

ANALISIS KARAKTERISTIK MATERIAL ELEKTRODA TIP UNTUK PROSES LAS TITIK PADA BODI MOBIL UNTUK RANGKA MEMPERPANJANG UMUR PAKAI

Riki Efendi 1* dan Franka Hendra 2*

¹Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Jakarta
Jl. Cempaka Putih Tengah No. 27, Cempaka Putih, Jakarta Pusat, DKI Jakarta

²Jurusan Teknik Industri, Fakultas Teknik, Universitas Pamulang
Jl. Surya Kencana, No. 1, Pamulang, Tangerang Selatan, Banten

Email correspondent : *riki.effendi@ftumj.ac.id, **dosen01508@unpam.ac.id

Abstrak

Salah satu komponen penting pada proses las titik atau *spot welding* yaitu elektroda tip atau lebih dikenal sebagai “eltip”. Kualitas bahan eltip akan sangat menentukan hasil pengelasan, tingkat kehandalan dan umur pakai eltip. Tujuan penelitian ini adalah untuk menganalisa karakteristik eltip dan menemukan formulasi jenis eltip produksi lokal yang cocok untuk dapat menggantikan jenis eltip impor. Komposisi kimia material eltip yang saat ini dipakai tidak diketahui dan menjadi rahasia pabrikan impor. Eltip produksi lokal yang dipakai proses las titik memiliki kelemahan dalam umur pakai. Untuk itu terhadap elektroda tip dilakukan uji komposisi kimia, uji tingkat kekerasan, dan uji metalografi. Pada bagian hasil las titik dilakukan uji metalografi dan uji tark, Hasil penelitian menunjukkan diameter *nugget* minimum sebesar 3 mm untuk tebal pelat las 1 mm, dapat dipenuhi diantara 3,22 mm sampai 3,52 mm oleh eltip lokal. Umur pakai eltip lokal sebanyak 2000 spot sudah mendekati umur pakai eltip impor sebanyak 2400 spot. Sedikit perbaikan pada kadar Pb sebagai anti keausan akan menambah umur pakai eltip lokal ini pada penggunaan selanjutnya. Dengan mengacu kepada standar kualitas hasil las, seperti dimensi *nugget*, dan *visual check* cacat permukaan las yang diizinkan oleh pabrikan mobil maka hasil penelitian ini diharapkan dapat menjadi referensi untuk pemakaian eltip pada proses las di tempat lain.

Kata kunci

elektroda tip, las titik, uji komposisi kimia, uji metalografi.

Abstract

One of the important components in the process of spot welding or spot welding is electrode tip or better known as “eltip”. The quality of eltip material will greatly determine the welding results, the level of reliability and service life of eltip. The purpose of this study was to analyze the characteristics of eltip and find a suitable formulation of locally produced eltip to replace imported eltip. The chemical composition of the eltip material that is currently used is unknown and is a secret for import manufacturers. Local production Eltip used spot welding process has a disadvantage in service life. For this reason, chemical composition tests, hardness tests, and metallographic tests were carried out on the tip electrode. In the results of spot welding metallographic test and tark test, the results showed a minimum nugget diameter of 3 mm for 1 mm thick welding plate, can be met between 3.22 mm to 3.52 mm by local eltip. The service life of local eltip as many as 2000 spots is approaching the service life of imported eltip as many as 2400 spots. A slight improvement in Pb levels as an anti-wear will increase the service life of this local eltip in subsequent use. With reference to the quality standards of the Weld, such as the dimensions of the nugget, and visual check welding surface defects allowed by the car manufacturer, the results of this study are expected to be a reference for the use of eltip in the welding process elsewhere.

Keywords

tip electrode, spot welding, chemical composition test, metallographic test.

Pendahuluan

Kualitas material elektroda tip (eltip) pada mesin las sangat menentukan hasil las baik atau buruk. Hal penting yang paling dihindari adalah terjadinya las titik lepas pada proses perakitan bodi mobil, maka persyaratan dan ketentuan pemilihan material eltip umumnya ditentukan oleh Agen Tunggal pemegang merk. Masalah muncul dimana material eltip saat ini ketersediaan di pasar dalam terbatas sehingga harus di impor yang harganya relatif mahal. Konsumsi eltip untuk produksi saat ini cukup tinggi. Sebagai contoh untuk proses las titik mobil VAN dan SUV, dibutuhkan eltip impor antara 6.500 sampai dengan 10.000 buah per bulan untuk produksi rata rata 2000 unit mobil per bulan.

Transfer teknologi dan pengetahuan pada saat awal proyek perakitan sub assembling las titik untuk mobil di Indonesia pada umumnya tidak dibuat berjalan dengan baik. Umumnya untuk memulai satu proses perakitan mobil, pihak produsen mendatangkan langsung para teknisi dan ahli dari negara asal. Mereka membawa dokumen teknik dan kepentingan lain yang sifatnya dirahasiakan dan tidak akan diperbolehkan untuk dipublikasikan ke pihak negara tempat perakitanya. Dengan demikian ketergantungan kita terhadap mereka sangat nyata dan memang dibuat sedemikian rupa.

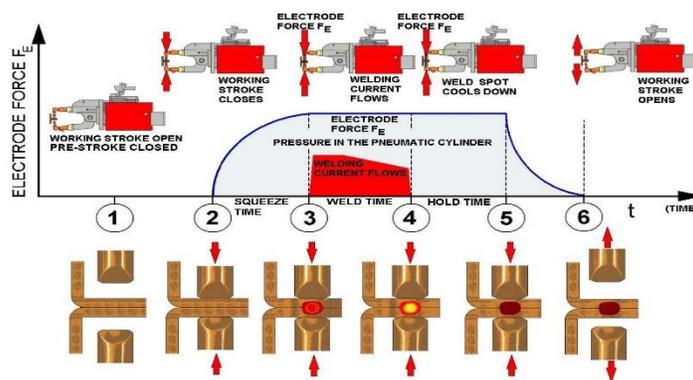
Untuk mengatasi masalah tersebut maka timbul pemikiran untuk melakukan kajian terhadap kemungkinan menggunakan komponen eltip produk lokal yang memiliki umur pakai mendekati produk impor. Tujuan dari penelitian ini adalah menguji ada atau tidaknya cacat kualitas hasil las melalui uji radiografi X- Ray dan menganalisa semua hasil data yang diperoleh untuk dibandingkan dengan data produk impor dan memberikan saran untuk peningkatan mutu produk lokal.

Teori

1. Siklus Pengelasan Titik

Ketika peralatan produksi gagal atau dirombak, biaya yang dibayar perusahaan dapat diklasifikasikan dalam dua kategori. Dalam kategori pertama, kami mempertimbangkan biaya intervensi, yang meliputi tenaga kerja dan bahan [1]. Dalam kategori kedua, kami memasukkan biaya downtime, yang terdiri dari biaya downtime. Untuk ini, perlu menambahkan batasan ketersediaan minimum secara eksplisit. Ini akan dicapai dengan menerapkan batasan ketersediaan minimum [2, 3]

Suku cadang memainkan peran mendasar dalam mendukung peralatan penting. Di perusahaan biasa, sekitar sepertiga dari semua aset sesuai dengan persediaan [4]. Dari aset-aset ini, suku cadang penting memiliki relevansi khusus karena mereka terkait dengan investasi yang signifikan dan persyaratan keandalan yang tinggi [5].



Gambar 1. Langkah siklus pengelasan titik dalam skema diagram

Pada proses las titik temperatur pada titik pusat atau inti bisa mencapai lebih dari 1500°C. Dengan demikian untuk melindungi elektroda dari kerusakan yang cepat dan untuk tujuan ketahanan umur pakai diperlukan suatu sistim pendingin [6]. Sebagai ilustrasi proses pendinginan begitu mempengaruhi ketahanan eltip dapat ditunjukkan tabel perubahan koefisien temperatur (α) beberapa bahan metal sebagai berikut [7] :

Tabel 1. Koefisien temperatur (α) dari beberapa jenis metal

No	Jenis Metal	$\Omega \text{ mm}^2/\text{m}$	α	Keterangan
1	Copper	0,01786	0,0039	α 4 % naik tiap kenaikan 10°C
2	Alumunium	0,02857	0,0038	α 4 % naik tiap Kenaikan 10°C
3	Steel	0,1 to 0,15	0,0045 - 0,006	α 6 % naik tiap kenaikan 10°C
4	Brass	0,07 to 0,09	0,0015	α 1,5 % naik tiap kenaikan 10°C

Sebagai ilustrasi misal temperatur sirkulasi pipa pendingin 20°C dan akan kita lihat bila temperatur pada saat las terjadi 80°C , yang sebenarnya terjadi pada lilitan sekunder elektroda tip berbahan dasar Cu mengalami kenaikan nilai resistansi sebesar $6 \times 4 \% = 24 \%$.

Ternyata arus listrik pengelasan turun dari 10 kA menjadi 8 kA, maka pada lilitan sekunder perlu didinginkan untuk menjaga arus pengelasan tetap konstan. Dengan naiknya temperatur saat proses las, kerja elektroda tip menjadi lebih berat. Potensi deformasi menjadi besar, daerah kontak tip menjadi lebih besar, rapat arus menjadi turun yang akibatnya kualitas hasil las menjadi buruk. Solusi untuk mengatasi potensi problem ini adalah dengan sistim pendinginan.

Ada 2 jenis sistim pendingin yang umum dipakai di Industri yaitu *cooling water* tersentralisasi dan sistim pendinginan *chiller* [8]. Pemilihan tipe tergantung kepada persyaratan yang distandarkan oleh mesin pengelasan. Umumnya sistim pendingin untuk mesin dengan tingkat siklus kerja yang tinggi menggunakan sistim pendingin *chiller*. Hal ini diakibatkan efek dari siklus kerja yang tinggi membutuhkan pendinginan yang lebih baik pada ujung ujung gun. Namun sistim ini ada konsekuensi biaya investasi awal yang relatif mahal. Sebaliknya pada pendinginan *water cooling system* secara investasi awal relatif lebih murah, sehingga kebanyakan industri lebih memilih tipe ini untuk instalasi pabriknya. Pada akhirnya pilihan ada pada konsumen, tiap tipe memiliki keuntungan dan kerugian masing masing.

2. Elektroda Tip (Eltip)

Paduan dasar Cu banyak digunakan pada aplikasi industri manufaktur karena memiliki sifat sangat baik terhadap konduktivitas [9, 10]. Umumnya pada proses las titik komponen elektrodanya memakai paduan dasar Cu. Pada awal sejarah pemakaian elektroda digunakan copper murni, namun karena kekuatannya rendah berdampak pada umur pakai elektroda yang relatif pendek [11, 12]. Kemudian berkembanglah metoda penguatan copper ini dengan tujuan memperpanjang umur pakai tetapi tidak mengurangi nilai konduktivitas yang sudah baik. Menurutnya dengan tujuan tersebut kemudian dikenal metoda *aging hardening*, *rapid solidification*, *solid solution hardening*, dan *mechanical alloying*.

Paduan Cu-Cr adalah jenis material *copper base* yang paling sering digunakan untuk eltip [13]. Unsur Cr dimasukkan ke dalam paduan utama dengan tujuan meningkatkan kekuatan dengan tanpa mengurangi kemampuan yang baik terhadap sifat listrik dan konduktivitas panas. Chromium memiliki kelemahan mudah teroksidasi dan terabsorpsi ke udara [14]. Tetapi memiliki titik lebur yang tinggi sehingga kemampuan ini menutupi kelemahannya tadi. Maka pada paduan Cu-Cr *solubility chromium* di jaga pada range 0,6 % - 0,7 %. Berdasarkan eksperimen yang direalisasikan itu adalah mungkin untuk mengamati bahwa microhardness dari semua dasar bentuk elektroda dalam semua kondisi yang diperiksa sedikit meningkat dari elektroda atas ke arahnya permukaan kontak [15]. Di bagian tengah elektroda lebih rendah nilai kekerasan mikro diukur dalam perbandingan dengan bagian tepi, yang mungkin dipengaruhi oleh proses pendinginan air selama pengelasan [16].

Parameter pengelasan rendah ($i = 18 \text{ kA}$) Tidak memiliki pengaruh yang signifikan terhadap kekerasan mikro yang diuji materi. Nilai terukur dari kekerasan mikro sebelumnya pengelasan dan setelah pengelasan bervariasi

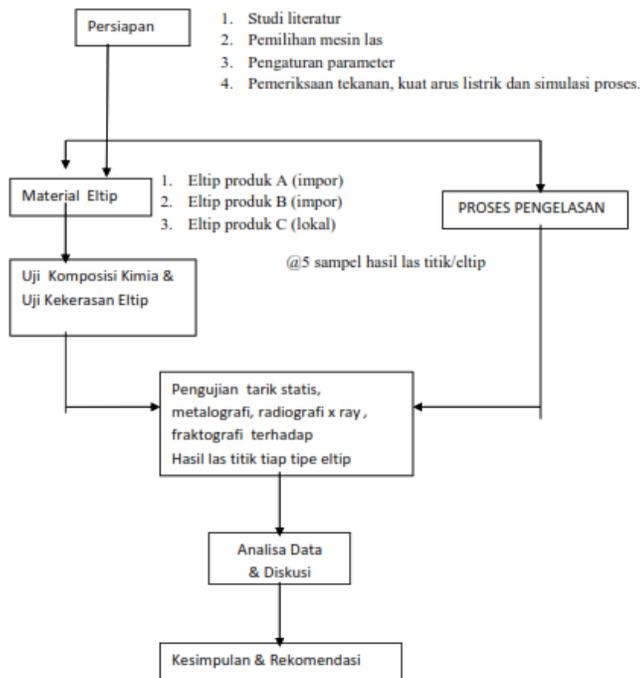
minimal. Peningkatan progresif arus pengelasan ($i = 22-28$ kA) menyebabkan microhardness menurun sama sekali diperiksa bentuk elektroda. [17] Nilai terendah dari kekerasan mikro HV 0,2 diukur dengan menggunakan elektroda dalam pengelasan dengan parameter maksimum. Elektroda silinder memiliki nilai terendah microhardness selama seluruh eksperimen. Mengikuti elektroda hemispherical yang tertinggi nilai kekerasan mikro diukur pada kerucut elektroda. Bisa dikatakan bahwa seumur hidup pengelasan tips dipengaruhi oleh bentuk elektroda dan terutama teknologi produksi elektroda. Hal ini dimungkinkan untuk harapan yang berbentuk kerucut memiliki masa pakai terpanjang dari semua bentuk diuji, yang sedang diverifikasi di praktek sekarang [18].

Metode Penelitian

Metode penelitian dilakukan melalui beberapa uji coba las titik terhadap sampel pelat untuk bodi mobil jenis VAN dan SUV pada proses produksi. Sampel hasil las masing masing bahan di uji sesuai standar pabrikan diantaranya sebagai berikut :

- Metoda uji untuk cacat eksternal seperti pemeriksaan retakan dan sumuran dari hasil las titik secara visual.
- Pemeriksaan cacat permukaan berupa jejak gerigi akibat ledakan panas tidak sempurna pada hasil las.
- Pengukuran dimensi nugget.
- Uji tarik statis pada logam baja hasil las.

Secara paralel dilakukan uji komposisi material eltip A, eltip B untuk jenis eltip impor, dan eltip C untuk jenis lokal. Hasil pengujian berbentuk data komposisi utama dalam persen berat paduan Cu Cr. Dilakukan uji tingkat kekerasan tiap sampel eltip untuk mengetahui korelasinya terhadap umur pemakaian. Penelitian ini dilakukan pada dua tempat berbeda, untuk pengujian unsur komposisi paduan material eltip, uji tingkat kekerasan bahan, uji tarik hasil las, uji fraktografi, uji X-Ray, dan metalografi dilakukan di BPPT B2TKS, LUK-PUSPIPTEK Serpong. Pengujian proses pengelasan titik, persiapan material, pemotongan material uji, dan pengaturan parameter mesin las dilakukan di lokasi produksi. Kerangka pemikiran dari penelitian ini dapat dilihat pada gambar 1.:



Hasil dan Pembahasan

1. Uji Komposisi Kimia Eltip

Pengujian unsur paduan elektroda tip dilakukan terhadap ketiga jenis eltip. Berikut adalah tabel hasil pengujian masing masing jenis eltip pada tabel 2.

Tabel 2. Komposisi kimia unsur paduan eltip baru

NO	Unsur Paduan	% Weight		
		eltip A	eltip B	eltip C
1	Cu	99.378	99.324	99.612
2	Ag	0.020	0.026	0.019
3	Al	0.050	0.049	0.052
4	As	0.020	0.016	0.018
5	Bi	0.010	0.006	0.006
6	Cr	0.070	0.060	0.204
7	Fe	0.003	0.003	0.005
8	Mn	0.001	0.003	0.000
9	Ni	0.023	0.012	0.002
10	P	0.000	0.001	0.001
11	Pb	0.340	0.373	0.002
12	Sb	0.040	0.045	0.054
13	Si	0.031	0.068	0.024
14	Sn	0.002	0.006	0.000
15	Zn	0.012	0.008	0.001

Pada tabel 2, dapat dilihat komposisi utama eltip Cu Cr dalam % berat sebagai berikut

- a. Eltip A : 99,378 Cu ; 0,07 Cr ; 0,340 Pb
- b. Eltip B : 99,324 Cu ; 0,06 Cr ; 0,374 Pb
- c. Eltip C : 99,612 Cu ; 0,20 Cr ; 0,002 Pb

Pada teori dijelaskan bahwa semakin tinggi kadar Cu dalam paduan maka nilai konduktivitas pada eltip semakin baik. Namun kadar Cu yang tinggi dapat menurunkan nilai kekerasan pada paduan, sehingga kekuatan bahan menjadi turun. Untuk mengatasi kelemahan ini dibutuhkan unsur lain yaitu Cr. Karakteristik Cr dalam paduan memiliki sifat yang baik untuk kekuatan. Semakin tinggi kadar Cr maka dapat meningkatkan nilai kekerasan material. Namun konsekuensi Cr dalam paduan tinggi menyebabkan paduan mudah teroksidasi dan terabsorpsi ke udara. Kelemahan ini pun kemudian diatasi dengan menambahkan unsur lain seperti Sn, Zn yang memiliki titik leleh lebih rendah. Titik leleh Sn adalah 232 C dan Zn pada 420 C. (*referensi 7*). Kadar Pb dalam paduan adalah sebagai anti *wear* atau anti *friction*, sehingga keberadaannya berpengaruh terhadap umur pakai material eltip. Titik lebur Pb adalah 327 C.

Pada ketiga sampel di atas terlihat eltip C memiliki kadar Cu paling tinggi. Dengan demikian eltip C (lokal) memiliki nilai conductivity paling baik namun kekuatannya relatif paling rendah. Untuk mengatasi kelemahan ini kadar Cr pada eltip C ditingkatkan. Terlihat kadar Cr eltip C menjadi paling tinggi.

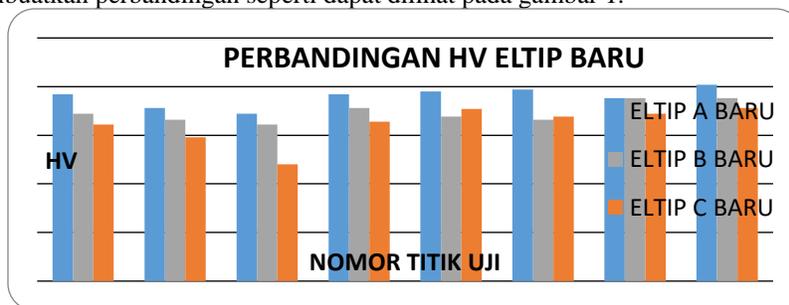
2. Uji Hardness Vickers Pada Material Eltip

Uji kekerasan Vickers dilakukan dengan mengambil sampel seperti pada pengujian komposisi kimia eltip. Berikut ini adalah data hasil pengujian Vickers elektroda tip.

Tabel 3. Data nilai kekerasan Vickers benda uji eltip

No Titik Uji	Eltip A (impor)		Eltip B (impor)		Eltip C (lokal)	
	Baru	Bekas	Baru	Bekas	Baru	Bekas
1	192	84,2	172	108	161	84,2
2	178	116	166	166	148	132
3	172	153	161	164	120	143
4	192	169	178	167	164	172
5	195	178	169	167	177	161
6	197	166	166	185	169	110
7	188	164	188	166	172	109
8	202	199	188	185	178	192
Rata-rata	189.5	143.125	173.5	163.5	161.125	127.375

Dari hasil pengujian kekerasan pada 8 titik lokasi pada elektroda tip, kemudian hasil nilai kekerasan Vickers pada eltip baru dibuatkan perbandingan seperti dapat dilihat pada gambar 1.



Gambar 1. Grafik perbandingan nilai kekerasan Vickers eltip.

Pada proses las titik di jalur VAN dan SUV sudah diuji pemakaian tiap jenis elektroda tip ini. Rata rata pemakaian 1 buah eltip B adalah 600 kali *spot* 1 kali rautan. Maksimum rautan yang diizinkan adalah 4 kali. Dengan demikian 1 buah eltip B terpakai untuk 4 x 600 atau sebanyak 2400 *spot*. Pada pemakaian eltip C, rata rata 1 eltip mampu digunakan sebanyak 500 kali, kemudian di raut. Dengan maksimum 4 kali rautan maka total pemakaian eltip lokal adalah 2000 kali *spot*. Sedangkan pada jenis eltip impor A, rata rata umur pakai 1 kali rautan adalah 800 *spot*, maka total umur pakai eltip A adalah 3200 *spot*.

Dilihat dari hubungan nilai kekerasan dan umur pakai, maka eltip A dengan nilai kekerasan tertinggi memiliki umur pakai yang paling lama, yaitu 3200 *spot*. Sedangkan eltip C dengan nilai kekerasan terendah memiliki umur pakai paling pendek yaitu 2000 *spot*. Terlihat hubungan nilai kekerasan eltip dengan umur pakai elektroda tip. Semakin tinggi nilai kekerasan eltip maka umur pakai eltip akan semakin lama.

3. Uji Tarik Hasil Las Titik Tunggal

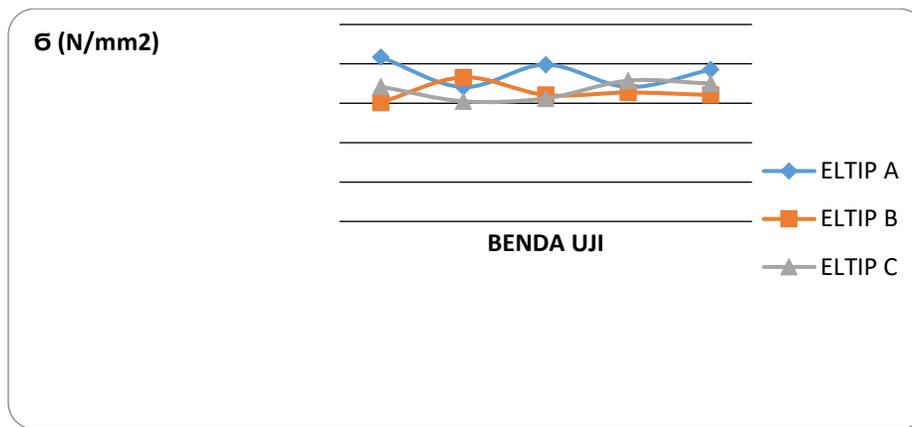
Uji tarik terhadap hasil las titik dilakukan pada ketiga jenis material eltip yang masing masing diwakili oleh 5 benda uji. Hasil uji tarik dapat dilihat pada tabel 4.

Tabel 4. Dimensi diameter las titik dan hasil uji tarik sample uji

Benda Uji	Hasil Las A		Hasil Las B		Hasil Las C	
	D (mm)	σ (N/mm ²)	D (mm)	σ (N/mm ²)	D (mm)	σ (N/mm ²)

1	6.35	208.5	6.30	150.9	5.85	171.2
2	6.35	170.6	6.30	182.9	5.85	152.6
3	6.35	199.0	6.30	160.5	5.85	156.3
4	6.35	170.6	6.30	163.7	5.85	178.7
5	6.35	192.7	6.30	160.5	5.85	175.0
Rata-rata		188.3		163.7		166.8

Terlihat dari sampel 5 benda uji hasil las menggunakan tiga eltip berbeda, nilai rata rata kekuatan tarik hasil las eltip A adalah paling tinggi yaitu 188,3 N/mm². Sementara nilai rata rata kekuatan tarik hasil las menggunakan eltip C adalah 166,8 N/mm².



Gambar 2. Grafik uji tarik hasil las titik tiap jenis eltip

Hasil uji tarik terhadap benda uji ini mengindikasikan bahwa produk eltip C sudah bisa mendekati atau bahkan sedikit melewati nilai kekuatan tarik hasil las memakai produk impor eltip B seperti ditunjukkan pada gambar 2. Hipotesa bahwa eltip jenis ini bisa dibuat dan diproduksi di dalam negeri adalah menjadi kenyataan. Kekuatan tarik hasil las titik adalah salah satu parameter lolos kualifikasi produksi masal yang diterapkan oleh pabrikan mobil. Bila persyaratan dasar ini berhasil dilalui maka langkah selanjutnya adalah menyempurnakan kualitas produk eltip lokal ini.

Kesimpulan

Hipotesa eltip mampu dibuat dan diproduksi di dalam negeri dapat dibuktikan melalui pengujian kinerja hasil pengelasan eltip local. Ketentuan DTSH 5600 G tentang diameter nugget minimum untuk tebal pelat 1 mm sebesar 3 mm dapat dipenuhi di atas limit antara 3,22 mm sampai dengan 3,52 mm oleh eltip lokal. Keandalan umur pakai eltip lokal sebesar 2000 spot masih di bawah keandalan umur eltip impor A sebesar 3200 spot dan eltip B sebesar 2400 spot. Kondisi saat ini dapat dikatakan kinerja eltip lokal sudah bisa mendekati kinerja eltip impor B.

Keandalan dan kinerja eltip ditentukan oleh ukuran besar butir struktur mikro., makin besar *grain size* struktur mikro paduan makin rendah kekuatan paduan, pola keteraturan struktur mikro, pola paduan eltip ditentukan pada saat pembuatan eltip, teknik penguatan paduan. Dan *Cold working*, *solid solution hardening*, *grain refinement*, *heat treatment* adalah contoh perlakuan untuk memperkuat paduan.

Daftar Pustaka

- [1] X. Zhang, G. Chen, and Y. Zhang, "Characteristics of electrode wear in resistance spot welding dual-phase steels," *Materials & Design*, vol. 29, no. 1, pp. 279-283, 2008.
- [2] Q. Fan, G. Xu, and T. Wang, "The influence of electrode tip radius on dynamic resistance in spot welding," *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, vol. 95, no. 9, pp. 3899-3904, 2018.
- [3] T. Khuenkaew and K. Kanlayasiri, "Selection of electrode tips for the resistance spot welding of dissimilar stainless steels," in *MATEC Web of Conferences*, 2018, vol. 192: EDP Sciences, p. 01007.
- [4] J. Jasman, I. Irzal, and P. Pebrian, "Effect of Strong Welding Flow on the Violence of Low Carbon Steel Results of SMAW Welding with Electrodes 7018," *Teknomekanik*, vol. 1, no. 1, pp. 24-31, 2018.
- [5] A. Baskoro, S. Sugeng, A. Sifa, and T. Endramawan, "Variations the diameter tip of electrode on the resistance spot welding using electrode Cu on worksheet Fe," in *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 2018, vol. 348, no. 1: IOP Publishing, p. 012020.
- [6] H. S. Nogay and T. C. Akinci, "Classification of operation cases in electric arc welding machine by using deep convolutional neural networks," *Neural Computing and Applications*, vol. 33, no. 12, pp. 6657-6670, 2021.
- [7] V. D. Kalyankar and G. P. Chudasama, "Influence of electrode tip diameter on metallurgical and mechanical aspects of spot welded duplex stainless steel," *High Temperature Materials and Processes*, vol. 39, no. 1, pp. 317-327, 2020.
- [8] H. Sainthiya and N. S. Beniwal, "Different types of cooling systems used in photovoltaic module solar system: A review," in *2017 International Conference on Wireless Communications, Signal Processing and Networking (WiSPNET)*, 2017: IEEE, pp. 1500-1506.
- [9] A. Jamwal *et al.*, "Towards sustainable copper matrix composites: manufacturing routes with structural, mechanical, electrical and corrosion behaviour," *Journal of Composite Materials*, vol. 54, no. 19, pp. 2635-2649, 2020.
- [10] S. Mallik, N. Ekere, C. Best, and R. Bhatti, "Investigation of thermal management materials for automotive electronic control units," *Applied Thermal Engineering*, vol. 31, no. 2-3, pp. 355-362, 2011.
- [11] I. Lum, E. Biro, Y. Zhou, S. Fukumoto, and D. Boomer, "Electrode pitting in resistance spot welding of aluminum alloy 5182," *Metallurgical and Materials Transactions A*, vol. 35, no. 1, pp. 217-226, 2004.
- [12] H. Azhari-Saray, M. Sarkari-Khorrami, A. Nademi-Babahadi, and S. F. Kashani-Bozorg, "Dissimilar resistance spot welding of 6061-T6 aluminum alloy/St-12 carbon steel using a high entropy alloy interlayer," *Intermetallics*, vol. 124, p. 106876, 2020.
- [13] H. E. Emre and B. Bozkurt, "Effect of Cr-Ni coated Cu-Cr-Zr electrodes on the mechanical properties and failure modes of TRIP800 spot weldments," *Engineering Failure Analysis*, vol. 110, p. 104439, 2020.
- [14] K. Zhou, W. Chen, P. Feng, F. Yan, and Y. Fu, "Arc ablation behavior and microstructure evolution of plastically deformed and micro-alloyed Cu-Cr-Zr alloys," *Journal of Alloys and Compounds*, vol. 820, p. 153123, 2020.
- [15] S. O. Becker, A. Fernandes, and D. Weichselbaumer, "Discrimination in hiring based on potential and realized fertility: Evidence from a large-scale field experiment," *Labour Economics*, vol. 59, pp. 139-152, 2019.
- [16] G. Coccia, A. Aquilanti, S. Tomassetti, G. Comodi, and G. Di Nicola, "Design, realization, and tests of a portable solar box cooker coupled with an erythritol-based PCM thermal energy storage," *Solar Energy*, vol. 201, pp. 530-540, 2020.
- [17] V. DEGTYAREV, "INFLUENCE OF THE RATIO OF DYNAMIC AND STATIC STRESSES ON BRITTLE FRACTURE RESISTANCE OF LOW-ALLOYED STEEL WELDED JOINTS," 2017.
- [18] Z. Huo, G. Zhang, J. Han, J. Wang, S. Ma, and H. Wang, "A Review of the Preparation, Machining Performance, and Application of Fe-Based Amorphous Alloys," *Processes*, vol. 10, no. 6, p. 1203, 2022.