

Studi Karakteristik Makro Nugget Las pada Resistance Spot Welding

Mahlina Ekawati¹⁾, Muhammad Aqdar Fitrah²⁾

¹⁻²⁾Akademi Komunitas Industri Manufaktur Bantaeng, Bantaeng

muh.aqdarfitrah@akom-bantaeng.ac.id

Abstrak

Penelitian ini menyelidiki pengaruh variasi arus las terhadap karakteristik makrostruktur dari nugget yang terbentuk dalam proses resistance spot welding, dengan fokus khusus pada stainless steel 304. Studi ini mengevaluasi efek dari berbagai tingkat arus—3, 5, dan 7 Ampere—terhadap diameter, area, dan kedalaman penetrasi nugget. Hasil penelitian menunjukkan adanya korelasi yang jelas antara peningkatan arus las dengan pertumbuhan ukuran nugget. Pada arus 3 Ampere, nugget memiliki diameter 127,95 μm , area 12.858,20 μm^2 , dan kedalaman penetrasi 1,2 μm . Ketika arus dinaikkan menjadi 5 Ampere, diameter nugget meningkat menjadi 542,2 μm , dengan area 230.909,67 μm^2 dan kedalaman penetrasi 1,14 μm . Pada arus 7 Ampere, nugget mencapai diameter maksimal sebesar 648,09 μm , area 329.883,41 μm^2 , dan kedalaman penetrasi 2,1 μm . Meskipun arus yang lebih tinggi menghasilkan nugget yang lebih besar dan penetrasi yang lebih dalam, arus ini juga meningkatkan risiko cacat las, termasuk deformasi dan ketidakberaturan mikrostruktur. Temuan ini menekankan pentingnya mengoptimalkan parameter pengelasan, terutama tingkat arus, untuk mencapai spot weld berkualitas tinggi yang menyeimbangkan ukuran nugget, bentuk simetris, dan penetrasi tanpa mengorbankan integritas sambungan las. Studi ini menegaskan perlunya kontrol yang tepat atas parameter pengelasan guna memastikan produksi sambungan las yang kuat dan bebas cacat dalam aplikasi industri.

Kata Kunci: kedalaman penetrasi, makrostruktur, nugget las, resistance spot welding.

Abstract

This research investigates the influence of varying welding currents on the macrostructural characteristics of the nugget formed in the resistance spot welding process, specifically focusing on stainless steel 304. The study evaluates the effects of different current levels—3, 5, and 7 Amperes—on nugget diameter, area, and penetration depth. The results show a clear correlation between increased welding current and the growth of nugget size. At a current of 3 Amperes, the nugget exhibited a diameter of 127.95 μm , an area of 12,858.20 μm^2 , and a penetration depth of 1.2 μm . When the current was raised to 5 Amperes, the nugget diameter expanded to 542.2 μm , with an area of 230,909.67 μm^2 and a penetration depth of 1.14 μm . At 7 Amperes, the nugget reached its maximum diameter of 648.09 μm , an area of 329,883.41 μm^2 , and a penetration depth of 2.1 μm . While higher currents produced larger nuggets and deeper penetration, they also increased the risk of weld defects, including deformation and microstructural irregularities. These findings highlight the importance of optimizing welding parameters, particularly current levels, to achieve high-quality spot welds that balance nugget size, symmetrical shape, and penetration without compromising the integrity of the weld joint. The study underscores the need for precise control of welding parameters to ensure the production of strong, defect-free welds in industrial applications.

Keywords: penetration depth, macrostructure, weld nugget, resistance spot welding.

Pendahuluan

Pengelasan titik memang salah satu metode pengelasan yang paling umum di industri manufaktur, terutama karena efisiensi dan kemampuan beradaptasi dalam

berbagai aplikasi. Penelitian menunjukkan bahwa teknologi pengelasan, termasuk pengelasan titik, telah berkembang secara signifikan, meningkatkan kecepatan dan efektivitasnya di berbagai sektor, seperti industri manufaktur, terutama dalam produksi massal komponen otomotif dan elektronik (Eren, 2023), (Yu et al., 2022). Metode ini memiliki keunggulan berupa kecepatan proses dan efisiensi biaya, sehingga banyak digunakan dalam penggabungan lembaran logam tipis (Ariyanto et al., 2023). Dalam proses ini, arus listrik dengan intensitas tinggi dialirkan melalui elektroda untuk menciptakan panas yang cukup guna melelehkan area kecil antara dua lembaran logam, yang kemudian disebut sebagai "nugget weld."

Karakteristik makro dari nugget weld, seperti ukuran, bentuk, dan distribusi porositas, sangat berpengaruh terhadap kualitas sambungan dan kekuatan struktural dari komponen yang dilas (Fitrah et al., 2024), ukuran nugget yang terlalu kecil atau distribusi panas yang tidak merata dapat menyebabkan kegagalan sambungan saat komponen digunakan dalam kondisi beban dinamis (Fitrah et al., 2023). Oleh karena itu, studi mengenai karakteristik makro dari nugget weld penting untuk meningkatkan kualitas dan keandalan sambungan pada berbagai aplikasi industri. Penelitian mengenai karakteristik makro dari nugget weld dalam proses spot welding berfokus pada berbagai parameter seperti arus pengelasan, waktu pengelasan, tekanan elektroda, serta jenis dan ketebalan material yang dilas (Fitrah, 2018). Dengan memahami bagaimana parameter-parameter ini mempengaruhi nugget weld, industri dapat mengoptimalkan proses pengelasan untuk mencapai hasil yang diinginkan dengan efisiensi yang lebih tinggi.

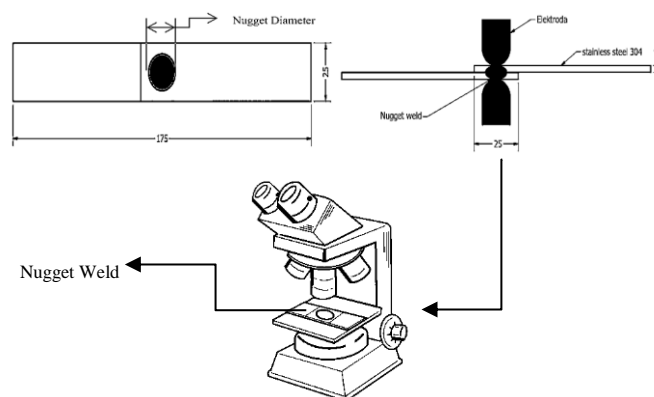
Karakteristik makroskopik nugget las dalam pengelasan titik memberikan wawasan penting mengenai faktor-faktor yang mempengaruhi kualitas las dan sifat mekaniknya. Hasil penelitian menunjukkan bahwa ukuran diameter nugget memiliki peran krusial dalam pengendalian kualitas, di mana metode non-kontak seperti teknik ultrasonik laser mampu mengukur variasi sekecil 0,5 mm dalam diameter nugget (Zhao et al., 2023). Teknik pengukuran non-kontak, seperti metode ultrasonik laser, mampu mendeteksi variasi sekecil 0,5 mm dalam diameter nugget, yang sangat penting untuk kontrol kualitas dalam proses manufaktur (Mathiszik et al., 2022)

Selain itu, parameter pengelasan, terutama arus dan waktu, terbukti secara signifikan mempengaruhi pembentukan nugget, dengan arus yang lebih tinggi menyebabkan ukuran nugget yang lebih besar dan sifat mekanik yang ditingkatkan. Ini

menggarisbawahi pentingnya kontrol yang tepat dalam pengelasan titik untuk memastikan kualitas las yang optimal. Nugget las yang terbentuk selama proses RSW dipengaruhi oleh berbagai parameter seperti arus pengelasan, gaya elektroda, dan waktu. Kondisi optimal untuk sambungan baja fase ganda menghasilkan diameter nugget sebesar 7,28 mm, yang menunjukkan korelasi yang signifikan antara ukuran nugget dengan kekuatan geser tarik yang mencapai 20 kN (Pestka & Weihe, 2023). Selain itu, bentuk dan gradien material dari nugget mempengaruhi mode kegagalan, dengan nugget yang lebih dangkal cenderung mengalami total dome failure karena peningkatan regangan plastik di tepinya (Schuster et al., 2024). Metode pengujian non-destruktif, seperti teknik ultrasonik laser, telah dikembangkan untuk secara akurat mengukur diameter nugget, yang menekankan pentingnya kualitas nugget dalam memastikan integritas las (Nomura et al., 2023). Secara keseluruhan, pemahaman tentang pembentukan dan karakteristik nugget sangat penting untuk mengoptimalkan proses RSW dan memastikan keandalan sambungan las dalam aplikasi otomotif (Zhao et al., 2023).

Metode

Penelitian ini menggunakan metode eksperimental untuk menganalisis karakteristik makro nugget las pada spot welding, dengan fokus pada pembentukan, struktur, dan dimensi nugget. Tujuan utamanya adalah mengidentifikasi faktor-faktor yang mempengaruhi karakteristik makro nugget pada stainless steel dan material lainnya. Material yang digunakan meliputi lembaran stainless steel 304 dan elektrode las dari paduan tembaga, dengan sampel yang dipotong sesuai ukuran. Peralatan yang digunakan mencakup mesin spot welding dan mikroskop untuk memeriksa nugget yang terbentuk.



Gambar 1. Gambar skema benda uji yang digunakan dalam percobaan untuk menganalisis karakteristik makro nugget las pada spot welding

Tabel 1. Penentuan parameter pengelasan RSW

Material	Proses Las	Current (ampere)	Pressure (Bar)	Time (Second)
Stainless steel 304	Resistance Spot Welding	3, 5 & 7	30	9

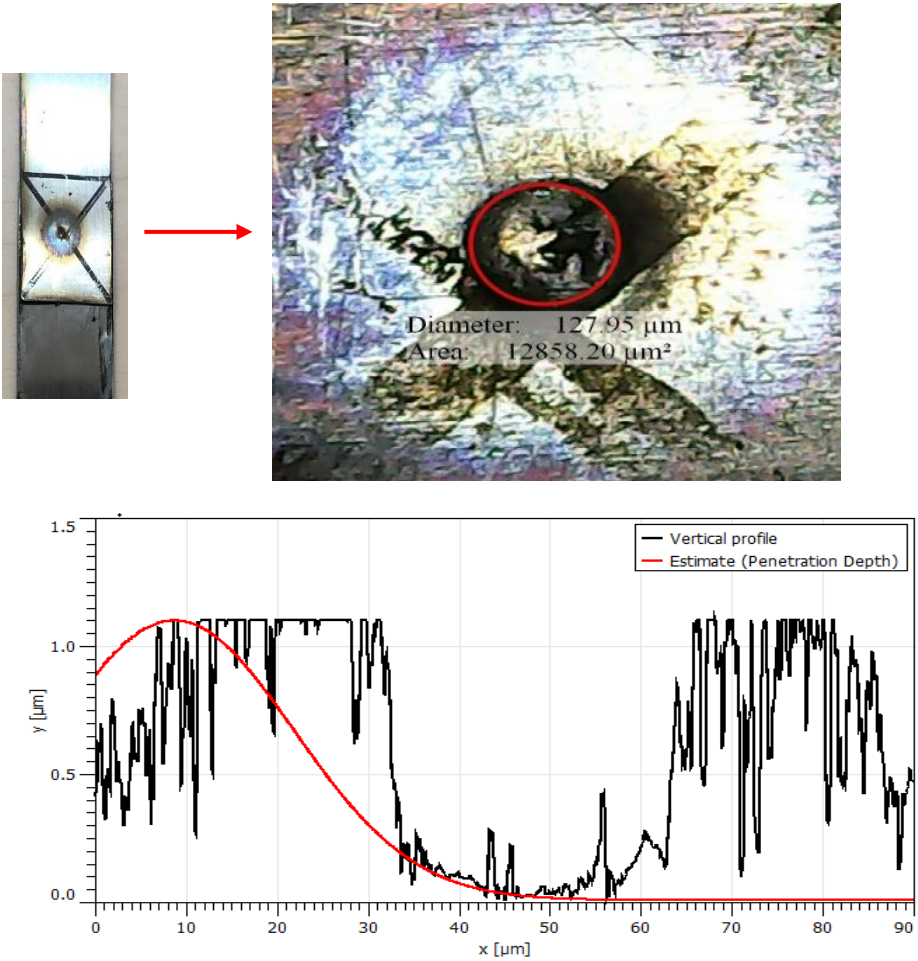
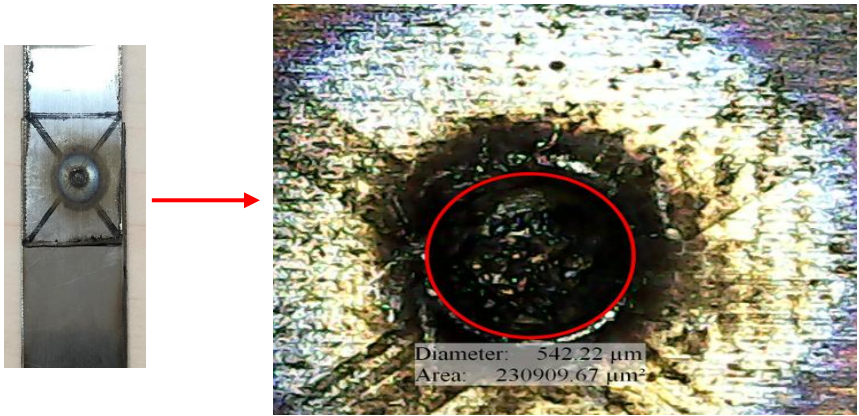
Dalam penelitian ini, variabel yang dikendalikan mencakup arus las, waktu las, gaya elektrode, dan ketebalan lembaran. Setiap parameter ini dimodifikasi secara terencana untuk mengevaluasi pengaruhnya terhadap proses pengelasan. Sementara itu, variabel yang diamati meliputi ukuran dan diameter nugget, bentuk nugget, serta kedalaman penetrasi las.

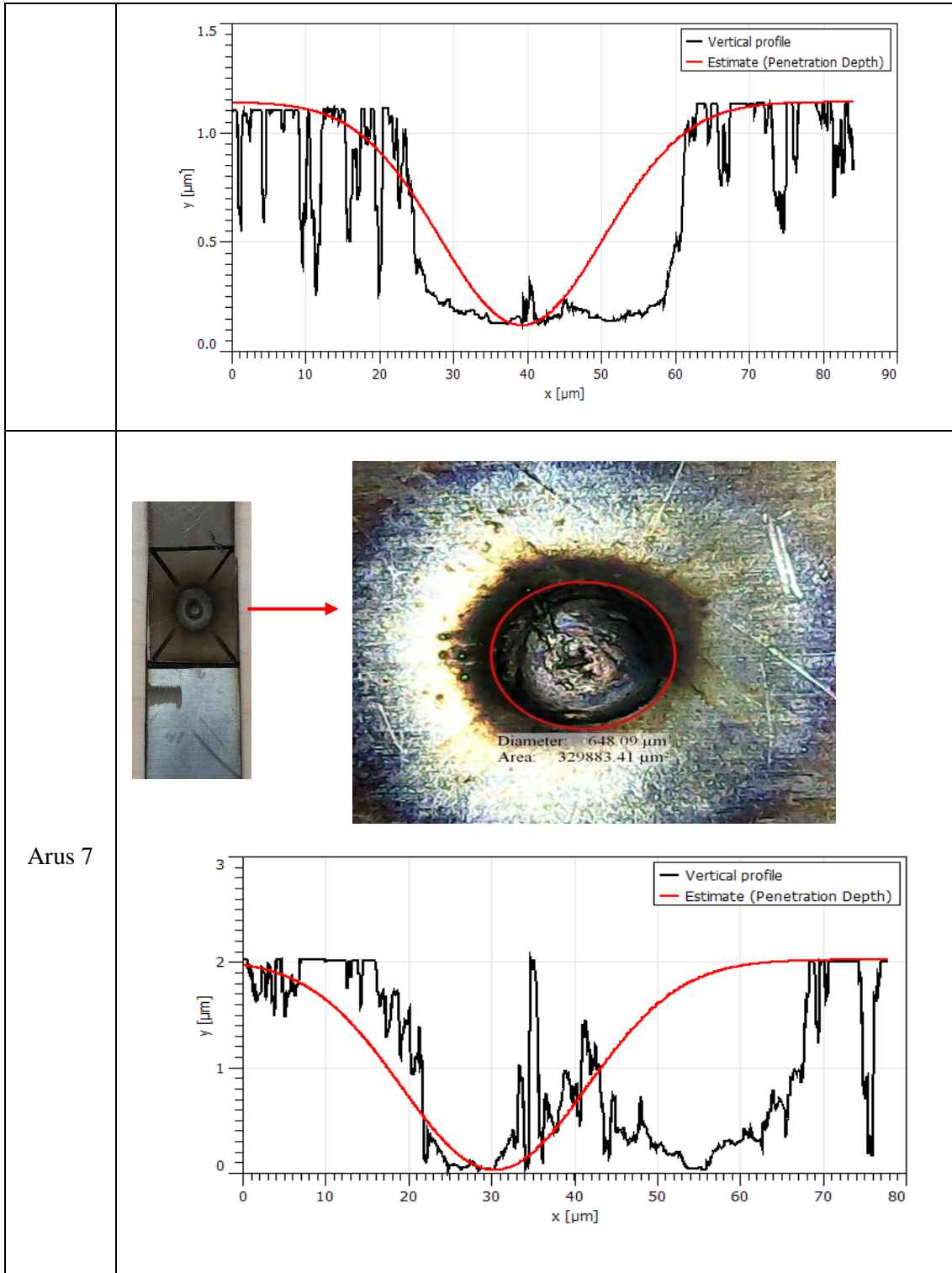
Ukuran dan diameter nugget merupakan indikator penting dari kualitas dan efektivitas las, sedangkan bentuk nugget dan kedalaman penetrasi mengungkapkan informasi tentang konsistensi dan kekuatan struktural dari sambungan las. Analisis karakteristik makro nugget las dilakukan dengan perangkat lunak analisis gambar untuk mengukur ukuran, diameter, dan bentuk nugget, serta menilai simetrinya. Penggunaan perangkat lunak ini memastikan akurasi data dan memberikan wawasan mendalam mengenai kualitas hasil las. Analisis ini juga membantu dalam mengidentifikasi potensi masalah dan perbaikan pada parameter pengelasan untuk pengembangan teknik las yang lebih baik.

Hasil dan Pembahasan

Hasil penelitian menunjukkan bahwa variasi arus las, waktu las, dan gaya elektrode berpengaruh signifikan terhadap ukuran, bentuk, dan kedalaman penetrasi nugget las. Pada arus las yang lebih tinggi, nugget yang dihasilkan memiliki diameter yang lebih besar dan penetrasi yang lebih dalam, menunjukkan peningkatan energi yang diberikan selama proses pengelasan. Waktu las yang lebih lama juga memperbesar ukuran nugget, namun berpotensi menimbulkan deformasi atau cacat seperti porositas. Bentuk nugget yang simetris cenderung muncul pada pengaturan parameter yang optimal, sedangkan bentuk asimetris terjadi pada kombinasi parameter yang tidak tepat, yang dapat memengaruhi kekuatan sambungan las.

Tabel 2. Hasil Analisa Nugget Weld

Sampel	Hasil Analisa
<p>Arus 3</p>	
<p>Arus 5</p>	



Berdasarkan hasil analisis foto makro, variasi arus las menunjukkan pengaruh signifikan terhadap ukuran, diameter, area, dan kedalaman penetrasi nugget las. Pada arus 3 Ampere, nugget las memiliki diameter sebesar 127,95 μm dengan area 12.858,20 μm^2 dan kedalaman penetrasi 1,2 μm . Nugget yang dihasilkan relatif kecil dengan penetrasi

yang baik, namun luas area nugget terbatas, yang menunjukkan fusi logam yang masih kurang optimal untuk kekuatan maksimal sambungan.

Pada arus 5 Ampere, terjadi peningkatan signifikan pada diameter nugget menjadi 542,2 μm dengan area 230.909,67 μm^2 , meskipun kedalaman penetrasi sedikit menurun menjadi 1,14 μm . Nugget yang dihasilkan lebih besar dan memiliki fusi logam yang lebih baik dengan distribusi panas yang lebih merata. Sementara itu, pada arus 7 Ampere, diameter nugget mencapai 648,09 μm dengan area 329.883,41 μm^2 dan kedalaman penetrasi sebesar 2,1 μm . Nugget yang dihasilkan pada arus ini menunjukkan fusi yang maksimal dengan ukuran dan penetrasi yang paling dalam, meskipun perlu diwaspadai potensi terjadinya cacat atau deformasi pada kondisi ekstrem ini.

Hasil ini mengindikasikan bahwa peningkatan arus las meningkatkan diameter dan area nugget serta kedalaman penetrasi, namun diperlukan kontrol yang tepat pada parameter lain seperti waktu las untuk menghindari cacat pada sambungan.

Simpulan dan Saran

Penelitian ini menunjukkan bahwa variasi arus las secara signifikan memengaruhi karakteristik nugget dalam spot welding, termasuk ukuran, diameter, area, dan kedalaman penetrasi. Pada arus yang lebih tinggi, seperti 7 Ampere, nugget yang dihasilkan memiliki diameter terbesar (648,09 μm), area yang lebih luas (329.883,41 μm^2), dan kedalaman penetrasi yang lebih dalam (2,1 μm), yang secara keseluruhan berkontribusi pada kekuatan sambungan yang lebih baik. Sementara itu, arus las yang lebih rendah, seperti 3 Ampere, menghasilkan nugget dengan diameter, area, dan penetrasi yang lebih kecil, yang menunjukkan fusi logam yang kurang maksimal.

Namun, peningkatan arus las juga membawa risiko deformasi atau cacat jika tidak diatur dengan parameter lain, seperti waktu las, dengan benar. Oleh karena itu, kontrol yang tepat terhadap parameter pengelasan sangat penting untuk mencapai nugget dengan ukuran yang optimal dan kualitas sambungan yang baik. Dengan pengaturan yang optimal, proses spot welding dapat menghasilkan sambungan yang kuat dan tahan lama tanpa mengorbankan kualitas material akibat kerusakan atau cacat.

Ucapan Terima Kasih

Terima kasih yang mendalam kami sampaikan kepada Akademi Komunitas Industri Manufaktur Bantaeng atas dukungan dan pengelolaan program hibah yang telah diberikan. Dukungan ini sangat membantu kelancaran penelitian, sehingga proses dapat berjalan sesuai rencana tanpa menghadapi kendala yang signifikan. Peran aktif lembaga dalam menyediakan sumber daya yang diperlukan telah menjadi salah satu faktor kunci dalam kesuksesan penelitian ini. Kami juga mengapresiasi seluruh pihak yang terlibat, baik secara langsung maupun tidak langsung, yang turut memberikan kontribusi dalam setiap tahapan penelitian. Kerjasama dan komitmen yang kuat dari berbagai pihak telah memungkinkan penelitian ini berlangsung dengan baik, menghasilkan data yang valid serta mencapai tujuan penelitian tanpa hambatan berarti.

Daftar Pustaka

- Ariyanto, A., Assagaf, I. P. A., Latief, R. R., Maulana, F. R., Gusrifar, G., Fitrah, M. A., & Ikhsan, M. (2023). Rancang Bangun Prototipe Preparasi Material Resistance Spot Welding. *Jurnal Rekayasa Mesin*, 14(2), 725–733. <https://doi.org/10.21776/jrm.v14i2.1466>
- Eren, B. (2023). Welding Robot Design with Machine Learning Based Intelligent Vision System. *Intelligent Method in Engineering Sciences*, 2(2), 48–51.
- Fitrah, M. A. (2018). Deteksi Kekasaran Permukaan Nugget Weld Dengan Menggunakan Aplikasi Terhadap Hasil Pengelasan Rsw pada Plat Stainless Steel 304. *Indonesian Journal of Fundakental Sciences (IJFS)*, 4(2), 102–109.
- Fitrah, M. A., Balfas, M., Utami, H. H., Thahir, M. T., & Hafid, H. (2024). Karakterisasi Inklusi Terak Pada Pengelasan Pipa SA 106 Grade B Menggunakan Mikroskop Elektron Pemindai. *Journal of Chemical Process Engineering*, 9(1), 52–59.
- Fitrah, M. A., Ikhsan, M., & Utami, H. H. (2023). Analisis Leveled Surface Terhadap Diameter Nugget Las Pada Plat Stainless Steel 304 Proses Resistance Spot Welding (Rsw). 4(2), 13–17.
- Mathiszik, C., Zschetzsche, E., Reinke, A., Koal, J., Zschetzsche, J., & Füssel, U. (2022). Magnetic Characterization of the Nugget Microstructure at Resistance Spot Welding. *Crystals*, 12(11), 1–18. <https://doi.org/10.3390/cryst12111512>
- Nomura, K., Mishima, S., Deno, S., & Sano, T. (2023). Study on non-contact measurement method of resistance spot weld nugget diameter using laser ultrasonic technique. *NDT and E International*, 140(August 2022), 102973. <https://doi.org/10.1016/j.ndteint.2023.102973>
- Pestka, J., & Weihe, S. (2023). *Influence of the Joining Force on the Nugget Diameter*

During Resistance Spot Welding of Aluminum Materials (Vol. 1). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-031-27933-1_10

- Schuster, L., Olfert, V., Sherepenko, O., Fehrenbach, C., Song, S., Hein, D., Meschut, G., Biro, E., & Münstermann, S. (2024). Influences of Weld Nugget Shape and Material Gradient on the Shear Strength of Resistance Spot-Welded Joints. *Steel Research International*, 95(4). <https://doi.org/10.1002/srin.202300530>
- Yu, S., Guan, Y., Yang, Z., Liu, C., Hu, J., Hong, J., Zhu, H., & Zhang, T. (2022). Multiseam tracking with a portable robotic welding system in unstructured environments. *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 122(3–4), 2077–2094. <https://doi.org/10.1007/s00170-022-10019-3>
- Zhao, L., Lu, Y., Xiong, Z., Sun, L., Qi, J., Yuan, X., & Peng, J. (2023). Mechanical properties and nugget evolution in resistance spot welding of Zn-Al-Mg galvanized DC51D steel. *High Temperature Materials and Processes*, 42(1), 1–14. <https://doi.org/10.1515/htmp-2022-0243>