

## Optimasi Parameter Pengelasan Gmaw Pada Baja Tahan Karat AISI 409 untuk Mengurangi Jumlah Spatter

Fachri Ismawan<sup>1</sup>, Syahbuddin<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Program Studi Magister Teknik Mesin, Universitas Pancasila, Jakarta

Email: fachri27.ismawan@gmail.com, sybuddin@yahoo.com

### ABSTRAK

Tuntutan pelanggan terhadap kualitas suatu produk semakin tinggi. Dalam proses produksi knalpot sepeda motor, salah satu tuntutan pelanggan adalah tidak diinginkan adanya spatter yang menempel di permukaan body knalpot, karena akan menurunkan kualitas visual knalpot tersebut. Penelitian ini dilakukan dengan tujuan untuk menentukan parameter pengelasan yang optimal agar jumlah spatter berkurang pada knalpot sepeda motor yang menggunakan material baja tahan karat AISI 409. Optimasi menggunakan metode Taguchi dengan mengacu pada tabel orthogonal array. Parameter yang digunakan ada 4 dengan masing-masing 3 level yaitu Voltage dengan level 20V, 22V dan 25V, Arus listrik/Ampere dengan 180A, 200A dan 220A, perbandingan komposisi gas Argon dan CO<sub>2</sub> yaitu 70:30, 60:40 dan 50:50 serta jarak *nozzle welding* dengan benda kerja 1mm, 1.5mm dan 2mm. Hasil optimasi menunjukkan bahwa parameter optimal adalah Voltage: 22V, Ampere: 180A, Komposisi gas Argon dan CO<sub>2</sub> 70:30 dan jarak *nozzle* 2mm. Parameter optimal ini diverifikasi dengan uji hipotesa terhadap rata-rata berat spatter hasil pengolahan data eksperimen Taguchi dengan parameter sebelum eksperimen. Hasil verifikasi menunjukkan berat spatter rata-rata memang berkurang. Penelitian diverifikasi ulang dengan uji hipotesa juga dengan membuat sampel ulang dengan setelan parameter adalah parameter optimal tadi, hasilnya menunjukkan tidak terlihat perbedaan signifikan berat rata-rata spatternya. Hal ini membuktikan hasil eksperimen dengan menggunakan setting optimal menunjukkan apa yang diprediksikan tercapai.

**Kata kunci:** AISI 409, Muffler, Spatter, Pengelasan, *Orthogonal Array*, Optimasi, Taguchi, Uji Hipotesa.

### ABSTRACT

*Customer demands for the quality of a product are increasingly high. In the motorcycle muffler production process, one of the customer's demands is that no spatter is attached to the surface of the exhaust body, because it will reduce the visual quality of the muffler. This research was conducted with the aim to determine the optimal welding parameters so that the number of spatter is reduced in motorcycle exhaust using AISI 409 stainless steel material. Optimization using the Taguchi method with reference to the orthogonal array tabel. The parameters used are 4 factors with each of 3 levels, there are Voltage with levels of 20V, 22V and 25V, Electric current / Ampere with 180A, 200A and 220A, comparison of Argon and CO<sub>2</sub> gas composition, namely 70:30, 60:40 and 50:50 and the distance of the welding nozzle from the workpiece are 1mm, 1.5mm and 2mm. The optimization results show that the optimal parameters are Voltage: 22V, Ampere: 180A, Argon and CO<sub>2</sub> gas composition 70:30 and 2mm nozzle distance. This optimal parameter is verified by hypothesis testing of the average weight of the spatter from the Taguchi experimental data processing with the parameters before the experiment. Verification results show the average spatter weight is indeed reduced. The study was re-verified with the hypothesis test also by making a repeat sample with the parameter settings were the optimal parameters, the results showed no significant difference in the average weight of the spatter. This shows the results of experiments using optimal settings showing what was predicted to be achieved.*

**Keywords:** AISI 409, Muffler, Spatter, Welding, *Orthogonal Array*, Optimization, Taguchi, Hypothesis Test.

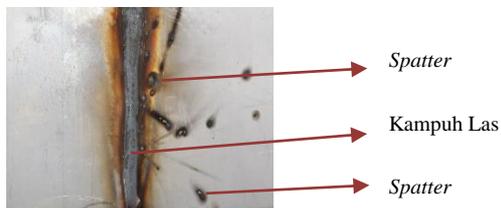
### PENDAHULUAN

Pertumbuhan bisnis sepeda motor di Indonesia dalam lima tahun terakhir menunjukkan peningkatan yang signifikan. Data yang didapat dari Asosiasi Industri Sepeda Motor Indonesia (AISI) menunjukkan hal tersebut, terutama untuk

pasar ekspor yang mengalami peningkatan lebih 300% dari 228.229 unit pada tahun 2015 menjadi 810.433 unit di tahun 2019. Sementara untuk pasar lokal setelah mengalami penurunan di tahun 2016, trend meningkat ditunjukkan di tahun-tahun berikutnya, hingga mencapai angka 6.487.460 di tahun 2019 [1].

Seiring dengan pertumbuhan bisnis sepeda motor ini, berefek pada bisnis-bisnis komponennya juga mengalami peningkatan. Makin berkembangnya industri komponen sepeda motor, makin banyak perusahaan yang terjun ke industri ini. Hal ini menjadikan persaingan yang makin ketat di antara mereka. Hal ini ditunjukkan dari data pertumbuhan market share sebuah perusahaan pembuat komponen sepeda motor berupa muffler atau knalpot. Di mana dari tahun ke tahun mengalami penurunan *share*, dari *share* di tahun 2010 sebesar 80.82% menjadi hanya 71.15% pada tahun 2017 [2].

Di dalam proses pembuatan knalpot, salah satu faktor penentu dalam memenuhi keinginan pelanggan adalah pada proses pengelasan, di mana pada proses pengelasan ada berbagai cacat yang muncul karena kesalahan setting parameter mesin, kesalahan pemilihan bahan atau material yang digunakan, kesalahan metode proses pengelasannya maupun faktor manusia, seperti kurang kompetensi dalam bidang pengelasan, karena kelelahan atau hal-hal lainnya. Salah satu cacat yang sering dijumpai adalah munculnya *spatter* seperti terlihat pada Gambar 1. *Spatter* ini dikategorikan sebagai cacat apabila muncul dalam jumlah banyak dan tidak bisa dibersihkan dari benda kerja.



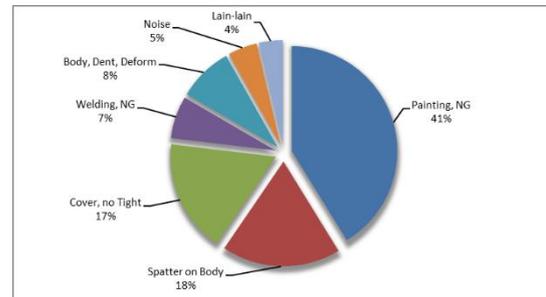
Gambar 1. *Spatter*

Adapun kerugian perusahaan yang disebabkan *spatter* ini adalah:

#### 1.1 Penurunan Kualitas Visual

Knalpot sebagai salah satu *part* yang terpasang di sepeda motor, juga memiliki peranan yang signifikan, bukan saja dari sisi fungsinya sebagai peredam suara, sebagai pengurang emisi hasil pembakaran di ruang bakar maupun sebagai peningkat daya yang dikeluarkan dari mesin sepeda motor saja, melainkan juga sebagai pendukung desain sepeda motor secara keseluruhan agar lebih menarik [3]. Untuk itu produsen sepeda motor menuntut perusahaan ini harus bisa mengurangi jumlah *Spatter* yang masih menempel di knalpot sesedikit mungkin [4].

Dari grafik terlihat kasus *spatter* jumlahnya cukup signifikan (18%) dan berada di posisi ke dua setelah kasus *painting*.



Gambar 2. Grafik Prosentase Berbagai Kasus di Line Produksi Knalpot Tahun 2018. [5]

Pada ujung-ujung *spatter* terdapat retakan yang terisi slag, retakan kecil ini dapat merambat di logam induk menjadi retak lelah (*Fatigue Crack*) dan pada saat mencapai panjang kritisnya akan menyebabkan fraktur [6]. Beberapa penelitian dalam usaha mengurangi *Spatter* telah dilakukan, yaitu untuk mengurangi *Spatter* pada proses CO<sub>2</sub> Arc welding dengan memanfaatkan arus pulsa pada frekuensi tinggi yang menyebabkan terjadinya fenomena tetesan kecil dari lelehan kawat las [7]. Sementara Tetsuo Era et al [8] dalam penelitiannya yang memanfaatkan pengendali *Bridge Transfer Process* pada pengelasan di bahan *stainless steel* dengan merubah-ubah besaran Ampere dari 75A-200A, mendapatkan jumlah *Spatter* berkurang maksimum 16.5% pada 150A dan 40% pada 200A dibandingkan dengan menggunakan *inverter welding power source*. H. Yamamoto et al [9] dalam penelitiannya tentang Pengembangan Sistem Pengendali Arus Welding untuk Mengurangi *Spatter*, dengan merubah bentuk pulse dari *trapezoidal wave* menjadi *square wave*, menunjukkan hasil signifikan dalam mengurangi jumlah *spatter* yang muncul, sementara Joseph I. Achebo [10], Sharma Umangkumar et al [11], IK.Sivasakthivel et al [12] dan Vikas Mukhraiya et al [13] membahas optimasi parameter pengelasan dengan menggunakan metode Taguchi untuk mendapatkan tingkat kekuatan pengelasannya yaitu kekuatan tariknya dengan berbagai faktornya, yaitu tegangan dan arus listrik, kecepatan pengelasan dan komposisi gas pelindungnya.

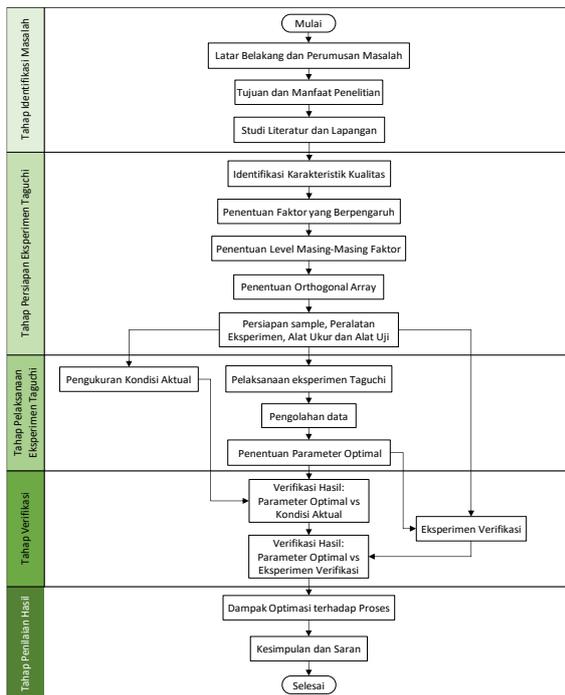
Tujuan dari penelitian ini untuk mendapatkan parameter pengelasan yang paling mempengaruhi munculnya *spatter*, mendapatkan kombinasi pengaturan paling optimum sehingga *spatter* yang muncul paling sedikit, serta mendapatkan dampak

dari penelitian ini dari aspek biaya proses produksi.

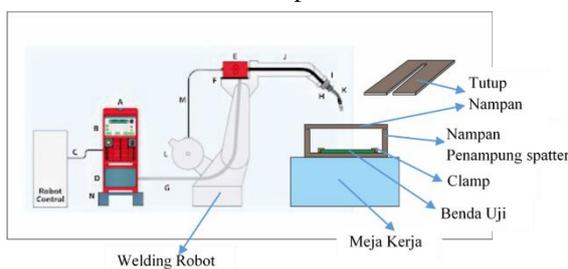
### METODE PENELITIAN

#### 1.1. Tahapan Penelitian

Tahap-tahap penelitian ditentukan dari tahap identifikasi masalah sampai dengan tahap verifikasi hasil *setting* optimal yaitu dengan dilakukan eksperimen konfirmasi dan analisa dampak optimasi terhadap penghematan proses. Tahapan pada metodologi penelitian digambarkan dalam bentuk *flow chart* seperti terlihat pada Gambar 3.



Gambar 3. Tahapan Penelitian



Gambar 4. Bentuk & Posisi Nampan Pelindung Saat Proses Pembuatan Sampel Uji

Dalam melakukan eksperimen dirancang peralatannya seperti pada Gambar 4 Penggunaan *welding* robot bertujuan untuk mengurangi variasi yang ada apabila dilakukan dengan pengelasan

manual. Selain itu *setting* parameter bisa lebih stabil dan mudah dilakukan. Nampan penampung *Spatter* digunakan untuk menghimpun *Spatter* yang muncul dan akan dikonversikan jumlah *Spatter* ke dalam berat totalnya. Agar *Spatter* yang muncul tidak menempel pada nampan sehingga mudah dibersihkan, bahan yang digunakan sebagai nampan adalah CuCr.

Untuk mendapatkan pengaturan parameter proses yang sesuai dengan yang diinginkan maka diperlukan peralatan yang harus disiapkan. Adapun peralatan yang digunakan untuk penelitian terdiri dari mesin yang digunakan untuk memproduksi barang serta alat ukur dan alat uji yang digunakan untuk mengukur dan menguji dari produk yang dihasilkan seperti terlihat pada Tabel 1. Alat ukur dan alat uji telah terlebih dahulu dikalibrasi untuk menjamin kebenaran hasil pengujian dan pengukurannya. Sertifikat kalibrasi bisa dilihat pada lampiran.

Tabel 1. Daftar Spesifikasi Mesin, Alat Ukur dan Alat Uji yang digunakan untuk eksperimen

| No | Nama Alat                    | Gambar | Spesifikasi                                                                                                          |
|----|------------------------------|--------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1  | Nampan Penampung Spatter     |        | Dim: P40 x L20 x T15 cm, Bahan: SPCC, t1.2 mm, dilapisi lembaran CuCr (Spatter tdk menempel di bahan CuCr)           |
| 2  | Welding Robot                |        | OTC, FD-V6, 6 axes, 13.2 lb max payload, 3.14m <sup>2</sup> x 340° Arm Operation area                                |
| 3  | Neraca analitik              |        | Ohaus PA 413, resolusi 0.001 gr, range 0-410 gr, Serial No: B 537420572, Last Calibration: June 12, 2018             |
| 4  | Digimatic Caliper            |        | Krisbow, Range: 0 - 100 mm, 0.01 Resolution, Serial No: C1105310188, Last Calibration: 4th Week on March 2019        |
| 5  | Microscope                   |        | Hirox, RH 200, 35x - 3500x Magnification.                                                                            |
| 6  | Tensile Strength Testing M/C |        | Shimadzu, SFL 50 KN AG, Capacity 50000 N, Resolution: 0.1 N, Serial No: N 823709, Last Calibration: October 31, 2019 |

## 1.2. Bahan Penelitian

Dengan pertimbangan tuntutan dari pelanggan bahwa di daerah *body* knalpot merupakan area kualitas visual kelas A yang melarang adanya *spatter* menempel di area tersebut. Penelitian ini dititik beratkan pada pengelasan di *body* knalpot, karena masalah *spatter* yang paling banyak adalah di area tersebut. Untuk itu sebagai benda kerja yang digunakan eksperimen adalah material untuk body knalpot yaitu *Steel Plate* AISI 409 dengan ketebalan 1.0 mm. Sedangkan untuk kawat lasnya menggunakan tipe ASME SFA -5.9 AWS A5.9 ER 308 LSi. Komposisi kimiawi dan sifat-sifat mekanis dari material AISI 409 dan kawat lasnya.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

### Penentuan Faktor yang Berpengaruh

Berdasarkan diskusi dengan *team engineering* perusahaan knalpot, didapat faktor-faktor yang mempengaruhi banyak sedikitnya *spatter* yang akan muncul selama pengelasan adalah: *voltage*, *ampere*, perbandingan gas pelindung, jarak *nozzle* dan kecepatan pengelasan. Untuk kecepatan pengelasan yang saat ini telah ditetapkan pada angka 140 ~ 150 cpm, tidak bisa dilakukan penyesuaian dengan mengurangi nilainya, mengingat akan banyak mempengaruhi kapasitas produksi dan pada akhirnya akan mempengaruhi profit perusahaan. Sehingga disepakati faktor-faktor yang akan diamati pada eksperimen untuk mengurangi jumlah *spatter* adalah

Tabel 2. Parameter Proses Pengelasan

| No | Faktor                      | Jenis Faktor | Simbol |
|----|-----------------------------|--------------|--------|
| 1  | Volt (V)                    | Kontrol      | A      |
| 2  | Ampere (A)                  | Kontrol      | B      |
| 3  | Perbandingan Gas (Ar : CO2) | Kontrol      | C      |
| 4  | Jarak Nozzle (mm)           | Kontrol      | D      |

### Penentuan Level Masing-masing Faktor

Dari faktor-faktor yang sudah ditentukan maka dibuat levelisasi terhadap faktor-faktor tersebut. Melalui FGD (*Focus Group Discussion*) bersama *team Engineering* perusahaan knalpot didapat level seperti terlihat pada Tabel 3

Tabel 3. Levelisasi Faktor Berpengaruh

| No | Faktor                      | Jenis Faktor | Simbol | Level |       |       |
|----|-----------------------------|--------------|--------|-------|-------|-------|
|    |                             |              |        | 1     | 2     | 3     |
| 1  | Volt (V)                    | Kontrol      | A      | 20    | 22    | 25    |
| 2  | Ampere (A)                  | Kontrol      | B      | 180   | 200   | 220   |
| 3  | Perbandingan Gas (Ar : CO2) | Kontrol      | C      | 70:30 | 60:40 | 50:50 |
| 4  | Jarak Nozzle (mm)           | Kontrol      | D      | 1     | 1.5   | 2     |

## Pelaksanaan Eksperimen Taguchi

Dari eksperimen yang dilakukan pada rentang waktu dari tanggal 31 Agustus 2019 sampai dengan tanggal 1 September 2019. Pengambilan data dilakukan dengan replikasi sebanyak tiga kali dan diambil untuk masing-masing kombinasi. Dari hasil eksperimen diperoleh data hasil berat *Spatter* yang muncul seperti terlihat pada Tabel 4.

Tabel 4. Data Hasil Eksperimen Berat *Spatter*

| Eksperimen | Faktor |     |       |     | Replikasi |       |       |
|------------|--------|-----|-------|-----|-----------|-------|-------|
|            | A      | B   | C     | D   | 1         | 2     | 3     |
| 1          | 20     | 180 | 70:30 | 1   | 1.004     | 1.033 | 1.028 |
| 2          | 20     | 200 | 60:40 | 1.5 | 1.111     | 1.196 | 1.085 |
| 3          | 20     | 220 | 50:50 | 2   | 1.067     | 1.127 | 1.174 |
| 4          | 22     | 180 | 60:40 | 2   | 1.094     | 1.076 | 1.047 |
| 5          | 22     | 200 | 50:50 | 1   | 1.062     | 1.112 | 1.138 |
| 6          | 22     | 220 | 70:30 | 1.5 | 1.062     | 1.047 | 1.046 |
| 7          | 25     | 180 | 50:50 | 1.5 | 1.080     | 1.122 | 1.072 |
| 8          | 25     | 200 | 70:30 | 2   | 1.028     | 1.053 | 1.086 |
| 9          | 25     | 220 | 60:40 | 1   | 1.254     | 1.097 | 1.183 |

## Pengolahan Data

Berdasarkan data yang sudah diperoleh dari eksperimen yang dilakukan maka selanjutnya data yang sudah diambil dan diperoleh akan digunakan sebagai bahan untuk menghitung nilai rata-rata dan SNR (*Signal to Noise Ratio*). Perhitungan rata-rata digunakan untuk mendapatkan parameter yang optimal sehingga penyimpangan rata-rata dapat ditekan seminimal mungkin. Sedangkan SNR dilakukan untuk menentukan faktor-faktor yang mempunyai kontribusi untuk menurunkan penyimpangan terhadap kualitas.

### a. Perhitungan rata-rata.

$$\mu = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y_i$$

$$\mu = \frac{1}{3} (1,004 + 1,033 + 1,028)$$

$$\mu = 1,022$$

dengan menggunakan cara yang sama maka akan dapat dilakukan perhitungan untuk eksperimen ke 2 sampai dengan eksperimen ke 9 dengan hasil perhitungan dapat dilihat dan diamati pada Tabel 5.

### b. Perhitungan *Signal to Noise Ratio* (SNR)

Perhitungan SNR yang dipilih adalah dengan karakteristik eksperimen *smaller the better* karena hasil yang diinginkan dalam proses

eksperimen ini adalah menentukan berat *Spatter* minimal dari proses pengelasan yang dilakukan.

Untuk percobaan pertama dihitung dengan hasil sebagai berikut:

$$SNR = -10 \log \left[ \frac{1}{3} (1,004^2 + 1,033^2 + 1,028^2) \right]$$

$$SNR = -0,187$$

Dengan metode perhitungan yang sama maka dapat ditentukan besarnya nilai SNR untuk percobaan berikutnya. Hasil perhitungan nilai rata-rata atau *mean* dan SNR tiap-tiap percobaan dapat dilihat dalam Tabel 5.

Tabel 5. Hasil Perhitungan Rata-rata (*Mean*) dan SNR

| Eksperimen | Faktor |     |       |     | Replikasi |       |       | Rata-Rata | Deviasi | SNR    |
|------------|--------|-----|-------|-----|-----------|-------|-------|-----------|---------|--------|
|            | A      | B   | C     | D   | 1         | 2     | 3     |           |         |        |
| 1          | 20     | 180 | 70:30 | 1   | 1.004     | 1.033 | 1.028 | 1.022     | 0.016   | -0.187 |
| 2          | 20     | 200 | 60:40 | 1.5 | 1.111     | 1.196 | 1.085 | 1.131     | 0.058   | -1.074 |
| 3          | 20     | 220 | 50:50 | 2   | 1.067     | 1.127 | 1.174 | 1.123     | 0.054   | -1.012 |
| 4          | 22     | 180 | 60:40 | 2   | 1.094     | 1.076 | 1.047 | 1.072     | 0.024   | -0.608 |
| 5          | 22     | 200 | 50:50 | 1   | 1.062     | 1.112 | 1.138 | 1.104     | 0.039   | -0.863 |
| 6          | 22     | 220 | 70:30 | 1.5 | 1.062     | 1.047 | 1.046 | 1.052     | 0.009   | -0.438 |
| 7          | 25     | 180 | 50:50 | 1.5 | 1.080     | 1.122 | 1.072 | 1.091     | 0.027   | -0.761 |
| 8          | 25     | 200 | 70:30 | 2   | 1.028     | 1.053 | 1.086 | 1.056     | 0.029   | -0.473 |
| 9          | 25     | 220 | 60:40 | 1   | 1.254     | 1.097 | 1.183 | 1.178     | 0.079   | -1.436 |

Dari hasil perhitungan terhadap nilai rata-rata yang disebutkan di atas maka dilakukan perhitungan selanjutnya.

c. Perhitungan Pengaruh Faktor Respon Rata-Rata (*mean*)

Cara melakukan perhitungan nilai rata-rata faktor A level 1, sebagai berikut:

$$y_{jk} = \frac{\sum y_{jk}}{n_{jk}}$$

$$= \frac{(1.022+1.131+1.123)}{3}$$

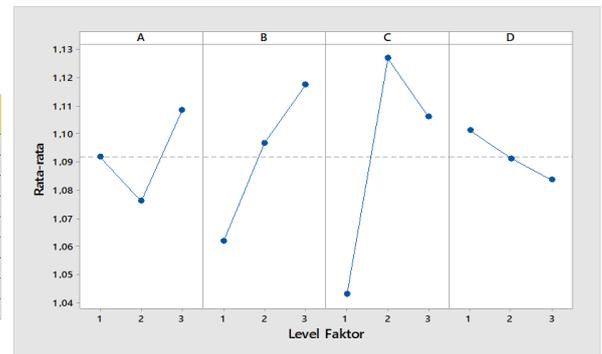
$$= 1.092$$

Dengan cara yang sama maka akan diperoleh respon dari setiap faktor dan setiap level yang dapat dilihat dalam Tabel 6.

Tabel 6. Respon Rata-rata (*Mean*) Berat *Spatter*

| Level      | Pengaruh     |              |              |              |
|------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
|            | A            | B            | C            | D            |
| Level 1    | 1.092        | <b>1.062</b> | <b>1.043</b> | 1.101        |
| Level 2    | <b>1.076</b> | 1.097        | 1.127        | 1.091        |
| Level 3    | 1.108        | 1.117        | 1.106        | <b>1.084</b> |
| Difference | 0.032        | 0.056        | 0.084        | 0.018        |
| Rank       | <b>3</b>     | <b>2</b>     | <b>1</b>     | <b>4</b>     |
| Optimum    | A2           | B1           | C1           | D3           |

Berdasarkan tabel respons di atas maka selanjutnya dibuat plot untuk grafik respon sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 5.



Gambar 5. Grafik Respon Rata-rata

Berdasarkan gambar dan tabel di atas maka terlihat bahwa urutan yang paling mempengaruhi agar berat *Spatter* sekecil mungkin adalah: Faktor C pada level 1, factor B pada level 1, Faktor A pada level 2 dan factor D pada level 3.

d. Melakukan perhitungan tabel respon untuk *signal to noise*.

Dalam metode Taguchi menggunakan analisa *signal to noise ratio* untuk mencari faktor-faktor yang memiliki pengaruh terhadap berat *Spatter* minimal. Karakteristik kualitas yang menjadi dasar dalam penelitian ini penetrasi hasil pengelasan, di mana karakteristik yang digunakan adalah *smaller the better* Langkah-langkah perhitungan SNR sebagai berikut:

1. Melakukan perhitungan nilai rata-rata *signal to noise ratio* pada tiap level dan faktor dalam eksperimen. Perhitungan nilai rata-rata *signal to noise ratio* setiap level faktor menggunakan sebagai berikut

Perhitungan untuk faktor A dengan level 1 berikut:

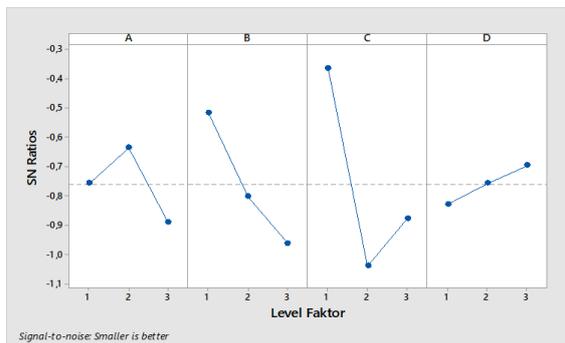
$$= \frac{(-8,521)+(-8,892)+(-17,816)}{3}$$

$$= -11,743$$

Tabel 7. Tabel Respon Nilai SNR Berat *Spatter*.

| Level      | Pengaruh      |               |               |               |
|------------|---------------|---------------|---------------|---------------|
|            | A             | B             | C             | D             |
| Level 1    | -0.758        | -0.519        | -0.366        | <b>-0.829</b> |
| Level 2    | -0.636        | -0.803        | <b>-1.039</b> | -0.758        |
| Level 3    | <b>-0.890</b> | <b>-0.962</b> | -0.878        | -0.697        |
| Difference | 0.254         | 0.443         | 0.674         | 0.131         |
| Rank       | <b>3</b>      | <b>2</b>      | <b>1</b>      | <b>4</b>      |
| Optimum    | A3            | B3            | C2            | D1            |

Selanjutnya berdasarkan hasil perhitungan di atas dibuat grafik plot tabel respon untuk SNR seperti terlihat pada Gambar 6.



Gambar 6. Grafik Respon SNR

Berdasarkan gambar dan tabel di atas maka terlihat bahwa urutan yang paling mempengaruhi agar berat *Spatter* sekecil mungkin adalah: Faktor C pada level 2, factor B pada level 3, Faktor A pada level 3 dan factor D pada level 1.

Berdasarkan perhitungan SNR dan tabel respon maka faktor C menempati ranking 1 sehingga dengan kaidah bahwa semakin besar SNR akan semakin kecil kerugian, untuk menghindari kerugian yang besar karena timbul varian dalam produk maka dapat dilakukan dengan mengatur parameter D sebagai parameter yang paling utama.

#### e. Melakukan analisa dengan ANOVA

Setelah diperoleh data percobaan, selanjutnya dilakukan perhitungan dengan ANOVA terhadap rata-rata, dan hasilnya dapat dilihat pada Tabel 8.

Tabel 8. Hasil Perhitungan ANOVA

| Sumber   | Ss      | Df | Ms     | F Ratio | Ss'    | Ratio % |
|----------|---------|----|--------|---------|--------|---------|
| A        | 0.0047  | 2  | 0.0024 | 1.2936  | 0.001  | 1.22%   |
| B        | 0.0143  | 2  | 0.0071 | 3.9179  | 0.011  | 12.13%  |
| C        | 0.0344  | 2  | 0.0172 | 9.4556  | 0.031  | 35.15%  |
| D        | 0.0014  | 2  | 0.0007 | 0.3883  | -0.002 | -2.54%  |
| e        | 0.0327  | 18 | 0.0018 | 1.0000  | 0.047  | 54.04%  |
| SSt      | 0.0875  | 26 | 0.0034 |         | 0.088  | 100.00% |
| Mean     | 32.1965 | 1  |        |         |        |         |
| SS Total | 32.2840 | 27 |        |         |        |         |

Dari perhitungan ANOVA di atas kemudian dilakukan perhitungan terhadap faktor yang kurang berpengaruh. Hal ini dapat ditentukan dengan menggunakan tabel Distribusi F, dimana dengan tingkat kepercayaan diambil sebesar 95% (Tarf Signifikansi,  $\alpha = 5\% = 0,05$ ), denominator  $Df_{\text{error}} = v_1 = 18$  dan numerator  $Df_{\text{faktor}} = v_2 = 2$ , maka dari tabel Distribusi F didapat  $F_{(0,05, 18, 2)} = 3,55$ . Kemudian nilai 3,55 ini dibandingkan dengan F Ratio pada hasil perhitungan ANOVA. Apabila F Ratio lebih besar dari 3,55 maka dianggap sebagai faktor yang berpengaruh. Sedangkan apabila F ratio lebih kecil dari 3,55 maka dianggap tidak mempunyai pengaruh yang signifikan. Hasil dari perbandingan tersebut diperoleh kesimpulan seperti terlihat pada Tabel 9.

Tabel 9. Pengaruh Masing-masing Faktor

| Faktor | F Ratio | F Tabel | >/</= | Berpengaruh / Tidak |
|--------|---------|---------|-------|---------------------|
| A      | 1.2936  | 3.55    | <     | Tidak Berpengaruh   |
| B      | 3.9179  | 3.55    | >     | Berpengaruh         |
| C      | 9.4556  | 3.55    | >     | Berpengaruh         |
| D      | 0.3883  | 3.55    | <     | Tidak Berpengaruh   |

Dari Tabel 9 di atas dapat dijelaskan bahwa faktor yang mempunyai pengaruh signifikan terhadap sedikitnya berat *Spatter* dari hasil pengelasan adalah faktor C (Perbandingan gas Argon: CO<sub>2</sub>) dan B (*Ampere*).

#### Parameter Optimal

Dengan berbagai perhitungan di atas dan analisis dengan ANOVA maka dapat dilakukan optimasi terhadap parameter proses yang akan mempengaruhi kualitas produk yang dihasilkan. Dalam menentukan parameter proses maka selain faktor kualitas dipertimbangkan juga pengaruh terhadap waktu proses atau *cycle time* yang akan mempengaruhi produktifitas atau kuantitas proses yang dilakukan.

Tabel 10. Parameter Optimal

| No | Faktor                                   | Simbol | Level Optimum | Parameter |
|----|------------------------------------------|--------|---------------|-----------|
| 1  | Volt (V)                                 | A      | 2             | 22 V      |
| 2  | Ampere (A)                               | B      | 1             | 180 A     |
| 3  | Perbandingan Gas (Ag : CO <sub>2</sub> ) | C      | 1             | 70 : 30   |
| 4  | Jarak Nozzle (mm)                        | D      | 3             | 2 mm      |

Pada hasil pengujian Tarik terlihat level 1 memiliki hasil OK untuk setiap eksperimen, sedangkan level 2 terdapat eksperimen yang NG yaitu eksperimen no 4. Untuk itu parameter optimum untuk faktor C diambil level 1, atau perbandingan gas Argon: CO<sub>2</sub> = 70: 30

Untuk faktor B, pilihannya adalah level 1 dengan pertimbangan dari aspek ekonomi juga, di

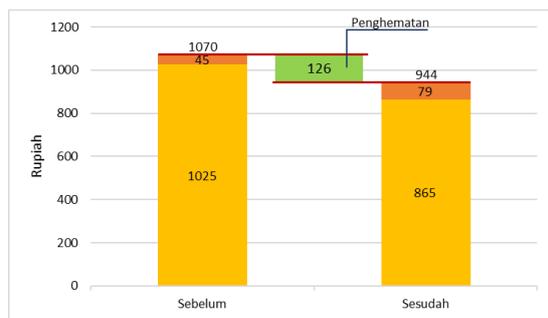
mana makin tinggi *ampere*, biaya listrik juga makin meningkat.

Untuk parameter lain yaitu faktor A yang dianggap kurang berpengaruh terhadap minimal berat *Spatter* yang dihasilkan dari proses *welding*, ditentukan berdasarkan nilai ekonomisnya juga, sehingga dipilih level 2 (22 Volt).

Sedangkan untuk faktor D yang juga kurang berpengaruh, dipilih level 3, dengan pertimbangan jarak *nozzle* berpengaruh terhadap usia pakai *nozzle* tersebut. Semakin dekat dengan benda kerja, semakin cepat aus, sehingga dipilih level optimumnya 3 (2 mm).

#### Dampak Optimasi Terhadap Proses

Dengan perubahan komposisi yang diperoleh dari optimasi yang dilakukan maka perbandingan biaya gas sebelum dan sesudahnya dapat dilihat dalam bentuk grafik pada Gambar 7.



Gambar 7. Perbandingan Biaya Gas Sebelum dan Sesudah Optimasi

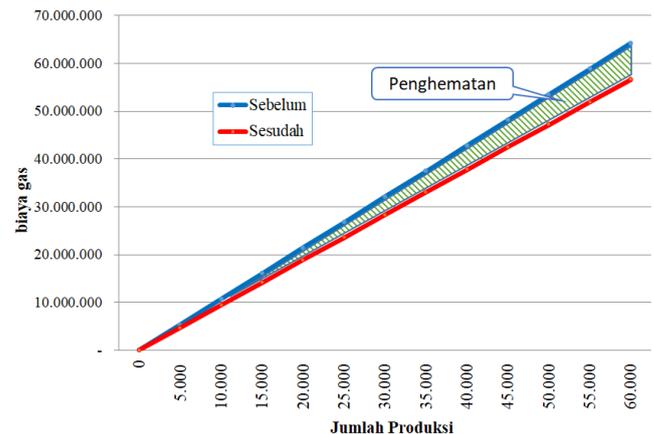
Dari Gambar 7 di atas dapat dilihat bahwa harga proses untuk gas sebelum optimasi adalah Rp. 1.070 dengan komposisi Argon dan CO<sub>2</sub> 83:17 sedangkan setelah dilakukan optimasi maka biaya pemakaian gas adalah Rp. 944 dengan komposisi dengan komposisi Argon dan CO<sub>2</sub> 70:30. Biaya yang dapat dihemat adalah Rp.126 untuk setiap produk yang dihasilkan.

Dengan penghematan dari konsumsi gas Argon dan CO<sub>2</sub> maka dapat dilakukan perhitungan penghematan yang dapat diperoleh sebagai dampak optimasi parameter yang dilakukan seperti terlihat pada Tabel 11.

Tabel 11. Penghematan Konsumsi Gas untuk Pengelasan.

| No | Akumulasi Produksi | Biaya Gas           |                   | Penghematan | Persen |
|----|--------------------|---------------------|-------------------|-------------|--------|
|    |                    | Sebelum<br>Rp 1,070 | Sesudah<br>Rp 944 |             |        |
| 1  | -                  |                     |                   |             |        |
| 2  | 5,000              | 5,350,812           | 4,718,563         | 632,249     | 13%    |
| 3  | 10,000             | 10,701,625          | 9,437,126         | 1,264,499   | 13%    |
| 4  | 15,000             | 16,052,437          | 14,155,690        | 1,896,748   | 13%    |
| 5  | 20,000             | 21,403,250          | 18,874,253        | 2,528,997   | 13%    |
| 6  | 25,000             | 26,754,062          | 23,592,816        | 3,161,246   | 13%    |
| 7  | 30,000             | 32,104,875          | 28,311,379        | 3,793,496   | 13%    |
| 8  | 35,000             | 37,455,687          | 33,029,942        | 4,425,745   | 13%    |
| 9  | 40,000             | 42,806,500          | 37,748,506        | 5,057,994   | 13%    |
| 10 | 45,000             | 48,157,312          | 42,467,069        | 5,690,244   | 13%    |
| 11 | 50,000             | 53,508,125          | 47,185,632        | 6,322,493   | 13%    |
| 12 | 55,000             | 58,858,937          | 51,904,195        | 6,954,742   | 13%    |
| 13 | 60,000             | 64,209,750          | 56,622,758        | 7,586,991   | 13%    |

Dari Tabel 11 di atas maka dapat dilihat bahwa penghematan yang diperoleh sebagai dampak optimasi parameter adalah 13 %. Untuk lebih jelasnya maka dapat dilihat dalam Gambar 8.



Gambar 8. Diagram Penghematan Biaya Gas

Dari Gambar 8 di atas dapat dilihat bahwa dengan melakukan optimasi parameter maka biaya konsumsi gas dapat dihemat sebesar area yang di arsir. Adapun penghematan yang dilakukan adalah selisih antara garis yang berwarna biru dikurangi dengan garis yang berwarna merah.

## KESIMPULAN

1. Faktor-faktor yang dipilih dalam eksperimen untuk mengurangi banyaknya *spatter* dalam proses pengelasan terdiri dari: Tegangan listrik, Arus listrik, komposisi gas dan jarak *nozzle* terhadap benda kerja. Dari keempat faktor tersebut, faktor yang berpengaruh terhadap berkurangnya *spatter* saat proses pengelasan pada logam AISI 409 adalah:

- Komposisi gas dan arus listrik. Sementara tegangan listrik dan jarak *nozzle* tidak cukup berpengaruh.
2. Kombinasi paling optimal dalam usaha mengurangi *spatter* saat proses pengelasan pada logam AISI 409 adalah sebagai berikut: Komposisi gas Argon : CO<sub>2</sub> = 70 : 30, Arus listrik sebesar 180 A, Tegangan listrik 22 V dan jarak *nozzle* terhadap benda kerja 2 mm.
  3. Dampak lain dari perubahan parameter pengelasan optimal ini adalah dari aspek ekonomisnya berupa penghematan biaya gas sebesar 13%

### DAFTAR PUSTAKA

- [1] Anonim, "Asosiasi Industri Sepeda Motor Indonesia," 2020. [Online]. Available: [aisi.or.id/statistic](http://aisi.or.id/statistic). [Accessed 20 March 2020].
- [2] Anonim, Yutaka Manufacturing Indonesia, Marketing Department, *Data Delivery Muffler dan Disk Brake ke Customer*, Cikarang: YMI, 2018.
- [3] Anonim, PT Astra Honda Motor, "All Products | PT Astra Honda Motor," 2016. [Online]. Available: <https://www.astra-honda.com/product-list/all>. [Accessed 23 Nopember 2018].
- [4] Anonim, Yutaka Manufacturing Indonesia, Quality System & Facilities Department, *Standar Visual Muffler Kelas A*, Cikarang Barat: YMI, 2018.
- [5] Anonim, Yutaka Manufacturing Indonesia, Quality Control Department, "Laporan Kuaitas Muffler 2W tahun 2018," PT. YMI, QC Dept, Bekasi, 2018.
- [6] F. Molleda, J. Mora, J.R. Molleda, E. Mora, Mellor, "The Importance of Spatter Formed in Shielded Metal Arc Welding," *Material Characterization*, vol. 58, no. 10, pp. 936-940, 2007.
- [7] K. Tokihiko, I. Rinsei, H. Yoshinori, "Development of low spatter CO<sub>2</sub> arc welding process with high frequency pulse curr," *Science and Technology of Welding and Joining*, vol. 14, no. 8, pp. 740-746, 2009.
- [8] Tetsuo Era, Akihiro Ide, Toshiro Uezono, Tomoyuki Ueyama, "Spatter Reduction of Steel Sheets Welding Using Controlled Bridge Transfer (CBT) GMA Process," *Material Science Forum*, Vols. 580 - 582, pp. 303 - 306, 2008.
- [9] H. Yamamoto, S. Harada, T. Yasuda, "The Development of Welding Current Control System for Spatter Reduction," *Welding International*, vol. 4:5, pp. 398-407, 1990.
- [10] Achebo, Joseph I., "Optimization of GMAW Protocols and Parameters for Improving Weld Strength Quality Applying the Taguchi Method," in *World Congress on Engineering*, London, 2011.
- [11] Umangkumar, Sharma Mehul, Chavda Patel, Jigar Bhatt, "Optimization of Welding Parameters Using Taguchi Method for Submerged Arc Welding of Conveyor Pulley," in *5th National Conference on "Recent Advances in Manufacturing (RAM-2015)*, 2015.
- [12] K. Sivasakthivel, Janarathanan, Rajkumar, "Optimization of Welding Parameter in MIG Welding by Taguchi Method," *International Journal of Advanced Research in Mechanical Engineering & Technology (IJARMET)*, vol. 1, no. 1, 2015.
- [13] Vikas Mukhraya, Raj Kumar Yadav, Sanjay Jathar, "Parametric Optimisation of MIG Welding Process with the Help of Taguchi Method," *International Journal of Engineering Research & Technology (IJERT)*, vol. 3, no. 1, 2014.