logam induk ke logam las semakin kecil. Butiran-butiran yang mengalami perubahan pada daerah dengan *filler* nampak lebih kecil dibandingkan daerah *non filler*. Sedangkan pada *stainless steel*, pada daerah yang menggunakan *filler* butiran berubah menjadi besar dari logam induk, pada las non *filler* butiran juga berubah menjadi besar. Hal ini disebabkan hambatan dari *filler zinc* yang ada pada daerah *filler*. Sementara pada daerah tanpa *filler* tidak ada hambatan *zinc*.

Ada tiga zona pada daerah logam las, zona tersebut yaitu zona SS-Zn, Zn-Al dan SS-Al. dari gambar di atas terlihat bahwa zona paling baik dalam peleburan yaitu pada Zn-Al.



Gambar 14. Data hasil penelitian daerah logam las

Daerah logam las pada sambungan *aluminium* dengan *stainless steel* menggunakan *filler* dan *nonfiller* pada gambar tidak menempel sempurna. Hal ini dikarenakan besar konduktivitas material yang berbeda. Pada material *aluminium* dan *zinc* membentuk lapisan seperti jarum. Dari penelitian sebelumnya Aghafani dkk (2014) menyatakan *aluminium* dan *zinc* membentuk lapisan Al-Fe. Daerah *nugget aluminium* membentuk butiran yang halus yang diakibatkan rekristalisasi yang sempurna. Batas butiran logam las *aluminium* yang menggunakan *filler zinc*

lebih banyak dibandingkan dengan *nonfiller zinc*. Sedangkan untuk *stainless steel*, batas butiran untuk yang tanpa menggunakan *filler zinc* lebih kecil daripada *non filler zinc*. Namun pencampuran material terlihat lebih baik yang menggunakan *filler* daripada *non filler*.

4. PENUTUP

4.1 KESIMPULAN

Berdasarkan analisa data dan pembahasan, maka dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut :

- a. Hasil uji komposisi kimia pada *aluminium* menunjukkan bahwa *aluminium* tersebut merupakan seri 6019 (campuran Al-Mg-Si), untuk hasil uji komposisi kimia *stainless steel* termasuk dalam kategori *martensit+ferrit*, yaitu seri 430 *ferritic alloy*, sedangkan untuk uji komposisi *zinc* termasuk *zinc* paduan seri ZA-12.
- b. Setiap kenaikan arus dan waktu, lebar diameter logam las meningkat. Pada pengelasan menggunakan *filler*, *nugget* lebih besar dibandingkan *nonfiller*.
- c. Material *aluminium* dan *filler zinc* cenderung meleleh, sedangkan untuk *stainless steel* tidak meleleh namun terjadi perubahan butiran.
- d. Hasil pengujian mikro, butiran pada daerah HAZ *aluminium* berubah kecil, sedangkan pada *stainless steel stainless steel* menjadi besar, karena konduktivitas *aluminium* lebih besar daripada *stainless steel*. Butiran *filler zinc* hanya dapat bercampur dengan butiran *aluminium*, sedangkan butiran *stainless steel* tidak dapat bercampur dengan *aluminium* maupun *filler zinc*.

4.2 SARAN

Penelitian mengenai pengelasan beda material perlu dikembangkan lagi, dengan material sama seperti penelitian ini dapat dikembangkan lebih luas dengan parameter yang berbeda-beda, bisa juga dengan parameter yang sama namun material yang berbeda. Untuk hasil penelitian yang optimal, alat-alat pendukung juga harus lebih baik.

4.3 PERSANTUNAN

Puji syukur alhamdulillah, penulis panjatkan kehadirat Allah SWT atas berkah, rahmat dan hidayahnya, sehingga penyusunan laporan tugas akhir dapat terselesaikan.

Tugas akhir berjudul “ANALISA METALOGRAFI PENGARUH *FILLER ZINC* PADA PENGELASAN TITIK BEDA MATERIAL *ALUMINIUM* DAN *STAINLESS STEEL*” dapat diselesaikan atas dukungan dari beberapa pihak. Untuk itu pada kesempatan ini, penulis menyampaikan rasa terima kasih sebesar-besarnya kepada:

1. Allah SWT, atas segala limpahan rahmatnya sehingga penulis dapat menyelesaikan laporan Tugas Akhir ini.
2. Kedua orang tua tersayang yang senantiasa mendo'akan yang terbaik untuk kami putra-putranya sehingga kami bisa sampai seperti ini.
3. Bapak Ir. Sri Sunarjono, MT., Ph.D selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Surakarta.
4. Bapak Tri Widodo Besar R, ST.,MSc.,Ph.D selaku Ketua Jurusan Teknik Mesin Universitas Muhammadiyah Surakarta.
5. Bapak Muh. Alfatih Hendrawan, S.T.,M.T. selaku Dosen Pembimbing utama Tugas Akhir yang telah banyak memberikan arahan, bimbingan serta semangat kepada penulis.
6. Bapak Patna Partono, S.T.,M.T. selaku Dosen Pembimbing pendamping Tugas Akhir yang telah banyak memberikan arahan dan bimbingan kepada penulis.
7. Bapak Agus Yulianto,S.T.,M.T. selaku Dosen penguji Tugas Akhir yang telah banyak memberikan arahan kepada penulis.
8. Bapak Nur Aklis, ST.,M.Eng selaku Dosen Pembimbing Akademik yang memberikan arahan dan semangat kepada penulis
9. Sahabat dan rekan-rekan Teknik Mesin khususnya angkatan 2012 dan semua pihak yang telah membantu dalam penelitian penulisan Laporan Tugas Akhir ini baik moril maupun materiil.

DAFTAR PUSTAKA

- Arghavani, M. dkk. (2016). *Role of zinc layer in resistance spot welding of aluminium to steel*. doi: [10.1016/j.matdes.2016.04.033](https://doi.org/10.1016/j.matdes.2016.04.033). Department of Materials Science and Engineering, Sharif University of Technology, P.O. Box 11365-9466, Azadi Ave., Tehran, Iran.
- Firdaus Royan, 2014, *Studi Metalografi Pengaruh Arus Dan Waktu Pengelasan Sambungan Las Titik Logam Tak Sejenis* (Desember 2014). Teknik Mesin UMS.
- M Mazar Atabaki, M. Nikodinovski, P. Chenier, R. Kovacevic. 2013. “*Welding of aluminum alloys to steels: an overview*”. Research Center for Advanced Manufacturing and Technology, Southern Methodist University, 6425 Boaz Lane, Dallas, TX, 75205
- P. Penner, L. Liu, A. Gerlich, and Y. Zhou, 2014, Dissimilar Spot Welding Of Aluminium to Magnesium With Zn-Coated Steel interlayers: *Welding Journal vol 93: 225-s – 231-s*
- R. Balasundaram, V.K. Patel, S.D. Bhole and D.L. Chen, 2014, *Effect of zinc interlayer on ultrasonic spot welded aluminum-to-copper joints* : Materials Science & Engineering A, Department of Mechanical and Industrial Engineering, Ryerson University, 350 Victoria Street, Toronto, Ontario M5B 2K3, Canada
- Salim dan Triyono, 2012, *Kekuatan Tarik dan Geser Dengan Pengelasan Resistance Spot Welding (RSW) Antara Baja Karbon Rendah Dengan Aluminium*. Teknik Mesin UNS.
- Surdia. T, dan Saito. S, 2005, *Pengetahuan Bahan Teknik*, cetakan keenam, Pradnya pramita, Jakarta
- Wirjosumarto, H. dan T. Okumura, 2000, *Teknologi Pengelasan Logam*, cetakan kedelapan, Pradnya pramita, Jakarta