PENGARUH PARAMETER PENGELASAN TERHADAP ENERGI IMPAK SAMBUNGAN BAJA AISI 1040

Ambar Pambudi, Muh Thohirin, Wisnu Wardana

Universitas Sang Bumi Ruwa Jurai, Lampung, Indonesia
Email: ambarpambudi25@gmail.com
Email: muhtohirin21@gmail.com

Abstrak. Ketangguhan sambungan las merupakan salah satu pertimbangan penting ketika komponen logam berpotensi menerima beban kejut. Studi ini mengevaluasi perubahan energi impak sambungan baja AISI 1040 akibat variasi arus, tipe elektroda, dan celah akar. Pengujian dilakukan melalui proses Shielded Metal Arc Welding (SMAW) dengan tiga tingkat pada setiap faktor yang disusun dalam rancangan Taguchi L9. Spesimen yang dihasilkan diuji menggunakan metode Charpy, kemudian datanya ditelaah melalui rasio signal-to-noise (S/N) berkarakteristik larger is better dan analisis varians (ANOVA). Dari sembilan kombinasi yang diuji, energi impak berada pada rentang 114,04–139,20 J dan nilai maksimum tercatat pada arus 90 A, elektroda E7016, serta celah akar 3,2 mm. Sementara itu, evaluasi rata-rata S/N memprediksi kombinasi 90 A, E6013, dan celah akar 3,2 mm sebagai kandidat optimal yang masih perlu diuji konfirmasi. Analisis ANOVA yang tersedia menempatkan jenis elektroda sebagai faktor dengan pengaruh relatif paling besar, tetapi keterbatasan jumlah pengamatan membuat hasil statistik perlu ditafsirkan secara hati-hati.

Kata kunci, energi impak; baja AISI 1040; pengelasan SMAW; elektroda; Taguchi L9.

1 Pendahuluan

Proses pengelasan digunakan secara luas untuk membentuk sambungan permanen pada produk manufaktur dan struktur teknik. Kinerja sambungan dipengaruhi oleh kondisi material sekaligus pengaturan selama pengelasan, termasuk besar arus, jenis elektroda, dan rancangan celah akar. Ketidaktepatan pengaturan dapat menghasilkan kondisi sambungan yang kurang seragam dan memengaruhi respons mekaniknya. Oleh sebab itu, hubungan antara parameter proses dan karakteristik sambungan perlu dinilai melalui pengujian yang terencana. Salah satu respons yang relevan untuk komponen yang menerima tumbukan adalah energi yang mampu diserap spesimen sebelum mengalami patah.

Baja AISI 1040 merupakan baja karbon menengah yang dapat digunakan pada beragam komponen mekanis. Ketika material ini dilas, kondisi termal di sekitar daerah

sambungan dapat berubah sesuai dengan parameter proses yang diterapkan. Perubahan tersebut berpotensi memengaruhi karakteristik daerah las dan daerah yang terkena panas. Pengujian impak memberikan ukuran kuantitatif mengenai energi yang diserap material ketika menerima beban dinamis. Dengan demikian, energi impak dapat dimanfaatkan sebagai dasar untuk membandingkan kinerja sambungan pada variasi kondisi pengelasan.

Rancangan eksperimen membantu peneliti membandingkan sejumlah faktor tanpa harus menguji seluruh kombinasi yang mungkin. Pendekatan Taguchi menggunakan susunan ortogonal untuk menyusun percobaan secara sistematis dan menilai respons pada setiap level faktor. Rasio signal-to-noise dapat digunakan untuk mengidentifikasi level yang mendukung respons yang diinginkan, sedangkan ANOVA digunakan untuk menelaah perbedaan pengaruh faktor dalam model analisis. Pendekatan tersebut telah diterapkan dalam kajian optimasi parameter pengelasan dan karakteristik mekanik material [1]–[4]. Namun, hasil pemodelan tetap perlu ditinjau bersama jumlah data, keberadaan replikasi, dan kebutuhan pengujian konfirmasi.

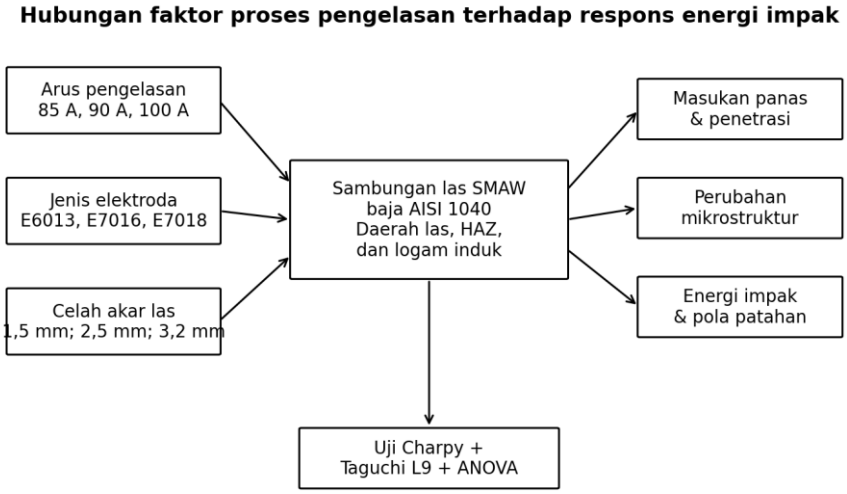
Berdasarkan pertimbangan tersebut, penelitian ini memusatkan perhatian pada tiga variabel proses, yakni arus pengelasan, jenis elektroda, dan celah akar sambungan baja AISI 1040. Kesembilan kombinasi disusun menggunakan matriks Taguchi L9 dan dinilai berdasarkan energi impak hasil pengujian. Analisis dilakukan untuk membandingkan hasil eksperimen, mengevaluasi rata-rata rasio S/N pada setiap level, dan menelaah hasil ANOVA yang tersedia. Fokus ini memungkinkan perbedaan antara kombinasi dengan nilai pengamatan tertinggi dan kombinasi yang diprediksi optimal dibahas secara terpisah. Tujuan akhirnya adalah menyediakan dasar awal bagi pemilihan parameter yang dapat diuji lebih lanjut, bukan menetapkan kondisi produksi final tanpa validasi.

2 Material dan Metode Penelitian

2.1 Material, peralatan, dan faktor penelitian

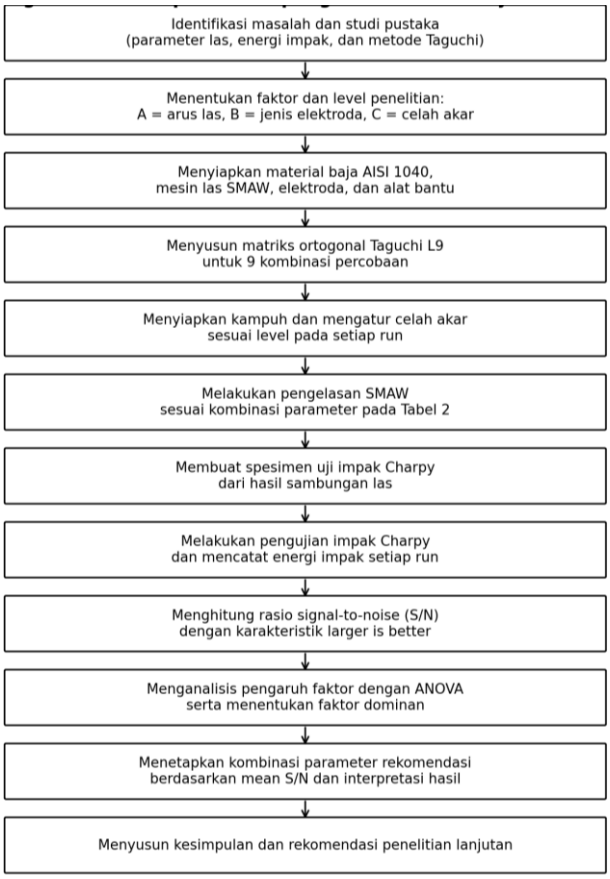
Bahan uji berupa baja AISI 1040, sedangkan penyambungan dilakukan menggunakan proses Shielded Metal Arc Welding (SMAW). Peralatan yang disebutkan dalam naskah mencakup mesin las, gerinda potong, jangka sorong, elektroda E6013, E7016, dan E7018, serta mesin pengujian impak Charpy. Komposisi kimia yang dicantumkan untuk baja tersebut meliputi karbon 0,37–0,44%, mangan 0,60–0,90%, fosfor maksimum 0,04%, dan sulfur maksimum 0,05%, dengan besi sebagai unsur utama sisanya. Ketiga jenis elektroda dan tiga variasi celah akar digunakan sebagai level faktor dalam rancangan eksperimen. Rincian faktor beserta level yang digunakan disajikan pada Tabel 1.

Secara konseptual, arus pengelasan memengaruhi masukan panas, kedalaman penetrasi, dan laju pendinginan; jenis elektroda memengaruhi karakter busur, komposisi logam las, serta pembentukan slag; sedangkan celah akar menentukan geometri sambungan dan distribusi logam cair pada akar las. Hubungan ketiga faktor proses tersebut terhadap respons energi impak diringkas pada Gambar 1.



Gambar 1. Skema hubungan parameter pengelasan, kondisi sambungan, dan respons energi impak.

Urutan penelitian dimulai dari penetapan faktor dan level, persiapan material dan kampuh, pelaksanaan pengelasan untuk sembilan kombinasi Taguchi L9, pembuatan spesimen uji impak, pengujian Charpy, hingga pengolahan data statistik. Agar alur kerja dapat direplikasi dengan lebih jelas, tahapan rinci penelitian ditunjukkan pada Gambar 2.



Gambar 2. Diagram alir

Pada tahap interpretasi, kombinasi dengan energi impak tertinggi dipisahkan dari kombinasi yang diprediksi optimum oleh rata-rata rasio S/N. Pembedaan ini penting karena hasil aktual mencerminkan respons pada sembilan kombinasi yang diuji, sedangkan respons optimum Taguchi merupakan rekomendasi level faktor yang masih perlu divalidasi melalui eksperimen konfirmasi.

Tabel 1. Faktor dan level yang digunakan dalam rancangan eksperimen.

Faktor	Level 1	Level 2	Level 3
Arus pengelasan	85 A	90 A	100 A
Jenis elektroda	E6013	E7016	E7018
Celah akar las	1,5 mm	2,5 mm	3,2 mm

2.2 Rancangan eksperimen dan prosedur

Perbedaan respons ini mengindikasikan bahwa kombinasi parameter pengelasan mengubah ketangguhan sambungan. Run ke-5 (90 A, elektroda E7016, celah akar 3,2 mm) memberikan energi impak tertinggi 139,20 J, sedangkan run ke-9 (100 A, elektroda E7016, celah akar 1,5 mm) menghasilkan energi impak terendah 114,04 J. Rentang sebesar 25,16 J tersebut cukup besar untuk menunjukkan bahwa pengendalian parameter proses relevan terhadap kemampuan sambungan menyerap energi tumbuk.
Percobaan disusun dalam matriks ortogonal Taguchi L9 yang memuat tiga faktor dengan masing-masing tiga level. Susunan tersebut menghasilkan sembilan kombinasi perlakuan sebagaimana dirangkum pada Tabel 2. Tahap persiapan mencakup pemotongan material, penyiapan kampuh V, dan pengaturan celah akar mengikuti level yang ditetapkan. Setelah sambungan dibuat, spesimen didinginkan pada suhu ruang dan disiapkan untuk pengujian impak berdasarkan prosedur yang dijelaskan dalam dokumen sumber. Pengujian dilakukan menggunakan mesin Charpy, kemudian energi yang terserap hingga spesimen patah dicatat sebagai respons untuk setiap kombinasi.

Tabel 2. Perbandingan energi impak pada sembilan kombinasi pengelasan.

Run	Arus (A)	Elektroda	Celah akar (mm)	Energi impak (J)
1	85	E6013	1,5	129,58
2	85	E7016	2,5	121,50
3	85	E7018	3,2	116,99
4	90	E6013	2,5	130,36
5	90	E7016	3,2	139,20
6	90	E7018	1,5	125,99
7	100	E6013	3,2	134,03
8	100	E7016	1,5	130,34
9	100	E7018	2,5	114,04

2.3 Pengolahan dan analisis data

Variabel respons dalam analisis ini adalah energi impak yang dinyatakan dalam joule. Karena sasaran penelitian adalah memperoleh energi serap yang tinggi, rasio S/N dihitung menggunakan karakteristik larger is better, yaitu $S/N = -10 \log_{10}[(1/n)\,\Sigma(1/y_i^2)]$. Dalam persamaan tersebut, y_i menyatakan hasil pengukuran dan n menunjukkan jumlah pengamatan yang digunakan dalam perhitungan. Nilai respons S/N kemudian diringkas berdasarkan level setiap faktor untuk memperoleh kombinasi yang diprediksi memberikan respons lebih baik. ANOVA digunakan untuk membandingkan pengaruh faktor, tetapi karena setiap kombinasi hanya dilaporkan satu kali, interpretasi signifikansi perlu dianggap sebagai indikasi awal dan memerlukan replikasi serta uji konfirmasi.

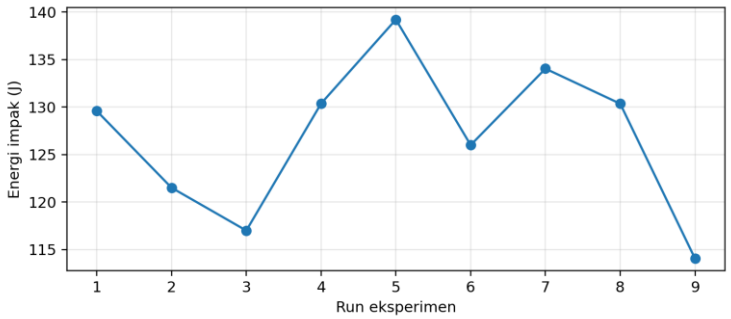
3 Hasil dan Pembahasan

Selisih delta pada Tabel 3 menunjukkan urutan kekuatan pengaruh relatif faktor terhadap rasio S/N. Elektroda memperoleh delta terbesar, diikuti arus las dan celah akar. Dengan demikian, pemilihan jenis elektroda lebih sensitif terhadap peningkatan energi impak dibandingkan perubahan dua faktor lainnya pada rentang level yang diuji.

3.1 Hasil uji impak

Data eksperimen memperlihatkan variasi energi impak antara 114,04 J dan 139,20 J. Nilai maksimum dicatat pada percobaan kelima dengan arus 90 A, elektroda E7016, dan celah akar 3,2 mm. Sebaliknya, percobaan kesembilan menghasilkan nilai minimum 114,04 J pada arus 100 A, elektroda E7018, dan celah akar 2,5 mm. Perbedaan kedua hasil tersebut mengindikasikan bahwa perubahan satu parameter tidak dapat dipahami secara terpisah dari kombinasi faktor lainnya. Sebaran energi impak pada seluruh percobaan ditampilkan pada Gambar 1.

Secara praktis, hasil ANOVA mendukung temuan rasio S/N bahwa faktor elektroda merupakan faktor dominan. Namun demikian, jumlah derajat bebas residual sangat kecil sehingga kesimpulan statistik perlu dibaca dengan hati-hati. Eksperimen lanjutan dengan pengulangan diperlukan agar ragam galat dapat diestimasi dengan lebih kuat dan uji signifikansi menjadi lebih meyakinkan.



Gambar 3. Perbandingan energi impak pada sembilan kombinasi pengelasan.

3.2 Analisis rasio signal-to-noise

Rekapitulasi S/N dalam naskah sumber menunjukkan nilai tertinggi sebesar 42,8728 dB pada percobaan kelima dan nilai terendah sebesar 41,1411 dB pada percobaan kesembilan. Urutan ini sejalan dengan kecenderungan energi impak terukur pada dua kombinasi tersebut. Meskipun demikian, nilai S/N dari setiap run berbeda dari nilai rata-rata S/N yang dihitung untuk masing-masing level faktor. Rata-rata level digunakan untuk membangun prediksi kombinasi optimal, sedangkan hasil run menunjukkan kinerja kombinasi yang benar-benar diuji. Kedua jenis hasil tersebut perlu dibedakan agar rekomendasi parameter tidak hanya bertumpu pada satu pengamatan.

Tabel respons menunjukkan bahwa level arus 90 A memiliki rata-rata S/N tertinggi di antara tiga level arus yang dianalisis. Untuk faktor elektroda, nilai rata-rata tertinggi tercatat pada E6013, sedangkan celah akar 3,2 mm menjadi level dengan rata-rata tertinggi pada faktor celah akar. Dengan demikian, prediksi berdasarkan rata-rata S/N mengarah pada kombinasi 90 A–E6013–3,2 mm. Kombinasi tersebut berbeda dari perlakuan yang menghasilkan energi impak aktual tertinggi, yaitu 90 A–E7016–3,2 mm. Karena kombinasi prediksi belum ditunjukkan sebagai hasil pengujian langsung dalam data yang tersedia, verifikasi eksperimental diperlukan sebelum kombinasi itu dinyatakan sebagai kondisi terbaik.

Tabel 3. Rata-rata rasio S/N berdasarkan level faktor

Level	Arus las	Elektroda	Celah akar las
1	41,77	42,37	42,19
2	42,39	42,29	41,71
3	42,00	41,50	42,26
Delta	0,63	0,86	0,55
Peringkat	2	1	3

3.3 Analisis varians (ANOVA)

Tabel 4. Hasil ANOVA rasio S/N yang tercantum dalam naskah sumber.

Sumber variasi	DF	Seq SS	Adj MS	F	P
Arus las	2	0,60196	0,300980	32,95	0,029
Elektroda	2	1,36574	0,682870	74,75	0,013
Celah akar las	2	0,53095	0,265476	29,06	0,033
Residual error	2	0,01827	0,009135	—	—
Total	8	2,51692	—	—	—

Berdasarkan 114acto ANOVA, 114actor elektroda memiliki 114actor114114c F sebesar 74,75 dengan nilai p 0,013. Arus pengelasan tercatat memiliki F sebesar 32,95 dan p 0,029, sedangkan celah akar memiliki F sebesar 29,06 dan p 0,033. Jika menggunakan batas $p < 0,05$, ketiga 114actor tercatat signifikan dalam model yang disajikan, dengan elektroda menunjukkan nilai F paling besar. Akan tetapi, hanya terdapat dua derajat bebas untuk galat dan tidak dilaporkan pengulangan pada setiap kombinasi. Oleh karena itu, kesimpulan tentang signifikansi dan urutan pengaruh 114actor perlu diuji 114actor114 dengan replikasi, pemeriksaan asumsi model, dan pelaporan kontribusi 114actor yang lebih lengkap.

3.4 Implikasi teknis dan keterbatasan

Temuan eksperimen memperlihatkan bahwa pemilihan elektroda, arus, dan celah akar perlu dinilai sebagai satu rangkaian pengaturan proses. Kombinasi dengan energi impak tertinggi dapat digunakan sebagai pembanding awal, sementara kombinasi yang diprediksi dari rata-rata S/N menjadi kandidat untuk eksperimen berikutnya. Tahap lanjutan sebaiknya menguji ulang kedua kombinasi tersebut dengan jumlah spesimen yang memadai dan prosedur pengujian yang konsisten. Dimensi spesimen, bentuk takik, serta kondisi pengujian Charpy juga perlu dicatat secara lengkap agar hasil dapat direplikasi. Langkah ini diperlukan untuk menilai apakah selisih hasil mencerminkan pengaruh parameter atau variasi antarspesimen.

4 Kesimpulan

Sembilan kombinasi pada rancangan Taguchi L9 menghasilkan energi impak dari 114,04 J sampai 139,20 J. Nilai terbesar yang diamati terdapat pada arus 90 A, elektroda E7016, dan celah akar 3,2 mm. Adapun nilai terkecil tercatat pada arus 100 A, elektroda E7018, dan celah akar 2,5 mm. Hasil ini menunjukkan bahwa kombinasi parameter perlu dievaluasi secara bersamaan untuk memahami variasi respons impak. Data yang tersedia memberikan gambaran awal, tetapi belum cukup untuk menetapkan parameter produksi secara definitif.

Analisis rata-rata S/N dengan sasaran larger is better menghasilkan prediksi kombinasi 90 A, elektroda E6013, dan celah akar 3,2 mm. Prediksi tersebut tidak sama dengan kombinasi eksperimen yang menghasilkan energi impak tertinggi. Karena itu, hasil analisis Taguchi perlu dilanjutkan dengan eksperimen konfirmasi sebelum dapat digunakan sebagai rekomendasi akhir. Perbandingan langsung antara hasil prediksi dan hasil konfirmasi akan membantu menguji ketepatan model. Pengujian berulang juga diperlukan untuk memperkirakan variasi hasil pada kondisi yang sama.

Ringkasan ANOVA yang tersedia menunjukkan bahwa jenis elektroda memiliki nilai F tertinggi, disusul arus pengelasan dan celah akar. Temuan ini menunjukkan adanya perbedaan pengaruh relatif di antara faktor yang dianalisis pada model tersebut. Namun, keterbatasan jumlah pengamatan dan ketiadaan replikasi yang dilaporkan mengharuskan hasil statistik ditafsirkan secara terbatas. Penelitian berikutnya perlu menambah pengulangan, memastikan prosedur uji sesuai standar yang relevan, dan memvalidasi kombinasi prediksi. Dengan perbaikan tersebut, rekomendasi parameter dapat disusun berdasarkan bukti eksperimen yang lebih kuat.

5 Daftar Pustaka

[1] F. Abriansyah, S. Sugiyarto, and S. Somawardi, “Analisa kekuatan impak sambungan las gesek dengan variasi waktu pada dua material baja AISI 1040 dengan SS 400,” Jurnal Inovasi Teknologi Terapan, vol. 1, no. 1, pp. 217–222, 2023, doi: 10.33504/jitt.v1i1.71.

[2] H. Rojas, Z. Vargas, S. Valdez, M. Serrano, A. del Pozo, and M. Alcántara, “Taguchi, Grey Relational Analysis, and ANOVA Optimization of TIG Welding Parameters to Maximize Mechanical Performance of Al-6061 T6 Alloy,” Journal of Manufacturing and Materials Processing, vol. 8, no. 6, Art. no. 246, 2024, doi: 10.3390/jmmp8060246.

[3] W. Tayier, S. Janasekaran, H. H. Teo, and T. Hong, “Optimization of tensile strength in automated shielded metal arc welding using Taguchi technique,” in Advances in Material Science and Engineering, 2021, pp. 364–369, doi: 10.1007/978-981-16-3641-7_44.

[4] M. Kusumawardani, M. Mustafid, and H. Yasin, “Optimalisasi parameter teknik pengelasan flux cored arc welding (FCAW) menggunakan metode Taguchi multirespon PCR-TOPSIS,” Jurnal Gaussian, vol. 4, no. 3, pp. 573–582, 2015, doi: 10.14710/j.gauss.4.3.573-582.

[5] D. C. Montgomery, Design and Analysis of Experiments, 10th ed. Hoboken, NJ, USA: Wiley, 2019.

[6] G. Taguchi, S. Chowdhury, and Y. Wu, Taguchi’s Quality Engineering Handbook. Hoboken, NJ, USA: Wiley, 2005.