



OPTIMASI SINGLE RESPONSE PROSES *RESISTANCE SPOT WELDING* PADA PENGGABUNGAN BAJA BEDA MATERIAL MENGGUNAKAN METODE EKSPERIMENTAL TAGUCHI

Amri Abdulah¹⁾, Sukarman*²⁾

^{1),2)} Program Studi Teknik Mesin, Sekolah Tinggi Teknologi Wastukencana
Jl. Cikopak No.53, Purwakarta, Jawa Barat, 41151.
sukarman@stt-wastukencana.ac.id

Received: October 02, 2020. Accepted: November 12, 2020

ABSTRAK

Artikel ini menyajikan analisis eksperimental pengoptimalan *resistance spot welding* (pengelasan resistansi titik) yang telah berhasil dilakukan menggunakan mesin *spot welding* dengan sistem gaya penekan pneumatik (*pressure force system/PFS*) pada kedua elektrodanya. Optimasi dilakukan dengan menggabungkan baja beda material galvanis SGCC (JIS G 3302) dengan baja karbon rendah SPHC (JIS 3131). Baja SGCC merupakan pelat lembaran SPCC-SD (JIS 3141) yang dilapisi seng (Zn) dengan ketebalan sekitar 18.5 mikron. Lapisan seng dengan ketebalan yang cukup signifikan, menyebabkan penurunan sifat mampu lasnya. Penelitian ini bertujuan untuk mendapatkan hasil pengujian tegangan tarik geser (*shear-tensile strength*) tertinggi dari parameter *resistance spot welding* yang ditentukan. Penelitian menggunakan metode Taguchi 4-variabel dan kombinasi level eksperimen. Kombinasi level eksperimen yang digunakan yaitu, 2-level untuk parameter pertama dan 3-level untuk tiga parameter lainnya. Hasil optimasi didapatkan kekuatan geser-tarik tertinggi pada 5758.96 N yang dicapai pada *squeeze time*-22 cycles, *welding current*-27 kA, *welding time*-0.6 detik dan *holding time*-15 cycles. Pengaruh yang signifikan didapat pada *welding current* dengan delta *S / N ratio* sebesar 1.05 yang diikuti oleh parameter lainnya yaitu *welding time*, *spin time*, and *holding time*. Nilai delta *S / N ratio* masing-masing adalah 0,67, 0,57 dan 0,29.

Kata kunci: Pengelasan resistansi titik, Metode Taguchi, Mampu las material, Rasio *S / N*, Beda material

ABSTRACT

*This study presents an experimental optimization of resistance spot welding performed using a pneumatic force (electrode) system (PFS) machine. Optimization was carried out to joint the galvanized steel (SGCC JIS G 3313) with low-carbon steel (SPHC JIS 3131). SGCC is an SPCC-SD (JIS 3141) plate coated zinc (Zn) with a thickness of about 18.5 microns. A zinc coating, with significant thickness layers, causes the weldability of the metal to decrease. This study aims to obtain the tensile shear strength test results from the specified resistance spot welding parameters. The research used the Taguchi method using 4-variables and a combination of 2-level experiments. This research's practical level is 2-levels for the first parameter and 3-levels for the other parameters. The Taguchi experiment's optimization achieved the highest shear-tensile at 5049.64 N. This works performed at 22 cycles of squeeze time, 27 kA welding current, and welding time of 0.6 seconds, and 15 cycles of holding time. The *S / N ratio* analysis results show that the welding current is the most significant to the outcome and followed by welding time, spin time, and holding time. The *S / N delta ratio* values are 1.05, 0.67, 0.57 and 0.29, respectively.*

Keyword: Resistance spot welding, Taguchi method, Weldability material, S/N ratio, Dissimilar material

PENDAHULUAN

Baja galvanis merupakan baja yang dilapisi cairan seng (Zn) sehingga memiliki ketahanan terhadap karat yang baik [1]. *Resistance spot welding* (RSW) adalah teknologi pengelasan terkemuka yang digunakan untuk merakit komponen bodi mobil di industri otomotif (kendaraan konvensional berisi ribuan las titik) [2]. Pada industri mobil, RSW merupakan metode sambungan paling populer untuk penyambungan struktur bodi baja mobil. Setiap mobil menyertakan sekitar 5.000 pengelasan titik dalam proses perakitannya [3][4]. Faktanya, bagaimana mencapai efisiensi tinggi merupakan tantangan bagi para peneliti dan insinyur di bidang ini. Pengelasan yang tidak memenuhi standar dapat terjadi diproses produksi karena parameter yang tidak tepat [5].

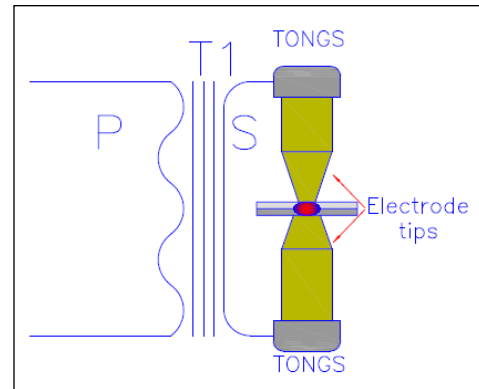
Terdapat beberapa teknik penggabungan logam yang banyak digunakan di proses manufaktur seperti, GTAW (*Gas tungsten arc welding*), Gas Metal Arc Welding (GMAW), dan lain-lain. Dilihat dari hasilnya, penggabungan material dengan metode RSW dan GMAW memiliki perbedaan seperti yang tersaji pada gambar 1 [6][7].



Gambar 1. Perbandingan hasil RSW (a) dan GMAW (b)

RSW merupakan teknik pengelasan logam dengan memberikan tahanan listrik sebagai sumber panas pada dua atau lebih permukaan logam yang menghasilkan terjadinya fusi di area pengelasan [8][9]. Pencairan logam terjadi pada kontak pengelasan logam karena adanya panas yang dihasilkan oleh hambatan kontak dari arus listrik. Proses fusi terjadi di permukaan logam yang saling menempel yang mencair karena terjadinya resistansi listrik [10]. Proses RSW terjadi selama waktu siklus tertentu dan *welding current*, *welding time*, dan gaya elektroda adalah parameter proses yang paling penting [11]. Tahanan listrik juga terjadi pada permukaan kontak elektroda dengan

pelat tetapi tidak terjadi pencairan logam karena adanya pendinginan dengan air di kedua ujung elektroda [10]. Skema RSW ditunjukkan pada gambar 2 [6][12]:



Gambar 2. Skema mesin *Resistance Spot welding*

Fusi logam terjadi karena adanya panas dan penekanan di kedua ujung elektroda pada kedua permukaan logam. Proses penekanan RSW diberikan sepanjang siklus pengelasan [10][11][13]. Proses penekanan bertujuan untuk menempa logam di area *nugget* pasca pemanasan dan mencegah deformasi (lengkungan) pada sambungan. Pada proses RSW, penekanan diawali pada siklus *squeeze time*. Pengelasan terjadi pada saat arus mengalir ke ujung elektroda sehingga menjadi panas dan terjadi fusi antar permukaan logam yang disambung [11].

Publikasi terbaru yang merinci sifat mekanis baja dilas dengan teknik RSW umumnya berfokus secara eksklusif untuk mendeskripsikan respons dari satu jenis baja. Thakur *et al.* melakukan penelitian optimasi parameter RSW untuk baja *galvanize* (*galvanized steel sheet*). Penelitian menggunakan metode optimasi Taguchi dengan parameter *preheating current* (kA), *squeeze time* (cycle), *current* (kA), *weld time* (cycle), *hold time* (cycle), dan *pressure* (MPa.). Metoda analisis menggunakan ANOVA dengan *parameter response* yang dioptimasi adalah *tensile-shear strength*. Hasil penelitian mengkonfirmasi parameter *welding current* dan *welding time* sangat signifikan mempengaruhi kekuatan *tensile-shear strength* [14]. Shafee *et al.* melakukan penelitian RSW menggunakan material baja karbon rendah dengan ketebalan 0.8 dan 1.0 mm. Penelitian menggunakan

metode Taguchi 3-parameter dan 3-level percobaan. Parameter penelitian menggunakan *electrode force*, *welding current*, dan *welding time*. Penelitian ini mengambil *tensile-shear strength* dan *direct-tensile strength* sebagai *outcome*. Analisis *S/N ratios* menggunakan karakteristik data *higher-is-better* dan didapat pengaruh *welding current* dan *welding time* yang sangat dominan pada *tensile-shear strength*, sedangkan pada *direct-tensile strength*, sangat dipengaruhi oleh *welding time* dan *welding current* [15]. Emre *et al.* meneliti optimasi RSW baja TRIP800 menggunakan metoda *two-way ANOVA* dengan parameter *input welding time* dan *welding current*. Penelitian menggunakan 5-level untuk *welding time* dan 7-level untuk *welding current*. Penelitian menggunakan dua variabel respon yaitu *nugget* geometri dan *tensile-shear strength*. Hasil evaluasi menunjukkan diameter *nugget* dan rasio ukuran *nugget* untuk baja TRIP800 setidaknya harus $4.5\sqrt{t}$ dan 0.15–0.30. Kedua persyaratan penting untuk dipenuhi agar mode kegagalan *pull-out*, *tensile-shear strength* dan kualitas permukaan *nugget* yang disyaratkan dapat dicapai [16]. Vignesh *et al.* mengoptimasi parameter RSW dengan menggabungkan dua material berbeda yaitu 316L *austenitic stainless steel* dan 2205 *duplex stainless steel*. Penelitian menggunakan eksperimen Taguchi menggunakan tiga parameter dan tiga tingkat eksperimen. Optimasi dilakukan dengan mengatur *electrode tip diameter* (mm), *welding current* (kA), dan *heating cycle*. Hasil pengujian dianalisis menggunakan ANOVA dan didapatkan adanya pengaruh pada nilai *tensile-shear strength* berturut-turut secara signifikan adalah *welding current*, *heating cycle* dan *electrode tip diameter* [17].

Penelitian ini merupakan penelitian lanjutan dengan menggunakan material *galvanize steel*. Pada

penelitian sebelumnya telah berhasil menggabungkan *galvanized steel (SECC-AF)* and *low carbon steel* [18]. Berbeda dengan penelitian-penelitian sebelumnya, penelitian RWS ini dilakukan untuk menggabungkan dua material berbeda yaitu baja galvanis (SGCC, JIS 3302) dan baja karbon rendah (SPHC, JIS 3131). Kedua bahan memiliki karakteristik berbeda dan karena adanya lapisan seng (Zn) pada baja SGCC yang memiliki efek signifikan terhadap *weldability* material SGCC [19]. Metode penelitian menggunakan eksperimen Taguchi dengan parameter *squeeze time (cycle)*, *welding current* (kA), *welding time (cycle)*, dan *holding time (cycle)*. Penelitian menggunakan campuran level eksperimen yaitu 2 tingkat untuk variabel *squeeze time (cycle)* dan 3 tingkat untuk ketiga variabel lainnya. Penelitian bertujuan untuk mendapatkan nilai tegangan tarik geser (*tensile-shear strength*) tertinggi dan mengetahui pengaruh dari variasi parameter RSW yang dioptimasi.

METODE PENELITIAN

1.1. Material dan Spesimen Pengujian

Penelitian ini menggunakan material pelat SGCC dan SPHC dengan ketebalan bahan 0.8 dan 3.0 mm. Baja *galvanized* (SGCC) merupakan jenis pelat baja yang termasuk dalam tipe *Cold Rolled Coil* (CRC) yang diproses *galvanizing* dan *annealing* dengan bahan dasar plat SPHC. Pelat SGCC ini merupakan plat lembaran yang banyak digunakan di industri manufaktur [14]. Komposisi kimia dan material yang akan digunakan dalam penelitian ini tersaji pada tabel 1.

Table 1. Chemical properties of SGCC and SPHC steel sheet (%)

Element	Galvanized steel (SGCC)		SPHC	
	JIS 3302	Coil No.: CSV4505B	JIS 3131	SP51023
C	0.15 max.	0,0063	0,15 max.	0,0364
Mn	0,08 max.	0,1940	0,06 max.	0,0192
P	0,05 max.	0,0017	0,05 max.	0,0011
S	0,05 max.	0,0043	0,05 max.	0,005

tersaji pada tabel 2.

Sedangkan sifat-sifat mekanik material SPHC

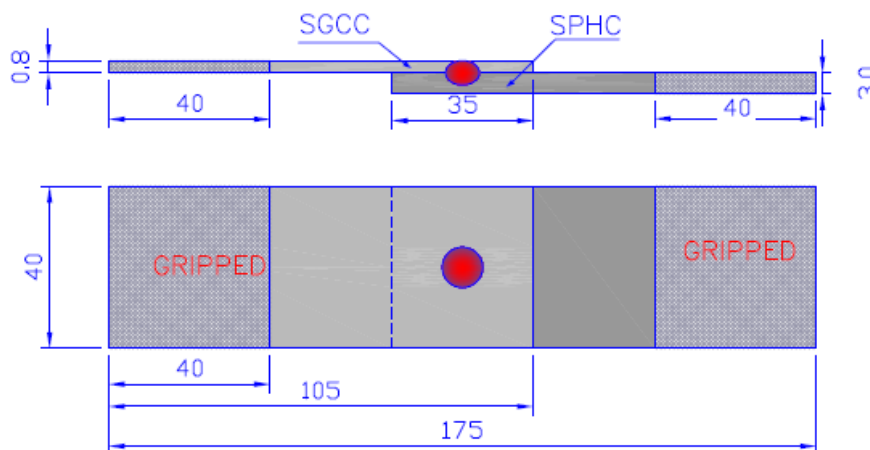
Table 2. Mechanical properties of SECC AF and SPHC steel sheet

Mechanical properties	SGCC		SPHC	
	JIS 3302	Coil No. CSV4505B	JIS 3131	SP51023
YP (N/mm ²)	205 min.	231	240 max.	195
TS (N/mm ²)	270 min.	333	270 min.	315
EL (%)	-	45	37 min.	45.2

* Thickness = coating weight/ density, zinc density = 7.14 gr/ cm³

Pembuatan specimen dilakukan melalui proses *shearing* di mana lembaran plat SGCC dan SPHC dipotong 40 x 105 mm. Metode penyambungan

dibuat overlap dengan dimensi sesuai dengan gambar 3 [20].



Gambar 3. Spesimen pengujian RWS

Penelitian ini menggunakan mesin RSW berkapasitas 35 kVA. Penekanan pada kedua ujung elektroda dikontrol menggunakan mekanisme pneumatic pada tekanan 3.5 MPa. Tipe *electrode* menggunakan *electrode* tipe *pointed* dengan diameter elektroda bawah dan atas masing-masing 8 dan 5 mm [8][13]. Gaya penekan pada ujung elektroda dihitung dengan persamaan berikut [21]:

$$F = P \cdot A \tag{2}$$

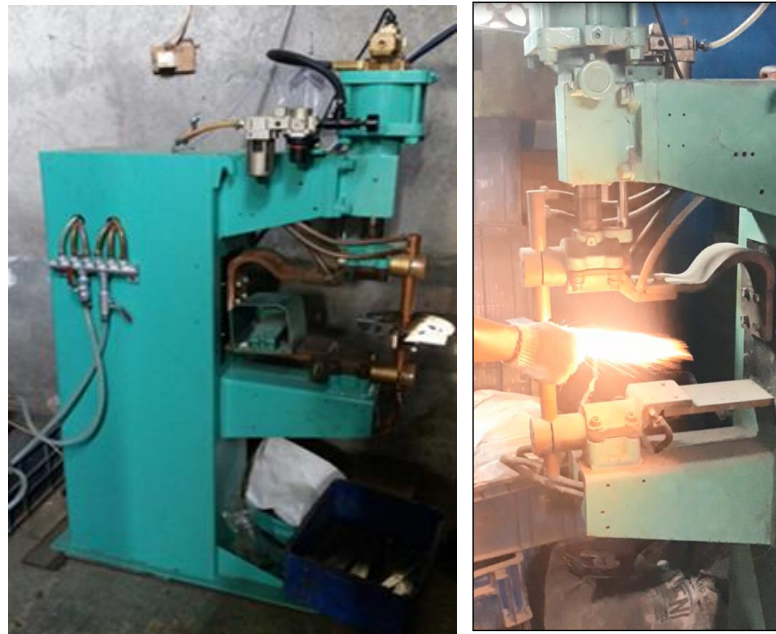
Dimana, F adalah gaya (N), P adalah tekanan (N/m²) dan A adalah luas penampang (m²). Dengan diameter elektroda atas sebesar 5 mm maka gaya tekan pada kedua ujung elektroda dapat dihitung menggunakan persamaan 2 dan didapatkan tekana sebesar 68.7 N.

Secara umum mode kegagalan pada teknik pengabungan logam RSW ada dua yaitu modus *pull-out* dan *interfacial*. Kegagalan *interfacial* disebabkan oleh diameter *nugget* yang lebih kecil dari diameter minimum yang disyaratkan [6][10]. Faktor lain dari munculnya kegagalan mode *interfacial* adalah karena kurangnya fusi antar material ketika proses pengelasan (*poor welding*) [6][7]. Mode kegagalan *pull-out* merupakan tipe kegagalan yang diinginkan. Kegagalan *pull-out* menunjukkan adanya kekuatan sambungan lebih tinggi dari pada logam dasarnya. Salah satu syarat untuk mendapatkan model kegagalan *pull-out* maka harus memenuhi minimum diameter *nugget* yang besarnya ditentukan dalam persamaan 3 [16] [22].

$$D_{min} = 4.5 \sqrt{t} \tag{3}$$

dimana t adalah ketebalan material terkecil dari logam yang tersambung. Karena penelitian ini menggunakan material SGCC 0.8 mm dan SPHC 3.0 mm maka dengan menggunakan persamaan 3 didapatkan diameter minimum *nugget* yang

disyaratkan sebesar 4,27 mm. Untuk mencapai diameter minimum maka penelitian dilakukan dengan *electrode* berdiameter 5.0 mm. Gambar 4 merupakan mesin RSW yang digunakan dalam penelitian ini.



Gambar 4. Mesin *Spot welding* kapasitas 35 kW

1.2. Pemilihan Parameter *Spot welding*

Parameter pengelasan diidentifikasi dengan tujuan untuk memprediksi karakteristik RSW dari kekuatan pengelasan titik. Parameter ini merupakan variable bebas yang dapat dikontrol secara independen, yaitu *squeeze time (cycles)*, *welding*

current (kA), *welding time (detik)* dan *holding time (cycles)*. Tingkat setiap parameter proses dipilih dalam batasan yang tersedia untuk pengelasan. Pada proses RSW, kondisi permukaan logam dasar dan temperatur elektroda sulit dikendalikan. Desain optimasi menggunakan campuran desain dua dan tiga level eksperimen tersaji pada tabel 3:

Tabel 3. Nilai parameter pada tiap level.

Code	Welding parameters	LEVEL		
		I	II	III
A	<i>Squeeze time (cycles)</i>	18	20	22
B	<i>Weld. current (kA)</i>	22	25	27
C	<i>Weld. time (detik)</i>	0.4	0.5	0.6
D	<i>Hold time (cycles)</i>	12	15	18

1 cycle=1/60 detik

1.3. *Tensile-shear strength*

Pengujian bertujuan untuk mengetahui nilai *tensile-shear strength* dari setiap sample yang diujikan. Pengujian menggunakan mesin Simadzu model

AGS-X 10kN STD E200V berkapasitas 10 kN. Kecepatan penarikannya dikontrol pada kecepatan 35 mm/min. Photo proses pengujian tersaji pada gambar 5.

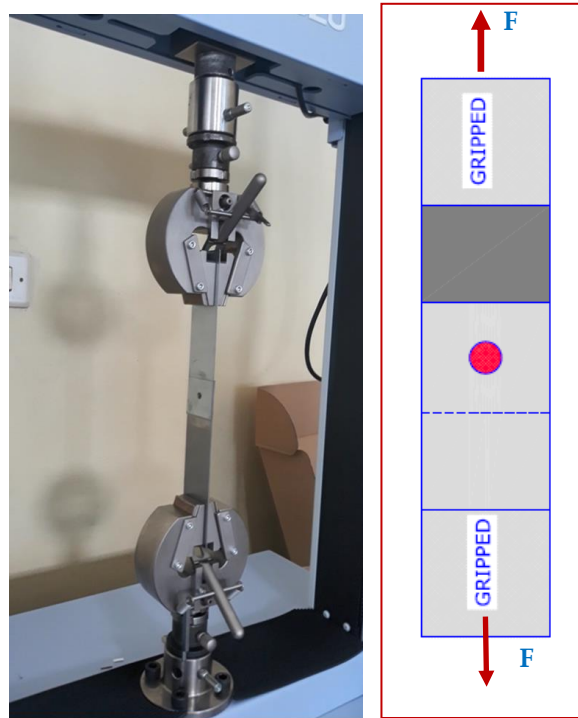


Figure 5. Tensile-shear strength test of the coupon on UTM

1.4. Orthogonal Array (OA)

Penegendalian parameter 2-tingkat pada variable pertama dan 3-tingkat pada ketiga variable lainnya dipertimbangkan dalam penelitian ini. Empat faktor

yang dikontrol menghasilkan 10 derajat kebebasan. L18 ortogonal array memiliki 17 derajat kebebasan dipilih dalam penelitian ini seperti yang ditunjukkan pada Tabel 4 [23].

Tabel 4. Experimental data for tensile shear (T-S) strength and S/N ratio

Run	A	B	C	D	T-S strength (N)	S/N ratio
1	1	1	1	1	4342.35	72.75
2	1	1	2	2	4416.24	72.90
3	1	1	3	3	5021.09	74.02
4	1	2	1	1	4857.01	73.73
5	1	2	2	2	4927.79	73.85
6	1	2	3	3	5503.67	74.81
7	1	3	1	2	5232.61	74.37
8	1	3	2	3	5252.36	74.41
9	1	3	3	1	5741.66	75.18
10	2	1	1	3	4648.36	73.35
11	2	1	2	1	4865.84	73.74
12	2	1	3	2	5707.67	75.13
13	2	2	1	2	5300.18	74.49
14	2	2	2	3	5558.89	74.90
15	2	2	3	1	5698.31	75.11
16	2	3	1	3	5681.48	75.09
17	2	3	2	1	5551.91	74.89

18	2	3	3	2	5758.96	75.21
----	---	---	---	---	---------	-------

1.5. Signal to Noise Ratio (S / N ratio)

S / N ratio dalam eksperimen Taguchi sangat penting. Istilah 'signal' adalah bagian dari nilai yang diharapkan pada karakteristik output. Sedangkan istilah 'noise' mewakili nilai yang tidak diharapkan untuk karakteristik output. S / N ratio menunjukkan parameter terbaik yang akan memberikan nilai karakteristik luaran optimal [24]. Analisis dan perhitungan S / N rasio dilakukan tergantung pada karakteristik kualitas data yang diharapkan. Metode Taguchi memberikan karakteristik kualitas data output dalam tiga bagian yaitu *smaller is better*, *larger is better*, dan *nominal is the best*. Persamaan matematik untuk setiap karakteristik output ditunjukkan pada persamaan 3, 4 dan 5 [23][25][26].

Smaller is better:

$$S/N \text{ ratio} = -10 \log \sum_{i=1}^{n_0} \frac{y_i^2}{n_0} \tag{3}$$

Larger is better:

$$S/N \text{ ratio} = -10 \log \frac{1}{n_0} \sum_{i=1}^{n_0} \frac{1}{y_i^2} \tag{4}$$

Nominal is the best:

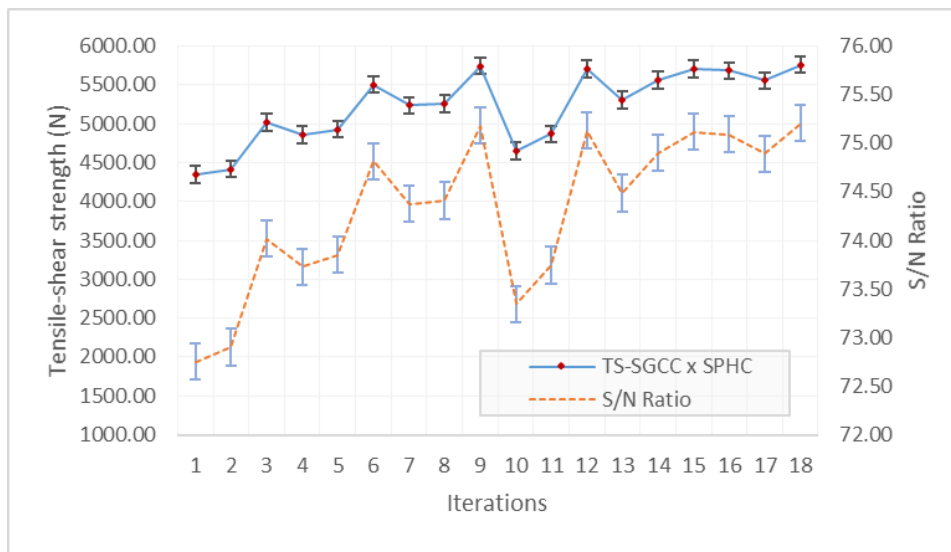
$$S/N \text{ ratio} = -10 \log \frac{\bar{y}^2}{s^2} \tag{5}$$

Dimana *n* merupakan jumlah sampel, *y* merupakan faktor respon, \bar{y} adalah rata-rata faktor *outcome* dan *s* adalah varian faktor *outcome*

HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1. Analisis Tensile-shear strength

Iterasi ke-18 pada gambar 6 terlihat memiliki *tensile-shear strength* tertinggi dengan nilai 5758.96 N. Kondisi ini dicapai pada kombinasi parameter *squeeze time* 22 cycles, *welding current* 27 kA, *welding time* 0.6 detik dan *holding time* 15 cycles. Grafik uji *tensile-shear strength* tersaji pada gambar 6.



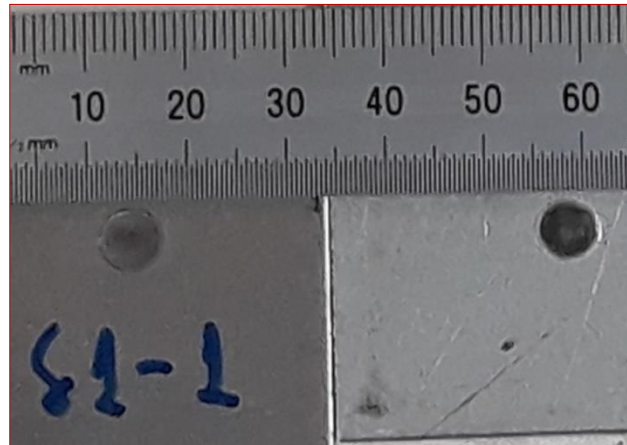
Gambar 6. Geafik Shear-tensile strength dan S/N Rasio

Sedangkan pada iterasi ke-1 terlihat *tensile-shear strength* terendah dengan nilai 4342.35 N. Kondisi ini dicapai pada kombinasi parameter *squeeze time* 20 cycles, *welding current* 22 kA, *welding time* 0.4 detik dan *holding time* 12 cycles.

Tidak semua sample yang diuji *tensile-shear strength* mengalami mode kegagalan *pull-out*. Kegagalan *interfacial* terjadi pada semua iterasi

yang menggunakan *welding time* 0.4. Kondisi ini menunjukkan bahwa proses fusi antara logam SGCC dan SPHC kecuali yang menggunakan *welding time* 0.4 detik terjadi secara baik, Kombinasi parameter yang menggunakan *welding time* 0.4 detik tidak cukup efektif untuk mencairkan lapisan zinc 18.5 micron pada material SGCC. Mode

kegagalan *interfacial* pengabungan baja SGCC dan SPHC tersaji pada gambar 7.



Gambar 7. Mode kegagalan *interfacial* parameter RSW pada welding current 0.4 detik.

3.2. S/N Ratio Analysis

Untuk mengukur pengaruh masing-masing level parameter dilakukan analisis *S / N ratios*. Pada *S / N ratios* data *mean* level 1, 2, dan 3 dihitung menggunakan rasio *S / N* rata-rata menggunakan persamaan ke-4. Parameter RSW dengan perbedaan (delta) yang besar berarti memiliki pengaruh tinggi terhadap respon dibandingkan dengan lainnya. Dalam penelitian ini, *welding current* membuat perbedaan paling besar menurut levelnya terhadap *tensile-shear strength*. Sebaliknya, setiap level

parameter *holding time* menunjukkan efek yang terkecil pada respon. Berdasarkan rasio *S / N* pada gambar 8, parameter operasi pengelasan baru diperoleh melalui level maksimum masing-masing parameter. Untuk mendapatkan kekuatan geser-tarik (TS) yang optimal, *plot S / N rasio* menyarankan pengaturan parameter seperti *squeeze time* level 2, *welding current* level 3, *welding time* level 3, dan *holding time* level 3. Gambar 8 menunjukkan *S / N* plot rasio sebagaimana dimaksud dalam poin-poin tersebut di atas.



Figure 8. *S / N* ratio data mean untuk *shear-tensile strength*

Parameter masukan yang paling mempengaruhi respon variabel (*T-S Strength*) pada penggabungan material SGCC dan SPHC adalah *welding current*

dengan nilai delta 1,21. Parameter penting lainnya, berturut-turut dipengaruhi oleh *welding time*, *sequeeze time*, dan *holding time*, dengan nilai delta

masing-masing sebesar 0,95, 0,65, dan 0,19. Tabel respon untuk rasio S / N untuk setiap parameter

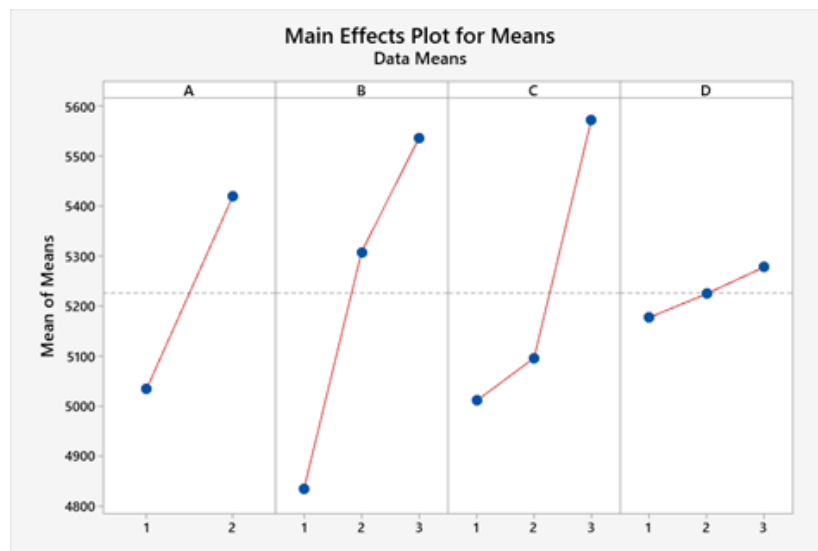
RSW disajikan pada tabel 5.

Table 5. Response table untuk *S / N ratios larger is better*

Level	Squeeze time	Weld. current	Weld. time	Hold time
1	74.00	73.65	73.96	74.23
2	74.66	74.48	74.12	74.33
3		74.86	74.91	74.43
Delta	0.65	1.21	0.95	0.19
Rank	3	1	2	4

Untuk mendapatkan *tensile-shear strength* rata-rata yang optimum, gambar 9 juga menyarankan pengaturan parameter yang sama seperti pada

grafik sebelumnya, yaitu *squeeze time* pada level 2, *welding current* pada level 3, *welding time* pada level 3, dan *holding time* pada level 3.



Gambar 9. Grafik *tensile-shear strength* rata-rata

Penelitian ini telah mengkonfirmasi *penelitian sebelumnya yang dilakukan oleh Shafee, Vigness dan Takur*, dimana *welding current* dan *welding time* merupakan parameter yang signifikan yang mempengaruhi kuat geser-tarik [14] [15] [17].

KESIMPULAN

a. Pengaturan parameter RSW yang tepat dan dengan melibatkan penggunaan gaya tekan pada ujung elektroda yang diatur pada 68,7 N untuk menyambung baja galvanis (SGCC) dengan material baja karbon rendah (SPHC) berhasil dilakukan. Dua parameter kritis yang digunakan untuk mendapatkan kekuatan geser-tarik tertinggi adalah *welding current* dan *welding time*. Parameter pada iterasi ke-18 mencapai

tensile-shear strength tes tertinggi dan didapatkan pada parameter *squeeze time* 22 cycles, *welding current* 27 kA, *welding time* 0.6 detik dan *holding time* 15 cycles. Semua parameter *welding current* dan *welding time* juga memiliki pengaruh yang signifikan dalam mencegah terjadinya mode kegagalan *interface*. Pada pengabungan logam SGCC dengan SPHC dengan teknik RSW tidak direkomendasikan menggunakan parameter *welding time* dibawah 0.5 detik. Penelitian selanjutnya akan dilakukan pada analisis pengaruh ketebalan lapisan seng (Zn) terhadap *tensile-shear strength* dan diameter *nugget*.

UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih kepada “Kementerian Riset, Teknologi dan Pendidikan Tinggi Republik

Indonesia” yang telah mendanai penelitian ini melalui program “Penelitian Dosen Pemula” tahun anggaran 2020 dengan nomor kontrak 078 / SP2H / LT-MONO / LL4 / 202.

DAFTAR RUJUKAN

- [1] S. N. BSN and Indonesia, (*hot dip galvanized*). 2004.
- [2] P. Russo Spena, M. De Maddis, F. Lombardi, and M. Rossini, “Investigation on Resistance Spot Welding of TWIP Steel Sheets,” *Steel Res. Int.*, vol. 86, no. 12, pp. 1480–1489, 2015.
- [3] S. K. Khanna, C. He, and H. N. Agrawal, “Residual stress measurement in spot welds and the effect of fatigue loading on redistribution of stresses using high sensitivity Moiré interferometry,” *J. Eng. Mater. Technol. Trans. ASME*, vol. 123, no. 1, pp. 132–138, 2001.
- [4] S. H. M. Anijdan, M. Sabzi, M. Ghobeitihassab, and A. Roshan-ghiyas, “Materials Science & Engineering A Optimization of spot welding process parameters in dissimilar joint of dual phase steel DP600 and AISI 304 stainless steel to achieve the highest level of shear-tensile strength,” *Mater. Sci. Eng. A*, vol. 726, no. April, pp. 120–125, 2018.
- [5] B. Xing, Y. Xiao, Q. H. Qin, and H. Cui, “Quality assessment of resistance spot welding process based on dynamic resistance signal and random forest based,” *Int. J. Adv. Manuf. Technol.*, vol. 94, no. 1–4, pp. 327–339, 2018.
- [6] Miller Handbook, *Handbook for Resistance Spot Welding*. Miller Electric Mfg. Co., 2010.
- [7] E. Gunawan, S. Sukarman, A. D. Shieddieque, and C. Anwar, “Optimasi Parameter Proses Resistance Spot Welding pada Pengabungan Material SECC-AF,” no. September, 2019.
- [8] D. L. Olson, S. Thomas A., S. Liu, and G. R. Edwards, *ASM Vol 6 WELDING, BRAZING, AND SOLDERING*, vol. 6. ASM International, 2019.
- [9] X. Wan, Y. Wang, and D. Zhao, “Multi-response optimization in small scale resistance spot welding of titanium alloy by principal component analysis and genetic algorithm,” *Int. J. Adv. Manuf. Technol.*, vol. 83, no. 1–4, pp. 545–559, 2016.
- [10] H. Wiryosumarto and T. Okumura, *Teknologi Pengelasan Logam*, 8th ed. Jakarta: PT Pradnya Paramita, 2000.
- [11] J. P. Oliveira, K. Ponder, E. Brizes, T. Abke, A. J. Ramirez, and P. Edwards, “Combining resistance spot welding and friction element welding for dissimilar joining of aluminum to high strength steels,” *J. Mater. Process. Technol.*, vol. 273, no. January, p. 116192, 2019.
- [12] A. H. Ertas and F. O. Sonmez, “Design optimization of spot-welded plates for maximum fatigue life,” 2011.
- [13] S. T. Pasaribu, S. Sukarman, A. D. Shieddieque, and A. Abdulah, “Optimasi Parameter Proses Resistance Spot Welding pada Pengabungan Beda Material SPCC,” 2019, no. September.
- [14] A. G. Thakur and V. M. Nandedkar, “Optimization of the Resistance Spot Welding Process of Galvanized Steel Sheet Using the Taguchi Method,” pp. 1171–1176, 2014.
- [15] S. Shafee, B. B. Naik, and K. Sammaiah, “Resistance Spot Weld Quality Characteristics Improvement By Taguchi Method,” *Mater. Today Proc.*, vol. 2, no. 4–5, pp. 2595–2604, 2015.
- [16] H. E. Emre and R. Kaçar, “Development of weld lobe for resistance spot-welded TRIP800 steel and evaluation of fracture mode of its weldment,” *Int. J. Adv. Manuf. Technol. Springer*, vol. 85, pp. 1737–1747, 2016.
- [17] K. Vignesh, A. E. Perumal, and P. Velmurugan, “Optimization of resistance spot welding process parameters and microstructural examination for dissimilar welding of AISI 316L austenitic stainless steel and 2205 duplex stainless steel,” pp. 455–465, 2017.
- [18] Sukarman *et al.*, “Optimization of Tensile-Shear Strength in the Dissimilar Joint of Zn-

- Coated Steel and Low Carbon Steel,” vol. 3, no. 3, pp. 115–125, 2020.
- [19] V. Kuklík and J. Kudláček, *Hot-Dip galvanizing of steel structures*. 2016.
- [20] American Welding Society, *Test Methods for Evaluating the Resistance Spot Welding Behavior of Automotive Sheet Steel (AWS D8.9M:2012)*. 2012, p. 7.
- [21] Miller Welds Handbook, “HANDBOOK FOR Resistance Spot Welding,” 2012.
- [22] J. Pan and K. Sripichai, “Mechanics modeling of spot welds under general loading conditions and applications to fatigue life predictions,” *Woodhead Publ. Ltd.*, 2010.
- [23] P. J. Ross, *Taguchi Techniques for Quality Engineering*. New York: Tata McGraw-Hill, 2005.
- [24] A. Abdulah, S. Sukarman, C. Anwar, A. Djafar Shieddieque, and A. Ilmar Ramadhan, “Optimization of yarn texturing process DTY-150D/96F using taguchi method,” *Technol. Rep. Kansai Univ.*, vol. 62, no. 4, pp. 1471–1479, 2020.
- [25] S. F. Arnold, *Design of Experiments with MINITAB*, vol. 60, no. 2. 2006.
- [26] E. DEL CASTILLO, *Process Optimization A Statistical Approach*. Springer New York, 2007.