SINERGI *Vol. 24, No.1, pp.39-45, April 2026*
DOI : http://dx.doi.org/10.31963/sinergi.v24i1.5638

Investigasi Struktur Makro Material Nikel Sambungan Battery Pack Hasil Spot Welding

Baso Nasrullah[1], Muhammad Arsyad Suyuti[2], Allen Nathaniel Sahusilawane[3], Muh Rais Rahim[4] dan Akhmad Maulid Hadiullah[5]

[1,2,3,4,5] Jurusan Teknik Mesin, Politeknik Negeri Ujung Pandang, Makassar 90245, Indonesia
*E-mail korespondensi: basonasrullah@poliupg.ac.id

Abstract*: Spot welding is one of the resistance welding methods widely applied in battery pack assembly due to its time efficiency and ease of implementation. This study aims to investigate the macrostructure of spot-welded nickel strip joints as connectors for battery cells and to optimize the process parameters using the Taguchi method. The varied parameters include welding mode, number of spots, and number of pulses. The welding process was carried out using an automatic spot welding machine, and the joints were analyzed through macrostructural observations using a digital microscope as well as shear strength testing. The results revealed that variations in welding parameters significantly affect nugget size. Based on Taguchi analysis, the optimal parameter combination produced a solid and symmetrical nugget, which correlated with higher shear strength of the joint. This study demonstrates that macrostructure has a strong correlation with joint strength and can serve as a reference in quality control of spot-welded battery pack joints*

Keywords: *Spot welding; battery pack; Taguchi method; Macrostructure, Nickel strip*

Abstrak: Spot welding merupakan salah satu metode pengelasan resistansi yang banyak digunakan dalam proses perakitan battery pack karena efisiensi waktu dan kemudahan pelaksanaannya. Penelitian ini bertujuan untuk menginvestigasi struktur makro pada sambungan las titik material nikel strip sebagai penghubung sel baterai, serta mengoptimalkan parameter proses menggunakan metode Taguchi. Parameter yang divariasikan meliputi mode pengelasan, jumlah titik, dan jumlah ketukan. Proses pengelasan dilakukan menggunakan mesin spot welding otomatis, kemudian hasil sambungan dianalisis melalui pengamatan struktur makro menggunakan mikroskop digital serta pengujian kekuatan geser. Hasil pengamatan menunjukkan bahwa variasi parameter las memberikan pengaruh signifikan terhadap ukuran nugget. Berdasarkan analisis Taguchi, kombinasi parameter optimal menghasilkan struktur makro dengan nugget yang solid dan simetris, yang berbanding lurus dengan peningkatan kekuatan geser sambungan. Penelitian ini menunjukkan bahwa struktur makro memiliki korelasi erat terhadap kekuatan sambungan dan dapat digunakan sebagai acuan dalam pengendalian kualitas sambungan battery pack berbasis spot welding

Kata kunci : *Spot Welding*; *Battery pack*; Metode Taguchi; Makrostruktur, Strip nikel

I. PENDAHULUAN

Perkembangan teknologi kendaraan listrik (electric vehicle/EV) yang semakin pesat mendorong peningkatan kebutuhan terhadap sistem penyimpanan energi yang efisien dan andal. Salah satu komponen utama dalam sistem tersebut adalah battery pack yang tersusun dari sejumlah sel baterai yang dihubungkan menggunakan konduktor logam, seperti strip nikel. Keandalan sambungan antar sel baterai sangat penting karena berpengaruh langsung terhadap kinerja, efisiensi, dan keselamatan sistem penyimpanan energi pada kendaraan listrik [1], [2].

Salah satu metode penyambungan yang paling banyak digunakan dalam pembuatan battery pack adalah resistance spot welding (RSW) atau pengelasan titik resistansi. Metode ini memanfaatkan arus listrik yang dialirkan melalui elektroda untuk menghasilkan panas akibat resistansi listrik pada daerah kontak material yang disambung. Panas tersebut kemudian menyebabkan material meleleh secara lokal sehingga terbentuk sambungan metalurgi yang kuat setelah mengalami proses pendinginan di bawah tekanan elektroda [3], [4]. Teknik ini banyak digunakan dalam industri manufaktur karena memiliki keunggulan seperti proses yang cepat, efisiensi energi yang tinggi, serta

kemampuan menghasilkan sambungan yang konsisten pada material tipis [5].

Dalam aplikasi battery pack, material nikel sering digunakan sebagai penghubung antar sel baterai karena memiliki konduktivitas listrik yang baik, ketahanan korosi yang tinggi, serta stabilitas termal yang baik. Selain itu, nikel juga memiliki sifat mekanis yang cukup baik sehingga mampu menahan beban mekanis dan termal selama proses operasi baterai [6]. Namun demikian, sifat termal dan listrik dari nikel juga mempengaruhi proses pembentukan sambungan selama proses spot welding. Variasi parameter pengelasan seperti arus pengelasan, waktu pengelasan, serta tekanan elektroda dapat mempengaruhi kualitas sambungan yang dihasilkan [7].

Kualitas sambungan hasil spot welding dapat dianalisis melalui pengamatan struktur makro maupun mikro pada daerah sambungan. Struktur makro dari sambungan las dapat memberikan informasi mengenai ukuran nugget, penetrasi las, serta kemungkinan cacat yang terbentuk selama proses pengelasan. Analisis ini sangat penting untuk mengevaluasi kekuatan mekanis serta keandalan sambungan dalam jangka panjang [8].

Dalam sistem battery pack berbasis sel Lithium-ion seperti tipe 18650, sambungan antara strip nikel dan terminal baterai harus mampu menahan berbagai kondisi operasional, seperti fluktuasi arus listrik, peningkatan temperatur, serta getaran mekanis selama penggunaan kendaraan. Oleh karena itu, pemahaman yang baik mengenai karakteristik struktur makro sambungan hasil spot welding sangat diperlukan untuk memastikan kualitas sambungan yang optimal [9].

Beberapa penelitian sebelumnya menunjukkan bahwa optimasi parameter pengelasan seperti arus pengelasan dan waktu pengelasan dapat meningkatkan kualitas nugget las serta mengurangi kemungkinan terjadinya cacat pada sambungan. Dengan pengaturan parameter yang tepat, proses spot welding dapat menghasilkan sambungan yang memiliki kekuatan mekanis yang baik serta konduktivitas listrik yang stabil dalam sistem battery pack kendaraan listrik [10].

Berdasarkan uraian tersebut, penelitian ini bertujuan untuk melakukan investigasi terhadap struktur makro sambungan material nikel pada battery pack yang dihasilkan melalui proses spot welding. Hasil penelitian ini diharapkan dapat memberikan pemahaman yang lebih baik mengenai karakteristik sambungan serta pengaruh parameter pengelasan terhadap kualitas sambungan, sehingga dapat mendukung pengembangan teknologi penyambungan battery pack yang lebih andal dan efisien.

II. METODE PENELITIAN

A. Lokasi dan Waktu Penelitian

Investigasi Struktur Makro Material Nikel Sambungan Battery Pack Hasil Spot Welding dilaksanakan di Bengkel Mekanik Politeknik Negeri Ujung Pandang. Proyek ini dimulai pada bulan Juni 2024 dan selesai pada bulan Agustus 2025.

B. Alat dan Bahan

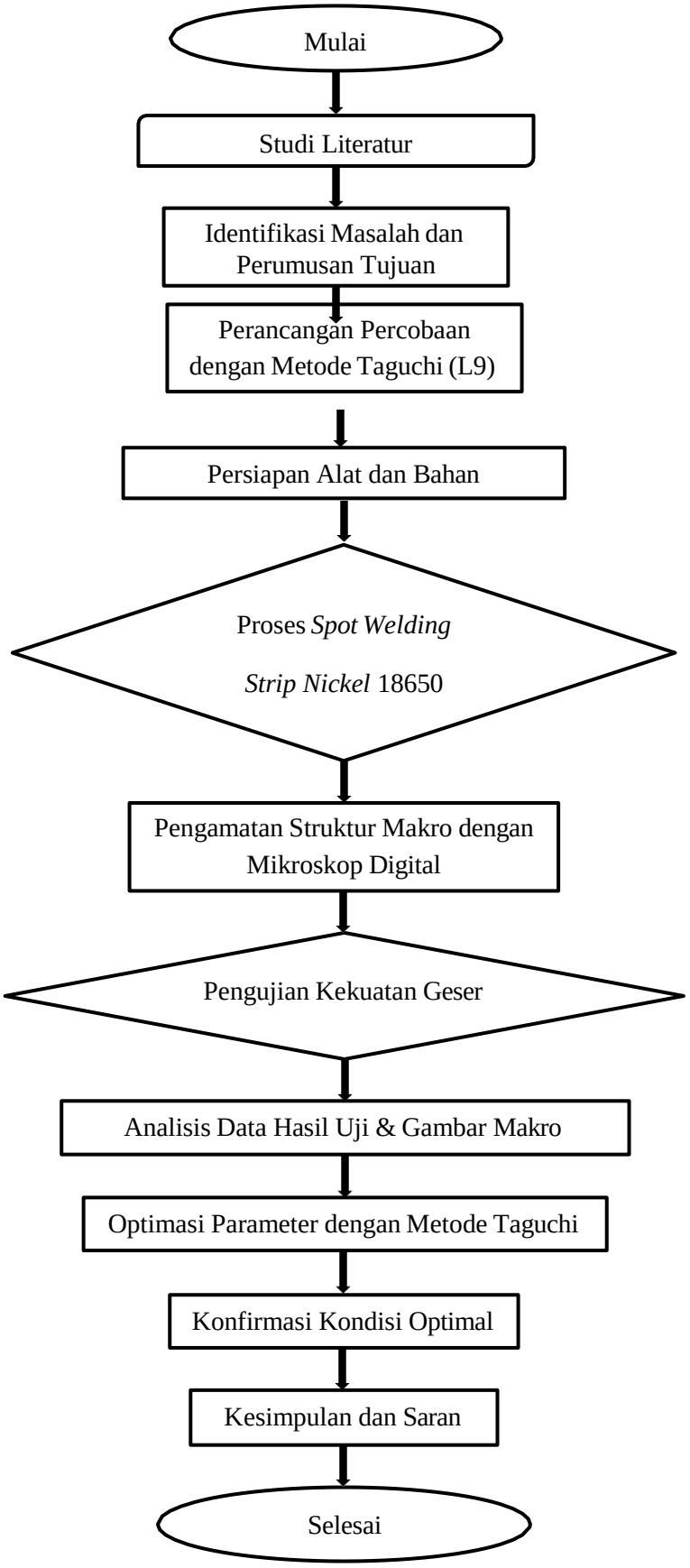
Alat yang diperlukan Investigasi Struktur Makro Material Nikel Sambungan Battery Pack.

1. Spot welding Portable
2. Mikroskop Digital
3. Jangka Sorong dan Mikrometer
4. Alat Uji Tarik Geser (Shear Test Jig)
5. Laptop/Komputer dengan Software Analisis (Minitab dan konektor kamera)

Sedangkan Bahan yang diperlukan dalam Investigasi Struktur Makro Material Nikel Sambungan Battery Pack Hasil Spot Welding ini adalah strip nikel dengan ketebalan 0,1 mm dan lebar 8 mm. Strip nikel ini digunakan sebagai material penghubung pada sambungan baterai Li-on 18650.

C. Diagram Alir

Adapun bagan alir dalam proses Investigasi Struktur Makro Material Nikel Sambungan Battery Pack Hasil Spot welding dapat dilihat sebagai berikut.



Gambar 1. Diagram Alir

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Desain Eksperimen Dengan Metode Taguchi

Dalam penelitian ini digunakan orthogonal array L9(3^3) yang merupakan rancangan eksperimen untuk 3 faktor dengan masing-masing 3 level. L9 memungkinkan eksperimen dilakukan hanya sebanyak 9 kali, dibandingkan 27 kali jika semua kombinasi diuji secara penuh (full factorial design).

Tabel 1. Desain eksperimen tipe orthogonal array L9(3^3)

Desain Kombinasi Eksperimen	Faktor dan Level		
	Mode	Jumlah Titik	Jumlah Ketukan
1	1	1	1
2	1	2	2
3	1	3	3
4	2	1	2
5	2	2	3
6	2	3	1
7	3	1	3
8	3	2	1
9	3	3	2

B. Analisis Hasil Uji Geser Sambungan Spot Welding

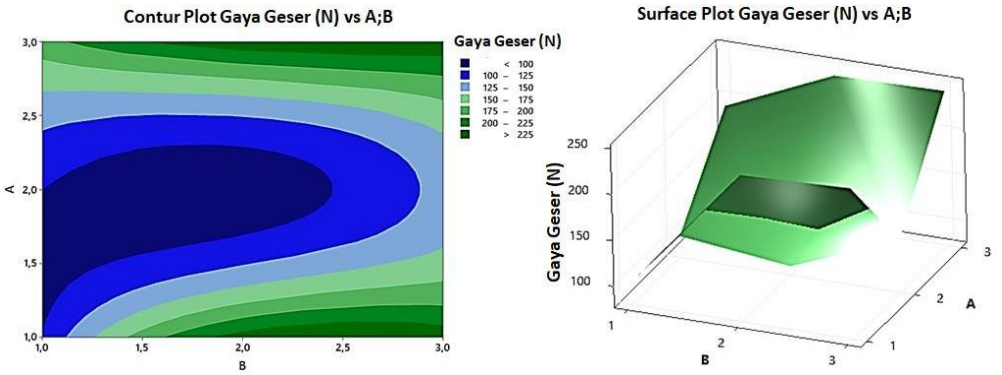
Hasil uji geser dari sembilan eksperimen spot welding yang dilakukan dengan kombinasi faktor dan level yang berbeda. Hasil uji menunjukkan bahwa faktor mode pengelasan, jumlah titik las, dan jumlah ketukan memiliki pengaruh signifikan terhadap kekuatan sambungan las, yang tercermin dalam gaya geser yang dihasilkan serta lokasi putusnya sambungan.

Tabel 2. Analisis Hasil Uji Geser Sambungan *Spot Welding*

Desain Kombinasi Eksperimen	Faktor dan Level			Gaya Geser (N)	Lokasi Putus
	Mode	Jumlah Titik	Jumlah Ketukan		
1	7	2	3	102.67	Logam Las
2	7	4	5	236.67	Logam Induk
3	7	6	7	241.33	Logam las
4	8	2	5	100.00	Logam Las
5	8	4	7	86.33	Logam Las
6	8	6	3	133.67	Logam Las
7	9	2	7	190.67	Logam las
8	9	4	3	242.67	Logam las
9	9	6	5	245.00	Logam Induk

C. Grafik Kontur 2D dan Surface 3D untuk optimasi Taguchi

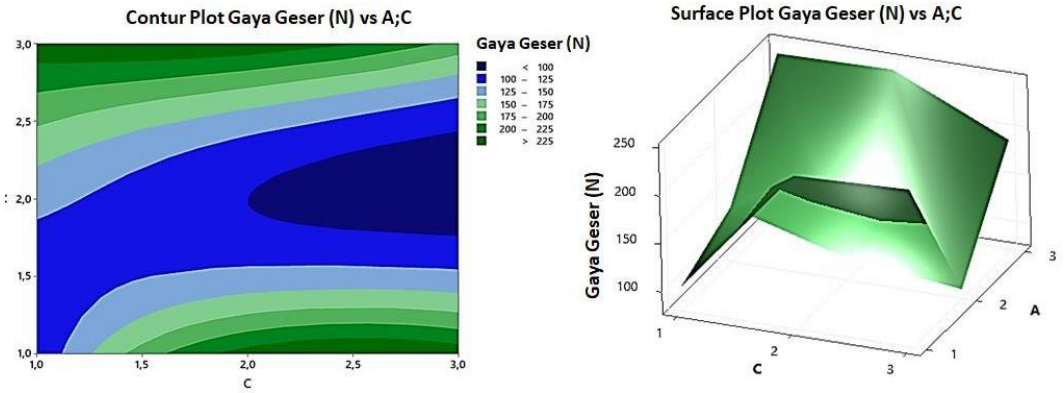
Untuk memahami lebih lanjut pengaruh interaksi antara faktor-faktor yang diuji terhadap gaya geser, akan dibahas grafik kontur 2D dan permukaan 3D yang menggambarkan hubungan antara kombinasi level faktor A, B, dan C. Grafik-grafik ini memberikan wawasan visual yang penting dalam mengidentifikasi kombinasi faktor yang optimal guna mencapai gaya geser maksimum pada sambungan las spot welding.



Gambar 2. Grafik Faktor A dan B Terhadap Gaya Geser (N)

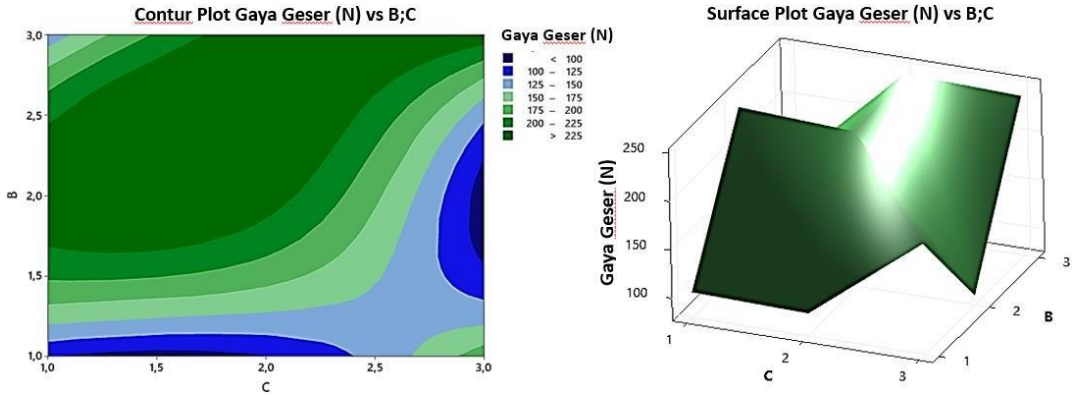
Gambar 2 menyajikan dua jenis grafik yang menggambarkan hubungan antara faktor A dan B terhadap gaya geser, yaitu grafik kontur 2D di sebelah kiri dan grafik permukaan 3D di sebelah kanan. Pada grafik kontur 2D, perubahan warna menggambarkan variasi gaya geser yang dihasilkan oleh kombinasi faktor A dan B. Nilai gaya geser yang terendah tercatat di zona gelap yaitu A2 B2 dengan gaya geser 86,33 N, sementara nilai gaya geser yang lebih tinggi terletak pada zona yang lebih terang, mencapai 245 N di area kombinasi A3 dan B3. Grafik ini memberikan gambaran visual yang jelas tentang pengaruh kombinasi level faktor A dan B terhadap kualitas sambungan las.

Pada grafik permukaan 3D di sisi kanan, permukaan menunjukkan pengaruh interaksi antara faktor A dan B secara lebih rinci. Di titik tertinggi permukaan, yang terletak pada kombinasi A3 dan B3, gaya geser mencapai nilai 245 N, sementara titik terendah, yang terletak pada A2 dan B2, menghasilkan gaya geser 86,33 N. Grafik ini memudahkan identifikasi level kombinasi faktor yang menghasilkan gaya geser terbaik, yang penting dalam proses optimasi untuk mencapai kualitas sambungan las yang optimal.



Gambar 3. Grafik Faktor A dan C Terhadap Gaya Geser (N)

Gambar 3 menunjukkan grafik kontur 2D dan grafik permukaan 3D yang menggambarkan hubungan antara faktor A dan C terhadap gaya geser maksimum. Berdasarkan data eksperimen, kombinasi A3 dan C2 menghasilkan gaya geser tertinggi sebesar 245 N, sedangkan kombinasi A2 dan C3 menghasilkan gaya geser terendah sebesar 86,33 N. Pada grafik kontur, area berwarna biru gelap menunjukkan nilai gaya geser yang rendah, sedangkan area berwarna terang menunjukkan gaya geser yang tinggi. Fungsi dari grafik ini adalah untuk memvisualisasikan pengaruh kombinasi parameter terhadap kekuatan sambungan, sehingga dapat digunakan sebagai dasar dalam menentukan parameter optimal pada proses spot welding.

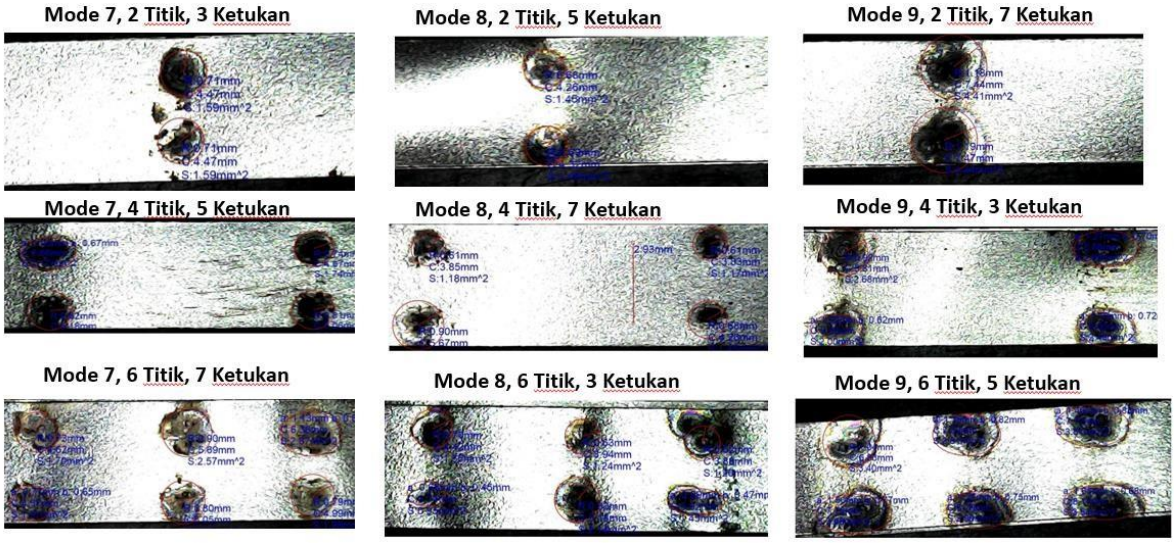


Gambar 4. Grafik Faktor B dan C Terhadap Gaya Geser (N)

Gambar 4 menampilkan grafik kontur 2D dan grafik permukaan 3D yang menunjukkan hubungan antara faktor B dan C terhadap gaya geser maksimum. Berdasarkan data eksperimen, kombinasi B3 dan C2 menghasilkan gaya geser tertinggi sebesar 245 N, sedangkan kombinasi B2 dan C3 menghasilkan gaya geser terendah sebesar 86,33 N. Pada grafik kontur, area biru gelap menunjukkan nilai gaya geser rendah, sementara area berwarna terang menunjukkan nilai gaya geser tinggi. Grafik ini berfungsi untuk memudahkan analisis visual terhadap pengaruh kombinasi parameter B dan C terhadap kekuatan sambungan, sehingga dapat dijadikan acuan dalam menentukan parameter optimal pada proses pengelasan titik (spot welding).

D. Analisis Gambar Struktur Makro

Untuk memahami lebih lanjut mengenai pengaruh kombinasi faktor dan level terhadap kualitas sambungan las, Gambar 5 menyajikan struktur makro sambungan las spot welding pada mode pengelasan 7, 8, dan 9. Gambar ini menunjukkan perbedaan bentuk dan ukuran titik pengelasan yang terbentuk, yang dipengaruhi oleh variasi mode, jumlah titik las, dan jumlah ketukan yang diterapkan dalam eksperimen.



Gambar 5. Struktur Makro

IV. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian dan analisis yang telah dilakukan, maka dapat disimpulkan sebagai berikut:

1. Variasi parameter mode pengelasan, jumlah titik las, dan jumlah ketukan pada proses spot welding memberikan pengaruh terhadap kualitas sambungan nikel strip pada battery pack, yang ditunjukkan oleh perbedaan nilai gaya geser yang dihasilkan.
2. Hasil pengujian menunjukkan bahwa gaya geser maksimum sebesar 245 N diperoleh pada kombinasi parameter Mode 9, jumlah titik las 6, dan jumlah ketukan 5, yang menghasilkan kualitas sambungan las yang paling optimal.
3. Berdasarkan analisis menggunakan metode Taguchi, faktor mode pengelasan memberikan kontribusi paling besar terhadap peningkatan kekuatan sambungan dibandingkan faktor jumlah titik las dan jumlah ketukan.
4. Hasil pengamatan struktur makro sambungan las menunjukkan bahwa kombinasi parameter yang optimal menghasilkan nugget yang lebih besar, solid, dan simetris, yang berkorelasi dengan meningkatnya kekuatan geser sambungan.
5. Secara keseluruhan, kombinasi parameter Mode 9, 6 titik las, dan 5 ketukan dapat direkomendasikan sebagai parameter proses yang optimal untuk menghasilkan sambungan nickel strip battery pack yang memiliki kekuatan mekanis yang lebih baik.

DAFTAR PUSTAKA

[1] A. Emadi, Y. J. Lee, and K. Rajashekara, “Power electronics and motor drives in electric, hybrid electric, and plug-in hybrid electric vehicles,” *IEEE Trans. Ind. Electron.*, vol. 55, no. 6, pp. 2237–2245, 2008.
[2] M. Armand and J.-M. Tarascon, “Building better batteries,” *Nature*, vol. 451, pp. 652–657, 2008.
[3] D. Zhang and Y. Zhou, *Microjoining and Nanojoining*. Cambridge, UK: Woodhead Publishing, 2013.
[4] S. Kou, *Welding Metallurgy*, 2nd ed. Hoboken, NJ, USA: Wiley, 2003.
[5] J. F. Lancaster, *The Physics of Welding*. Oxford, UK: Pergamon Press, 1986.
[6] J. R. Davis, *Nickel, Cobalt, and Their Alloys*. Materials Park, OH, USA: ASM International, 2000.
[7] R. W. Messler Jr., *Principles of Welding: Processes, Physics, Chemistry, and Metallurgy*. New York, USA: Wiley, 1999.
[8] G. E. Totten, *Metallography and Microstructures*. Materials Park, OH, USA: ASM International, 2004.
[9] T. Waldmann, B.-I. Hogg, and M. Wohlfahrt-Mehrens, “Li-ion battery failure mechanisms and safety aspects,” *J. Power Sources*, vol. 384, pp. 107–124, 2018.
[10] X. Sun and P. Dong, “Analysis of resistance spot welding parameters and weld quality,” *Welding Journal*, vol. 89, pp. 1–8, 2010.