

## STUDI LAPISAN INTERMETALIK $\text{Cu}_3\text{Sn}$ PADA UJUNG ELEKTRODA DALAM PENGELASAN TITIK BAJA GALVANIS

Muhammad Anis, Aulia Irsyadi, dan Deni Ferdian<sup>\*)</sup>

Departemen Metalurgi dan Material, Fakultas Teknik, Universitas Indonesia, Depok 16424, Indonesia

<sup>\*)</sup>E-mail: deni@metal.ui.ac.id

---

### Abstrak

Pengelasan titik (*resistance spot welding*) merupakan salah satu aplikasi pengelasan yang banyak dipergunakan didalam dunia otomotif. Pada proses pengelasan titik, elektroda sangat berperan sebagai penghantar arus untuk menyambung material yang umumnya berupa lembaran baja tipis. Penelitian yang dilakukan ini bertujuan untuk mengkaji pengaruh lapisan tipis timah putih (Sn) berbentuk lapisan intermetalik  $\text{Cu}_3\text{Sn}$  di bagian ujung elektroda (*electrode tip*) dalam aplikasi pengelasan titik baja galvanis. Variabel utama yang diberikan pada penelitian ini adalah beda ketebalan lapisan tersebut. Hasil pengamatan dan pengujian menunjukkan bahwa pemberian lapisan intermetalik  $\text{Cu}_3\text{Sn}$  pada ujung elektroda dengan ketebalan terbatas, khusus dalam penelitian ini kurang dari 1  $\mu\text{m}$ , menghasilkan kuat tarik geser dan ukuran diameter *nugget* yang relatif sama (*comparable*) dengan nilai kuat tarik geser hasil las menggunakan elektroda tanpa lapisan intermetalik  $\text{Cu}_3\text{Sn}$ .

### Abstract

**Intermetallic  $\text{Cu}_3\text{Sn}$  Phase Layer on Electrode's Tip of Galvanized Resistance Spot Welding.** A resistance spot welding method is commonly used in automotive industries application. In a resistance spot welding method, the copper electrode has a significant role as an electric current carrier for joining thin metal sheet. This research was focused on studying the effect of tin layer at the electrode tip for joining galvanized steel sheet. The main variable of this research is in the thickness of the intermetallic  $\text{Cu}_3\text{Sn}$  layer. The result showed that the introduction of tin layer less than 1  $\mu\text{m}$  in thickness on the electrode tip gives a comparable shear strength and nugget diameter distribution with the unplated electrode tip.

*Keywords: intermetallic  $\text{Cu}_3\text{Sn}$ , shear strength and nugget diameter, spot welding*

---

### 1. Pendahuluan

Pada industri manufaktur di mana industri otomotif merupakan salah satunya, pengelasan titik (*spot resistance welding*) banyak diaplikasikan untuk menyambung antar material yang berbentuk lembaran. Pengelasan titik sendiri sudah ada sejak tahun 1950-an, dan setiap kendaraan diperkirakan memiliki lebih dari 2000 sambungan las titik [1]. Pengelasan titik memiliki keunggulan dari sudut pandang ekonomi, di mana dapat diaplikasikan pada berbagai jenis material logam dan memiliki waktu siklus proses yang singkat [2]. Proses pengelasan titik sendiri merupakan suatu proses yang kompleks, melibatkan interaksi elektrik, panas, mekanik dan fenomena metalurgi, di mana setiap parameter proses memiliki pengaruh terhadap kualitas dan karakteristik hasil lasan [3-5]. Masalah yang sering

dihadapi pada metode ini adalah kualitas hasil las atau *nugget* yang terbentuk. Kualitas las tersebut dipengaruhi oleh beberapa faktor seperti kualitas permukaan logam dan perubahan dimensi (deformasi) dari elektroda yang digunakan seperti mengalami keausan [6-8]. Metode pengelasan ini menggunakan elektroda sebagai penghantar arus listrik yang terbuat dari paduan tembaga. Umumnya, elektroda logam tembaga tersebut dipadukan dengan logam lain untuk meningkatkan kekuatan mekanisnya.

Lembaran baja lapis seng merupakan salah satu jenis material yang banyak digunakan pada industri otomotif. Proses fabrikasinya banyak menggunakan teknologi pengelasan titik. Penelitian oleh Gedeon dan Edgar [9] terhadap variasi material dan modifikasi proses agar memperoleh kondisi yang tepat untuk pengelasan titik

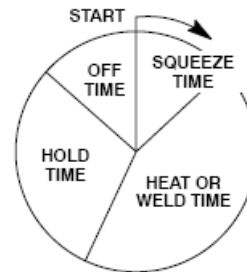
menunjukkan bahwa baja dengan lapisan seng yang lebih tipis memiliki rentang kondisi aplikasi yang lebih baik dibandingkan dengan baja galvanis penuh.

Pada industri sepeda motor, metoda las titik ini digunakan untuk melengkapi pembuatan tangki bahan bakar yang terbuat dari baja karbon rendah berlapis seng (Zn) pada salah satu sisinya. Pengelasan titik dilakukan untuk penyatuan bagian atas (*cup*) dan bawah (*drag*) tangki tersebut, sebelum kemudian dilanjutkan dengan proses pengelasan *seam*. Elektroda yang digunakan adalah paduan tembaga dengan kromium (Cu-Cr) dari kelas RWMA II. Untuk memperoleh hasil pengelasan yang baik, dilakukan proses pengikiran ujung elektroda, umumnya setelah 40 kali pengelasan, sebagai upaya mengembalikan diameter ujung elektroda agar dihasilkan ukuran *nugget* yang diinginkan. Hal ini terjadi akibat dari proses abrasi dan deformasi pada elektroda yang terjadi selama proses pengelasan.

Pada las tahanan listrik, logam yang akan disambung umumnya berbentuk lembaran (*sheet*), disusun dalam konfigurasi sambungan tumpang (*lap joint*) dan sambungan tumpul (*butt joint*). Kedua lembaran logam tersebut ditekan satu sama lain menggunakan elektroda dan pada saat yang sama arus listrik dialirkan sehingga permukaan yang kontak dengan elektroda menjadi panas karena adanya tahanan listrik kemudian mencair. Teknik las tahanan listrik berkembang secara konstan dari tahun ke tahun baik penggunaannya pada industri konvensional hingga industri teknologi tinggi. Ini dikarenakan keunggulan teknik las tahanan listrik dibandingkan dengan teknik pengelasan lainnya yaitu; prosesnya cepat sehingga cocok untuk produksi massal, suplai panas yang diberikan cukup akurat dan reguler, sifat mekanik hasil las kompetitif dengan logam induk, dan tidak memerlukan kawat las. Namun demikian, peralatan untuk teknik pengelasan tahanan listrik relatif mahal dan pemakaiannya terbatas untuk logam-logam yang tahanan listriknya besar.

Rangkaian proses las tahanan listrik pertama-tama harus diciptakan panas yang cukup untuk membuat sejumlah tertentu logam dalam keadaan cair. Kemudian, logam cair ini didinginkan dalam pengaruh tekanan hingga timbul kekuatan yang cukup untuk menyatukan dua lembaran yang dilas. Kerapatan arus dan tekanan yang diberikan sedemikian rupa hingga terbentuk *nugget*, tetapi tidak terlalu tinggi yang dapat menyebabkan cairan logam terlempar dari daerah las. Lamanya arus yang diberikan cukup singkat untuk menghindari pemanasan yang berlebihan yang diterima elektroda. Karena terbatasnya waktu pengelasan maka arus yang diberikan untuk menciptakan panas yang diperlukan harus besar.

Las titik (*spot welding*) termasuk las tahanan listrik. Jenis ini merupakan metode yang paling banyak diguna-



Gambar 1. Siklus Las Titik [10]

kan dan paling sederhana. Konsentrasi arus ditentukan oleh luas kontak antara elektroda dan benda kerja, dan jelas bahwa ukuran lasan atau *nugget* dari logam yang mencair sangat berkaitan dengan luas kontak ini. Kuat geser *nugget* umumnya harus cukup dapat menjamin bahwa bila sambungan diberi tegangan hingga putus maka putus terjadi pada lembaran mengelilingi *nugget*.

Sebelum, selama dan sesudah pemakaian arus, selalu digunakan gaya tekan (yang berasal dari elektroda) untuk mencegah terjadinya nyala pada bidang selain tempat (titik) yang akan dilas. Selain itu elektroda berfungsi sebagai pendistribusi arus listrik ke logam yang akan dilas. Dalam pengelasan titik dikenal siklus las (Gambar 1) yang terdiri atas empat siklus [10]:

- Squeeze Time*, selang waktu antara awal pemberian gaya (penekanan) pada logam dasar sampai pemberian arus.
- Weld Time*, selang waktu pemberian arus ke benda kerja dengan gaya elektroda konstan.
- Hold Time*, waktu pemberian gaya elektroda konstan pada titik hasil las (*nugget*) di mana arus sudah tidak mengalir. Saat ini *nugget* las membeku, sampai memiliki kekuatan yang cukup.
- Off Time*, waktu elektroda tidak bekerja pada logam induk dan siap pada lokasi las lainnya.

## 2. Metode Penelitian

Penelitian yang dilakukan ini bertujuan untuk meningkatkan kinerja permukaan kontak elektroda las titik, yang pada gilirannya akan meningkatkan produktifitas melalui peningkatan umur elektroda tersebut. Cara yang ditempuh disini adalah dengan memberikan lapisan timah putih dalam bentuk lapisan intermetalik  $Cu_3Sn$  [11] pada permukaan kontak elektroda. Penggunaan lapisan timah sebagai pelindung pada komponen Tembaga sudah dilakukan pada industri elektronik sebagai pengganti solder Pb-Sn [12].

Bagian ujung sampel elektroda yang akan dilapis timah putih digerinda untuk menghilangkan oksida. Kemudian, ujung elektroda tersebut dicelupkan kedalam Sn cair (99% Sn) dan di tahan selama 60 detik. Selanjutnya, elektroda dipanggang dalam dapur pada

temperatur 200°C dengan variasi waktu 15 menit, 45 menit, dan 125 menit. Hasil yang diharapkan adalah terbentuknya lapisan intermetalik Cu<sub>3</sub>Sn pada ujung elektroda dengan ketebalan yang berbeda (Tabel 1).

Selanjutnya, keempat elektroda tersebut (elektroda A, B, C dan D) digunakan untuk proses pengelasan titik dengan parameter las yang konstan [10]. Material yang digunakan adalah baja karbon rendah dengan lapisan seng pada salah satu sisinya, dan memiliki komposisi kimia sebagaimana dapat dilihat pada Tabel 2. Spesifikasi elektroda yang digunakan adalah paduan Cu-Cr, dengan komposisi seperti yang terlihat dalam Tabel 3.

Dimensi sampel lembaran baja lapis seng adalah 74 x 19 x 0,8 mm. Setelah proses persiapan sampel selesai, dilakukan proses pengelasan titik dengan pengambilan sampel uji setiap 50 kali pengelasan. Kemudian, dilakukan pengujian mekanis uji tarik geser dan pengukuran diameter *nugget* terhadap sampel uji hasil pengelasan. Selain itu, juga dilakukan pengamatan visual terhadap permukaan elektroda setelah proses pengelasan.

**Tabel 1. Sampel Elektroda yang Digunakan dalam Proses Las Titik**

	Proses	Tebal lapisan
Elektroda A	dipanggang 200°C 15 menit	~ 0,5 µm
Elektroda B	dipanggang 200°C 45 menit	~ 0,9 µm
Elektroda C	dipanggang 200°C 125 menit	~ 1,5 µm
Elektroda D	Tanpa lapisan intermetalik	

**Tabel 2. Komposisi (% Berat) Baja Karbon yang Digunakan dalam Penelitian**

C	Si	Mn	P	S	Kandungan lapisan Zn	Tebal material
0,1	0	0,06	0,09	0,07	20 gr/m <sup>2</sup>	0,8 mm

**Tabel 3. Spesifikasi Elektroda Las yang Digunakan dalam Pengelasan Titik**

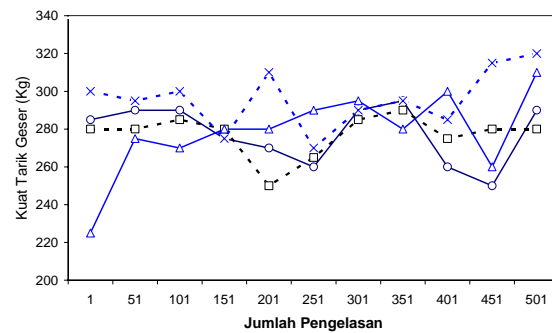
Spesifikasi	Elektroda CuCr
UTS (MPa)	350
Yield (MPa)	250
Densitas	8.9
Kekerasan, Rockwell	70B
Konduktifitas Elektrik	75-80% IACS

### 3. Hasil dan Pembahasan

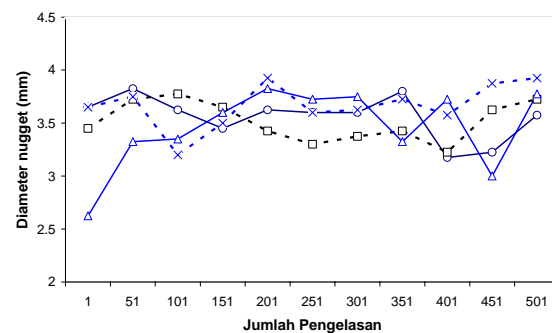
Hasil uji tarik geser hasil pengelasan titik lembaran baja lapis seng menggunakan elektroda A, B, C, dan D ditunjukkan pada Gambar 2, sedangkan hasil pengukuran diameter *nugget*nya ditunjukkan pada Gambar 3.

Gambar 2 memperlihatkan bahwa nilai kuat tarik geser hasil las titik dengan elektroda tanpa lapis Sn (elektroda D) relatif dapat dibandingkan dengan nilai kuat tarik geser hasil las menggunakan elektroda A dan B, sedangkan nilai kuat tarik geser hasil las menggunakan elektroda C relatif lebih rendah. Lebih rendahnya nilai kuat tarik geser hasil las titik menggunakan elektroda C dikarenakan kurang optimalnya kontak area antara elektroda dengan lembaran baja yang dilas sehingga energi panas yang ditimbulkan pada area sambungan menjadi relatif lebih kecil. Hal ini juga didukung dengan ukuran diameter *nugget* hasil las titik menggunakan elektroda C yang dapat dikatakan relatif lebih kecil sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 3.

Bila diperhatikan Gambar 4, nilai kuat tarik geser hasil las dengan menggunakan elektroda A, B dan D memperlihatkan nilai kuat tarik geser yang relatif lebih



**Gambar 2. Kuat Tarik Geser Hasil Las Titik Menggunakan Elektroda A (o), B (□), C (Δ), dan D (x).**

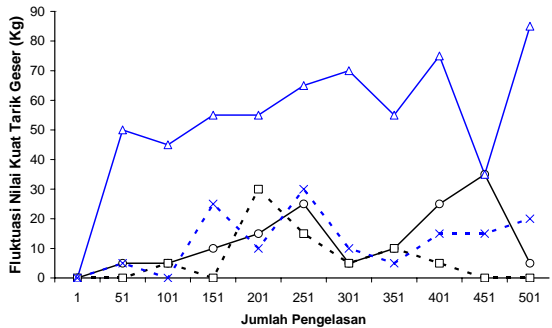


**Gambar 3. Diameter Nugget Hasil Las Titik Menggunakan Elektroda A (o), B (□), C (Δ), dan D (x).**

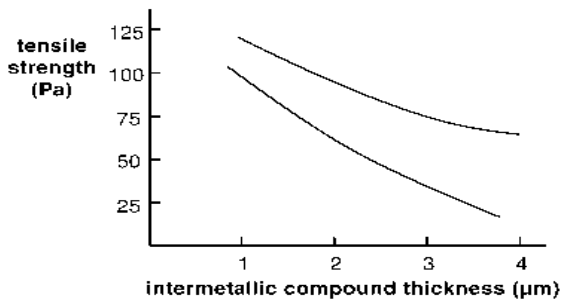
kecil fluktuasinya (lebih stabil) seiring dengan meningkatnya jumlah pengelasan titik yang dilakukan dibandingkan dengan elektroda C.

Gambar 4 terlihat bahwa nilai kuat tarik geser hasil las menggunakan elektroda C selain nilai kuat tarik gesernya yang rendah, juga memiliki ketidak stabilan yang tinggi dibandingkan dengan ketiga elektroda lainnya. Nilai kuat tarik geser hasil pengelasan titik sangat dipengaruhi oleh besarnya diameter *nugget* yang terbentuk.

Ada tiga variabel penting dalam teknik pengelasan resistansi listrik, yaitu: (i) tahanan listrik, (ii) tekanan elektroda, dan (iii) arus dan waktu. Tahanan listrik terdiri dari: (i) tahanan listrik baja galvanis, tahanan listrik pada permukaan kontak antar baja galvanis yang saling kontak, dan tahanan listrik pada permukaan kontak antara elektroda dengan baja galvanis. Untuk pengelasan tahanan listrik diharapkan tahanan listrik terbesar berada pada permukaan antar baja galvanis yang saling kontak sedangkan tahanan listrik lainnya harus sekecil mungkin yaitu dengan menggunakan material yang memiliki konduktifitas tinggi. Kehadiran



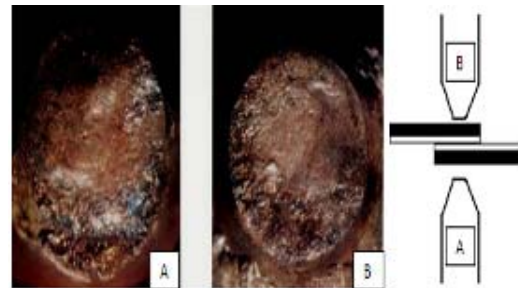
Gambar 4. Kestabilan Nilai Kuat Tarik Geser Hasil Las Titik Menggunakan Elektroda A (o), B (□), C (Δ), dan D (x). (Catatan: Nilai pada gambar merupakan perbedaan nilai kuat tarik geser pada jumlah pengelasan tertentu dengan nilai pada awal pengelasan dilakukan)



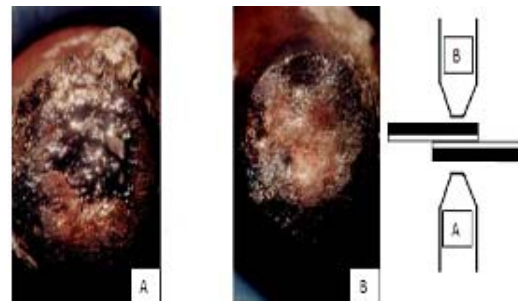
Gambar 5. Hubungan antara Kekuatan Tarik dengan Ketebalan Senyawa Intermetalik [13]

lapisan intermetalik  $Cu_3Sn$  tentunya akan meningkatkan tahanan listrik pada area kontak antara elektroda dengan baja galvanis sehingga total energi listrik untuk tujuan pengelasan berkurang dan akibatnya diameter *nugget* yang terbentuk lebih kecil.

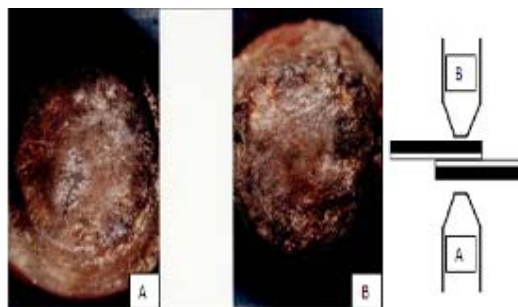
Rendahnya nilai kuat tarik geser hasil las titik menggunakan elektroda C sangat terkait dengan ketebalan lapisan intermetalik  $Cu_3Sn$  yang terbentuk. Berdasarkan Gambar 5, kuat tarik lapisan intermetalik makin rendah dengan makin tebalnya lapisan.



Gambar 6. Makro Elektroda A Setelah 501 Kali Pengelasan Titik (A. Elektroda Bawah, B. Elektroda Atas)



Gambar 7. Makro Elektroda B Setelah 501 Kali Pengelasan Titik (A. Elektroda Bawah, B. Elektroda Atas)



Gambar 8. Makro Elektroda C Setelah 501 Kali Pengelasan Titik (A. Elektroda Bawah, B. Elektroda Atas)

Rendahnya kuat tarik lapisan ini tidak mampu menahan beban tekan selama proses pengelasan titik berlangsung sehingga pada jumlah pengelasan tertentu lapisan ini sangat rentan terjadi retak dan akan menyebabkan terlepasnya lapisan  $\text{Cu}_3\text{Sn}$ .

#### 4. Simpulan

Penggunaan lapisan intermetallic  $\text{Cu}_3\text{Sn}$  pada elektroda akan meningkatkan umur pakai dari elektroda tembaga. Hasil pemberian lapisan intermetalik  $\text{Cu}_3\text{Sn}$  pada ujung elektroda dengan ketebalan terbatas, khusus dalam penelitian ini kurang dari  $1 \mu\text{m}$  menghasilkan diameter nugget yang relatif lebih stabil. Selain itu dihasilkan pula kuat tarik geser dan ukuran diameter *nugget* yang relatif sama (*comparable*) dengan nilai kuat tarik geser hasil las menggunakan elektroda tanpa lapisan intermetalik  $\text{Cu}_3\text{Sn}$ .

#### Daftar Acuan

- [1] Y.J. Chad, Failure of Spot Weld: A competition between crack mechanics and plastic collapse, Recent Advances in Experimental Mechanics, Gdoutos E.E, Springer, Netherland, 2004, p 245.
- [2] M. El-Banna, D. Filev, R.B. Chinnam, Computational Intelligence in Automotive Application, Springer, Berlin, 2008, p.291.
- [3] H.A. Nied, Welding J. 63/4 (1984) 123.
- [4] H. Tang, W. Hou, S.J Hu, H. Zhang, Welding J. 97/7 (2007) 175.
- [5] B. Bouyousfi, T. Sahraoui, S. Guessasma, K.T. Chaouch, Materials & Design 28/2 (2007) 414.
- [6] Z-S Wu, P Shan, R Lian, S-S Hu, Materials & Design, 24/8 (2003) 687
- [7] N.T Williams, J.D Parker, International Materials Reviews, 49/2 (2004) 77
- [8] Wei Li . Manuf. Sci. Eng, 127/4 (2005) 709
- [9] S.A Gedeon, T.W Eagar, Metallurgical and Material Trans B. 17/4 (1986) 879.
- [10] Anon., Handbook for Resistance Spot Welding, Miller, Appleton, Wisconsin, 2005, p.6.
- [11] T Nosetani, K Namba, H Sano, M Yonemitsu, M Kumagai, M. Tsunekawa, US Patent No. 5334814, 2 Agt 1994.
- [12] M.H. Lu dan K.C. Hsieh, Journal of Electronic Materials, 36/11 (2007) 1448.
- [13] R.J.K. Wassink, Soldering in Electronics, 2nd ed., Isle of. Man, British Isles: Electrochemical Publications Limited, 1989, p.149.