

Optimalisasi Parameter Teknik Pengelasan *Shielded Metal Arc Welding* (SMAW) dengan Menggunakan Metode Taguchi

Azmi*^{1,2}, Rika Ampuh Hadiguna¹, Jonrinaldi¹, Ary Ramadhianto²

¹Departemen Teknik Industri Universitas Andalas, Padang, Indonesia

² Program Studi Teknik Industri Sekolah Tinggi Teknologi Dumai, Indonesia

E-mail: azmi.omy@gmail.com, hadiguna@eng.unand.ac.id, jonrinaldi@eng.unand.ac.id,
ary.ramadhianto@gmail.com

* Corresponding author

Abstrak

Tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui faktor-faktor yang berkontribusi dan parameter optimum pada pengelasan SMAW. Penelitian dilakukan di PT.X yang berlokasi di area kilang Pertamina RU II Dumai. Metode Taguchi digunakan dalam pengolahan data yang terdiri dari tahap perencanaan, eksperimen, analisa, dan diakhiri dengan tahap eksperimen konfirmasi. Hasil dari penelitian ini menyatakan bahwa faktor arus berkontribusi sebesar 59%, jarak busur 33%, faktor kecepatan pengelasan berkontribusi 2% dan faktor residual (error) sebesar 6%. Sementara itu perhitungan S/N Ratio menunjukkan bahwa faktor-faktor optimum yang diperoleh adalah Besar Arus 90 A, diikuti faktor kecepatan pengelasan 85 mm/min dan jarak busur sebesar 2 mm. Eksperimen konfirmasi dilakukan untuk memberikan perbandingan hasil kerja sebelum dan sesudah penerapan parameter optimum. Hasilnya menunjukkan adanya penurunan jumlah cacat secara signifikan yaitu sebesar 56.67%. Hal ini dapat dilihat dari jumlah cacat rata-rata sebelum dilakukan penelitian yaitu sebesar 20.15% dan mengalami penurunan jumlah cacat menjadi sebesar 8.73% setelah dilakukan penerapan parameter optimum.

Kata Kunci: Optimalisasi, SMAW, S/N ratio, Taguchi

Abstract

[Optimization of Shielded Metal Arc Welding (SMAW) Welding Technique Parameters Using the Taguchi Method] The purpose of this study was to determine the contributing factors and optimum parameters for SMAW welding. The research was conducted at PT.X which is located in the Pertamina RU II Dumai refinery area. The Taguchi method is used in data processing which consists of planning, experimenting, analyzing, and ending with the confirmation experiment. The results of this study state that the current factor contributes 59%, arc distance 33%, welding speed factor contributes 2% and the residual factor (error) is 6%. Meanwhile the calculation of the S/N Ratio shows that the optimum factors obtained are current amount of 90 A, followed by a welding speed factor of 85 mm/min and an arc distance of 2 mm. Confirmation experiments were carried out to provide a comparison of work results before and after the application of the optimum parameters. The results show a significant reduction in the number of defects, namely 56.67%. This can be seen from the average number of defects before the research was carried out which was 20.15% and decreased the number of defects by 8.73% after applying the optimum parameter

Keywords: Optimization, SMAW, S/N Ratio, Taguchi

Kelompok BoK yang bersesuaian dengan artikel: *Design and Manufacturing Engineering*

Saran format untuk mensitasi artikel ini:

Azmi, Hadiguna, R. A., Jonrinaldi, Ramadhianto, A.. (2023). Optimalisasi Parameter Teknik Pengelasan *Shielded Metal Arc Welding* (SMAW) dengan Metode Taguchi. *Prosiding Seminar Nasional Teknik Industri (SENASTI) 2023*, 860-869.

1. Pendahuluan

Pengelasan SMAW adalah proses penyambungan dua logam atau lebih dengan cara melelehkan logam induk dengan menggunakan energi panas (Nata *et al.*, 2021). Sambungan las terjadi dikarenakan melelehnya logam pengisi/bahan tambah berupa elektroda dengan logam induknya. Logam induk meleleh akibat pemanasan dari busur listrik yang timbul antara ujung elektroda dan permukaan benda kerja (Rahman & Sunyoto, 2021). Pengelasan SMAW banyak digunakan pada sambungan struktural, bejana tekan dan dalam pekerjaan preservasi dan restorasi. Teknik pengelasan ini biasanya digunakan karena fleksibilitas penggunaan dan dapat dilakukan didalam maupun diluar ruangan (Muhammad & Tsamroh, 2021). PT. X adalah perusahaan kontraktor yang bergerak dibidang jasa pengelasan di area PT. Kilang Pertamina Internasional RU II Dumai yang menggunakan Pengelasan SMAW untuk mengerjakan proyeknya. Salah satu pekerjaan yang dilakukan adalah pembuatan *rail crane* yang digunakan untuk mengangkat minyak sisa hasil pengolahan.

Untuk menjaga kualitas pengelasan, PT.X melakukan inspeksi hasil pengelasan *rail crane* yang dilakukan oleh petugas laboratorium dengan metode NDT (*Non Destructive Test*) yang terlihat pada Tabel 1. NDT menggunakan *penetrant test* untuk memeriksa terjadinya cacat pada pengelasan. Hasil dari inspeksi menunjukkan bahwa persentase *defect* yang terjadi masih tinggi yaitu rata-rata 20,15% selama bulan April s/d Juni 2023.

Tabel. 1 Jumlah *defect* Pengelasan pada proses Penyambungan

| Bulan | DPT (Joints) | Defect (Result) | | Accepted | Persentase Defect (%) |
|-------------------------|--------------|-----------------|--------|----------|-----------------------|
| | | Round | Linear | | |
| April | 287 | 28 | 36 | 223 | 22,23 |
| Mei | 317 | 31 | 34 | 252 | 20,50 |
| Juni | 299 | 24 | 29 | 246 | 17,73 |
| Rata-rata <i>defect</i> | | | | | 20,15 |

Sumber: Arsip inspeksi laboratorium NDT, 2023

Kualitas hasil pengelasan dapat dipengaruhi oleh parameter-parameter yang memberi dampak signifikan terhadap kontribusi hasil pengelasan selain dari pada jenis material yang di las (Vashishtha *et al.*, 2017). Penggunaan atau pengontrolan parameter yang tidak tepat dapat menyebabkan terjadinya cacat seperti *crack*, *lack of fusion*, *undercut* dan distorsi (Baskoro *et al.*, 2019). Menurut (Prayitno *et al.*, 2018), arus listrik merupakan salah satu parameter yang berpengaruh terhadap kekerasan *weld metal*. Besar kecilnya arus listrik mempengaruhi kualitas hasil lasan dan dapat mempengaruhi kekuatannya (Rahman dan Sunyoto, 2021). Kecepatan pengelasan yang kurang tepat juga dapat menyebabkan timbulnya cacat pada sambungan logam (Tarmizi *et al.*, 2019). Kecepatan pengelasan akan meningkatkan masukan panas (*heat input*) sehingga akan mempengaruhi sifat mekanik hasil pengelasan (Lee *et al.*, 2016). Selain itu, Jarak panjang atau pendeknya

busur api sangat berpengaruh terhadap hasil pengelasan. Bila panjang busur sama dengan diameter kawat inti elektroda maka cairan akan mengalir dan mengendap dengan baik. Jika lebih besar maka timbul bagian yang berbentuk bola dari cairan elektroda. Jika lebih pendek maka dapat terjadi pembekuan ujung elektroda pada pengelasan (Putri, 2009).

Penelitian ini akan membahas mengenai pengaruh dari kuat arus, kecepatan pengelasan dan jarak busur serta optimalisasi parameter pengelasan untuk mendapatkan hasil pengelasan yang optimal. Optimalisasi parameter teknik pengelasan dari berbagai macam variabel yang muncul dapat dilakukan dengan eksperimen percobaan menggunakan metode Taguchi (Nurrohkayati *et al.*, 2021). Metode Taguchi awalnya digunakan untuk kontrol kualitas di industri manufaktur, namun saat ini telah diterapkan di berbagai bidang termasuk biokimia, material, kontrol proses industri dan bidang teknik lainnya (Sorgdrager *et al.*, 2017).

2. Metode

Penelitian ini menggunakan Metode *Design of Experiment* (DOE) yang merupakan bagian dari Metode Taguchi. Metode ini merupakan pendekatan yang kuat untuk mengoptimalkan kinerja, kualitas dan biaya (Rao *et al.*, 2013). Metode Taguchi menggunakan matriks *orthogonal Array* yang mampu mengevaluasi beberapa faktor dengan jumlah eksperimen minimum. Bagian terpenting dari matriks *orthogonal array* terletak pada pemilihan kombinasi level variabel-variabel input pada masing-masing eksperimen (Suwarno *et al.*, 2017). Metode Taguchi menggunakan pengulangan eksperimen untuk melihat faktor-faktor apa saja yang sangat berpengaruh terhadap hasil pengelasan. *Control factor* dan *Noise factor* adalah dua faktor yang digunakan untuk merekayasa kualitas pengelasan. Selanjutnya, hasil pengulangan eksperimen akan dihitung dan dianalisa menggunakan *analysis of variance* (ANOVA). Perhitungan ANOVA akan menunjukkan nilai faktor dan interaksi faktor apa yang paling berpengaruh terhadap kualitas pengelasan. Selain itu, ANOVA juga akan menghitung tingkat signifikansi dari parameter yang digunakan (Nurrohkayati *et al.*, 2021).

Langkah-Langkah Penelitian

Pada tahap ini parameter-parameter faktor yang mempengaruhi pengelasan ditentukan, yaitu sebagai berikut:

1. Variabel Bebas pada penelitian ini adalah faktor kuat arus, kecepatan dan jarak busur pengelasan. Sedangkan variabel terikat adalah jumlah cacat yang terjadi pada setiap sampel pengelasan
2. Faktor Kontrol, adalah faktor yang nilainya bisa dikontrol oleh peneliti sebagaimana dapat dilihat pada Tabel 2. Nilai kuat arus, kecepatan pengelasan dan jarak busur dipilih mengacu pada spesifikasi elektroda yang digunakan yaitu LB-5218 dengan diameter 2,5 mm disarankan digunakan pada arus 65-95 A, kecepatan pengelasan pada *range* 75-100 mm/min dan jarak busur yang digunakan disarankan mendekati nilai dari diameter elektroda yang digunakan (www.kobelcocm-global.com)

Tabel 2. Faktor Kontrol

| Faktor Kontrol | Jumlah Level | | |
|---------------------------|--------------|-----|----|
| | 1 | 2 | 3 |
| A. Arus (<i>Ampere</i>) | 90 | 80 | 70 |
| B. Kecepatan (mm/min) | 75 | 85 | 90 |
| C. Jarak Busur (mm) | 3 | 2.5 | 2 |

Sumber: Penelitian, 2023

3. Pemilihan matriks ortogonal

Penentuan matriks yang digunakan adalah matriks 9 baris dengan 3 faktor kontrol dan 3 level $L_9(3^3)$ sebagaimana yang terlihat pada Tabel 3.

Tabel 3. Tabel eksperimen matriks ortogonal 3x3

| Eksperimen ke- | Faktor Kontrol | | |
|----------------|----------------|----|-----|
| | A | B | C |
| 1 | 90 | 75 | 3 |
| 2 | 90 | 85 | 2.5 |
| 3 | 90 | 90 | 2 |
| 4 | 80 | 75 | 2.5 |
| 5 | 80 | 85 | 2 |
| 6 | 80 | 90 | 3 |
| 7 | 70 | 75 | 2 |
| 8 | 70 | 85 | 3 |
| 9 | 70 | 90 | 2.5 |

Sumber: Penelitian, 2023

3. Hasil dan Pembahasan

3.1 Tahap eksperimen

Eksperimen dilakukan berdasarkan matriks ortogonal yang telah ditentukan. Eksperimen dilakukan dengan melakukan pengelasan pada *carbon steel* untuk pembuatan *support rail crane* dengan variasi parameter sesuai dengan matriks. Selanjutnya dilakukan penentuan jumlah replikasi dan randomisasi. Replikasi adalah pengulangan untuk perlakuan yang sama dalam satu percobaan pada kondisi yang sama untuk memperoleh ketelitian yang lebih tinggi. Penelitian ini melakukan dua kali replikasi untuk setiap eksperimen. Pengacakan urutan percobaan dilakukan untuk menjadikan percobaan tersebut valid dan menghilangkan sifat bias (Anggi *et al.*, 2021). Hasil Pengelasan diperiksa dengan cara visual dan menggunakan metode *dye penetrant test* untuk menemukan cacat yang tidak tampak. Adapun hasil eksperimen dapat dilihat pada Tabel 4.

Tabel 4. Hasil Eksperimen dan Respon Cacat Pengelasan

| Eksperimen ke- | Faktor Kontrol | | | Jumlah cacat | |
|----------------|----------------|----|-----|--------------|-------------|
| | A | B | C | Replikasi 1 | Replikasi 2 |
| 1 | 90 | 75 | 3 | 4 | 3 |
| 2 | 90 | 85 | 2.5 | 3 | 5 |
| 3 | 90 | 90 | 2 | 2 | 1 |
| 4 | 80 | 75 | 2.5 | 5 | 3 |
| 5 | 80 | 85 | 2 | 1 | 2 |
| 6 | 80 | 90 | 3 | 4 | 5 |
| 7 | 70 | 75 | 2 | 7 | 6 |
| 8 | 70 | 85 | 3 | 9 | 8 |
| 9 | 70 | 90 | 2.5 | 8 | 8 |

Sumber: Penelitian, 2023

3.2 Tahap Analisa

Tahap analisa dilakukan terhadap hasil eksperimen yang diperoleh. Adapun langkah-langkah yang dilakukan adalah:

1. Menghitung *Signal to Noise Ratio* (SNR)

SNR digunakan untuk mengetahui level faktor mana yang berpengaruh pada eksperimen (Sidi, 2013). Penelitian ini menggunakan karakteristik *smaller is better*. Dengan menggunakan persamaan (1) diperoleh hasil yang ditunjukkan pada Tabel 5.

$$S/N_1 = -10 \log \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n yi^2 \quad (1)$$

Tabel 5. Nilai SNR pada masing-masing eksperimen

| Eksperimen ke- | S/N Ratio |
|----------------|-----------|
| 1 | -10.97 |
| 2 | -12.30 |
| 3 | -3.98 |
| 4 | -12.30 |
| 5 | -3.98 |
| 6 | -13.12 |
| 7 | -16.28 |
| 8 | -18.60 |
| 9 | -18.06 |

Sumber: Penelitian, 2023

2. Mengelompokkan hasil *S/N Ratio* dengan masing-masing faktor dan level

Hasil *S/N Ratio* yang telah didapatkan dikelompokkan berdasarkan faktor kontrol seperti yang terlihat pada Tabel 6, 7 dan 8.

Tabel. 6 Nilai S/N Ratio berdasarkan Level dari Faktor A (Arus)

| Faktor | Level | Nilai S/N Ratio | | | Jumlah | Rata-rata |
|--------|-------|-----------------|--------|--------|--------|-----------|
| A | (90A) | -10.97 | -12.30 | -3.98 | -27.3 | -9.08 |
| | (80A) | -12.30 | -3.98 | -13.12 | -29.4 | -9.80 |
| | (70A) | -16.28 | -18.60 | -18.06 | -52.9 | -17.65 |

Tabel. 7 Nilai S/N Ratio berdasarkan Level dari Faktor B (Kecepatan)

| Faktor | Level | Nilai S/N Ratio | | | Jumlah | Rata-rata |
|--------|-----------|-----------------|--------|--------|--------|-----------|
| B | 75 mm/min | -10.97 | -12.30 | -16.28 | -39.6 | -13.19 |
| | 85 mm/min | -12.30 | -3.98 | -18.60 | -34.9 | -11.63 |
| | 90 mm/min | -3.98 | -13.12 | -18.06 | -35.2 | -11.72 |

Tabel. 8 Nilai S/N Ratio berdasarkan Level dari Faktor C (Jarak Busur)

| Faktor | Level | Nilai S/N Ratio | | | Jumlah | Rata-rata |
|--------|--------|-----------------|--------|--------|--------|-----------|
| C | 3 mm | -10.97 | -13.12 | -18.60 | -42.7 | -14.23 |
| | 2.5 mm | -12.30 | -12.30 | -18.06 | -42.7 | -14.22 |
| | 2 mm | -3.98 | -3.98 | -16.28 | -24.2 | -8.08 |

3. Menentukan *Degree of Freedom (Dof)*

Nilai Dof atau derajat bebas ditentukan dengan menggunakan persamaan (2) dan hasilnya dapat dilihat pada Tabel 9.

$$dof = \text{jumlah faktor} - 1 \quad (2)$$

4. Menentukan *Sum of Squared (SS)* dari masing-masing faktor

Sum of squared adalah jumlah selisih antara nilai prediksi dan rata-rata variabel. Nilai SS ditentukan dengan menggunakan persamaan (3) dan hasilnya ada pada tabel 9.

$$SST = n \sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2 \quad (3)$$

5. Menentukan *Mean Squared (MS)* dari masing-masing faktor

Mean Squared adalah hasil dari pembagian *sum of squared* dengan derajat bebas dengan menggunakan persamaan (4) dan hasilnya ditampilkan pada tabel 9.

$$MS = \frac{SS}{Dof} \quad (4)$$

6. Menentukan nilai F hitung

Nilai F hitung dibandingkan dengan F tabel untuk mengetahui pengaruh pada masing-masing faktor. Nilai F hitung dapat ditentukan dengan menggunakan persamaan (5) dan nilainya dapat dilihat pada tabel 9.

$$F \text{ hitung} = \frac{MSA}{MS \text{ Residual}} \quad (5)$$

7. Menentukan nilai F tabel

Dengan menggunakan nilai α 0.05 dan nilai $dof1=2$ dan $dof2=15$ (18 pengujian – 3 faktor) diperoleh nilai F tabel = 3.68 sebagaimana terlihat pada tabel 9.

Tabel 9. Rekapitulasi Hasil Perhitungan Nilai S/N Ratio, dof, SS, MS, dan F

| Faktor | Level | Nilai S/N | dof | SS | MS | F hitung | F tabel |
|----------|-----------|-----------|-----|-------|------|----------|---------|
| A | (90A) | -27.3 | 2 | 135.5 | 67.7 | 9.71 | 3.68 |
| | (80A) | -29.4 | | | | | |
| | (70A) | -52.9 | | | | | |
| | Total | -109.6 | | | | | |
| B | 75 mm/min | -39.6 | 2 | 4.6 | 2.29 | 0.33 | 3.68 |
| | 85 mm/min | -34.9 | | | | | |
| | 90 mm/min | -35.2 | | | | | |
| | Total | -109.6 | | | | | |
| C | 3 mm | -42.7 | 2 | 75.5 | 37.8 | 5.41 | 3.68 |
| | 2.5 mm | -42.7 | | | | | |
| | 2 mm | -24.2 | | | | | |
| | Total | -109.6 | | | | | |
| Residual | | | | 13.96 | 6.98 | | |

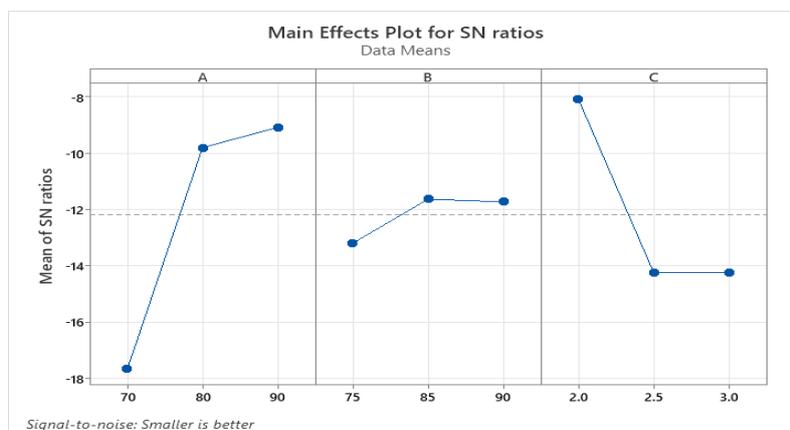
Sumber: Penelitian, 2023

8. Uji Hipotesa F

Berdasarkan informasi pada tabel 9, dapat dilihat bahwa nilai F hitung untuk Faktor A (kuat arus) dan C (jarak busur) lebih besar dari F Tabel, artinya ada pengaruh dari variasi faktor terhadap kualitas pengelasan. Sedangkan faktor B (Kecepatan pengelasan) kecil dari F tabel yang berarti hampir tidak ada pengaruhnya terhadap kualitas pengelasan

9. Menentukan Parameter optimum dari S/N Ratio pada setiap faktor

Nilai optimum yang dipilih adalah nilai rata-rata S/N Ratio setiap Level pada masing-masing faktor yang mendekati 0. Dari Tabel 6, 7 dan 8 dapat dilihat bahwa untuk Faktor A dipilih 90 A, faktor B dipilih 85 mm/min dan faktor C dipilih 2 mm. Faktor optimum yang didapatkan juga bisa dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Grafik Optimum S/N Ratio pada masing-masing faktor

10. Menentukan persentase kontribusi pada masing-masing faktor

Persentase kontribusi faktor-faktor yang mempengaruhi kualitas pengelasan ditentukan menggunakan persamaan (6) dan hasilnya telah disajikan pada tabel 10.

$$\text{Persen kontribusi} = \frac{SS}{SST} \times 100\% \tag{6}$$

Tabel 10. Persentase kontribusi setiap faktor

| Persen Kontribusi (%) | | |
|-----------------------|-------|-------------------|
| Faktor | SS | Persen Kontribusi |
| Kuat Arus (A) | 135.5 | 59% |
| Kecepatan (B) | 4.6 | 2% |
| Jarak Busur (C) | 75.5 | 33% |
| Residual | 13.96 | 6% |
| SST | 229.6 | 100% |

3.3 Eksperimen Konfirmasi

Setelah mendapatkan parameter optimum pada masing-masing faktor, selanjutnya dilakukan eksperimen konfirmasi untuk mengetahui kinerja dari parameter yang telah ditentukan. Hasil dari eksperimen konfirmasi dapat dilihat pada Tabel 11.

Tabel 11. Persentase defect eksperimen konfirmasi

| Hari | DPT (Joints) | Defect (Result) | | Accepted | Persentase Defect (%) |
|------------------|--------------|-----------------|--------|----------|-----------------------|
| | | Round | Linear | | |
| 1 | 10 | 1 | 0 | 9 | 10 |
| 2 | 8 | 0 | 0 | 8 | 0 |
| 3 | 14 | 1 | 1 | 12 | 14.28 |
| 4 | 15 | 1 | 1 | 13 | 13.33 |
| 5 | 10 | 1 | 0 | 9 | 10 |
| 6 | 18 | 2 | 0 | 16 | 11.11 |
| 7 | 22 | 1 | 1 | 20 | 9,09 |
| 8 | 7 | 0 | 0 | 7 | 0 |
| 9 | 12 | 1 | 0 | 11 | 8.33 |
| 10 | 9 | 1 | 0 | 8 | 11.11 |
| Rata-rata defect | | | | | 8.73 |

Sumber: Penelitian, 2023

4. Kesimpulan

Hasil perhitungan S/N ratio menunjukkan bahwa parameter optimum pengelasan SMAW pada pekerjaan *rail crane* di PT X adalah 90 A pada faktor arus (A), 85 mm/min pada faktor kecepatan (B) dan 2 mm untuk jarak busur pengelasan (C). Sementara itu persentase kontribusi faktor-faktor terhadap kualitas pengelasan dipengaruhi oleh kuat arus sebesar 59%, jarak busur memberikan kontribusi 33%, dan faktor kecepatan memberikan kontribusi yang kecil yaitu sebesar 2%. Sedangkan faktor *error* atau residual berkontribusi sebesar 6%.

Hasil eksperimen konfirmasi menunjukkan adanya penurunan jumlah cacat secara signifikan yaitu 56.67%. Hal ini dapat dilihat dari jumlah cacat rata-rata sebelum dilakukan penelitian yaitu sebesar 20.15% sebagaimana terlihat pada tabel 1 dan mengalami penurunan jumlah cacat menjadi 8.73% setelah dilakukan penerapan parameter optimum.

Ucapan Terima Kasih:

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Fakultas Teknik Universitas Andalas atas dukungan secara finansial yang telah diberikan dalam penyusunan artikel ini.

Daftar Pustaka

- Anggi, A., Eddy, E., & Ariani, F. (2021). Peningkatan Kualitas Batu Bata Dengan Menggunakan Metode Taguchi Pada UKM Batu Bata XYZ. *JiTEKH*, 9(1), 14–19. <https://doi.org/10.35447/jitek.v9i1.323>
- Baskoro, A. S., Budi Prasetya, D. R., & Widyianto, A. (2019). Analisis pengaruh arus pengelasan dan kecepatan pengelasan terhadap lebar manik las dan distorsi pada pengelasan gas metal arc welding (GMAW) dengan sambungan tumpul SS 304. *Jurnal Teknik Mesin Indonesia*, 14(2), 52–57. <https://doi.org/10.36289/jtmi.v14i2.131>
- Lee, H. S., Lee, Y. R., & Min, K. J. (2016). Effects of friction stir welding speed on AA2195 alloy. *MATEC Web of Conferences*, 45, 5–8. <https://doi.org/10.1051/mateconf/20164501003>
- Muhammad, A., & Tsamroh, D. I. (2021). Analisis Pengaruh Variasi Arus SMAW dengan Media Pendingin Oli Terhadap Sifat Mekanik Baja ST-37. 17, 194–199. <https://doi.org/10.26905/jtmt.v17i2.7342>
- Nata, O. D., Hidayat, M., & Rohman, S. A. (2021). Analisis Kekuatan Uji Bending Pengelasan Shielded Metal Arc Welding (Smaw) Material Ss400 Menggunakan Kawat Las E6013 Berbagai Variasi Arus Listrik. *Hexagon Jurnal Teknik Dan Sains*, 2(1), 12–15. <https://doi.org/10.36761/hexagon.v2i1.871>
- Nurrohmayati, A. S., Zulrahman, D., Syach, S., & Khairul, M. (2021). Welding Quality Engineering Using the Design of Experiment Method (Taguchi's Method). *Procedia of Engineering and Life Science*, 1(1). <https://doi.org/10.21070/pels.v1i1.882>
- Prayitno, D., Hutagalung, H. D., & Aji, D. P. B. (2018). Pengaruh Kuat Arus Listrik Pengelasan Terhadap Kekerasan Lapisan Lasan pada Baja ASTM A316. *Jurnal Dinamika Vokasional Teknik Mesin*, 3(1), 1–6. <https://doi.org/10.21831/dinamika.v3i1.19109>
- Putri, F. (2009). Pengaruh besar arus listrik dan panjang busur api terhadap hasil pengelasan. *Jurnal Austenit*, No.1(jurusan teknik mesin sriwijaya), No.1-6.
- Rahman, H. K., & Sunyoto. (2021). Pengaruh Arus Smaw Terhadap Kekuatan Tarik Dan Impak Baja Konstruksi Iwf Jis G3101 Ss400. *Dinamika Vokasional Teknik Mesin*, 6(1), 35–45.
- Rao, S., Samant, P., Kadampatta, A., & Shenoy, R. (2013). An Overview of Taguchi Method: Evolution, Concept and Interdisciplinary Applications. *International Journal of Scientific & Engineering Research*, 4(10), 621–626.
- Sidi, P. (2013). Aplikasi Metoda Taguchi Untuk Mengetahui Optimasi Kebulatan Pada Proses Bubut Cnc. *Jurnal Rekayasa Mesin*, 4(2), 101–108.
- Sorgdrager, A., Wang, R. J., & Grobler, A. (2017). Taguchi method in electrical machine design. *SAIEE Africa Research Journal*, 108(4), 150–164. <https://doi.org/10.23919/saiee.2017.8531928>

- Suwarno, Debatara, N. N., & Rizki, S. W. (2017). Optimasi kualitas Hallow Block dengan Metode Taguchi. *Optimasi Kualitas Hallow Block Dengan Metode Taguchi*, 6(01), 61–68.
- Tarmizi, Wahid, R. F. A., & Irfan. (2019). Pengaruh Kecepatan Pengelasan Terhadap Sifat Mekanik Sambungan Alumunium Paduan 5052-H32 Pada Proses Friction Stir Welding. *Metalurgi*,34(2019),9–18.
- Vashishtha, H., Taiwade, R. V., Sharma, S., & Patil, A. P. (2017). Effect of welding processes on microstructural and mechanical properties of dissimilar weldments between conventional austenitic and high nitrogen austenitic stainless steels. *Journal of Manufacturing Processes*, 25, 49–59. <https://doi.org/10.1016/j.jmapro.2016.10.008>