

# OPTIMASI WAKTU PENGELASAN *MILD STEEL* MENGUNAKAN DESAIN EKSPERIMEN TAGUCHI (Studi kasus pada PT. XYZ)

**Ilham Ary Wahyudie, Otto Purnawarman, Rico Butar-Butar**

Politeknik Manufaktur Negeri Bangka Belitung  
Jl. Timah Raya Air Kantung – Sungailiat Bangka 33211  
Phone/Fax : 0717-93586 / 0717-93585  
Email: [arywahyudie@yahoo.com](mailto:arywahyudie@yahoo.com)

## Abstrak

Produk yang berkualitas merupakan tuntutan utama konsumen. Kualitas dapat ditinjau dari berbagai aspek. Salah satu aspek tersebut adalah aspek biaya. Untuk mendapatkan biaya yang rendah dalam proses pengelasan maka perlu mengendalikan beberapa parameter faktor yang berpengaruh terhadap performansi pengelasan baik waktu maupun kualitas hasil sehingga proses pengelasan dapat optimal. Shaft DTB adalah salah satu komponen pada kapal keruk dengan material dasar *mild steel* dalam penggunaannya memiliki tingkat keausan tinggi. Disisi lain shaft ini memiliki harga yang mahal sehingga perbaikan adalah salah satu cara yang paling efektif untuk pemeliharannya. Proses perbaikan dilakukan dengan cara pengelasan. Faktor-faktor dalam proses pengelasan perlu diperhatikan agar proses menjadi optimal. Metode Taguchi adalah salah satu metode yang cukup efektif dalam mengendalikan kualitas suatu proses secara *off-line*. Produk akhir diharapkan merupakan produk yang memiliki tingkat variabilitas rendah atau kecil. Artinya produk tersebut berada pada target atau berada pada wilayah target yang diharapkan. Dengan menggunakan metode Taguchi dilakukan optimasi proses pengelasan sehingga pengaturan faktor dengan nilai yang tepat membuat proses pengelasan menjadi optimal. Dalam makalah ini ditentukan 3 faktor yang mempengaruhi proses pengelasan sedangkan area kerja (level) ditetapkan sebanyak 2 level. Desain eksperimen yang dibuat pada metode ini menggunakan desain *orthogonal array*  $L_8(2^7)$  dengan 6 derajat kebebasan. Untuk mendapatkan hasil yang baik maka dalam eksperimen dilakukan replikasi sebanyak 3 kali. Hasil yang ditunjukkan dalam makalah ini bahwa faktor yang paling berpengaruh adalah faktor kecepatan spindle mesin, faktor kecepatan elektroda las, dan interaksi antara kecepatan spindle mesin dan kecepatan kawat las. Level yang terbaik berdasar pada percobaan dengan metode Taguchi adalah level 2 untuk faktor kecepatan spindle mesin yakni pada kecepatan 0,90 rpm serta level 1 untuk kecepatan elektroda pada 0,04 m/detik. Dengan demikian, untuk mendapatkan hasil yang baik dengan waktu yang paling optimal mesin las yang digunakan untuk melakukan proses pengelasan tersebut harus diatur pada level 2 sedangkan faktor arus listrik pada level yang ditetapkan tersebut hampir tidak berpengaruh.

**Kata kunci:** *optimasi proses pengelasan, metode taguchi, pengendalian secara off-line*

## 1. Pendahuluan

Proses pengelasan sebagai alternatif perbaikan suatu komponen mesin sangat umum digunakan. Proses pengelasan dipengaruhi oleh beberapa faktor seperti besar arus yang digunakan, kecepatan gerak elektroda dan lainnya. Untuk mendapatkan nilai parameter yang optimal dengan hasil pengelasan sesuai dengan persyaratan tentu harus dilakukan ujicoba dengan kondisi tertentu.

Penelitian tentang proses pengelasan sudah banyak dilakukan namun dengan parameter tertentu. Dalam makalah ini akan dibahas tentang proses pengelasan *shielded Metal Gas*

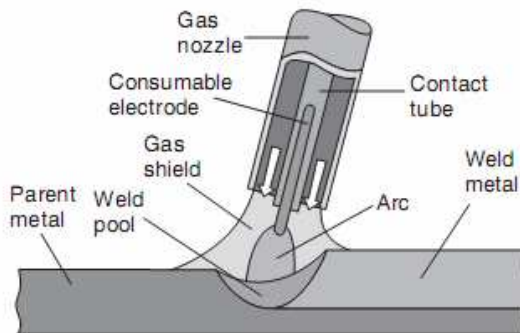
*Welding* dengan mesin las MIG (*metal inert gas*). Material bendakerja shaft berdimensi 355 x 1200 mm. Bahan bendakerja adalah mild steel. Bendakerja ini merupakan salah satu komponen kapal keruk dan dikenal dengan nama shaft DTB.

Melalui makalah ini dipaparkan suatu parameter optimasi dalam pengelasan shaft DTB tersebut sehingga waktu proses pengelasan menjadi lebih singkat dengan hasil yang memenuhi persyaratan. Selain itu dijelaskan pula pendekatan model matematika yang berkorelasi dengan proses pengelasan bendakerja tersebut. Hal ini sesuai dengan pernyataan Rati Saluja, dkk (2012) bahwa

otomatis dan efektifitas sistem pengelasan dapat digunakan saat model matematika yang berkorelasi dengan parameter proses dapat ditentukan.

## 2. Tinjauan Pustaka

*Gas Metal Arc Welding* (GMAW) atau yang lebih dikenal dengan pengelasan MIG (*Metal Inert Gas*) atau MAG (*Metal Active Gas*) adalah suatu proses pengelasan dengan arus listrik diantara sebuah elektroda dan bendakerja dimana panas yang terjadi pada bendakerja menyebabkannya mencair dan tersambung. Selama proses tersebut, gas melindungi elektroda / kawat las terhadap kontaminasi udara. Gambar dibawah ini merupakan ilustrasi proses las MIG (*Metal Inert Gas*).



(Courtesy of TWI Ltd)

Gambar 1. Iustrasi Proses Las MIG

Lenin N, dkk (2010) dalam makalahnya menjelaskan bahwa beberapa parameter penting dalam pengelasan adalah arus listrik, voltase, kecepatan pengelasan, panjang busur las dan lainnya. Parameter-parameter tersebut dapat dipilih berdasar pada *screening experiments*. Jumlah aktual percobaan diminimalisasi menggunakan sebuah *orthogonal array* (OA).

Irwan Soejanto (2009) menjelaskan bahwa metode taguchi merupakan suatu metodologi baru dalam bidang teknik yang bertujuan untuk memperbaiki kualitas produk dan proses dalam waktu yang bersamaan menekan biaya dan sumber daya seminimal mungkin. Metode taguchi berupaya mencapai sasaran dengan menjadikan proses “tidak sensitif” terhadap faktor menjadi kokoh terhadap faktor gangguan (*noise*). Metode ini dapat digunakan untuk mendapatkan nilai parameter optimal dari suatu proses.

Dalam makalah yang ditulis oleh K. Kishore, dkk (2010) metode taguchi digunakan untuk

formulasi *layout* percobaan. Dalam makalah tersebut pula K. Kishore, dkk telah menjelaskan penggunaan metode taguchi untuk optimalisasi lebih dari 5 faktor pengelasan.

Pada penggunaan metode taguchi dikenal *orthogonal array* (OA) yang dijelaskan oleh Irwan Soejanto (2009) bahwa bentuk umum model matrik ortogonal (OA) adalah:

$L_n(b^c)$ , dengan:

L = rancangan bujursangkar latin

a = banyak eksperimen/baris

b = banyak level

c = banyak faktor/kolom

Dalam penelitian taguchi dikenal pula Rasio S/N (*Signal to Noise*) yang digunakan untuk memilih faktor-faktor yang memiliki kontribusi pada pengurangan variasi suatu respon. Eksperimen yang demikian umumnya disebut eksperimen faktor ganda karena eksperimen melibatkan lebih dari satu faktor. Tujuan eksperimen faktor ganda dalam bentuk *robust design* untuk meminimalkan sensitifitas karakteristik kualitas terhadap faktor gangguan.

Rasio S/N bergantung pada jenis karakteristik kualitas yang dapat dikelompokkan dalam 3 macam.

a. *Smaller is Better*

$$S/N = -10 \log \left( \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n Y_i^2 \right) \quad (1)$$

b. *Nominal is Best*

$$S/N = -10 \log V_e \quad (2)$$

$$S/N = -10 \log \left( \frac{V_m - V_e}{nV_e} \right) \quad (3)$$

c.

*arger is Better*

$$S/N = -10 \log \left( \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{1}{Y_i^2} \right) \quad (4)$$

Nilai rasio S/N tinggi merupakan kinerja yang baik dan menyebabkan tingkat kerugian lebih kecil dibandingkan dengan bila diukur dengan fungsi kerugian yang sesuai lainnya sedangkan prediksi rasio S/N diperoleh dengan menggunakan kombinasi faktor-faktor yang berpengaruh secara signifikan terhadap respon pada level optimalnya.

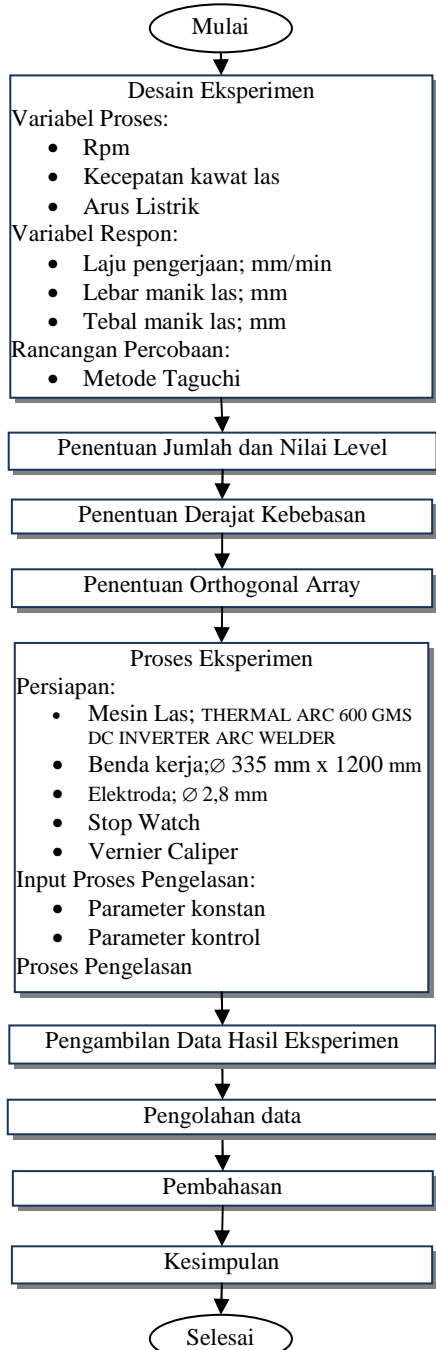
Eksperimen konfirmasi adalah percobaan yang dilakukan untuk memeriksa kesimpulan yang diperoleh. Tujuannya adalah:

- Memverifikasi dugaan yang dibuat pada saat penentuan faktor, dan interaksi dibuat.
- Merancang parameter hasil analisis yang optimum dari hasil percobaan pada performansi yang diharapkan

Eksperimen tersebut dinyatakan berhasil jika terjadi perbaikan proses dan hasilnya dekat dengan nilai prediksi.

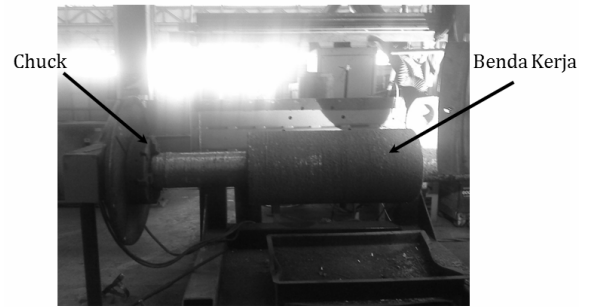
### 3. Metodologi

Dalam makalah ini digunakan langkah-langkah seperti yang ditunjukkan pada diagram alir berikut ini.



Gambar 2. Diagram Alir Proses Penelitian

Set-up benda kerja ditunjukkan seperti pada gambar berikut ini.



Gambar 3. Set-up Bendakerja

### 4. Hasil dan Pembahasan

#### 4.1 Penentuan Jumlah dan Nilai Level

Faktor kontrol adalah :

- Putaran bendakerja (Rpm)
  - Kecepatan pengumpanan kawat las
  - Arus listrik yang digunakan (ampere)
- Setiap faktor kontrol memiliki 2 level seperti pada tabel dibawah ini.

Tabel 1. Faktor Kontrol dan Level

No	Faktor Kendali	Kode	Level	
			1	2
1	Putaran Bendakerja	A	0,34	0,90
2	Kecepatan Elektroda	B	0,40	0,50
3	Besar Arus Listrik	C	250	300

#### 4.2 Derajat Kebebasan (DoF)

$$V_n = (\text{banyak level} - 1)$$

Sehingga:

Derajat kebebasan faktor A = 1

Derajat kebebasan faktor B = 1

Derajat kebebasan faktor C = 1

Derajat kebebasan faktor AxB = 1

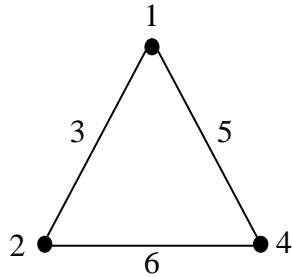
Derajat kebebasan faktor AxC = 1

Derajat kebebasan faktor BxC = 1

Total derajat kebebasan adalah = 6-DoF

#### 4.3 Matrik Ortogonal

Total derajat kebebasan seperti yang telah dihitung sebelumnya adalah 6 DoF sehingga digunakan matrik ortogonal  $L_8(2^7)$  dan grafik linier untuk matrik ortogonal yang dipilih tersebut seperti yang ditunjukkan pada gambar berikut ini.

Gambar 4. Grafik Linier OA  $L_8(2^7)$ 

Berdasar pada grafik linier tersebut maka tabel matrik ortogonal  $L_8(2^7)$  ditunjukkan pada tabel berikut.

Tabel 2. Orthogonal Array  $L_8(2^7)$ 

Eksperimen	Kolom/Faktor						
	1	2	3	4	5	6	7
1	1	1	1	1	1	1	1
2	1	1	1	2	2	2	2
3	1	2	2	1	1	2	2
4	1	2	2	2	2	1	1
5	2	1	2	1	2	1	2
6	2	1	2	2	1	2	1
7	2	2	1	1	2	2	1
8	2	2	1	2	1	1	2

#### 4.4 Pelaksanaan Eksperimen



Gambar 5. Proses Las saat Eksperimen

Eksperimen proses las dilakukan replikasi sebanyak 3 kali. Tujuannya adalah untuk menambah ketelitian data dan mengurangi tingkat kesalahan. Pengaruh faktor-faktor lain yang tidak diinginkan atau tidak dapat dikendalikan, seperti: kelelahan operator, fluktuasi daya mesin, dan lain-lain diperkecil dengan menyebarkan faktor-faktor tersebut melalui randomisasi (pengacakan) urutan percobaan. Randomisasi dilakukan dengan tujuan menyebarkan pengaruh dari faktor-faktor yang tidak dapat dikendalikan pada semua unit eksperimen serta memberikan kesempatan yang sama pada semua unit eksperimen untuk

menerima suatu perlakuan sehingga ada kehomogenan pengaruh dari setiap perlakuan yang sama.

Gambar dibawah ini adalah proses las yang dilakukan saat eksperimen berlangsung.

Data waktu proses las hasil eksperimen yang telah dilakukan ditunjukkan pada tabel berikut ini.

Tabel 3. Hasil Percobaan

Eksperimen Ke-	Waktu (menit)	Tebal manik (mm)	Lebar manik (mm)
1	2,35	5,20	12,1
	2,35	4,80	12,7
	2,35	4,70	11,5
2	2,35	5,60	12,9
	2,34	4,70	11,3
	2,34	5,10	12,6
3	1,72	4,20	13,3
	1,72	4,80	11,5
	1,72	6,20	8,20
4	1,72	5,80	6,20
	1,73	4,30	7,90
	1,73	5,20	10,5
5	0,73	4,80	8,10
	0,74	4,10	5,30
	0,74	4,60	5,80
6	0,74	5,10	10,10
	0,73	5,50	12,00
	0,73	4,70	12,30
7	0,75	5,20	11,70
	0,76	4,30	9,80
	0,75	5,20	10,20
8	0,76	5,50	11,80
	0,76	5,80	11,80
	0,76	5,60	11,30

#### 4.5 Analisa

Rasio S/N merupakan rancangan untuk melakukan transformasi pengulangan data ke dalam suatu nilai yang merupakan ukuran variasi yang timbul. Nilai yang lebih tinggi dari Rasio S/N mengindikasikan bahwa pengaturan faktor kendali meminimalkan pengaruh faktor noise. Rasio S/N masing-masing respon seperti yang ditunjukkan pada tabel berikut ini.

Tabel 4. Rasio S/N Tiap Respon

Eksperimen Ke-	S/N Ratio		
	Waktu	Tebal manik	Lebar manik
1	-7,42	13,80	21,51
2	-7,38	14,21	21,92
3	2,38	14,09	17,42
4	2,38	14,15	18,03
5	-4,71	13,06	19,37
6	-4,76	14,15	21,04
7	2,62	13,80	21,04
8	2,73	15,02	21,25

Pengaruh level faktor dan kombinasi level faktor terhadap rerata waktu pengelasan ditunjukkan pada tabel berikut ini.

Tabel 5. Pengaruh Level dan Kombinasi Faktor

	A	B	AxB	C	AxC	BxC
Level 1	2,036	1,541	1,554	1,391	1,392	1,395
Level 2	0,747	1,242	1,229	1,392	1,391	1,388
Delta	1,289	0,300	0,325	0,001	0,001	0,007
Rank	1	3	2	5	5	4

Berdasar pada tabel diatas maka kombinasi level faktor yang optimum dicapai pada nilai rerata respon pada faktor A<sub>2</sub> (Rpm level 2), interaksi AxB dan B<sub>2</sub> (Kecepatan Wire level 2).

Kombinasi level interaksi optimum ditentukan dengan pemecahan interaksi pengaruh faktor A dan B seperti yang ditunjukkan pada tabel dibawah ini.

Tabel 6. Pemecahan Interaksi

Interaksi	B <sub>1</sub>	B <sub>2</sub>
A <sub>1</sub>	2,348	1,723
A <sub>2</sub>	0,734	0,760

Berdasar pada tabel diatas bahwa level interaksi optimum untuk nilai kualitas karakteristik semakin kecil-semakin baik (*smaller-the-better*) adalah interaksi antara A<sub>2</sub> (Rpm level 2) dengan B<sub>1</sub> (Kecepatan Wire level 1).

Analisa estimasi model koefisien rerata dan rasio S/N ditunjukkan dibawah ini.

**Linear Model Analysis: Means versus RPM, WIRE, AMPERE**

Estimated Model Coefficients for Means

Term	Coef	SE Coef	T	P
Constant	1.39125	0.001250	1113.000	0.001
RPM 1	0.64375	0.001250	515.000	0.001
WIRE 1	0.14875	0.001250	119.000	0.005
AMPERE 1	0.00125	0.001250	1.000	0.500
RPM*WIRE 1 1	0.16125	0.001250	129.000	0.005
RPM*AMPERE 1 1	-0.00125	0.001250	-1.000	0.500
WIRE*AMPERE 1 1	0.00375	0.001250	3.000	0.205

S = 0.003536 R-Sq = 100.0% R-Sq(adj) = 100.0%

**Linear Model Analysis: SN ratios versus RPM, WIRE, AMPERE**

Estimated Model Coefficients for SN ratios

Term	Coef	SE Coef	T	P
Constant	-1.77010	0.003848	-460.006	0.001
RPM 1	-4.29919	0.003848	-1117.255	0.001
WIRE 1	-0.59409	0.003848	-154.390	0.004
AMPERE 1	-0.01311	0.003848	-3.406	0.182
RPM*WIRE 1 1	-0.73945	0.003848	-192.166	0.003
RPM*AMPERE 1 1	0.01644	0.003848	4.271	0.146
WIRE*AMPERE 1 1	-0.02570	0.003848	-6.678	0.095

S = 0.01088 R-Sq = 100.0% R-Sq(adj) = 100.0%

Nilai R-Sq seperti yang ditunjukkan pada kedua estimasi model diatas sebesar 100%. Hal ini menunjukkan bahwa estimasi model menjelaskan kondisi sesungguhnya dengan persamaan:

$$\text{Respon} = 1,39 + 0,64A + 0,15B + 0,0013C$$

dengan:  
Respon adalah rerata waktu pengelasan

A adalah kecepatan putaran (rpm)  
B adalah kecepatan elektroda las (wire)  
C adalah besar ampere

Selanjutnya dilakukan analisis terhadap varian mean maupun rasio S/N menggunakan metode ANOVA dan hasilnya ditunjukkan seperti berikut ini.

**Analysis of Variance for Means**

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
RPM	1	3.31531	3.31531	3.31531	265225.00	0.001
WIRE	1	0.17701	0.17701	0.17701	14161.00	0.005
AMPERE	1	0.00001	0.00001	0.00001	1.00	0.500
RPM*WIRE	1	0.20801	0.20801	0.20801	16641.00	0.005
RPM*AMPERE	1	0.00001	0.00001	0.00001	1.00	0.500
WIRE*AMPERE	1	0.00011	0.00011	0.00011	9.00	0.205
Residual Error	1	0.00001	0.00001	0.00001		
Total	7	3.70049				

**Analysis of Variance for SN ratios**

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
RPM	1	147.864	147.864	147.864	1248257.65	0.001
WIRE	1	2.824	2.824	2.824	23836.21	0.004
AMPERE	1	0.001	0.001	0.001	11.60	0.182
RPM*WIRE	1	4.374	4.374	4.374	36927.81	0.003
RPM*AMPERE	1	0.002	0.002	0.002	18.24	0.146
WIRE*AMPERE	1	0.005	0.005	0.005	44.59	0.095
Residual Error	1	0.000	0.000	0.000		
Total	7	155.071				

Pengujian hipotesa terhadap faktor-faktor serta interaksinya adalah sebagai berikut:

H<sub>0</sub> : Tidak ada pengaruh faktor terhadap waktu pengelasan

H<sub>1</sub> : Faktor berpengaruh terhadap waktu pengelasan

Dari hasil analisa varian seperti yang ditunjukkan pada kedua tabel di atas diketahui bahwa pada level pengujian dengan α = 0,05 P-value untuk faktor RPM, Kecepatan Wire, dan Interaksi keduanya lebih kecil dari 0,05 (P-value < α) berarti menolak hipotesa H<sub>0</sub> dengan kata lain bahwa masing masing variabel tersebut berpengaruh terhadap kecepatan pengelasan.

Selanjutnya dilakukan perhitungan prediksi rerata waktu pengelasan dan nilai S/N Rasio berdasar pada data eksperimen. Hasil perhitungan ditunjukkan seperti dibawah ini.

**Predicted values**

S/N Ratio	Mean
2.66725	0.736816

**Factor levels for predictions**

KECEPATAN		
RPM	WIRE	AMPERE
0.9	0.04	250

Berdasar pada hasil prediksi yang telah dilakukan bahwa dengan memberikan faktor Rpm pada level 2, Kecepatan wire pada level 1 dan ampere pada level 1 maka akan didapatkan prediksi rerata waktu pengelasan selama 0,74 menit dan prediksi rasio S/N sebesar 2,67.

#### 4.6 Eksperimen Konfirmasi

Setelah mendapatkan level optimum selanjutnya dilakukan eksperimen konfirmasi sebagai pembuktian. Dalam eksperimen ini ditetapkan jumlah percobaan sebanyak 10 kali dengan faktor Rpm pada level 2, Kecepatan wire pada level 1 dan ampere pada level 1. Hasilnya ditunjukkan pada tabel berikut ini.

Tabel 7. Hasil Eksperimen Konfirmasi

Eksperimen	1	2	3	4	5
Hasil	0,73	0,73	0,73	0,72	0,72
Eksperimen	6	7	8	9	10
Hasil	0,70	0,73	0,70	0,72	0,70

Nilai rerata eksperimen konfirmasi sebesar 0,718 menit dan rasio S/N sebesar 2,88 db.

## 5. Kesimpulan

Berdasar pada analisa yang telah dilakukan pada pembahasan diatas, dapat disimpulkan bahwa kombinasi faktor yang berpengaruh terhadap waktu pengelasan adalah faktor kecepatan putaran bendakerja dan kecepatan elektroda las sedangkan arus yang digunakan tidak berpengaruh pada eksperimen tersebut.

Berdasar pada nilai prediksi eksperimen taguchi nilai rerata waktu sebesar 0,74 menit sedangkan pada eksperimen konfirmasi rerata waktu sebesar 0,718 menit. Selain itu terjadi peningkatan nilai rasio S/N dari kondisi awal 2,67 db meningkat menjadi 2,88 db.

Dengan demikian kombinasi optimal faktor diatas membuktikan bahwa waktu proses pengerjaan dapat direduksi lebih baik. Hal ini menunjukkan penggunaan metode taguchi mampu mengoptimalkan waktu pekerjaan pengelasan.

## Referensi/Daftar Pustaka

- [1] Rati Saluja, K. M. Moeed, "Modeling and Parametric Optimization using Factorial Design Approach of Submerged Arc Bead Geometry for Butt Joint", *International Journal of Engineering Research and Applications (IJERA)*, Vol. 2, Issue 3, May-Jun (2012), pp. 505-508.
- [2] Lenin N., Sivakumar M. and Vigneshkumar D., "Process Parameter Optimization in ARC Welding of Dissimilar Metals",

*Thammasat Int. J. Sc. Tech.*, Vol. 15, No. 3, July-September (2010).

- [3] Irwan Soejanto, "Desain Eksperimen dengan Metode Taguchi", (2009), Graha Ilmu, Yogyakarta.