

OPTIMALISASI PARAMETER RESISTANCE SPOT WELDING UNTUK PENGELASAN TIGA TUMPUK LEMBAR BAJA SPCC

Pradipta Satrio Wibisono

Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Pancasila

e-mail: pradiptasatrio8@gmail.com

Abstract: *In the automotive industry, the latest breakthroughs and innovations are strongly influenced by maintaining and increasing production results so that the use and application of technology is an absolute must, as is welding technology. Thin sheet-shaped components are found in many car bodies. One of the methods used in joining plate sheets is to use the resistance spot welding method, which is a welding process that is only carried out at a certain point using copper electrodes. In the welding method, maintaining quality in order to produce products and services that can meet the needs and expectations of consumers related to the product's life time or service. SPCC steel (Cold Roller Steel Sheet) is one of the most widely used materials in car body welding applications. The characteristics and mechanical properties of SPCC steel from the results of the three-sheet welding were examined using the parameters of welding current, welding time, welding distance. The results showed that the increase in current would affect the diameter of the electrode traces and the nuggets that were formed. The greater the current used, the larger the diameter of the trail, so that the optimum pull-shear load is at a current of 6.5 kA at a distance of 20mm with a value of 365.53 MPa, also the highest hardness value is in the nugget area with a hardness value of 595, 14 HVN at a current of 6.5 kA and from the results of measuring grain diameter in microstructural testing for the HAZ area the best at a welding current of 6.5 kA. Because the smaller the weld grain diameter, the greater the strength of the weld joint. Then the data from the results of the shear-shear test are analyzed using the Taguchi method, and the most effective parameters in the tensile-shear test with a combination of A (6.5) B (1.5) C (15) and from the experimental results for tensile loads. slide obtained 397 MPa.*

Keywords: *SPCC steel, spot welding, tensile-shear load, optimal parameters*

PENDAHULUAN

Komponen berbentuk lembaran yang tipis banyak ditemukan dalam industri otomotif tersebut seperti pada *body* mobil. Salah satu metode yang digunakan dalam penyambungan lembaran-lembaran tersebut ialah dengan menggunakan metode *resistance spot welding*, yaitu proses pengelasan yang hanya dilakukan pada titik tertentu dengan menggunakan elektroda tembaga. Proses las resistensi listrik ini digunakan untuk mempersingkat waktu penyambungan lembaran-lembaran logam sehingga dapat mempercepat dan meningkatkan hasil produksi. Dalam pengelasan titik, kualitas menjadi hal yang harus di perhatikan untuk menghasilkan produk yang berkualitas demi kenyamanan konsumen.

DASAR TEORI

Prinsip Las Resistansi Titik

Las resistansi titik merupakan salah satu sistem penyambungan pada bahan baja atau material lain yang biasanya berbentuk lembaran. Penyambungan dengan cara ini relatif lebih praktis dan pengaruh terhadap sifat bahan hasil pengelasan lebih baik, sebab daerah pengaruh panas (*HAZ*) yang ditimbulkan relatif kecil [1].

Lembaran-lembaran logam yang akan disambung, akan dijepit oleh sepasang elektroda dengan tekanan selama waktu tertentu. Untuk menghasilkan *nugget*, terdapat empat periode waktu pengelasan yang disebut dengan siklus pengelasan, waktu penahanan dan waktu selesai.

- Waktu Penekanan (*Squeeze Time*)
- Waktu Pengelasan (*Weld Time*)
- Waktu Penahanan (*Hold Time*)
- Waktu Selesai (*Off Time*), waktu dimana gaya penekanan dari sepasang elektroda ditiadakan [2].

Uji Tarik

Adalah salah satu uji *stress-strain* mekanik yang bertujuan untuk mengetahui kekuatan bahan terhadap gaya tarik. *Stress* (tegangan mekanis) adalah beban dibagi luas penampang bahan dan *strain* (regangan) adalah pertambahan panjang dibagi panjang awal bahan.

$$\text{Stress: } \sigma = F/A \quad ; F = \text{gaya tarikan, } A = \text{luas penampang}$$

$$\text{Strain: } \varepsilon = \Delta L/L \quad ; \Delta L = \text{Pertambahan panjang, } L = \text{Panjang awal [3].}$$

Uji Kekerasan

Kekerasan didefinisikan sebagai kemampuan suatu material untuk menahan beban indentasi atau penetrasi (penekanan). Jenis pengujian kekerasan yang umum digunakan yaitu uji kekerasan *vickers* menggunakan indenter piramida intan, besar sudut antar permukaan piramida intan yang saling berhadapan adalah 136° . Ada dua rentang kekuatan yang berbeda, yaitu *micro* (10g -1000g) dan *macro* (1kg - 100kg) [3].

Nilai kekerasan (*BHN*) dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$HV = \frac{2F \cdot \sin^{\theta/2}}{d^2} = \frac{1,8554 F}{d^2} \quad (1)$$

HV = Angka kekerasan *Vickers*

F = Beban (kgF)

d = Diagonal (mm)

Analisis Struktur Mikro

Struktur mikro pada material sangat erat kaitannya dengan sifat pada logam tersebut. Dalam pengamatan struktur mikro, dapat terlihat fasa-fasa dalam suatu material. Fasa adalah suatu daerah dimana pada rentang dan komposisi tertentu mempunyai sifat yang sama. Antara fasa satu dengan fasa yang lain akan dibatasi oleh batas fasa [3].

Rekayasa Kualitas

Menurut *Taguchi*, kualitas diukur dari seberapa kerugian yang dihitung dari besarnya variasi kualitas produk dari target kualitas yang sudah ditetapkan. Untuk mencapai tujuan tersebut, *Taguchi* membuat sebuah metode rekayasa kualitas yang menjadikan produk atau proses “tidak sensitif” terhadap berbagai faktor seperti misalnya material, perlengkapan manufaktur, tenaga kerja manusia dan kondisi operasional [4].

Sementara itu sistem desain membantu untuk mengidentifikasi tingkat kerja parameter desain. Parameter desain berusaha untuk menentukan tingkat parameter yang memberikan kinerja terbaik produk atau proses studi. Kondisi optimal dipilih sehingga pengaruh faktor-faktor tak terkendali (*signal noise*) menyebabkan minimal variasi untuk sistem aplikasinya. *Ortogonal*, *ANOVA*, *S/N* rasio analisis dan *F-test* adalah alat penting untuk parameter desain dan toleransi desain adalah langkah untuk menyempurnakan hasil desain parameter [5].

METODE PENELITIAN

Langkah-langkah yang dilakukan dalam melakukan penelitian.

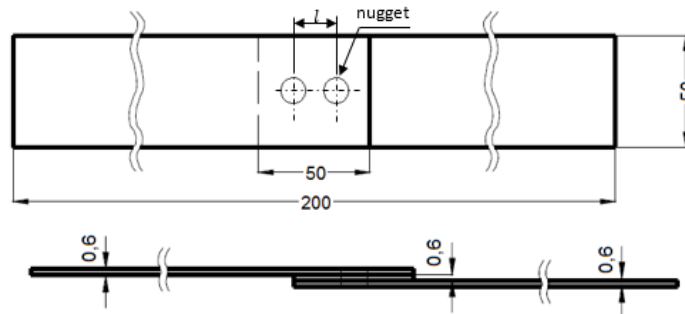
Tahap Persiapan Eksperimen

Tahap awal persiapan yang harus dikonfirmasi adalah benda kerja pengelasan, dan mesin lasnya. Sampel merupakan baja karbon rendah *SPCC* yang berasal dari salah satu perusahaan produsen mobil. Berikut ini menerapkan parameter las yang digunakan:

Tabel 1. Parameter las pengujian

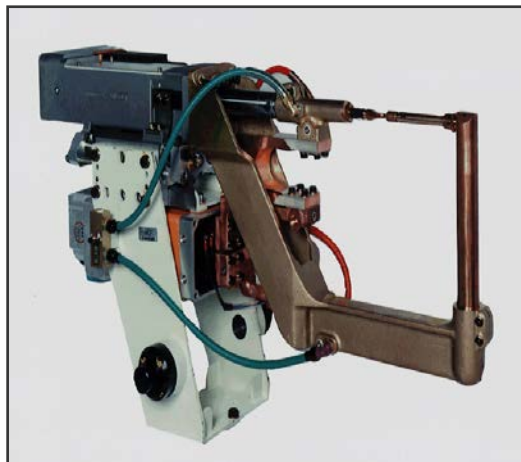
Level	Arus Pengelasan	Waktu Pengelasan	Jarak Pengelasan
	(Ampere)	(Second)	(mm)
	(A)	(B)	(C)
1	6500	1,5	15
2	7000	2	20
3	7500	2,5	25

Spesimen yang digunakan adalah lembaran plat saling tumpang tindih dengan luas area *lap joint* 50 x 50 mm untuk penggabungan *Triple Sheet*.



Gambar 1. Susunan *lap joint* dan dimensi specimen

Pengelasan titik menggunakan mesin las dengan tipe *DYT019 OBARA* dengan variasi arus dan jarak *nugget*.



Gambar 2. Mesin las DYT019 OBARA

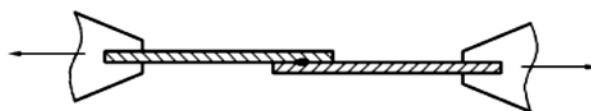
Selanjutnya dilakukan pengelasan pada spesimen uji, dilakukan pengelasan titik sebanyak 2 titik untuk setiap spesimen uji dengan total 9 spesimen uji.

Pengujian Spesimen

Setelah dilakukan pengelasan berdasarkan dengan parameter yang sudah di tentukan, selanjutnya dilakukan pengujian material. Adapun pengujian yang dilakukan adalah sebagai berikut:

1. Pengujian Tarik-Geser

Pada pengujian ini diketahui kekuatan sambungan las terhadap beban yang diberikan.



Gambar 3. Skema pengujian tarik-geser

2. Pengujian Metalografi

Pengujian metalografi dilakukan untuk mengetahui perubahan struktur mikro yang terjadi pada spesimen uji yang telah mengalami siklus termal akibat proses pengelasan titik. Tahapan persiapan spesimen uji dilakukan dengan cara sebagai berikut.

- a. Pemotongan spesimen uji
- b. Proses *Mounting*
- c. Proses *Grinding*
- d. Proses Pemolesan
- e. Pengetsaan

3. Pengujian Kekerasan Mikro

Metode yang digunakan dalam pengujian kekerasan ialah metode kekerasan mikro *Vickers* yang menggunakan standar ASTM384 yang diuji disepanjang daerah las-lasan. Metode ini menggunakan beban sebesar 100gram dan indentor intan berbentuk piramida dengan sudut 136° .

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil Pengelasan dan Pengukuran Diameter Jejak

Sampel pengujian dengan komposisi kimia dari material dasar, yaitu baja karbon rendah *SPCC* dapat dilihat pada Tabel 2. berikut ini.

Tabel 2. Komposisi kimia spesimen uji

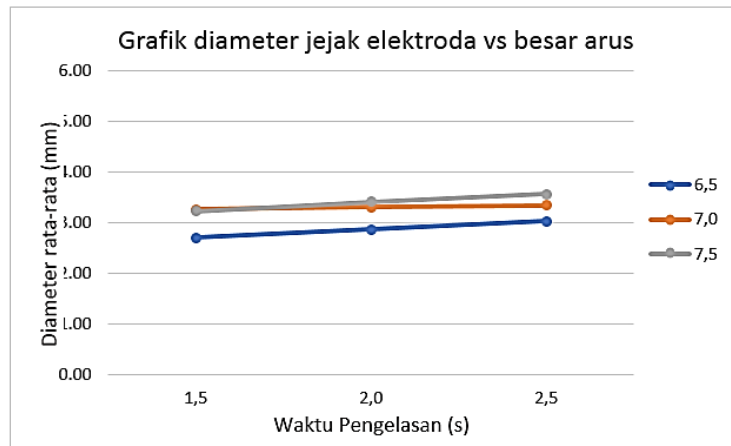
Unsur	Cd	Pb	Mn	Fe	Cr	Hg
Kadar (%)	0,0	0,01	0,128	99,843	0,02	0,0

Selanjutnya dilakukan pengelasan menggunakan jenis sambungan *lap joint* dengan las berupa titik yang di tunjukan pada Gambar 4. berikut.



Gambar 4. Hasil pengelasan RSW

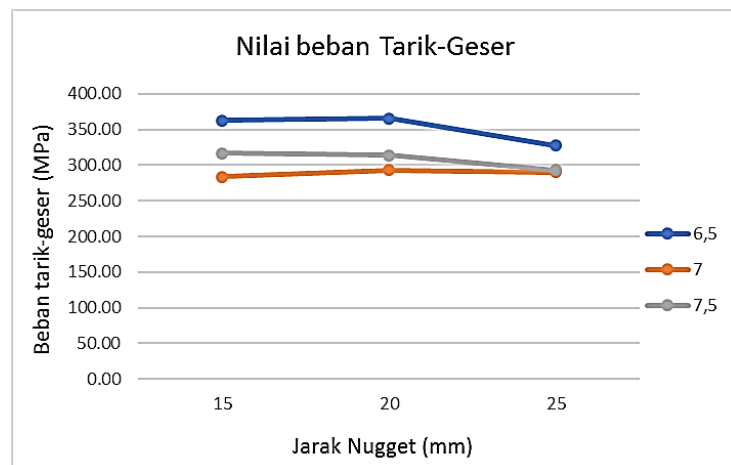
Selanjutnya dari hasil pengelasan, dilakukan pengukuran diameter jejak elektroda.



Gambar 5. Hubungan diameter jejak elektroda dengan kuat arus

Dari hasil pengukuran diameter dapat diketahui bahwa besar diameter jejak elektroda akan berbanding lurus dengan arus yang digunakan. Semakin besar arus yang digunakan maka diameter jejak yang dihasilkan juga akan semakin besar.

Hasil Pengujian Tarik-Geser



Gambar 6. Perbandingan beban tarik-geser versus jarak *nugget* tiga tumpuk.

Untuk menghitung nilai beban tarik-geser hasil aktual pengujian tarik-geser dengan mengubah satuan kgf ke MPa, di tunjukan dengan rumus berikut:

$$MPa = \frac{(kgf) \times 9,81}{2x\left(\frac{3,14xD^2}{4}\right)}$$

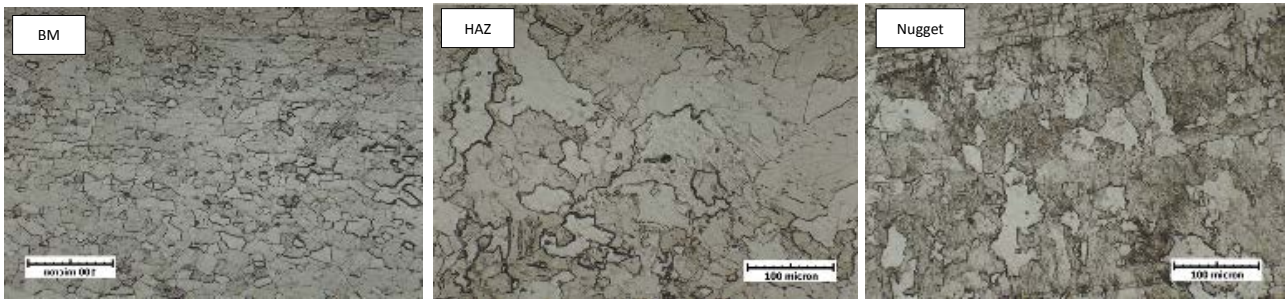
Dari hasil pengujian yang diperoleh cenderung menurun seiring dengan bertambahnya jarak antara *nugget*. Dapat disimpulkan bahwa jarak *nugget* mempengaruhi kekuatan dan beban yang dapat ditanggung oleh sambungan las, dengan nilai *T-S Strength* 362,56 MPa pada arus 6,5 kA dan jarak 20mm.

Hasil Pengujian Mikro Struktur

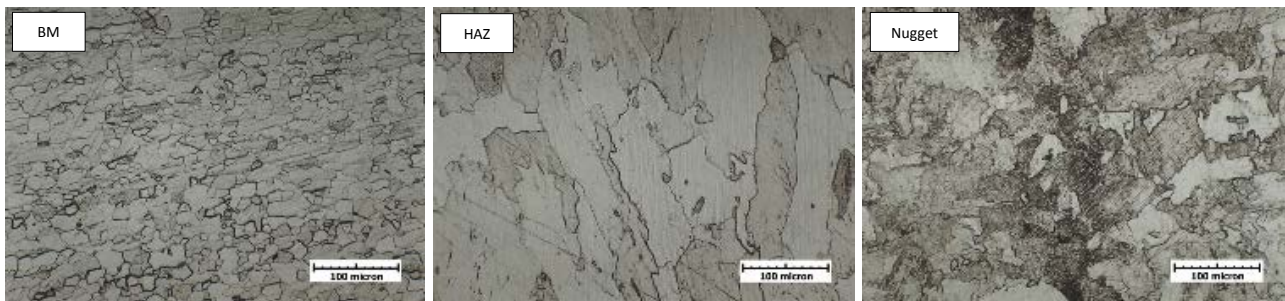
Berikut ini merupakan hasil pengamatan mikrostruktur pada *base metal*, *HAZ* dan *nugget* untuk 3 parameter arus pengelasan. Hasil pengujian mikrostruktur dilakukan pengukuran besar diameter butir.



Gambar 7. Struktur mikro 6,5 kA, 200x



Gambar 8. Struktur mikro 7,0 kA, 200x



Gambar 9. Struktur mikro 7,5 kA, 200x

Adanya daerah *base metal*, *HAZ* serta *nugget* membuktikan perubahan mikrostruktur ini. Pada daerah *HAZ* dapat terlihat bahwa terjadi pembesaran butir sehingga merubah sifat mekanis akibat siklus termal tersebut.

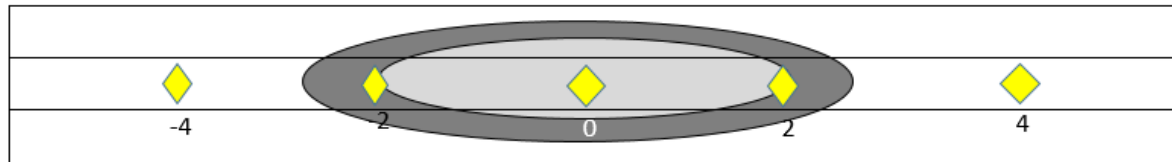
Tabel 3. Hasil pengukuran butir mikro

	6,5 kA	7,0 kA	7,5 kA
Base metal	30 μm	30 μm	30 μm
HAZ	83 μm	96 μm	150 μm
Nugget	75 μm	62 μm	78 μm

Terlihat perubahan diameter butir pada area *HAZ* dan *nugget* untuk masing-masing parameter, dan besar diameter butir paling baik pada area *HAZ* dari ketiga parameter *setting* ini adalah 6,5 kA. Karena semakin kecil diameter butir pada area *HAZ*, semakin meningkatkan kekuatan sambungan las.

Hasil Pengujian Kekerasan Mikro

Skema hasil pengujian kekerasan dapat dilihat pada Gambar 10 berikut ini.



Jarak tiap titik 2 mm

Gambar 10. Skema pengujian kekerasan mikro *Vickers*

Selanjutnya, berikut ini hasil grafik distribusi hasil pengujian kekerasan.

Tabel 4. Hasil pengujian kekerasan mikro *Vickers*

Sampel	Summary [HVN]				
	- 4	- 2	0	2	4
6,5kA/1,5s	591,12	586,80	595,14	590,45	553,31
6,5kA/2,0s	526,24	565,92	570,95	561,87	570,64
6,5kA/2,5s	605,73	570,00	586,86	585,48	604,35
7,0kA/1,5s	612,01	533,89	539,08	504,51	529,05
7,0kA/2,0s	524,56	513,03	516,56	546,13	514,39
7,0kA/2,5s	569,37	568,11	533,03	543,76	530,75
7,5kA/1,5s	554,83	571,27	570,64	567,80	571,90
7,5kA/2,0s	573,82	583,84	579,60	561,87	555,13
7,5kA/2,5s	546,72	553,01	572,22	582,53	563,73

Dari hasil pengujian kekerasan tersebut diketahui bahwa distribusi kekerasan tertinggi pada area *nugget* berada pada parameter arus 6,5 kA dan waktu pengelasan 1,5s dengan nilai kekerasan 595,14 *HVN*.

Penerapan Metode *Taguchi*

1. Perhitungan *Signal to Noise Ratio* (S/N Rasio)

S/N Rasio adalah logaritma dari suatu fungsi kerugian kuadratik dan digunakan untuk mengevaluasi kualitas suatu produk. S/N Rasio mengukur tingkat unjuk kerja dan juga mengevaluasi stabilitas unjuk kerja dari karakteristik mutu *output*. Semakin tinggi unjuk kerja yang diukur dengan tingginya S/N Rasio sama dengan kerugian yang mengecil. Ada 3 tipe S/N Rasio yang dalam penelitian ini digunakan tipe *Larger the Better* dengan rumus sebagai berikut:

$$\eta = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \left(\frac{1}{y_i} \right)^2$$

Maka diperoleh nilai S/N rasio sebagaimana dalam Tabel 5 berikut.

Tabel 5. Perhitungan S/N rasio

No	Arus Pengelasan (kA)	Waktu Pengelasan (s)	Jarak Pengelasan (mm)	T-S Strength (MPa) (Y)			Y Bar	S/N ratio for T-S strength in db
				I	II	III		
				(A)	(B)	(C)		
1	6,5	1,5	15	401,13	349,71	370,28	374	51,41
2	6,5	2,0	20	393,94	388,57	392,41	392	51,86
3	6,5	2,5	25	304,69	347,24	328,02	327	50,24
4	7,0	1,5	15	311,05	314,01	306,31	310	49,84
5	7,0	2,0	20	267,21	275,83	279,28	274	48,75
6	7,0	2,5	25	329,77	321,91	330,90	340	50,30
7	7,5	1,5	15	355,46	359,69	303,47	328	50,54
8	7,5	2,0	20	351,68	312,04	294,26	286	49,02
9	7,5	2,5	25	247,21	262,04	256,11	255	48,13
Rata-Rata							321	50,01

2. Tabel ANOVA untuk *T-S Strength*

Berikut adalah tabel ANOVA dan persentase kontribusi masing-masing faktor dan interaksi antar faktor Arus pengelasan dan jarak pengelasan terhadap respon.

Tabel 6. ANOVA dan kontribusi

CF	DOF	SS	V	F ratio	F(0,95; dof1; dof2)	P-Value	%C
A	2	26007	13003,70	39,37	3,63	0,00	47,64
B	2	6689	3344,71	10,13	3,63	0,00	12,25
C	2	1130	564,96	1,71	3,63	0,21	2,07
A*B	4	15484	3870,91	11,72	3,02	0,00	28,36
ERROR	16	5285	330,30				9,68
TOTAL	26	54595					100

Berdasarkan Tabel 6 dapat dilakukan pengujian hipotesis untuk mengetahui apakah terdapat pengaruh dari setiap faktor terhadap respon, sebagai berikut:

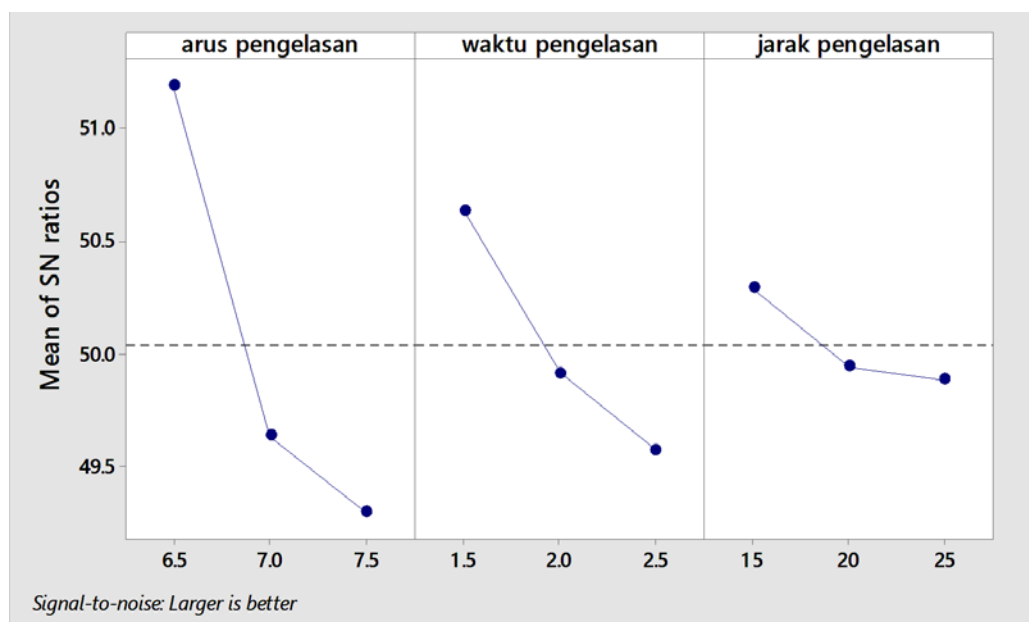
- Ada pengaruh faktor A (Arus Pengelasan) terhadap *T-S Strength*
- Ada pengaruh faktor B (Waktu Pengelasan) terhadap *T-S Strength*
- Tidak ada pengaruh faktor C (Jarak Pengelasan) terhadap *T-S Strength*
- Ada pengaruh interaksi faktor A (Arus Pengelasan) dengan faktor B (Waktu Pengelasan) terhadap *T-S Strength*.

3. Tabel Respon Untuk S/N rasio

Kemudian dilakukan perhitungan efek untuk *mean* yang hasilnya di tulis pada Tabel 7. dengan perhitungan tabel efek sebagai berikut:

Tabel 7. Efek tiap faktor

Level	A	B	C
1	51,170	50,595	50,244
2	49,632	48,877	49,941
3	49,228	49,558	49,845
Delta	1,942	1,037	0,398
Rank	1	2	3



Gambar 11. Grafik S/N rasio

4. Konfirmasi Hasil Eksperimen

Tabel 8. *Result of confirmation experiment*

Level	Initial process parameter			Optimal process			Improvement in S/N ratio (%)
	A(7)	B(2)	C(20)	Predicted	experimental		
	A(6,5)	B(1,5)	C(15)				
<i>T-S Strength</i>	299			393	397		24,84
S/N (dB)	49,52			51,89	51,98		

Setelah rancangan optimal ditentukan maka harus diketahui pula prediksi respon dari rancangan optimal tersebut, untuk menghitung prediksi respon dengan rancangan optimal, digunakan rumus:

$$m_{pred} = A(6,5) \text{ bar} + B(1,5) \text{ bar} + C(15) \text{ bar} - 2 * Y \text{ bar} = 364 + 341 + 329 - 2 * 321 = 393.$$

Kemudian dilakukan eksperimen dengan menggunakan rancangan faktor arus pengelasan sebesar 6,5 kA, waktu pengelasan 1,5 s, dan jarak pengelasan 15 mm. Hasil eksperimen yang dilakukan didapat 397 MPa yang berarti mendekati m_{pred} , maka dapat disimpulkan bahwa rancangan tersebut cukup memadai.

Selain itu juga dilakukan analisis terhadap *improvement* S/N Rasio dengan tujuan untuk memprediksi dan memverifikasi peningkatan performa karakteristik. Prediksi untuk S/N rasio dengan rancangan optimal dapat dihitung dengan:

$$\eta_{opt} = \eta_m \sum_{j=1}^k (\eta_j - \eta_m): j = 1, 2 \dots \dots k$$

Berdasarkan Tabel 8. diketahui bahwa prediksi S/N Rasio optimal adalah sebesar 51,98 selanjutnya dilakukan perhitungan S/N Rasio terhadap hasil eksperimen dengan rancangan optimal, untuk menghitung presentase *improvement* pada S/N Rasio didapat sebesar 24,84%, nilai *improvement* ini cukup tinggi maka dapat disimpulkan bahwa *T-S Strength* dapat ditingkatkan dengan menggunakan metode *Taguchi*.

SIMPULAN

Dari hasil penelitian dan analisis yang dilakukan, maka dapat ditarik beberapa kesimpulan sebagai berikut:

- Perbedaan jarak *nugget* dan diameter jejak elektroda dapat mempengaruhi beban Tarik-geser. Beban Tarik-geser optimum berada pada arus 6,5 kA pada jarak 20 mm dengan nilai *T-S Strength* 362,56 MPa.
- Terjadi perubahan mikrostruktur selama proses pengelasan dilakukan, terutama pada daerah *HAZ* dan *nugget* yang menyebabkan sifat mekanis material berubah. Dari pengukuran besar diameter butir untuk area *HAZ* yang paling baik pada arus pengelasan 6,5 kA, karena semakin kecil diameter butir las, maka semakin meningkatkan kekuatan sambungan las.
- Semakin dekat dengan daerah *nugget*, maka nilai kekerasan semakin tinggi dan distribusi kekerasan tertinggi dengan nilai kekerasan 595,14 HVN pada arus 6,5 kA.
- Berdasarkan metode *Taguchi*, parameter yang sangat efektif pada pengujian tarik-geser adalah “arus pengelasan” dan “waktu pengelasan” dengan kombinasi A (6,5kA) B (1,5s) C (15mm) dan hasil eksperimen yang dilakukan didapat 397 MPa. presentase *improvement* pada S/N Rasio didapat sebesar 24,84% maka dapat disimpulkan bahwa rancangan tersebut cukup memadai dan nilai *improvement* ini cukup tinggi bahwa parameter *setting* dapat diturunkan dengan menggunakan metode *taguchi*.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Subowo. (1997). *Pengaruh Jarak Nugget pada Las Titik Terhadap Kekuatan Geser dan Fatik Baja Karbon Rendah SPCD*. Program Pascasarjana Universitas Indonesia, Depok.
- [2] Aslanlar, A., Ogur, A., Ozsarac, U., Ilhan. (2008). *Welding Time Effect on Mechanical Properties of Automotive Sheets in Electrical Resistance Spot Welding*. *Materials and Design*, 29, 1427-1431.
- [3] Purnomo. (2017) *Material Teknik*, 1st ed. Malang: CV Seribu Bintang.
- [4] Belavebdram, Nicolo. (1995). *Quality by Design: Taguchi Technique for Industrial Experimentation*. New York: Prentice Hall.
- [5] Soejanto, Irwan. (2009). *Desain Eksperimen dengan Metode Taguchi*, Yogyakarta: Graha Ilmu.
- [6] Riswan Dwi Djatmiko. (2008). *Modul Teori Pengelasan Logam*, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Yogyakarta.