

OPTIMASI KUALITAS HASIL PENGELASAN GAS METAL ARC WELDING (GMAW) BAJA ASTM 283 Grade A DENGAN RSM (RESPONSE SURFACE METHODOLOGY)

Femiana Gapsari ¹⁾, Dwi Hadi Sulistyorini ²⁾

Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik Universitas Brawijaya ¹⁾
Program Studi Teknik Industri, Fakultas Teknik Universitas Brawijaya ²⁾
Jl. MT. Haryono 167 Malang 65145
E-mail : Femianagapsari@gmail.com

Abstract

This research aimed at the investigation of the effect of welding current, welding voltage, and welding speed on the hardness of weldment. The material used in this research is steel ASTM 283 grade A. An optimization approach is performed in order to determine the variables combination of the welding current, voltage, welding and welding speed to maintain the weldment to be below hardness and was closer with parent metal hardness. With application Response Surface Methodology(RSM) mathematical relationship between the welding process input parameters and output variable like hardness of welded joint in order to determine the welding input parameters that lead to desired weld hardness. RSM design of experiment techniques can be very efficiently used in the optimization of welding parameters in GMAW process. Formulation of equation is done with the help of which hardness can be predicted as $Y = 218.624 + 10.31 I + 1.614V - 4.017s - 1.723 I^2 + 0.929 s^2$.

Keywords : Optimization, Response Surface Methodology (RSM), Hardnes, GMAW.

PENDAHULUAN

Proses pengelasan terlihat mudah untuk dilaksanakan tetapi untuk mendapatkan kualitas hasil pengelasan yang optimal merupakan permasalahan yang rumit. Lingkup teknik pengelasan dalam konstruksi sangat luas meliputi perkapalan, jembatan, rangka baja, bejana tekan, pipa saluran, dan sebagainya. Sebenarnya pengelasan bukan tujuan utama dari konstruksi tapi hanya merupakan sarana untuk mendapatkan ekonomi pembuatan yang lebih baik (ekonomis). Karena itu, rancangan las dan cara pengelasan harus betul-betul memperhatikan kesesuaian antara sifat-sifat las dengan kegunaan konstruksi serta lingkungan sekitar.

Kualitas pengelasan ditunjukkan oleh sifat mekanik dan dimensi daerah las (*bead geometry*) dipengaruhi oleh beberapa parameter antara lain arus pengelasan, tegangan pengelasan, kecepatan pengelasan, dan volume gas yang dialirkan pada proses pengelasan [1]. Parameter lainnya yang juga berpengaruh terhadap kekerasan daerah las adalah .kecepatan pemakanan dari kawat las

adalah input panas, laju aliran gas (*gas flow rate*), dan pemanasan mula (*preheat*). Setelah dilakukan proses optimasi terhadap nilai kekerasan diketahui bahwa input panas memberikan pengaruh yang sangat besar terhadap nilai kekerasan, kemudian diikuti oleh laju aliran gas dan pemanasan mula [2]. Laju pemakanan kawat las, tegangan pengelasan dan kecepatan pengelasan mempengaruhi *bead geometry* dan penetrasi daerah pengelasan [3]. Sifat mekanik material hasil pengelasan ditentukan parameter pengelasan dan perlakuan panas setelah maupun sebelum pengelasan. Semua bertujuan untuk mendapatkan kualitas hasil pengelasan yang baik.

Studi optimasi dapat dilakukan secara eksperimen, perencanaan eksperimen (*Design of Experiment*), metode permukaan respon (*Response Surface Methodology*), metode Taguchi, jaringan saraf tiruan, dan lainnya. Studi optimasi yang dilakukan secara eksperimen pada kualitas hasil pengelasan membutuhkan waktu dan biaya yang tinggi, hal ini berkaitan dengan banyaknya variable yang harus dikontrol.

Salah satu metode yang paling banyak digunakan untuk menyelesaikan permasalahan ini adalah metode permukaan respon, dimana pelaku eksperimen berusaha untuk memperkirakan dengan pendekatan model empiris yang tepat.

TINJAUAN PUSTAKA

Menurut Montgomery [4], *Response Surface Methodology* merupakan himpunan metode-metode matematika dan statistika yang digunakan untuk melihat antara satu atau lebih variabel perlakuan bentuk dengan sebuah variabel respon tersebut dalam suatu percobaan.

Berger dan Maurer [5] menjelaskan bahwa penelitian adalah sebuah investigasi dimana pelaku investigasi melakukan pemilihan tingkatan dari satu atau lebih input atau variabel bebas dan melakukan observasi nilai dari respon atau variabel tidak bebas.

Hubungan antara respon dan variabel bebas umumnya tidak diketahui. Langkah pertama dalam metode permukaan respon adalah mencari pendekatan yang cocok terhadap hubungan tersebut. Jika respon dapat dimodelkan dengan baik dalam fungsi linier dari variabel-variabel bebas, maka fungsi pendekatannya adalah model orde pertama dan dirumuskan sebagai berikut, [5]:

$$y = \beta_0 + \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + \dots + \beta_k x_k + \varepsilon \quad \dots (1)$$

METODE PENELITIAN

Spesifikasi Material dan Pengelasan

Pada pelaksanaan penelitian ini, material yang digunakan adalah pelat baja ASTM 283 grade A dengan tebal 6 mm. Komposisi kimia dan sifat mekanik dari baja ASTM 283 grade A ditunjukkan oleh tabel 1.

Tabel 1 – Spesifikasi Material

| | |
|--------------|----------------|
| Carbon (C) | 21 % |
| Mangan (Mn) | 0.50% |
| Silikon (Si) | 0.50 % |
| Fosfor (P) | 0.04% |
| Sulfur (S) | 0.04% |
| UTS | 400-550 kgf/mm |
| ε | 22% |
| Hardness | 188 HVN |

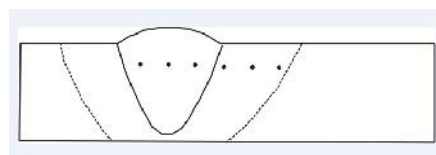
Spesifikasi parameter pengelasan GMAW yang digunakan adalah sebagai berikut:

Desain sambungan las : *butt joint*
 Laju aliran gas : 11 L/min
 Polaritas : DCSP
 Inert gas : Argon
 Tebal pelat : 6mm

Pengujian Kekerasan

Pada pengujian vickers alat-alat yang digunakan adalah:

1. Lup dengan toleransi 0.05 mm/div
2. Mesin *Universal Hardness Test Wolpert*



Gambar 1 – Titik Pengujian Kekerasan

Pengujian dilakukan untuk mengetahui distribusi kekerasan logam las, HAZ dan juga logam induk. Selain distribusi kekerasan juga diketahui rata-rata nilai kekerasan logam las yang kemudian digunakan sebagai data yang digunakan untuk optimasi dengan menggunakan respon permukaan.

Rancang Percobaan

Untuk mendapatkan model empiris orde pertama dan orde kedua dilakukan rancangan percobaan faktorial 2^k ditambah dengan pengamatan beberapa kali di titik pusat dan titik-titik di sumbu aksialnya dengan $\alpha = 2^{k/4}$ dalam bentuk *Central Composite Design* (CCD).

Rancangan faktorial 2^k CCD digunakan untuk percobaan yang terdiri dari k faktorial dengan masing-masing faktor mempunyai level rendah (diberi kode -1), level tinggi (diberi kode +1), level tengah (diberi kode 0), dan level pada sumbu aksial (diberi kode $-\alpha$ dan $+\alpha$). Untuk k = 3, nilai $\alpha = 1.682$. Tabel 2 menunjukkan rancangan percobaan orde kedua untuk k = 3 dengan CCD [4].

Tabel 2 – Rancangan Percobaan Orde Kedua Untuk K=3 dengan CCD

| No | x_1 | x_2 | x_3 | No | x_1 | x_2 | x_3 |
|----|--------|-------|-------|----|-------|--------|--------|
| 1 | -1 | -1 | -1 | 11 | 0 | -1.682 | 0 |
| 2 | 1 | -1 | -1 | 12 | 0 | +1.682 | 0 |
| 3 | -1 | 1 | -1 | 13 | 0 | 0 | -1.682 |
| 4 | 1 | 1 | -1 | 14 | 0 | 0 | +1.682 |
| 5 | -1 | -1 | 1 | 15 | 0 | 0 | 0 |
| 6 | 1 | -1 | 1 | 16 | 0 | 0 | 0 |
| 7 | -1 | 1 | 1 | 17 | 0 | 0 | 0 |
| 8 | 1 | 1 | 1 | 18 | 0 | 0 | 0 |
| 9 | -1.682 | 0 | 0 | 19 | 0 | 0 | 0 |
| 10 | +1.682 | 0 | 0 | 20 | 0 | 0 | 0 |

Berdasarkan tabel 2, maka dilakukan rancangan percobaan CCD dengan parameter pengelasan yang dijadikan variabel penelitian.

Pada penelitian ini terdapat dua macam variabel, yaitu: variabel bebas dan variabel respon. Parameter pengelasan yang dijadikan variabel bebas dalam penelitian ini adalah:

1. Arus pengelasan, I
2. Tegangan pengelasan, V
3. Kecepatan pengelasan, s

Berdasarkan variabel bebas yang digunakan maka ditentukan level dari variabel bebas, seperti ditunjukkan tabel 3.

Tabel 3 – Level Variable Bebas

| Nama Variabel | Arus Pengelasan (Ampere) | Tegangan Pengelasan V(Volt) | Kecepatan pengelasan (mm/min) |
|---------------|--------------------------|-----------------------------|-------------------------------|
| Level tinggi | 50 | 25 | 12 |
| Level tengah | 125 | 27 | 14 |
| Level rendah | 200 | 29 | 16 |

Variabel respon adalah variabel dependen, yaitu variabel yang dipengaruhi oleh level faktor atau kombinasi faktor. Variabel respon dalam penelitian ini adalah kekerasan daerah las (*weld metal*).

HASIL DAN PEMBAHASAN

Berdasarkan variabel penelitian yang ditentukan maka dihasilkan rancangan

percobaan seperti pada tabel 4 sesuai besar rata-rata kekerasan daerah pengelasan.

Tabel 4 – Rancangan Percobaan Penelitian

| Faktor | | | Rata-rata Kekerasan (HVN) |
|--------|--------|--------|---------------------------|
| I | V | s | |
| -1 | -1 | -1 | 209 |
| 1 | -1 | -1 | 230 |
| -1 | 1 | -1 | 213 |
| 1 | 1 | -1 | 236 |
| -1 | -1 | 1 | 201 |
| 1 | -1 | 1 | 223 |
| -1 | 1 | 1 | 205 |
| 1 | 1 | 1 | 226 |
| -1.682 | 0 | 0 | 197 |
| 1.682 | 0 | 0 | 229 |
| 0 | -1.682 | 0 | 215 |
| 0 | 1.682 | 0 | 218 |
| 0 | 0 | -1.682 | 227 |
| 0 | 0 | 1.682 | 214 |
| 0 | 0 | 0 | 220 |
| 0 | 0 | 0 | 218 |
| 0 | 0 | 0 | 218 |
| 0 | 0 | 0 | 220 |
| 0 | 0 | 0 | 218 |
| 0 | 0 | 0 | 218 |

Rancangan penelitian diatas dianalisis dengan menggunakan MINITAB 14 dan didapat hasil desain *response surface* dengan *Central Composite Design* (CCD) seperti ditunjukkan tabel 5.

Tabel 5 – Hasil Desain *Response Surface*

| Central Composite Design | | | |
|-------------------------------------|----|---------------|----|
| Factors: | 3 | Replicates: | 1 |
| Base runs: | 20 | Total runs: | 20 |
| Base blocks: | 1 | Total blocks: | 1 |
| Two-level factorial: Full factorial | | | |
| Cube points: | 8 | | |
| Center points in cube: | 6 | | |
| Axial points: | 6 | | |
| Center points in axial: | 0 | | |
| Alpha: 1.68179 | | | |

Berdasarkan rancangan CCD didapatkan *output* regresi *response surface*, seperti ditunjukkan tabel 6.

Tabel 6 – ANOVA Untuk Model Rata-rata Kekerasan Bentuk Polinomial Orde Kedua

| Source | DF | Seq SS | Adj SS | Adj MS | F | P |
|----------------|----|---------|---------|---------|--------|-------|
| Regression | 9 | 1772.24 | 1772.24 | 196.916 | 83.76 | 0.000 |
| Linear | 3 | 1707.97 | 1707.97 | 569.324 | 242.18 | 0.000 |
| Square | 3 | 62.90 | 62.90 | 20.965 | 8.92 | 0.004 |
| Interaction | 3 | 1.37 | 1.37 | 0.458 | 0.19 | 0.897 |
| Residual Error | 10 | 23.51 | 23.51 | 2.351 | | |
| Lack-of-Fit | 5 | 18.18 | 18.18 | 3.635 | 3.41 | 0.102 |
| Pure Error | 5 | 5.33 | 5.33 | 1.067 | | |
| Total | 19 | 1795.75 | | | | |

Uji Koefisien Regresi Serempak

Dari tabel 5 terlihat bahwa pada level pengujian $\alpha = 0.05$ dan *P-value* dari regresi adalah sama dengan nol yaitu lebih kecil dari 0.05 sehingga hipotesis awal ditolak. Hasil ANOVA untuk model menunjukkan model linier (*p-value* = 0.000) dan model kuadratik (*p-value* = 0.010) signifikan karena *p-value* keduanya kurang dari $\alpha = 0.05$ (penelitian ini menggunakan level signifikansi 5%). Sebaliknya, model non linier yang mengikutsertakan interaksi antar faktor tidak signifikan. Artinya, model yang tepat untuk kasus adalah model kuadratik.

Uji Koefisien Secara Individu

Berdasarkan tabel. 5 menunjukkan *p-value* untuk arus pengelasan, tegangan pengelasan, kecepatan pengelasan lebih kecil dari 0.05 yang menunjukkan bahwa ketiga variabel bebas mempunyai pengaruh yang sangat signifikan terhadap rata-rata nilai kekerasan daerah las.

Uji Lack of Fit

Hasil analisis yang ditunjukkan tabel 6, tabel ANOVA menunjukkan pula hasil uji *Lack of Fit* yang dapat digunakan untuk menguji kecukupan model, dengan hipotesis:

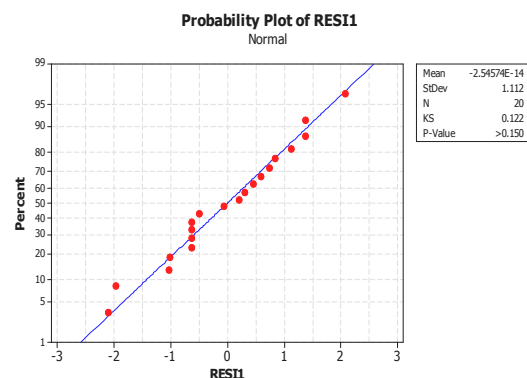
- Hipotesis awal (H_0) : tidak ada *lack of fit*
- Hipotesis alternative (H_1): ada *lack of fit*

Berdasarkan tabel ANOVA didapatkan *lack of fit* memiliki *p-value* sebesar 0.102 yang lebih besar dari 0.05 artinya gagal tolak H_0 (terima H_0). Hal ini menunjukkan bahwa model yang telah dibuat telah sesuai dengan data.

Uji Kenormalan

Untuk menunjukkan kecukupan model kita tidak hanya melihat uji *lack of fit*, tetapi harus pula melakukan analisis residual. Ada 3 hal yang dilakukan dalam analisis residual, yaitu memeriksa kenormalan residual, membuat plot hasil residual dengan taksiran respon, dan membuat plot antara residual dengan order.

Uji kenormalan dari residual dari data nilai kekerasan yang dilakukan di MINITAB14 ditunjukkan gambar 2.



Gambar 2 – Uji Distribusi Normal Residual Hipotesis

H_0 : Residual berdistribusi normal

H_1 : Residual tidak berdistribusi normal

Nilai *P-value* lebih besar dari 0.05 (sebesar 0.15) yang artinya bahwa residual telah terdistribusi normal. Asumsi kenormalan residual pada suatu model regresi telah dipenuhi oleh model regresi yang telah dibuat sehingga bisa digunakan.

Uji Koefisien Determinasi (R^2)

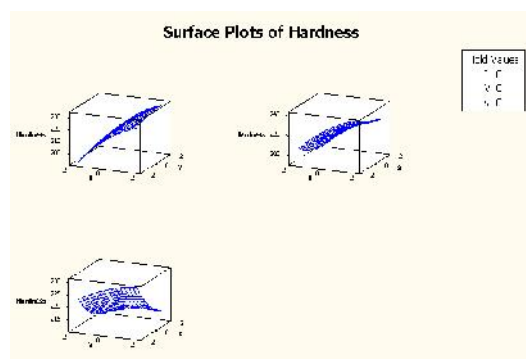
Berdasarkan tabel.5 persentase dari total variasi yang dapat diterangkan oleh model (R^2) sebesar 98.7%. Nilai ini cukup besar, yang berarti bahwa pendugaan model polinomial orde kedua memenuhi.

Model Empiris

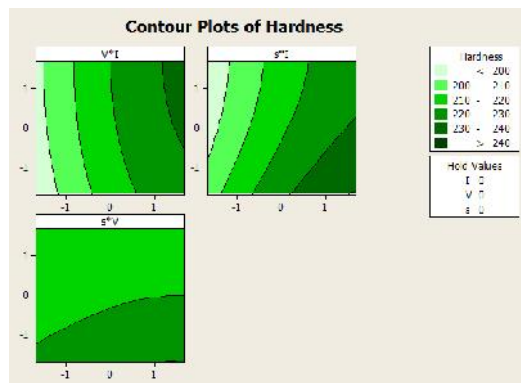
Model empiris dari nilai rata-rata kekerasan pada daerah las berdasarkan metode analisis respon permukaan maka dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$Y = 218.624 + 10.31 I + 1.614V - 4.017s - 1.723 I^2 + 0.929 s^2$$

Berdasarkan model matematika yang didapatkan dapat diketahui bahwa ketiga parameter pengelasan yang menjadi variabel bebas memberikan pengaruh terhadap besarnya nilai rata-rata kekerasan daerah las. Berdasarkan hasil analisis respon permukaan akan didapatkan *contour plot* dan *surface plot* dari nilai kekerasan pada daerah las, seperti ditunjukkan gambar 3 dan 4.



Gambar 3 – Surface Plot dari Nilai Kekerasan



Gambar 4 – Contour Plot dari Nilai Kekerasan

Analisis dengan Pendekatan Desirability Function

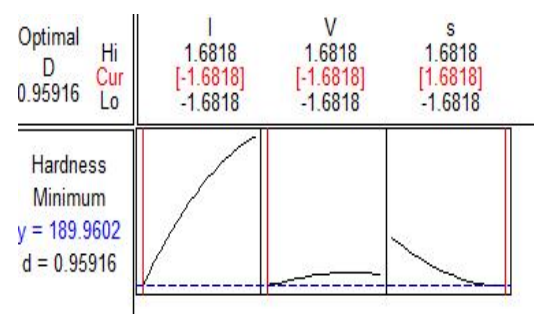
Dari model yang telah diketahui dapat ditentukan nilai kekerasan yang akan diperoleh. Metode optimasi yang digunakan adalah pendekatan *desirability function* dengan MINITAB versi 14.

Kriteria *desirability function* yang digunakan adalah *smaller the better*. Kriteria ini dilakukan untuk mengetahui nilai kekerasan pada daerah las dengan arus, tegangan dan kecepatan pengelasan yang berbeda-beda.

Untuk melakukan analisis dengan pendekatan *desirability function*, maka terlebih dahulu dimasukkan nilai batas dari respon. Target yang ingin dicapai adalah nilai kekerasan yang hamper sama dengan kekerasan logam induk. Berdasarkan hasil percobaan dimasukkan nilai kekerasan terbesar yang didapat. Analisis *desirability function* sebagai hasil dari kombinasi variabel proses yang menghasilkan respon minimal ditunjukkan gambar 5 dan tabel 7.

Tabel 7 – Analisis Pendekatan Desirability Function

| Response Optimization | | | | | | |
|----------------------------------|-----------------------------------|-------|--------|-------|--------|--------|
| Parameters | | | | | | |
| | Goal | Lower | Target | Upper | Weight | Import |
| Hardness | Minimum | 188 | 188 | 236 | 1 | 1 |
| Local Solution | | | | | | |
| I | = -1.68178 | | | | | |
| V | = -1.68178 | | | | | |
| s | = 1.68178 | | | | | |
| Predicted Responses | | | | | | |
| Hardness | = 189.960, desirability = 0.95916 | | | | | |
| Composite Desirability = 0.95916 | | | | | | |



Gambar 5 – Response Optimamization

Berdasarkan tabel. 7 nilai *composite desirability* adalah 0.95916 berarti nilai terendah yang dikehendaki belum tercapai. Nilai terendah minimal dikatakan tercapai (dalam percobaan ini diharapkan mendekati

nilai kekerasan logam induk) apabila nilai *composite desirability* sebesar 1.000.

KESIMPULAN

Berdasarkan pendekatan optimasi dengan respon permukaan maka didapatkan kesimpulan sebagai berikut:

1. RSM (*respon surface methodology*) perencanaan eksperimen efektif digunakan pada optimasi parameter pengelasan GMAW.
2. Model empiris dari prediksi nilai kekerasan berdasarkan RSM adalah $Y = 218.624 + 10.31 I + 1.614V - 4.017s - 1.723 I^2 + 0.929 s^2$.
3. *Contour* dan *surface plot* dapat digunakan sebagai acuan dalam pemilihan parameter pengelasan GMAW baja ASTM 283 *grade A* (arus, tegangan, dan kecepatan) untuk mencapai tujuan yang diinginkan.

DAFTAR PUSTAKA

- [1]. Holimchayachotikul, P., Laosiritaworn, W., Jintawiwat, R., Limcharoen, A., 2007, "Optimization of Gas Metal Arc Welding Parameters for ST 37 Steel Using Support Vector Regression", *The IE Network Conference*, 189-193.
- [2]. Yadaf, Kapil., 2007, An Experimental Study Of Effect Of Welding Parameters On Weld Hardness In Mig Welding Of Ss 304 Taguhi & Response Surface Methodology Techniques Of D.O.E., *Tesis Department Mechanical Engineering, Delhi College Engineering, India*.
- [3]. Kim, D., Kang, M., Rhee, S., 2005 "Determination of Optimal Welding Conditions with A Controlled Random Search Procedure", *Supplement to the Welding journal*, 125-129.
- [4]. Montgomery, D.C., 1991, *Design and Analysis of Experiments*, John Willey & Sons, Singapore.
- [5]. Berger, P.D., and Meurer, R.E., 2002, *Experimental Design with Application in Management, Engineering, and the Sciences*, Duxbury, Thomson Learning, USA.