



## Optimasi parameter *resistance spot welding* pada pengabungan baja electro-galvanized menggunakan metode Taguchi

### *Optimization of resistance spot welding parameters on joining electro-galvanized steel using the Taguchi method*

S. Sukarman\*, A. Abdulah

Program Studi Teknik Mesin, Sekolah Tinggi Teknologi Wastukencana, Jl. Cikopak No.53, Purwakarta, Jawa Barat, 41151, Indonesia. HP. 081285451402

\*E-mail: [sukarman@stt-wastukencana.ac.id](mailto:sukarman@stt-wastukencana.ac.id)

#### ARTICLE INFO

##### Article History:

Received 11 September 2020

Accepted 20 January 2021

Available online 01 April 2021

##### Keywords:

Resistance spot welding

S / N ratio

Taghuchi method

Tensile shear strength

Galvanized steel



#### ABSTRACT

The present study features analytical and experimental results of optimizing resistance spot welding performed using a pneumatic (electrode) force system (PFS). This optimization was carried out to incorporate the galvanized steel sheet material SECC-AF (JIS G 3313) and SPCC-SD (JIS 3141) sheet plate coated with zinc with a thickness of about 2.5 microns. The zinc coating on the metal surface causes its weldability to decrease. This study aims to obtain the highest tensile shear strength test results from the combination of the specified resistance spot welding parameters. The research method used the Taguchi method using four variables and a combination of experimental tingkats. This study's experimental tingkat is two tingkats in the first parameter and three tingkats in other parameters. Taguchi optimization results show that the highest tensile shear strength test obtained is 5049.64 N. This was achieved at 22 cycles of squeeze time, 25 kA of welding current, and 0,6-second welding-time, and 12 cycles of holding-time. The S / N ratio analysis found that the welding time had the most significant effect, followed by welding current, holding time, and squeeze time. The delta S / N ratio values were 0.62, 0,41, 0.34 and 0.07, respectively.

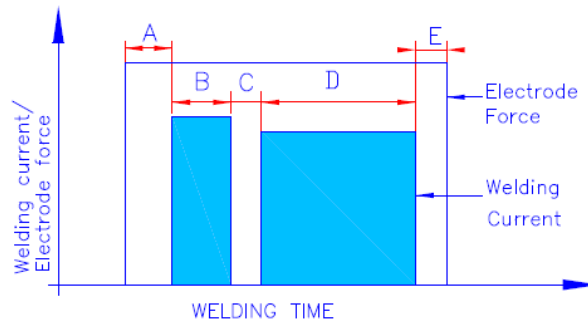
*Dinamika Teknik Mesin*, Vol. 11, No. 1 April 2021, p. ISSN: 2088-088X, e. ISSN: 2502-1729

## 1. PENDAHULUAN

*Resistance Spot Welding* (RSW) merupakan metode pengabungan logaam yang paling disukai dan banyak digunakan untuk menggabungkan lembaran logam dalam otomotif, kontruksi jembatan dan bangunan, industri peralatan perkantoran dan rumah tangga, Miller (2012), Ertas (2011). Kelebihan pada teknik pengelasan ini diantaranya hasil sambungan lebih kuat, tidak memerlukan *filler*, mudah diaplikasikan, murah dan efisien, Shafee dkk. (2015). RSW banyak digunakan dalam industri otomotif, karena biayanya yang lebih murah, kecepatan lebih tinggi, mekanisme yang mudah, dan penerapan

otomatisasi. Secara khusus, penggunaannya dalam industri otomotif sangat penting, karena setiap mobil menyertakan sekitar 5.000 pengelasan titik dalam proses perakitannya Shafee dkk.(2015), Oliveira dkk. (2019). Pengelasan titik resistansi terjadi selama waktu siklus tertentu dan arus pengelasan, waktu pengelasan, dan gaya elektroda adalah parameter proses yang paling penting Oliveira dkk. (2019).

*Resistance spot welding* (RSW) merupakan proses penggabungan permukaan logam pada satu titik atau lebih melalui panas yang dihasilkan dari hambatan (*resistance*) aliran arus listrik melalui benda kerja yang disatukan di bawah gaya *electrode tip*. Permukaan kontak di area *nugget* dipanaskan oleh pulse dalam waktu pendek pada tegangan rendah. Arus listrik yang tinggi akan membentuk *nugget* agar menyatu dari logam las. Ketika aliran arus berhenti, gaya penekan pada *electrode tip* dipertahankan sampai logam las mendingin dan mengeras dengan cepat (Olson dkk., 2019). Gaya penekan pada elektrodadilepasse setelah siklus pengelasan, yang biasanya diselesaikan dalam sepersekian detik. Secara umum sambungan las titik diperoleh dengan kombinasi panas, gaya elektroda, dan waktu pengelasan. RSW menggunakan resistansi material terhadap aliran arus yang menyebabkan pemanasan terkonsentrasi di antara bagian-bagian yang akan disambung. Teknik penggabungan logam metode RSW dilakukan dengan memberikan tahanan listrik sebagai sumber panas pada dua atau lebih permukaan logam sehingga terjadi pembentukan fusi di area pengelasan (Mubiayi dkk., 2019). Pencairan logam pada di area pengelasan terbentuk akibat panas yang dihasilkan karena sebagai akibat munculnya hambatan kontak dari arus listrik. Penyambungan dilakukan dengan cara menekan kedua permukaan pelat yang akan disambung. Proses penekanan plat dilakukan dengan menggunakan kedua electrode sepanjang siklus RSW (sebelum, selama, dan setelah pemberian arus). Proses penekanan pada RSW bertujuan untuk mencegah deformasi pada permukaan sambungan dan menempa logam las setelah pemanasan (Muthu, 2019). Proses penekanan juga untuk memastikan kontak yang memadai antara bagian-bagian yang sedang dilas (Williams & Parker, 2004). Ketika arus mengalir ke elektroda maka kedua permukaan logam menjadi panas sehingga terjadi fusi terhadap kedua permukaan logam yang menempel. Proses fusi terjadi ketika permukaan logam yang saling menempel mencair akibat adanya hambatan/resistensi listrik (Muthu, 2019). Tahapan siklus pengelasan yang digunakan dalam penelitian tersaji pada gambar 1 (Lin dkk., 2018).



Gambar 1. Siklus resistance spot welding

Dimana A merupakan *holding time* sebelum penerapan pengelasan, B adalah *pre-heat time*, C adalah *holding time* tanpa pemberian arus listrik, D adalah *welding time*, dan E adalah *holding* dan *cooling time*. Hambatan proses pengelasan muncul saat arus mengalir dari ujung elektroda ke potongan logam yang digabung. Adanya resistansi logam dasar terhadap aliran arus listrik menyebabkan terjadinya pemanasan lokal pada daerah *nugget/welding zone*. Di daerah inilah terjadi fusi antara logam yang digabung. Secara *visual* terdapat perbedaan hasil pengelasan RSW dengan metode pengelasan GTAW. Gambar 2 menunjukkan perbedaan tipe pengelasan RSW dan GTAW (Miller Electric Mfg. Co., 2012; Pasaribu dkk., 2019).



Gambar 2. Perbandingan hasil pengelasan (a) RSW dan (b) GTAW

Penelitian RSW dengan menggunakan material galvanish sudah beberapa kali dilakukan. Tetapi untuk material galvanish dengan spesifikasi SECC-AF belum banyak dilakukan. Thakur dkk., (2014)

melakukan penelitian RSW dengan menggunakan material *galvanize* dengan ketebalan lapisan *zinc* yang belum teridentifikasi. Penelitian dilakukan dengan mengoptimasi enam parameter RSW, dan tiga tingkat percobaan. Parameter yang digunakan adalah *preheating current* (kA), *squeeze time* (cycle), *welding current* (kA), *weld time* (cycle), *hold time* (cycle) dan *pressure* (MPa.). Penelitian dilakukan menggunakan metode Taguchi dengan dua variable respon yaitu diameter *nugget* dan *tensile shear strength*. Hasil eksperimen diketahui bahwa parameter yang sangat berpengaruh terhadap kekuatan hasil sambungan adalah *welding current* dan *welding time*, sementara itu parameter *squeeze time* dan *hold time* merupakan faktor yang kurang signifikan mempengaruhi variabel respon. Penelitian mengkonfirmasi penelitian sebelumnya mengenai peningkatan kualitas S/N ratio sebesar 8,61 % pada diameter *nugget* dan 19,50% untuk *T-S strength* (Chikalthankar dkk., 2014).

Wan dkk. (2016) melakukan optimasi RSW menggunakan metode Taguchi pada material baja paduan titanium. Metode penelitian menggunakan tiga variable dan empat tingkat percobaan. Variable reponse yang digunakan pada penelitian ini adalah *tensile shear strength*, *displacement* pada lokasi *peak load* dan diameter *nugget*. Tiga variable input yang digunakan dalam penelitian ini adalah *electrode force*, *welding current* dan *welding time*. Kondisi optimum didapatkan pada saat *electrode force* sebesar 209.1 N, *welding current* sebesar 1.83 kA dan *welding time* sebesar 11.4 ms (Wan dkk., 2016).

Vignesh dkk. (2017) melakukan optimasi RSW untuk mengabungkan dua material berbeda yaitu 316L *austenitic stainless steel* dan 2205 *duplex stainless steel*. Metode optimasi menggunakan metode Taguchi dengan menggunakan tiga variabel dan tiga tingkat eksperimen. Tiga variabel yang digunakan adalah *electrode tip diameter* (mm), *welding current* (kA), dan *heating cycle*. Variabel respon yang digunakan pada penelitian ini adalah *tensile shear strength*. Hasil pengujian dari optimasi parameter proses RSW dianalisis menggunakan ANOVA dan didapatkan bahwa *welding current* merupakan parameter yang paling berpengaruh terhadap *tensile shear strength* diikuti dengan *heating cycle* dan *electrode tip diameter* (Vignesh dkk., 2017).

Penelitian lanjutan dilakukan oleh Muthu (2019) dengan melakukan optimasi RSW untuk mengabungkan 316L *austenitic stainless steel*. Metode optimasi menggunakan metode Taguchi menggunakan tiga variabel dan tiga tingkat eksperimen. Tiga variabel *input* yang dioptimasi adalah *electrode tip diameter* (mm), *welding current* (kA), dan *heating time* (ms). Variabel respon pada penelitian yang digunakan adalah *tensile shear strength*. Hasil analisis ANOVA didapatkan bahwa *electrode diameter* merupakan parameter yang paling berpengaruh terhadap *tensile shear strength* diikuti dengan *welding current* dan *heating cycle* (Muthu, 2019).

Berbeda dengan beberapa penelitian sebelumnya, penelitian ini dilakukan untuk mengoptimasi proses RSW dengan mengabungkam material electro galvanized SECC-AF (JIS 3141) ketebalan maerial 0,8 mm dan lapisan zinc sekitar 2,5 micron. Sebagaimana diketahui bahwa pengaruh ketebalan lapisan zinc pada desain parameter RSW masih belum jelas (Lin dkk., 2018). Penelitian ini menggunakan metode eskperimental Taguchi empat variabel/ parameter dengan multi kombinasi tingkat eksperimen. Parameter input yang akan digunakan adalah *squeeze time* (cycle) *welding current* (kA), *welding time* (detik), dan *holding time* (cycle). Penelitian ini bertujuan untuk menghasilkan *tensile shear strength* tertinggi dari kombinasi parameter proses RSW yang digunakan. Penelitian ini merupakan bagian dari penelitian dengan tema *optimasi resistance spot welding* dengan menggunakan material yang berbeda (Sukarman dkk., 2020) (Abdulah & Sukarman, 2020)

## 2. METODE PENELITIAN

### 2.1. Material dan spesimen pengujian

Penelitian ini menggunakan material pelat SECC-AF dengan ketebalan bahan dan lapisan *zinc* masing-masing 0,8 mm dan 2,5 micron. Pelat SECC-AF adalah salah satu jenis pelat lembaran yang banyak digunakan di industri manufaktur. Pelat SECC-AF (JIS G 3313) ekuivalen material ASTM A366-91 (ASTM International, 2004). Komposisi kimia material yang akan digunakan dalam penelitian ini tersaji pada tabel berikut:

Tabel 1. Komposisi kimia pelat SECC-AF (%)

Parameters	JIS G 3313 (JIS, 1998)	Coil No. : C9AC3360A*
C	0,15 max.	0,0196
Mn	0,05 max.	0,2040
P	0,04 max.	0,0010
S	0,04 max.	0,0030

\*MILL test certifice

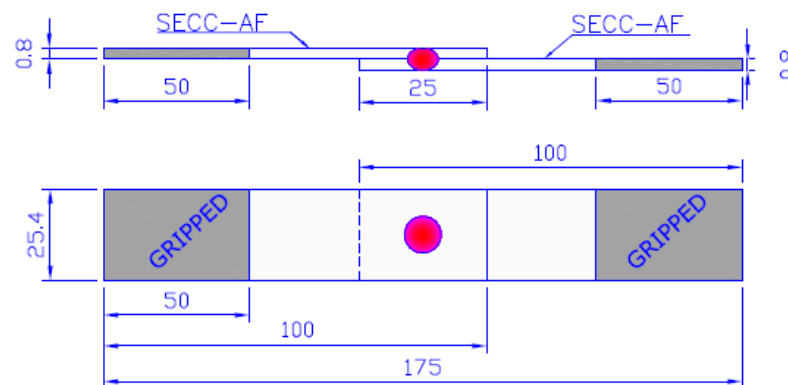
Sedangkan sifat-sifat mekanik tersaji pada tabel berikut:

Tabel 2. *Mechanical properties pelat SECC-AF*

Parameter	JIS G 3313	Coil No. : C9AC3360A
YP (N/mm <sup>2</sup> )	240 max.	216
TS (N/mm <sup>2</sup> )	370 max.	316
EL (%)	30 min.	41
Coat. weight (gr/m <sup>2</sup> )	18 min.	18,6
Thickness coting ( $\mu\text{m}$ ) <sup>*</sup>	2,5 min.	2,61

Thickness = coating weight/ density, zinc density = 7,14 gr/ cm<sup>3</sup>

Tahap awal pembuatan specimen dilakukan melalui proses *shearing*. Pada tahap ini, sebanyak delapan belas sampel lembaran plat SECC-AF tebal 0,8 mm akan digabung dengan proses RSW. Metode penyambungan dibuat *overlap* dengan dimensi sesuai dengan gambar 3.



Gambar 3. Dimensi spesimen pengujian RSW

## 2.2. *Tensile shear strength*

Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui nilai *tensile shear strength* dari setiap parameter yang diujikan yang selanjutnya akan dianalisis untuk mendapatkan nilai yang optimum. Pengujian menggunakan mesin Simadzu model AGS-X 10kN STD E200V berkapasitas 10 kN yang kecepatannya diatur pada 35 mm/min. Photo proses pengujian tersaji pada gambar 4.



Gambar 4. Proses uji *tensile shear strength*

### 2.3. Matrik eksperimen Taguchi

Mesin *spot welding* yang digunakan dalam penelitian ini memiliki kapasitas daya 35 kVA dengan menggunakan mekanisme *pneumatic* pada penekan elektrodanya. Mesin RSW yang digunakan tersaji pada gambar 5.



Gambar 5. Mesin RSW kapasitas 35 kW

Tekanan elektroda dikontrol pada tekanan 3,5 MPa. Diameter elektroda atas dan bawah masing-masing 5 dan 8 mm. Gaya penekan diujung elektroda diberikan sepanjang siklus *RSW* dan besaran nilainya dihitung dengan persamaan berikut:

$$F = P \cdot A \tag{1}$$

Besarnya gaya penekan yang bekerja pada ujung elektroda atas yang memiliki diameter 5 mm dihitung menggunakan persamaan 2 dan didapatkan nilai gaya penekan sebesar 68,7 N. Gaya penekan merupakan parameter input yang dikontrol pada nilai tetap.

Parameter optimasi RSW dengan menggunakan 4 parameter, 2-tingkat pada parameter satu dan 3-tingkat pada ketiga parameter lainnya. Empat parameter input yang digunakan dalam optimasi ini adalah *squeeze time (cycles)*, *weld. current (kA)*, *weld. time (detik)* dan *hold time (cycles)*. Parameter RSW yang saat ini digunakan adalah *squeeze time 22 cycles*, *weld. current 25 kA*, *weld. time 0,4 detik* dan *holding time 15 cycles*. Desain optimasi kombinasi tingkat eksperimen Taguchi tersaji pada tabel 3.

Tabel 3. Nilai parameter pada tiap tingkat.

Kode	Parameter pengelasan	Tingkat eksperimen		
		I	II	III
A	Squeeze time ( <i>cycles</i> )	20	22	-
B	Weld. Current (kA)	22	25	27
C	Weld. Time (detik)	0,4	0,6	0,5
D	Hold time ( <i>cycles</i> )	12	15	18

$$1 \text{ cycle} = \frac{1}{60} \text{ detik}$$

### 2.4. Weldability material

Secara umum model kegagalan pada proses RSW ada dua yaitu mode kegagalan *pull-out* dan *interfacial*. Mode kegagalan *pull-out* merupakan tipe kegagaaan yang diharapkan dalam proses penyambungan logam menggunakan RSW. Model kegagalan *pull-out* menunjukkan bahwa kekuatan sambungan lebih tinggi dibandingkan logam yang disambung. Terdapat dua syarat minimum untuk mendapatkan model kegagalan *pull-out*. Syarat pertama adanya kecukupan fusi antara material yang disambung dan kedua adalah minimum diameter *nugget*. Minimum diameter *nugget* merupakan diameter terkecil yang harus dipenuhi agar pada saat dilakukan uji *tensile shear strength*, sambungan pada daerah *nugget* mengalami model kegagalan *pull-out*. Diameter minimum *nugget* dipengaruhi oleh diameter elektroda yang digunakan yang nilainya ditentukan oleh ketebalan material yang disambung. Besarnya diameter minimum yang disyaratkan untuk memenuhi kegagalan tipe ini ditentukan dalam persamaan berikut (Lin dkk., 2018; (Sukarman dkk., 2020).

$$D_{min} = 4.5\sqrt{t} \tag{2}$$

dinamika  $t$  adalah ketebalan material terkecil dari logam yang tersambung. Pada penelitian ini menggunakan material SECC-AF ketebalan material 0,8 mm. Dengan menggunakan pendekatan pada persamaan 2 maka diameter minimum *nugget* yang harus digunakan adalah 4,27 mm dan untuk memenuhi persyaratan ini maka proses pembuatan sampel penelitian ini menggunakan *electrode* berdiameter 5.0 mm.

### 2.5. Signal to noise ratio (S / N ratio)

Istilah *S / N ratio* dalam teknik eksperimen *Taguchi* sangat penting. Istilah '*signal*' merupakan bagian dari nilai yang diinginkan pada karakteristik *output (variable response)* pada penelitian ini adalah *tensile shear strength*. Sedangkan istilah '*noise*' mewakili nilai yang tidak diinginkan untuk karakteristik *output*. *S / N ratio* menunjukkan parameter terbaik yang akan memberikan nilai karakteristik luaran terbaik atau optimal (Abdulah dkk., 2020).

Perhitungan *S / N* rasio dilakukan tergantung pada karakteristik kualitas (*variabel respon*) yang diinginkan. Metode *Taguchi* memberikan karakteristik kualitas data luaran (*variable response*) menjadi tiga bagian. Persamaan matematik untuk masing-masing karakteristik *variable response* ditunjukkan pada persamaan 3, 4, dan 5 (Arnold, 2006) (Van Nostrand, 2002).

*Smaller is better:*

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

*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:*

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

Tabel 4. Matrik eksperimen optimasi *Taguchi*

Iterasi	Parameter RSW				Tensile-shear test (N)	SNRA1	MEAN1
	Squee. Time (cycle)	Weld. Current (kA)	Weld. Time (detik)	Hold time (cycle)			
1	20	22	0,4	12	4408,59	72,89	4408,59
2	20	22	0,5	15	4563,32	73,19	4563,32
3	20	22	0,6	18	4554,07	73,17	4554,07
4	20	25	0,4	12	4180,57	72,42	4180,57
5	20	25	0,5	15	4423,09	72,91	4423,09
6	20	25	0,6	18	4953,56	73,90	4953,56
7	20	27	0,4	15	4481,67	73,03	4481,67
8	20	27	0,5	18	4503,33	73,07	4503,33
9	20	27	0,6	12	4643,85	73,34	4643,85
10	22	22	0,4	18	4208,65	72,48	4208,65
11	22	22	0,5	12	4832,49	73,68	4832,49
12	22	22	0,6	15	4001,02	72,04	4001,02
13	22	25	0,4	15	4264,24	72,60	4264,24
14	22	25	0,5	18	4599,98	73,26	4599,98
15	22	25	0,6	12	5049,64	74,07	5049,64
16	22	27	0,4	18	4590,33	73,24	4590,33
17	22	27	0,5	12	4634,12	73,32	4634,12
18	22	27	0,6	15	4949,90	73,89	4949,90

Penelitian ini menggunakan rasio *S / N* dengan data karakteristik '*larger is the better*' yang merupakan karakteristik terukur dengan nilai non-negatif dan nilai ideal tak hingga. Karakteristik ini sering digunakan untuk menganalisis data respons seperti kekuatan konstruksi bangunan (Jithendra & Elavenil, 2020), kekuatan sambungan pengelasan (Armansyah dkk., 2018), *tenacity* benang (Budianto, dkk., 2020), ketahanan korosi (Farzaneh dkk., 2011), kekasaran hasil *machining* (Sahithi dkk., 2019), dan lainnya. Dengan 4 variabel dan multi tingkat eksperimen seperti ditunjukkan pada tabel 4 maka *S/N ratio* untuk setiap eksperimen L18 telah dihitung dan tersaji pada tabel 4.

### 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

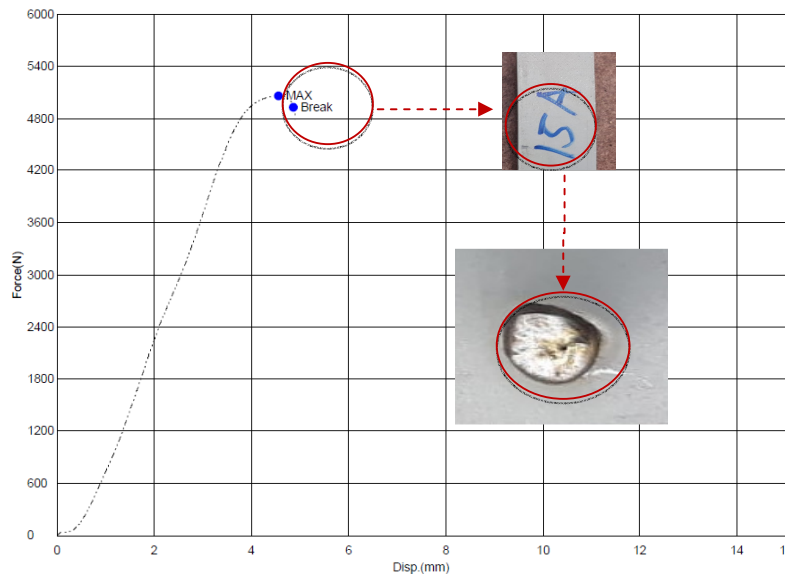
#### 3.1. Analisis *tensile-shear test* dan *weldability material*

Semua hasil uji *tensile shear strength* pada penelitian ini mengalami mode kegagalan *pull-out*. Kondisi ini menunjukkan bahwa proses fusi pada semua parameter terjadi secara baik. Ketebalan lapisan zinc 2,5 micron belum mempengaruhi *weldability material* SECC-AF secara signifikan. Mode kegagalan *pull out* pada pengabungan baja SECC-AF tersaji pada gambar 6.



Gambar 6. Mode kegagalan *pull-out* pada

Dari mode kegagalan *pull-out* yang terjadi pada semua sampel uji dapat terlihat bahwa diameter electrode sudah memenuhi persamaan 1 dan semua parameter yang digunakan cukup efektif untuk material SECC-AF. Dari area *nugget* pada gambar 6 terlihat adanya fusi yang cukup pada material yang disambung. Dari tabel 6 diketahui bahwa *tensile shear strength* tertinggi didapatkan pada iterasi ke-15 dengan nilai 5049,64 N. Kondisi ini dicapai pada kombinasi parameter *squeeze time* 22 cycles, *welding current* 25 kA, *welding time* 0,6 secon dan *holding time* 12 cycles. Grafik uji *tensile shear strength* tersaji pada gambar 7.

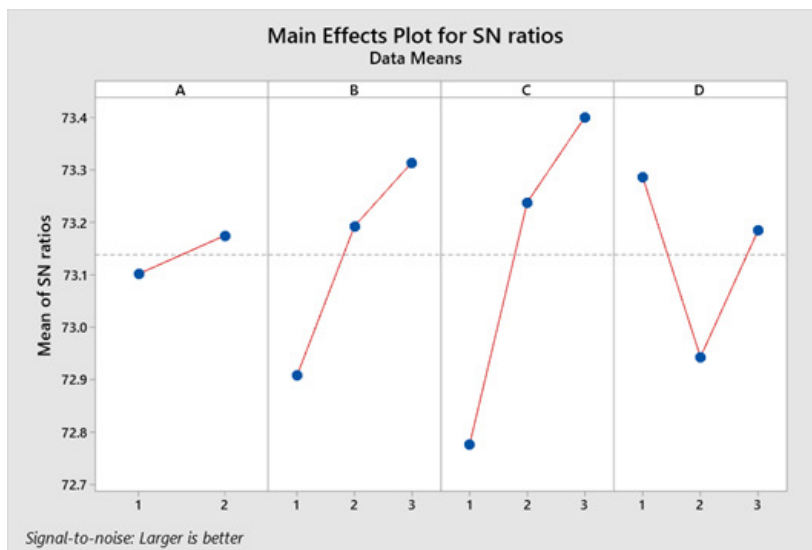


Gambar 7. Uji *tensile shear strength* pada sampel ke-15.

#### 3.2. Analisis *S / N ratio*

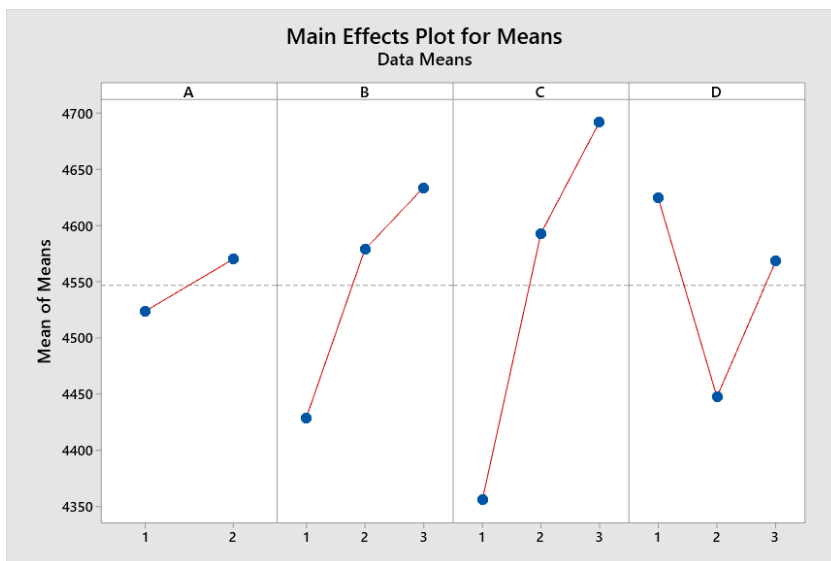
Untuk mengukur pengaruh tiap tingkat parameter, dilakukan analisis rasio *S / N*. Rerata rasio *S / N* pada tingkat 1, 2 dan 3 dihitung dengan rata-rata rasio *S / N*. Parameter dengan perbedaan yang besar berarti pengaruh yang tinggi terhadap respon. Pada penelitian kekuatan *tensile shear strength* ini, *welding time* memiliki perbedaan terbesar mengikuti tingkatnya, sedangkan masing-masing tingkat parameter *sequeeze time* menunjukkan pengaruh yang lebih kecil terhadap keluaran. Berdasarkan rasio *S / N* pada gambar 8, parameter operasi pengelasan baru diperoleh melalui tingkat maksimum pada

parameter setiap parameter *squeeze time*, *welding current* dan *welding time*. Untuk mendapatkan *tensile strength* optimum, *plot S / N ratio* pada gambar 8 menyarankan pengaturan parameter *squeeze time* di tingkat 2, *welding current* di tingkat 3, *welding time* di tingkat 3 dan *holding time* di tingkat 1.



Gambar 8. S / N ratio untuk *tensile shear strength*

Untuk mendapatkan rata-rata *tensile shear strength* yang optimum, gambar 9 juga menyarankan pengaturan parameter yang sama seperti pada grafik sebelumnya yaitu *squeeze time* di tingkat 2, *welding current* di tingkat 3, *welding time* di tingkat 3 dan *holding time* di tingkat 2.



Gambar 9. Main effect plot untuk rata-rata *tensile shear strength*

Parameter input yang paling mempengaruhi *variable response (T-S Strength)* pada penggabungan material SECC-AF adalah *welding time* dengan nilai delta sebesar 0,62. Parameter signifikan lainnya berturut-turut dipengaruhi oleh *welding current*, *holding time*, dan *squeeze time* dengan nilai delta berturut-turut adalah 0,41, 0,34 dan 0,07. Tabel respon untuk S/N ratio pada setiap parameter *resistance spot welding* tersaji pada tabel 5.



Tabel 5. *S / N ratio* s untuk T-S strength karakteristik larger is better

Tingkat	Squee. time	Weld. current	Weld. time	Hold time
1	73,10	72,91	72,78	73,29
2	73,18	73,19	73,24	72,94
3		73,31	73,40	73,19
Delta	0,07	0,41	0,62	0,34
Rank	4	2	1	3

Penelitian ini mengkonfirmasi penelitian sebelumnya yang dilakukan oleh Takur dkk. (2014) bahwa *welding current* dan *welding time* merupakan parameter yang signifikan mempengaruhi *tensile shear strength* (Thakur, 2014).

#### 4. KESIMPULAN

Penyetingan parameter resistance spot welding yang tepat dengan gaya tekan pada ujung elektroda 68,7 N proses pengabungan material galvanis untuk mendapatkan tegangan geser tertinggi berhasil dilakukan. Tegangan geser tertinggi (*tensile shear strength*) pada optimasi ini didapatkan pada iterasi ke-15. Untuk mendapatkan tensile shrear streght optium, ekspeerimen Taguchi menyarankan penyetingan parameter *squeeze time* di tingkat 2, *welding current* di tingkat 3, *welding time* di tingkat 3 dan *holding time* di tingkat 1. Dua parameter penting yang digunakan untuk mendapatkan tegangan geser tertinggi (*tensile shear strength*) adalah *welding time* dan *welding current*. Parameter *welding time* dan *welding current* juga memengaruhi secara signifikan dalam mencegah terjadinya kegagalan mode *interfacial*. Penelitian akan dilanjutkan dengan melihat pengaruh ketebalan lapisan zinc pada kekuatan *tensile shear strength* dan diameter *nugget*.

#### UCAPAN TERIMAKASIH

Terima kasih kepada *Direktorat Riset dan Pengabdian Masyarakat, Direktorat Jenderal Riset dan Pengembangan Kementerian Riset, Teknologi, dan Pendidikan Tinggi Republik Indonesia* yang telah mendanai penelitian ini melalui program Penelitian Dosen Pemula tahun pelaksanaan 2020 dengan nomor kontrak 078/SP2H/LT-MONO/LL4/2020.

#### DAFTAR NOTASI

A	: Luas penampang (m <sup>2</sup> )
D	: Diameter (mm)
F	: Gaya (N)
P	: Tekanan (N/m <sup>2</sup> )
n	: Jumlah sampel
y	: Faktor respon
$\bar{y}$	: Rerata faktor respon
s	: Varian faktor respon
t	: Tebal material (mm)

#### DAFTAR PUSTAKA

- Abdulah A., Sukarman S., 2020, Optimasi single response proses resistance spot welding, Multitek Indonesia, Jurnal Ilmiah, 6223(2), 69–79.
- Abdulah A., Sukarman S., Anwar C., Djafar Shieddieque A., Ilmar Ramadhan A., 2020, Optimization of yarn texturing process DTY-150D/96F using taguchi method. Technology Report of Kansai University, 62(4), 1471–1479. Retrieved from <https://www.kansaiuniversityreports.com/article/optimization-of-yarn-texturing-process-dty-150d96f-using-taguchi-method>
- Armansyah A., Chie H.H., 2018, Optimization of process parameters on tensile shear load of friction stir spot welded aluminum alloy (Aa5052-H112), Sinergi, 22(3), 185. <https://doi.org/10.22441/sinergi.2018.3.007>
- Arnold S.F., 2006, Design of experiments with MINITAB. In The American Statistician, 60. <https://doi.org/10.1198/tas.2006.s46>
- Budianto A., Jumawan S.B., Abdulah A., 2020, Optimasi respon tunggal pada proses texturing benang DTY-150D / 96F menggunakan metode Taguchi single response optimization of DTY-150D / 96F YARN texturing process using TAGUCHI method, 77–86.

- Chikalthankar S.B., Belurkar G.D., Nandedkar V.M., 2014, Factors affecting on springback in sheet metal bending : A review, *International Journal of Engineering and Advanced Technology*, 3(4), 247–251.
- Ertas A.H., Sonmez F.O., 2011, Design optimization of spot-welded plates for maximum fatigue life. <https://doi.org/10.1016/j.finel.2010.11.003>
- Farzaneh A., Ehteshamzadeh M., Mohammadi M., 2011, Corrosion performance of the electroless Ni-P coatings prepared in different conditions and optimized by the Taguchi method. *Journal of Applied Electrochemistry*, 41(1), 19–27. <https://doi.org/10.1007/s10800-010-0203-x>
- Jithendra C., Elavenil S., 2020, Influences of parameters on slump flow and compressive strength properties of aluminosilicate based flowable geopolymer concrete using Taguchi method, *Silicon*, 12(3), 595–602. <https://doi.org/10.1007/s12633-019-00166-w>
- Lin H.C., Hsu C.A., Lee C.S., Kuo T.Y., Jeng S.L., 2018, Effects of zinc layer thickness on resistance spot welding of galvanized mild steel. *Journal of Materials Processing Tech.*, 251(March 2017), 205–213. <https://doi.org/10.1016/j.jmatprotec.2017.08.035>
- Mubiayi M.P., Akinlabi E.T., Makhatha M.E., 2019, Current trends in friction stir welding (FSW) and friction stir spot welding (FSSW), 6. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-92750-3>
- Muthu P., 2019, Optimization of the process parameters of resistance spot welding of AISI 316L sheets using Taguchi method, *Mechanics and Mechanical Engineering*, 23(1), 64–69. <https://doi.org/10.2478/mme-2019-0009>
- Oliveira J.P., Ponder K., Brizes E., Abke T., Ramirez A.J., Edwards P., 2019, Combining resistance spot welding and friction element welding for dissimilar joining of aluminum to high strength steels, *Journal of Materials Processing Technology*, 273(January), 116192. <https://doi.org/10.1016/j.jmatprotec.2019.04.018>
- Olson D.L., Thomas A., Liu S., Edwards G.R., 2019, ASM Vol 6: Welding, brazing, and soldering. In *Acta Materialia*, 6. <https://doi.org/10.1016/j.actamat.2018.11.063>
- Pasaribu S.T., Sukarman S., Shieddieque A.D., Abdulah A., 2019, Optimasi parameter proses resistance spot welding pada penggabungan beda material SPCC. (September).
- Sahithi V.V.D., Malayadri T., Srilatha N., 2019, Optimization of turning parameters on surface roughness based on Taguchi technique, *Materials Today: Proceedings*, 18, 3657–3666. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2019.07.299>
- Shafee S., Naik B.B., Sammaiah K., 2015, Resistance spot weld quality characteristics improvement by Taguchi method, *Materials Today: Proceedings*, 2(4–5), 2595–2604. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2015.07.215>
- Sukarman S., Abdulah A., Jatira J., Rajab D.A., Anwar C., Rohman R., Akbar M.A., 2020, Optimization of tensile-shear strength in the dissimilar joint of Zn-coated steel and low carbon steel, *Automotive Experience*, 3(3), 115–125.
- an Nostrand R.C., 2002, Design of Experiments using the Taguchi approach: 16 Steps to product and process improvement, In *Technometrics*, 44. <https://doi.org/10.1198/004017002320256440>
- Vignesh K., Perumal A.E., Velmurugan P., 2017, Optimization of resistance spot welding process parameters and microstructural examination for dissimilar welding of AISI 316L austenitic stainless steel and 2205 duplex stainless steel, 455–465. <https://doi.org/10.1007/s00170-017-0089-4>
- Wan X., Wang Y., Zhao D., 2016, Multi-response optimization in small scale resistance spot welding of titanium alloy by principal component analysis and genetic algorithm. *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 83(1–4), 545–559. <https://doi.org/10.1007/s00170-015-7545-9>
- Williams N.T., Parker J.D., 2004, Review of resistance spot welding of steel sheets: Part 1 - Modelling and control of weld nugget formation. *International Materials Reviews*, 49(2), 45–75. <https://doi.org/10.1179/095066004225010523>