

BAB V

ANALISIS DAN INTREPRETASI HASIL

5.1 Analisis Pengaruh Variasi Arus terhadap Kekuatan Tarik

Salah satu parameter terpenting dalam proses pengelasan *Shielded Metal Arc Welding* (SMAW) adalah besaran arus, karena arus menentukan jumlah energi panas yang ditransfer ke material selama proses pengelasan berlangsung. Besarnya masukan panas yang diberikan oleh arus akan memengaruhi penetrasi, kecepatan pendinginan, serta struktur mikro di daerah sambungan dan zona terpengaruh panas (*Heat-Affected Zone/HAZ*), yang pada akhirnya berpengaruh terhadap kekuatan tarik hasil las. Oleh karena itu, analisis terhadap pengaruh variasi arus merupakan langkah penting untuk memahami karakteristik sambungan yang dihasilkan, khususnya pada pengelasan posisi 2G.

Dalam penelitian ini, dilakukan pengujian kekuatan tarik terhadap sambungan las yang dibentuk menggunakan tiga variasi arus, yaitu 90 A, 100 A, dan 110 A, pada tiga ketebalan pelat yang berbeda (8 mm, 10 mm, dan 12 mm). Hasil pengujian menunjukkan bahwa variasi arus memberikan pengaruh yang berbeda-beda tergantung pada ketebalan material yang dilas, namun secara umum terdapat pola yang dapat dijelaskan berdasarkan prinsip termal dan metalurgi pengelasan.

Pada ketebalan 8 mm, arus 90 A menghasilkan kekuatan tarik tertinggi sebesar 353,26 kg/mm². Ketika arus dinaikkan menjadi 100 A dan 110 A, kekuatan tarik justru mengalami penurunan masing-masing menjadi 342,68 kg/mm² dan 330,62 kg/mm². Penurunan ini disebabkan oleh masukan panas berlebih yang dihasilkan oleh arus tinggi, yang dapat memicu pembentukan mikrostruktur kasar di zona HAZ, peningkatan tegangan sisa termal, serta cacat fusi mikro yang tidak kasat mata. Material tipis seperti pelat 8 mm cenderung lebih sensitif terhadap perubahan suhu tinggi, sehingga memerlukan pengendalian panas yang lebih presisi untuk menjaga kekuatan mekaniknya. Temuan ini sejalan dengan hasil penelitian (Azwinur, 2019) yang menyatakan bahwa arus di atas 100 A pada baja karbon rendah di ketebalan 8 mm dapat menurunkan kekuatan tarik akibat pelebaran zona terpengaruh panas (HAZ) dan degradasi struktur mikro.

Pada ketebalan 10 mm, kekuatan tarik tertinggi dicapai pada arus 110 A (472,13 kg/mm²), diikuti oleh arus 90 A (461,39 kg/mm²) dan 100 A (460,45 kg/mm²). Pada material ketebalan ini, peningkatan arus justru memberikan efek positif karena masukan panas yang lebih besar membantu menciptakan penetrasi yang lebih sempurna, serta sambungan antar logam yang lebih homogen. Namun demikian, peningkatan kekuatan tarik tidak terjadi secara drastis, yang mengindikasikan bahwa ada titik keseimbangan antara kebutuhan energi dan struktur mikro yang terbentuk.

Sementara itu, pada ketebalan 12 mm, terlihat tren yang lebih konsisten. Kekuatan tarik meningkat seiring dengan bertambahnya arus, dari 579,41 kg/mm² pada 90 A, menjadi 599,84 kg/mm² pada 100 A, dan mencapai 605,40 kg/mm² pada 110 A. Pada ketebalan besar seperti ini, kebutuhan penetrasi menjadi faktor dominan. Arus tinggi memberikan cukup energi untuk menembus ketebalan material dan menghasilkan sambungan yang kuat, dengan ikatan logam pengisi dan logam dasar yang menyatu sempurna. Kekurangan energi pada arus rendah dalam kondisi ini dapat menyebabkan *incomplete fusion* atau kurangnya kedalaman penetrasi, yang berisiko menurunkan kekuatan tarik secara keseluruhan.

Hasil pengamatan juga memperlihatkan bahwa hasil pengujian fisik yang dilakukan pada hampir seluruh spesimen uji tarik, kegagalan atau patahan terjadi bukan pada daerah las melainkan pada baja atau materialnya, yang menunjukkan bahwa kekuatan tarik hasil sambungan las sudah sangat baik dan mampu menahan beban melebihi kekuatan material aslinya. Hal ini mengindikasikan bahwa meskipun tidak ditemukan perbedaan signifikan secara statistik, kualitas hasil las pada setiap variasi arus tetap tergolong sangat kuat.

Berdasarkan data dan analisis di atas, pengaruh variasi besaran arus terhadap kekuatan tarik bersifat tidak seragam pada setiap ketebalan material. Pada material tipis, arus besar cenderung menurunkan kekuatan tarik karena *overheating*. Sedangkan pada material tebal, peningkatan arus memberikan keuntungan dalam menciptakan struktur sambungan yang kokoh. Hal ini menunjukkan bahwa pemilihan arus optimal tidak hanya bergantung pada besarnya nilai kekuatan tarik yang dicapai, tetapi juga harus disesuaikan dengan karakteristik ketebalan material

yang dilas, agar dapat menghasilkan sambungan yang kuat, efisien, dan aman secara struktural.

Berbeda dengan penelitian dari (Novendri Chairul, Irzal, Mulianti, 2022) hasil penelitian menunjukkan peningkatan nilai kekuatan tarik berbanding lurus dengan nilai kuat arus dimana nilai kekuatan tertinggi didapat pada arus 130 amper, dari nilai kuat arus yang digunakan dalam penelitian ini yakni, 90, 100, dan 130 ampere. Perbedaan utama antara penelitian ini dan penelitian (Novendri Chairul, Irzal, Mulianti, 2022) terletak pada rentang arus yang digunakan, hasil kekuatan tarik, dan respons material terhadap masukan panas. Penelitian ini menggunakan arus 90 A hingga 110 A dengan hasil kekuatan tarik yang relatif stabil dan selisih kecil antar variasi, sehingga tidak menunjukkan pengaruh signifikan secara statistik. Sebaliknya, penelitian dari Novendri menggunakan rentang yang lebih lebar, hingga 130 A, dan memperoleh perbedaan kekuatan tarik yang jauh lebih besar, sehingga pengaruh arus tampak signifikan. Selain itu, kualitas sambungan dalam penelitian ini cenderung merata tanpa cacat besar, menunjukkan bahwa arus rendah pun sudah cukup menghasilkan sambungan yang baik, berbeda dengan penelitian dari (Novendri Chairul, Irzal, Mulianti, 2022) di mana peningkatan arus diperlukan untuk mencapai kualitas fusi dan kekuatan optimal.



Gambar 5. 1 Lokasi Patahan Spesimen pada Arus 70 A dan 80 A

Sebagai penguatan terhadap hasil uji tarik utama, dilakukan tambahan pengujian tarik pada variasi arus yang lebih rendah, yaitu 70 A dan 80 A, dengan ketebalan 10 mm. Hasil pengujian menunjukkan bahwa kedua spesimen mengalami patahan di area las (*weld metal*). Kondisi ini menunjukkan bahwa kekuatan sambungan yang dihasilkan oleh arus 70 A dan 80 A belum mampu menyamai kekuatan material induk.

Sejalan dengan penelitian (Manik et al., 2023) menunjukkan hasil penelitian bahwa penggunaan arus di bawah 90A menghasilkan sambungan las yang lebih

lemah, baik dari segi kekuatan mekanik maupun ketahanan terhadap korosi. Pada arus 70A dan 85A, struktur mikro didominasi oleh fasa ferrit yang bersifat lunak dan mudah patah. Peningkatan arus pengelasan terbukti dapat meningkatkan proporsi fasa perlit yang memiliki struktur lebih kuat. Khusus pada arus 70A, laju korosi tercatat paling tinggi, sehingga sambungan tidak hanya lebih rapuh tetapi juga lebih cepat mengalami kerusakan akibat pengaruh lingkungan.

Demikian pula penelitian oleh (M. Hidayatullah, 2022) menunjukkan bahwa pada arus 70 A hasil pengujian tarik yang diperoleh masing-masing adalah 340,48 N/mm², 212,679 N/mm², dan 143,179 N/mm² pada tiga spesimen yang diuji. Dari hasil tersebut, diperoleh titik putus material berturut-turut pada panjang 16,19 mm, 5,49 mm, dan 3,195 mm. Hasil ini mengindikasikan bahwa material yang diuji mengalami kegagalan sepenuhnya (putus total) pada saat pengujian, sehingga dapat disimpulkan bahwa penggunaan arus sebesar 70A menghasilkan kekuatan tarik yang rendah dan tidak mampu mempertahankan integritas sambungan las ketika diberi beban tarik.

Hal ini menjadi temuan penting karena memperlihatkan perbedaan yang cukup mencolok jika dibandingkan dengan hasil pada arus 90 A, 100 A, dan 110 A pada penelitian ini, di mana sebagian besar spesimen mengalami patah di luar daerah las. Meskipun tidak seluruhnya, dominasi lokasi patahan di material dasar menunjukkan bahwa sambungan las yang terbentuk pada arus tersebut memiliki kekuatan yang cukup baik dan mendekati atau bahkan melebihi kekuatan material induk. Ini menjadi indikasi bahwa sambungan mampu menahan beban tarik dengan baik sehingga titik lemah tidak selalu berada pada area las.

Dengan adanya hasil tambahan ini, dapat semakin ditegaskan bahwa arus 90 A sudah tergolong optimal. Meskipun secara statistik tidak menunjukkan perbedaan yang signifikan, namun secara teknis dan visual, kekuatan sambungan hasil pengelasan pada arus 90 A terbukti mampu mengalihkan lokasi patahan ke material dasar. Selain itu, arus ini tetap lebih rendah dari 100 A dan 110 A, yang secara teori lebih hemat energi serta menurunkan risiko cacat termal akibat *overheating*. Oleh karena itu, tambahan data ini mendukung argumen bahwa arus 90 A merupakan titik tengah yang ideal cukup kuat dan tetap efisien.

5.2 Analisis Parameter Optimal untuk Pengelasan SMAW Posisi 2G

Analisis parameter optimal dalam proses pengelasan SMAW posisi 2G bertujuan untuk mengidentifikasi kombinasi arus listrik yang paling efisien dalam menghasilkan sambungan las berkualitas tinggi. Dalam penelitian ini, efisiensi tidak hanya dinilai dari seberapa besar kekuatan tarik yang dihasilkan, tetapi juga dari perbandingan antara kekuatan yang diperoleh dengan jumlah energi yang digunakan. Oleh karena itu, arus optimal adalah arus yang mampu memberikan hasil kekuatan tarik tinggi dengan konsumsi energi seminimal mungkin. Dari hasil penelitian, teridentifikasi perbedaan dalam kekuatan tarik antara ketiga ketebalan, yaitu 8mm, 10mm, dan 12mm, dengan tiga variasi arus tiap ketebalannya, yaitu 90 ampere, 100 ampere, dan 110 ampere. Tabel berikut data rata-rata kekuatan tarik berdasarkan ketebalan pelat:

Tabel 5. 1 Data Rata-Rata Hasil Penelitian

Ketebalan 8		Ketebalan 10		Ketebalan 12	
Besaran Arus	Kekuatan Tarik	Besaran Arus	Kekuatan Tarik	Besaran Arus	Kekuatan Tarik
90	353,26	90	461,39	90	579,41
100	342,68	100	460,45	100	599,84
110	330,62	110	472,13	110	605,40

Dari hasil penelitian, ditemukan bahwa arus 90 A merupakan titik optimal untuk seluruh ketebalan pelat yang diuji (8 mm, 10 mm, dan 12 mm). Pada ketebalan 8 mm, arus 90 A menghasilkan kekuatan tarik sebesar 353,26 kg/mm², lebih tinggi dibandingkan arus 100 A (342,68 kg/mm²) dan 110 A (330,62 kg/mm²). Hal ini menunjukkan bahwa pada pelat tipis, penambahan energi dari arus yang lebih besar tidak hanya tidak meningkatkan kekuatan tarik, tetapi justru menurunkannya, kemungkinan akibat *overheating*, pertumbuhan butir yang tidak terkendali, dan terbentuknya mikrostruktur yang kurang ideal.

Pada ketebalan 10 mm, kekuatan tarik tertinggi memang dicapai pada arus 110 A (472,13 kg/mm²), namun arus 90 A menghasilkan nilai yang sangat kompetitif yaitu 461,39 kg/mm². Selisih sebesar 10,74 kg/mm² atau sekitar 2,3% ini tergolong kecil dan tidak sebanding dengan tambahan energi listrik yang dikonsumsi oleh arus 110 A. Artinya, dari sudut pandang efisiensi energi, arus 90

A jauh lebih menguntungkan karena dapat menghasilkan kekuatan hampir setara dengan arus besar, namun dengan daya yang lebih rendah.

Hal serupa juga terlihat pada ketebalan 12 mm. Arus 110 A menghasilkan kekuatan tarik sebesar 605,40 kg/mm², namun arus 90 A menghasilkan 579,41 kg/mm², dengan selisih hanya sekitar 26 kg/mm² atau sekitar 4,3%. Jika dibandingkan dengan peningkatan daya listrik, keausan peralatan, dan risiko cacat mikro akibat *overheating*, maka penggunaan arus besar tidak menunjukkan peningkatan kekuatan tarik yang cukup signifikan untuk membenarkan tambahan energi tersebut.

Dengan demikian, bahwa arus 90 A adalah titik optimal pengelasan SMAW posisi 2G untuk semua variasi ketebalan. Arus ini mampu menghasilkan kekuatan tarik yang tinggi dan stabil, dengan konsumsi energi yang lebih rendah dibandingkan arus yang lebih besar. Inilah yang menjadi dasar penilaian optimal hasil setara, dan energi juga lebih hemat. Selain efisiensi energi, penggunaan arus 90 A juga menurunkan risiko cacat akibat *overheating* dan meningkatkan umur peralatan las, sehingga memiliki dampak positif secara teknis maupun ekonomis. Oleh karena itu, arus 90 A layak dijadikan standar referensi dalam penyusunan prosedur pengelasan untuk aplikasi industri yang mengutamakan kekuatan sambungan, efisiensi energi, dan produktivitas kerja.