

Pengaruh Variasi Temperatur *Pre-Heat* Pada Pengelasan *Resistance Spot Welding* Terhadap Sifat Mekanik *Stainless Steel* AISI 304

Iman Pradana A. Assagaf¹⁾, Angger BagusPrasetiyo²⁾, Novtricho Windy Pasolang³⁾

^{1,3)}Politeknik ATI Makassar, Makassar

²⁾Institut Teknologi Nasional Yogyakarta, Sleman

iman.pradana@atim.ac.id

Abstrak

Perlakuan *pre-heat* yang kurang optimal dapat mempengaruhi sifat mekanik sambungan las pada material *stainless steel* AISI 304 yang dilas menggunakan pengelasan *resistance spot welding*. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk menganalisis pengaruh suhu *pre-heat* yang berbeda (130°C, 160°C, dan 190°C) terhadap kekuatan tarik, kapasitas beban maksimum, dan kekerasan pada sambungan las *stainless steel* AISI 304. Metode yang digunakan adalah pengelasan *resistance spot welding* pada material *stainless steel* AISI 304 dengan perlakuan *pre-heat* pada suhu yang ditentukan, diikuti dengan pengujian kekuatan tarik, kapasitas beban maksimum, dan kekerasan di daerah las, HAZ (*Heat-Affected Zone*), dan *base metal*. Hasil penelitian menunjukkan bahwa suhu *pre-heat* 160°C memberikan peningkatan sifat mekanik yang optimal, dengan kekuatan tarik meningkat 66% (78,98 Pa) dan kapasitas beban maksimum mencapai 1,974 kN. Suhu *pre-heat* 190°C justru menurunkan performa mekanis akibat *overheating* yang menyebabkan pembentukan butiran kasar. Hasil ini merekomendasikan rentang suhu *pre-heat* antara 130°C hingga 160°C untuk mencapai performa pengelasan yang optimal.

Kata Kunci: *resistance spot welding, pre-heat, stainless steel*

Abstract

The suboptimal *pre-heat* treatment can affect the mechanical properties of welded joints on AISI 304 stainless steel material welded using *resistance spot welding*. The purpose of this study is to analyze the effect of different *pre-heat* temperatures (130°C, 160°C, and 190°C) on tensile strength, maximum load capacity, and hardness of the AISI 304 stainless steel welded joint. The method used is *resistance spot welding* on AISI 304 stainless steel material with *pre-heat* treatment at specified temperatures, followed by testing tensile strength, maximum load capacity, and hardness in the weld, Heat-Affected Zone (HAZ), and base metal areas. The results showed that *pre-heat* temperature of 160°C provided optimal improvement in mechanical properties, with tensile strength increasing by 66% (78.98 Pa) and maximum load capacity reaching 1.974 kN. *Pre-heat* temperature of 190°C, however, decreased mechanical performance due to *overheating*, which caused grain coarsening. These results recommend a *pre-heat* temperature range of 130°C to 160°C to achieve optimal welding performance.

Keywords: *resistance spot welding, pre-heat, stainless steel*

Pendahuluan

Pengelasan merupakan salah satu proses manufaktur yang umum digunakan di berbagai industri. Keunggulan dari metode ini adalah kemampuannya untuk menciptakan berbagai jenis sambungan dengan geometri dan bentuk yang rumit. Selain itu, pengelasan memungkinkan penggabungan logam dengan ketebalan yang berbeda serta berbagai jenis material logam (Edwin & Jenkins, 2012; Tewari et al., 2010). *Resistance Spot Welding* (RSW) biasanya digunakan dalam industri otomotif, *aerospace*, dan komponen

elektronik untuk menggabungkan pelat logam tipis. Keunggulan *resistance spot welding* yang meliputi kesederhanaan, biaya yang rendah, efisiensi yang tinggi, dan kemampuannya untuk diotomatisasi (Al-Mukhtar, 2016; Moshayedi & Sattari-Far, 2014; Pouranvari et al., 2015).

Alizadeh, dkk mengevaluasi proses pengelasan titik mempengaruhi perubahan fase mikrostruktur dan sifat mekanis dari *stainless steel* feritik AISI 430 (Alizadeh-Sh et al., 2014), selanjutnya pengaruh parameter pengelasan titik pada spesimen *stainless steel* AISI 316L diteliti oleh (Jagadeesha T & Jothi, 2017). Kemudian Essoussi, dkk membahas proses pengelasan titik yang mempengaruhi mikrostruktur dan sifat mekanis dari dua jenis baja, yaitu *stainless steel* AISI 304 dan AISI 1000 (Essoussi et al., 2019). Bhat, dkk mengevaluasi pengaruh variasi arus pengelasan pada kualitas sambungan las titik resistansi *stainless steel* AISI 304 dengan ketebalan 0,4 mm (Bhat et al., 2019). Hasil penelitian menunjukkan bahwa peningkatan arus pengelasan berbanding lurus dengan peningkatan ukuran nugget hingga batas tertentu, setelah itu ukuran *nugget* menurun akibat ekstrusi. Kualitas sambungan las dipengaruhi oleh pembentukan cacat seperti retak panas, yang diduga terjadi akibat deplesi kromium pada zona pengaruh panas dan zona las. Pengaruh perekat *sealant* pada pengelasan titik resistansi dengan materiakl *stainless steel* 301L, *sealant* dapat meningkatkan kualitas pengelasan, penggunaannya perlu dipertimbangkan dengan hati-hati karena dapat mempengaruhi sifat mekanis. Namun, dengan pengaturan parameter yang tepat, *sealant* dapat menjadi pilihan yang baik untuk aplikasi tertentu (Sun et al., 2020).

Mohammed, dkk menyelidiki sifat mekanis dan mikrostruktur pengelasan titik resistansi pada spesimen *stainless steel* 316L dengan ketebalan 3 mm. Hasil penelitian dapat digunakan sebagai referensi dalam aplikasi industri yang melibatkan pengelasan jenis ini (Mohammed et al., 2020). Manladan, dkk menyelidiki dampak *interlayer* nikel pada pengelasan titik resistansi AISI 630 *martensitic stainless steel*, *Interlayer* nikel dapat secara efektif meningkatkan kinerja pengelasan titik resistansi AISI 630 *martensitic stainless steel* dengan mengubah mikrostruktur dan meningkatkan kekuatan tarik. Peningkatan kekuatan tarik pengelasan titik resistansi pada baja tahan karat martensitik dengan menggunakan *interlayer* nikel. Hasil penelitian menunjukkan bahwa manipulasi ukuran nugget tidak efektif dalam meningkatkan kekuatan tarik. Namun, penggunaan

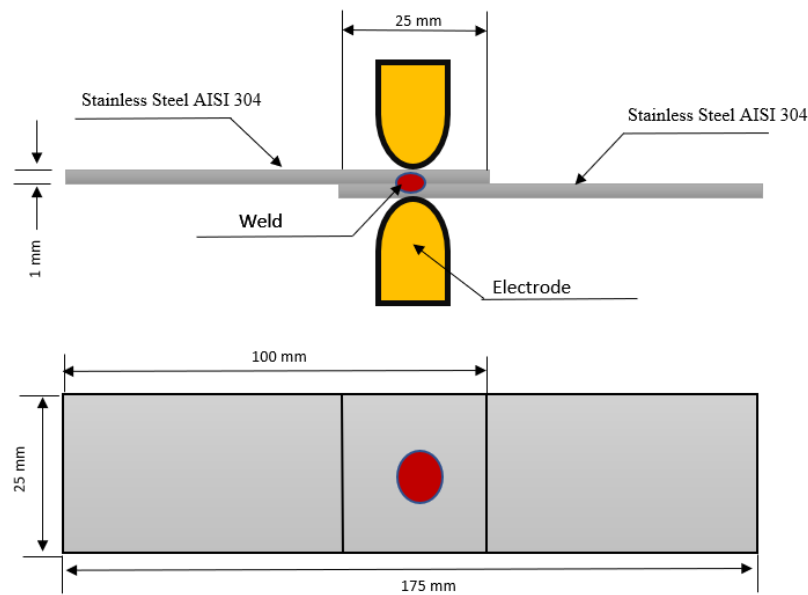
interlayer nikel dapat secara signifikan meningkatkan kekuatan tarik (Manladan et al., 2022)

Jawad, dkk membahas efek *preheating* dan tanpa *preheating* pada pengelasan gas tungsten terhadap baja karbon sedang AISI 1045. (Jawad et al., 2021). wicaksono, dkk mengevaluasi pengaruh suhu *preheating* terhadap sifat mekanis dan perilaku korosi pada sambungan las GMAW antara *AISI 304 austenitic stainless steel and ASTM A36 low carbon steel* (Wicaksono et al., 2023). Perlakuan panas pra dan pasca pengelasan dapat secara efektif meningkatkan sifat mekanis sambungan las SiC pada paduan aluminium AA6061 dan AA2024. Kombinasi perlakuan panas ini dapat menghasilkan kekuatan tarik dan ketangguhan yang tinggi, bahkan dengan adanya pertumbuhan butir abnormal dalam nugget las (Marjan et al., 2024). Kemudian Aydin membahas pengaruh *preheating* dapat meningkatkan kualitas sambungan las titik resistansi antara baja STRENX 700 CR dan DP 800. Metode ini dapat meningkatkan kekuatan tarik, kekuatan tarik silang, dan umur fatik sambungan las (Aydin et al., 2024).

Namun, berdasarkan literatur yang telah dipelajari, belum ditemukan penelitian yang secara spesifik menguraikan pemanasan awal pada sambungan material *Stainless steel 304*. Oleh karena itu, penulis berupaya untuk meneliti pengaruh pemanasan awal (*preheating*) terhadap kualitas pengelasan titik *stainless steel 304*. Dalam makalah ini material *stainless steel* AISI 304 di panaskan dengan variasi temperatur kemudian dilas dengan *resistance spot welding*, kekerasan material dan pengujian tarik yang akan diteliti. tujuannya adalah penerapan RSW dengan *pre-heat* material untuk pembuatan komponen/*part* manufaktur mobil.

Metode

Material yang digunakan pada penelitian ini adalah plat *stainless steel AISI 304* dengan ukuran spesimen 1 x 25 x 100 mm seperti pada gambar 1. Komposisi bahan kimia material disajikan pada tabel 1.



Gambar 1. Diagram skema objek uji yang digunakan dalam penelitian

Tabel 1. Komposisi Kimia Material (Mass %)

	C	Si	Mn	Cr	S	P	Ni	Fe	Mo
<i>Stainless steel AISI 304</i>	0.14-0.20	-	1.30-1.60	-	0.005-0.008	0.04	-	-	-

Proses pengelasan material dilakukan dengan memanfaatkan sistem hidrolik pada elektroda udara bertekanan yang dilengkapi dengan mekanisme pengatur tekanan. Pengaturan arus pengelasan menggunakan sistem analog, sedangkan pengaturan waktu menggunakan sistem digital, sebagaimana ditunjukkan pada gambar 2. Rincian pengaturan pengelasan dapat dilihat pada Tabel 2.

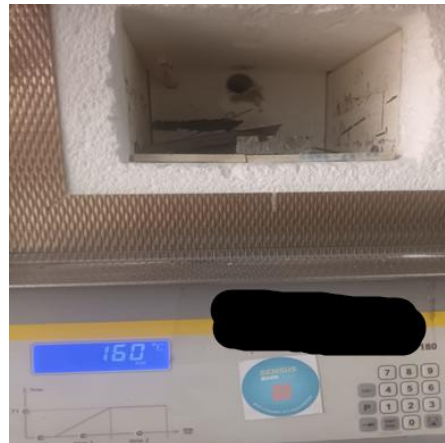
Tabel 2. Parameter Pengelasan

Spesimen	Welding Current (A)	Weld Time (S)	Tekanan Elektroda (psi)
1	6000	6	40
2	6000	6	40
3	6000	6	40
4	6000	6	40



Gambar 2. Resistance spot welding

Proses pemanasan awal atau *preheat* merupakan langkah penting sebelum pengelasan. Tujuannya adalah untuk menurunkan tegangan sisa dalam material, meningkatkan kualitas las, mengontrol distribusi panas selama proses pengelasan, serta mencegah terjadinya retak. Pada penelitian ini, *stainless steel* AISI 304 dipanaskan terlebih dahulu dalam tungku hingga mencapai suhu yang ditentukan sebelum dilakukan pengelasan, seperti yang terlihat pada Gambar 3. Variasi suhu perlakuan *stainless steel* AISI 304 dengan perlakuan pemanasan awal (*preheat*) pada tabel 3.



Gambar 3. Tanur

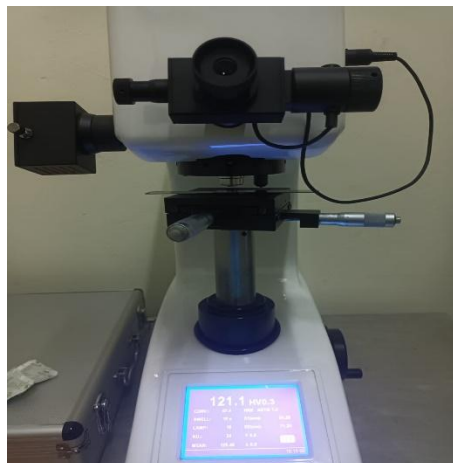
Tabel 3. Variasi Suhu *pre heat* material *stainless steel* AISI 304

Spesimen	Suhu spesimen <i>Stainless steel</i> (°C)
1	Tanpa Perlakuan
2	130
3	160
4	190

Pengujian tarik dilakukan untuk mengetahui sifat-sifat mekanis dari kualitas pengelasan dalam penelitian ini seperti pada gambar 4. Kekerasan suatu material dapat diketahui dengan pengujian kekerasan memakai mesin uji kekerasan (*hardness tester*) seperti pada gambar 5.

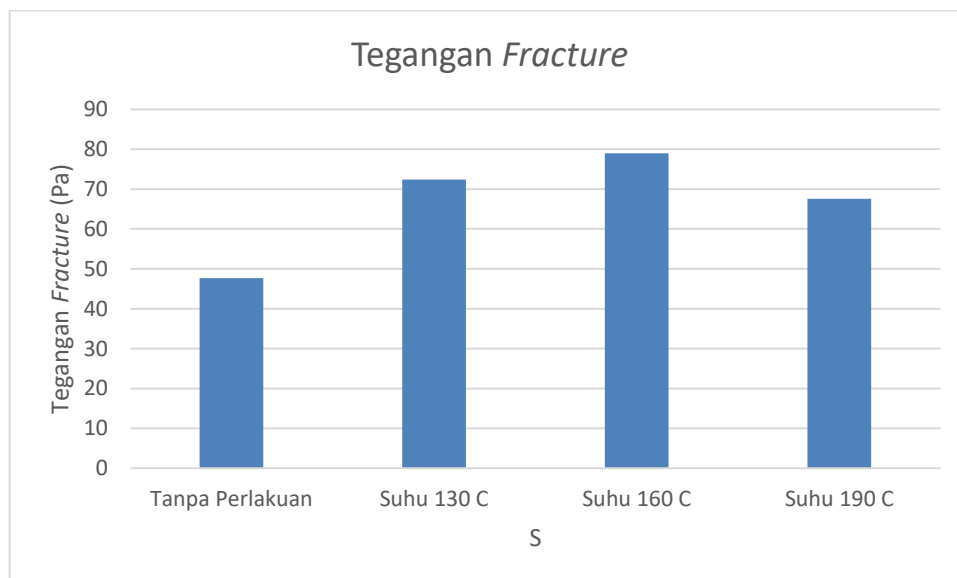


Gambar 4. Alat Uji Tarik

Gambar 5. Mesin *hardness tester*

Hasil dan Pembahasan

Penelitian ini menganalisis pengelasan *resistance spot welding* pada material *stainless steel AISI 304* dengan perlakuan *pre-heat* pada suhu yang berbeda. Berdasarkan gambar 6. grafik menunjukkan peningkatan signifikan pada kekuatan tarik maksimum (*fracture tensile strength*). Tanpa perlakuan, tegangan tarik sebesar 47.64 Pa, sedangkan pada suhu *pre-heat* 130°C dan 160°C masing-masing meningkat menjadi 72.38 Pa dan 78.98 Pa, menunjukkan kenaikan hingga 66%. Hal ini disebabkan oleh relaksasi tegangan internal dan pembentukan mikrostruktur yang lebih seragam, sehingga material memiliki sifat mekanik yang lebih baik. Namun, pada suhu 190°C, kekuatan tarik turun menjadi 67.6 Pa, meskipun masih lebih tinggi dibanding tanpa perlakuan. Penurunan ini kemungkinan disebabkan oleh *overheating* yang memicu pembentukan butiran kasar (*grain coarsening*) atau efek oksidasi (Samir, 2015). Dari hasil tersebut, suhu *pre-heat* optimal untuk meningkatkan kekuatan tarik material adalah pada 160°C. Suhu yang lebih tinggi berisiko menurunkan performa mekanis akibat perubahan mikrostruktur yang merugikan. Untuk aplikasi praktis, disarankan menjaga suhu *pre-heat* dalam rentang 130°C–160°C.

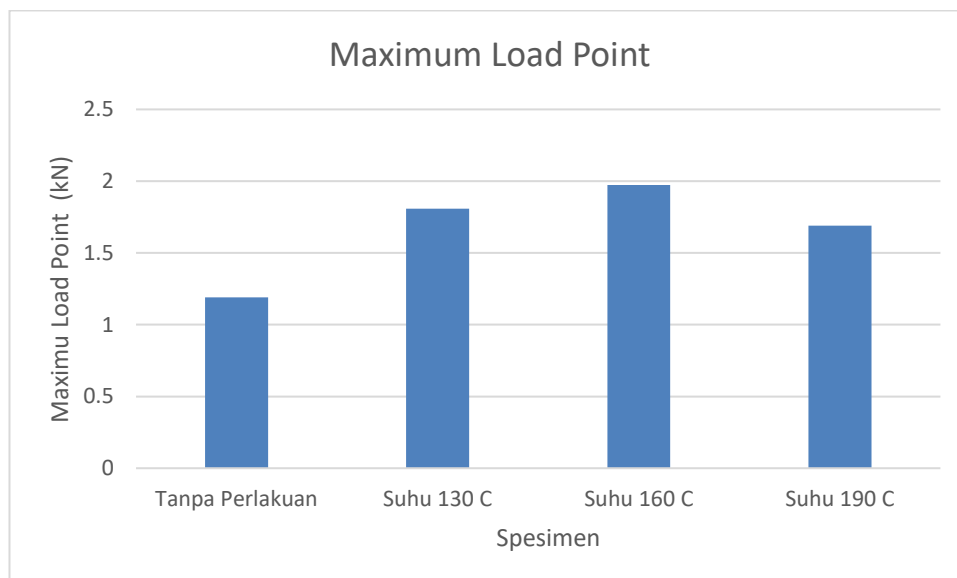


Gambar 6. Grafik Tegangan *Fracture*

Pengujian *maximum load point* pada pengelasan *spot welding* material *stainless steel AISI 304* menunjukkan bahwa perlakuan *pre-heat* memberikan pengaruh signifikan terhadap kapasitas beban maksimum pada gambar 7. Nilai beban tanpa perlakuan adalah

1.191 kN, sedangkan perlakuan pada suhu *pre-heat* 130°C dan 160°C meningkatkan beban maksimum menjadi 1.809 kN dan 1.974 kN, masing-masing naik sebesar 52% dan 66%. Kenaikan ini menunjukkan pengaruh positif dari *pre-heat* yang membantu menciptakan sambungan las dengan sifat mekanis lebih baik. Namun, pada suhu 190°C, beban maksimum menurun menjadi 1.69 kN, meskipun tetap lebih tinggi dibandingkan tanpa perlakuan. Penurunan ini dapat dihubungkan dengan kemungkinan *overheating* yang menyebabkan struktur butiran menjadi kasar atau efek oksidasi yang menurunkan kekuatan las (Burupa et al., 2024; Luo et al., 2015).

Dari analisis, suhu *pre-heat* 160°C merupakan yang paling optimal untuk meningkatkan kekuatan sambungan las, menghasilkan beban maksimum tertinggi yaitu 1.974 kN. Suhu yang lebih tinggi (190°C) justru menurunkan performa sambungan akibat efek termal yang berlebihan. Untuk aplikasi praktis, rentang suhu *pre-heat* yang direkomendasikan adalah 130°C hingga 160°C, dengan perhatian khusus pada durasi waktu pemanasan untuk menghindari efek *overheating*. Penelitian lanjutan perlu dilakukan untuk mengevaluasi pengaruh waktu tahan (*holding time*) dan karakteristik mikrostruktur agar optimasi lebih akurat.



Gambar 7. Grafik *maximum load point*

Pengujian kekerasan pada *stainless steel* AISI 304 dengan perlakuan *pre-heat* pada tabel 4. menunjukkan bahwa suhu pemanasan awal secara signifikan memengaruhi sifat mekanik di tiga area: daerah las, HAZ (*Heat-Affected Zone*), dan base metal. Tanpa

perlakuan, kekerasan di daerah las rendah akibat pendinginan cepat yang tidak optimal, sementara HAZ menunjukkan degradasi mikrostruktur. *Pre-heating* pada suhu 130°C justru menurunkan kekerasan pada daerah las dan HAZ akibat proses *softening*.

Suhu 160°C menghasilkan kekerasan tertinggi pada daerah las (171.5 HV) dan HAZ (120.9 HV), menandakan optimasi mikrostruktur karena pendinginan yang lebih lambat dan berkurangnya tegangan termal. Namun, suhu 190°C cenderung menurunkan kekerasan di HAZ (108.4 HV) dan base metal (99.1 HV) akibat *overheating*, yang menyebabkan pertumbuhan butir atau pelunakan berlebih pada material. Base metal juga menunjukkan penurunan kekerasan yang signifikan di suhu tinggi.

Pre-heating pada suhu 160°C direkomendasikan sebagai pilihan optimal untuk meningkatkan sifat mekanik pada daerah las dan HAZ tanpa menurunkan kekerasan base metal secara signifikan. Suhu lebih tinggi, seperti 190°C, sebaiknya dihindari karena dapat menyebabkan penurunan kekerasan pada seluruh zona material. Hasil ini memberikan panduan penting untuk mengatur proses pengelasan *spot welding* pada *stainless steel AISI 304*.

Tabel 4. Data kekerasan pada *stainless steel AISI 304* dengan perlakuan *pre-heat*

Spesimen	Daerah Las		HAZ		Base Metal	
	HV	HRB	HV	HRB	HV	HRB
Tanpa Perlakuan	120	66.6	113.5	62.9	121.1	67.4
Suhu 130°C	108.5	69.4	112	62.2	131.5	72.7
Suhu 160°C	171.5	86.1	120.9	67.2	114.3	63.5
Suhu 190°C	172.7	86.5	108.4	60.3	99.1	53

Simpulan dan Saran

Penelitian menunjukkan bahwa *pre-heating* pada suhu 160°C adalah kondisi optimal untuk kekuatan tarik, kapasitas beban maksimum, dan kekerasan sambungan las *stainless steel AISI 304*, berkat optimasi mikrostruktur dan relaksasi tegangan. Suhu lebih tinggi, seperti 190°C, menurunkan performa mekanik akibat *overheating* yang memicu pertumbuhan butir kasar dan pelunakan material.

Untuk pengembangan lebih lanjut, disarankan agar penelitian menguji ketahanan kelelahan (*fatigue*) dari sambungan las untuk memastikan keandalan sambungan dalam aplikasi jangka panjang.

Daftar Pustaka

- Al-Mukhtar, A. M. (2016). Review of Resistance Spot Welding Sheets: Processes and Failure Mode. *Advanced Engineering Forum*, 17(June), 31–57. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/aef.17.31>
- Alizadeh-Sh, M., Marashi, S. P. H., & Pournvari, M. (2014). Resistance spot welding of AISI 430 ferritic stainless steel: Phase transformations and mechanical properties. *Materials and Design*, 56, 258–263. <https://doi.org/10.1016/j.matdes.2013.11.022>
- Aydin, K., Hidroğlu, M., & Kahraman, N. (2024). No Title. *Materials Testing*, 66(3), 328–346. <https://doi.org/doi:10.1515/mt-2023-0241>
- Bhat, S. D., Vijeesh, V., Acharya, P., & Rao, M. (2019). Investigation of thin sheet stainless steel resistance spot welds: Effect of weld current on nugget failure and microstructure. *Materials Today: Proceedings*, 35, 361–365. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2020.02.350>
- Burapa, R., Oo, H. Z., Sangwiman, W., & Muangjunburee, P. (2024). Influences of preheating parameters on the quality of weld by thermite rail welding. *Materials Research Express*, 11(6). <https://doi.org/10.1088/2053-1591/ad51db>
- Edwin, R. D. J., & Jenkins, H. D. S. (2012). A review on optimization of welding process. *Procedia Engineering*, 38, 544–554. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2012.06.068>
- Essoussi, H., Elmouhri, S., Ettaqi, S., & Essadiqi, E. (2019). Microstructure and mechanical performance of resistance spot welding of AISI 304 stainless steel and AISI 1000 series steel. *Procedia Manufacturing*, 32, 872–876. <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2019.02.296>
- Jagadeesha T, & Jothi, T. J. S. (2017). Studies on the influence of process parameters on the AISI 316L resistance spot-welded specimens. *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 93(1–4), 73–88. <https://doi.org/10.1007/s00170-015-7693-y>
- Jawad, M., Jahanzaib, M., Ali, M. A., Farooq, M. U., Mufti, N. A., Pruncu, C. I., Hussain, S., & Wasim, A. (2021). Revealing the microstructure and mechanical attributes of pre-heated conditions for gas tungsten arc welded AISI 1045 steel joints. *International Journal of Pressure Vessels and Piping*, 192(May), 104440. <https://doi.org/10.1016/j.ijpvp.2021.104440>
- Luo, Z., Ao, S., Chao, Y. J., Cui, X., Li, Y., & Lin, Y. (2015). Application of Pre-heating to Improve the Consistency and Quality in AA5052 Resistance Spot Welding. *Journal of Materials Engineering and Performance*, 24(10), 3881–3891. <https://doi.org/10.1007/s11665-015-1704-x>
- Manladan, S. M., Zhang, Y., Luo, Z., & Wang, C. (2022). Effect of Ni addition on the microstructural evolution and lap-shear performance of AISI 630 martensitic stainless steel resistance spot welds. *Journal of Manufacturing Processes*, 84(October), 494–507. <https://doi.org/10.1016/j.jmapro.2022.10.027>
- Marjan, S., Jamshidi, H., Jamaati, R., & Javidani, M. (2024). Surface & Coatings Technology Enhancing performance : Pre-processing heat treatment ' s influence on fast multiple rotation rolling of friction-surfaced Al-16Si-4Cu alloy. *Surface & Coatings Technology*, August, 131308.

<https://doi.org/10.1016/j.surfcoat.2024.131308>

- Mohammed, H. G., Ginta, T. L., & Mustapha, M. (2020). The investigation of microstructure and mechanical properties of resistance spot welded AISI 316L austenitic stainless steel. *Materials Today: Proceedings*, 46, 1640–1644. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2020.07.258>
- Moshayedi, H., & Sattari-Far, I. (2014). Resistance spot welding and the effects of welding time and current on residual stresses. *Journal of Materials Processing Technology*, 214, 2545–2552. <https://doi.org/10.1016/j.jmatprotec.2014.05.008>
- M. S. Y. (2015). a Review of Effect of Welding and Post Weld Heat Treatment on Microstructure and Mechanical Properties of Grade 91 Steel. *International Journal of Research in Engineering and Technology*, 04(03), 574–580. <https://doi.org/10.15623/ijret.2015.0403096>
- Pouranvari, M., Alizadeh-Sh, M., & Marashi, S. P. H. (2015). Welding metallurgy of stainless steels during resistance spot welding part I: Fusion zone. *Science and Technology of Welding and Joining*, 20(6), 502–511. <https://doi.org/10.1179/1362171815Y.0000000015>
- Sun, X., Zhang, Q., Wang, S., Han, X., Li, Y., & David, S. A. (2020). Effect of adhesive sealant on resistance spot welding of 301L stainless steel. *Journal of Manufacturing Processes*, 51(October 2019), 62–72. <https://doi.org/10.1016/j.jmapro.2020.01.033>
- Tewari, S. P., Gupta, A., & Prakash, J. (2010). Effect of Welding Parameters on the Weldability of Material. / *International Journal of Engineering Science and Technology*, 2(4), 512–516.
- Wicaksono, D., Iman, M. N., & Triwibowo, N. A. (2023). Effect of preheating on mechanical properties and corrosion behavior of dissimilar GMAW joints between austenitic stainless steel and low carbon steel. *American Institute of Physics Conference Series*, 2592(1), 30013.