

Journal of Applied Mechanical Engineering and Green Technology (JAMETECH)

Journal homepage: <https://ojs2.pnb.ac.id/index.php/JAMETECH>
p-ISSN: 2655-9145; e-ISSN: 2684-8201

Analisis Pengaruh Aliran Fluida Pendingin dan Waktu Pengelasan *Spot Welding* Kw14-1031 Terhadap Kekuatan Tarik Pelat Baja ST 40

I Made Anom Adiaksa^{1*}, I Nyoman Gede Suta Waisnawa¹, Ida Bagus Gde Widiantara¹ dan I Wayan Marlon Managi¹

¹Jurusan Teknik Mesin, Politeknik Negeri Bali, Bukit Jimbaran, Badung, 80361, Indonesia

*Email: madeanomadiaksa@pnb.ac.id

Abstrak

Pengelasan spot welding sangat dipengaruhi oleh media pendingin dalam hal karakteristik hasil pengelasan seperti kekuatan. Kekuatan tarik dari sambungan las plat baja ST 40 dipengaruhi oleh media pendingin dan waktu pengelasan. Pengujian dan pengambilan data menggunakan metode eksperimental pada mesin *spot welding* dan *shear test*. Pengumpulan data menggunakan metode kuantitatif sedangkan pengolahan menggunakan metode deskriptif. Standar ASTM E8 digunakan dalam pengujian sampel. Aliran fluida pendingin dalam proses pengelasan titik secara signifikan mempengaruhi diameter HAZ. Aliran fluida yang lebih cepat meningkatkan transfer panas dari elektroda ke pendingin, menjaga suhu elektroda dan material las di bawah 1.500 °C, sehingga mengurangi keausan elektroda dan mempertahankan ukuran *nugget* las yang stabil pada 5,00 mm. Diameter HAZ terendah tercatat pada aliran 5 liter/menit dengan diameter HAZ 8,30 mm, sedangkan tertinggi pada aliran 2 liter/menit dengan diameter 10,43 mm. Pendinginan yang terlalu cepat atau waktu pengelasan yang terlalu singkat dapat menyebabkan sambungan las yang rapuh dan menurunkan tegangan tarik. Sebaliknya, pendinginan yang lebih lambat dengan waktu pengelasan yang tepat menghasilkan kekuatan tarik yang optimal dengan mempertahankan integritas struktural sambungan. Hasil optimal ditemukan pada laju aliran fluida 2 liter/menit pada 5,0 detik dengan tegangan tarik 96,10 Mpa, 3 liter/menit pada 6,0 detik dengan tegangan tarik 104,89 Mpa, 4 liter/menit pada 7,0 detik dengan tegangan tarik 114,00 Mpa dan 5 liter/menit pada 8,0 dan 9,0 detik dengan tegangan tarik 116,72 Mpa dan 125,76 Mpa.

Kata kunci: fluida, pendingin, spot, welding, kekuatan, tarik

Abstract: *Spot welding is greatly influenced by the cooling medium in terms of welding characteristics such as strength. The tensile strength of ST 40 steel plate welded joints is influenced by the cooling medium and welding time. Testing and data collection use experimental methods on spot welding machines and shear tests. Data collection uses quantitative methods while processing uses descriptive methods. The ASTM E8 standard is used in sample testing. The flow of coolant fluid in the spot welding process significantly affects the HAZ diameter. Faster fluid flow increases heat transfer from the electrode to the coolant, keeping the electrode and weld material temperatures below 1,500 °C, thereby reducing electrode wear and maintaining a stable weld nugget size at 5.00 mm. The lowest HAZ diameter was recorded at a flow rate of 5 liters/minute with a HAZ diameter of 8.30 mm, while the highest was at a flow rate of 2 liters/minute with a diameter of 10.43 mm. Too fast cooling or too short welding time can cause brittle weld joints and reduce tensile stress. Conversely, slower cooling with appropriate welding time produces optimal tensile strength while maintaining the structural integrity of the joint. Optimal results were found at a fluid flow rate of 2 liters/minute at 5.0 seconds with a tensile stress of 96.10 MPa, 3 liters/minute at 6.0 seconds with a tensile stress of 104.89 MPa, 4 liters/minute at 7.0 seconds with a tensile stress of 114.00 MPa and 5 liters/minute at 8.0 and 9.0 seconds with tensile stress of 116.72 MPa and 125.76 MPa.*

Keywords: fluid, coolant, spot, welding, strength, tensile

Penerbit @ P3M Politeknik Negeri Bali

1. Pendahuluan

1.1. Latar Belakang

Bidang konstruksi dan manufaktur Teknik pengelasan sangat luas penggunaannya meliputi konstruksi jembatan, perkapalan, industri karoseri dan sebagainya. Proyek infrastruktur modern membutuhkan Teknik penyambungan material yang tepat untuk mencapai hasil

yang dibutuhkan. Metode pengelasan yang tepat memastikan kekuatan dan kestabilan struktur yang vital untuk menahan beban berat dan kondisi lingkungan ekstrem. Metode pengelasan yang tepat memungkinkan pembuatan badan kapal yang kedap air, kuat, dan tahan terhadap korosi air laut pada sektor perkapalan. Pengelasan juga dilakukan untuk merakit bodi kendaraan

yang aman dan kokoh pada industri karoseri. Metode pengelasan memungkinkan para insinyur dan perancang untuk menciptakan struktur yang kompleks dan efisien. Pembuatan pipa saluran gas dan minyak, produksi bejana tekan di industri kimia, hingga perakitan rangka bangunan bertingkat juga mengaplikasikan metode pengelasan untuk penyambungan. Keterampilan dan teknologi pengelasan dalam mendukung kemajuan industri global sangat esensial dalam aplikasi yang lebih luas. Faktor kunci dalam menjamin keamanan dan umur panjang produk yang dibuat dipengaruhi oleh keandalan hasil pengelasan. Metode dan bahan las yang tepat sangat penting dalam setiap proyek untuk dapat menjaga kualitas dari suatu produk. Pengelasan dalam ilmu metalurgi merupakan sambungan logam paduan yang dilakukan dalam keadaan lumer atau cair disebut sebagai pengelasan [1]. Struktur logam induk setelah proses pengelasan akan melibatkan suhu tinggi yang digunakan untuk melelehkan bagian logam induk ataupun logam pengisi [2]. Las titik atau *spot welding* merupakan proses penyambungan logam atau non logam yang dilakukan dengan memanaskan material yang akan akan disambung hingga temperatur las yang dilakukan dengan cara menggunakan tekanan (*pressure*), dan tanpa menggunakan logam pengisi (*filler*) [3]. Penggunaan suhu tinggi mengakibatkan material logam induk (base metal) mengalami perubahan sifat mekanisnya maka perlu dilakukan pendinginan. Perubahan struktur yang mengakibatkan perubahan sifat mekanis dan sifat fisik logam terjadi akibat proses pendinginan. Perbaikan cacat logam pada hasil pengecoran material dan mempertebal logam yang aus juga dapat dilakukan dengan proses pengelasan [4]. Las titik populer dipergunakan pada pengelasan dalam industri otomotif terutama produksi mobil untuk pengerjaan *body* atau kerangka mobil. Penyambungan pelat logam tipis dapat dilakukan dengan sangat cepat, efisien, dan memiliki tingkat presisi yang tinggi dilakukan dengan las titik. Ribuan titik las diaplikasikan pada satu unit kendaraan untuk memastikan struktur kabin tetap kokoh namun tetap ringan dilakukan pada perakitan kendaraan modern. Penggunaan las titik juga memungkinkan proses produksi dilakukan secara otomatis menggunakan robotik memberikan kekuatan struktural yang optimal dalam menjaga keselamatan penumpang untuk mendapatkan hasil pengerjaan lebih konsisten dibandingkan metode konvensional lainnya.

Spot welding atau pengelasan titik menggunakan arus listrik untuk proses penyambungan dua atau lebih permukaan logam [5]. Las titik (*Spot Welding*) merupakan salah satu metode pengelasan dengan prinsip kerja menggunakan arus listrik untuk penyambungan pelat logam [6]. Pedal ditekan agar logam yang akan dilas terjepit oleh sepasang elektroda yang terbuat dari bahan paduan tembaga dengan aliran arus listrik besar dalam waktu singkat. Arus yang bertegangan tinggi ini akan membuat logam yang bersinggungan menjadi panas dan suhunya naik mencapai suhu titik lebur material. Resistansi atau hambatan listrik dari logam diandalkan dalam proses penyambungan material, Logam mencair dan menyatu akibat dari arus dialirkan melalui elektroda tembaga menimbulkan panas sangat tinggi terkonsentrasi pada satu titik tertentu. Metode ini sangat efektif untuk meminimalisir perubahan bentuk atau distorsi pada

permukaan pelat karena panas hanya terfokus pada area yang sempit. *Spot welding* menjadi standar yang tepat dalam industri manufaktur massal yang membutuhkan kecepatan tinggi tanpa mengorbankan kekuatan sambungan.

Sambungan akan terbentuk akibat suhu pengelasan telah tercapai dan memaksa logam induk menyatu akibat tekanan diantara. Waktu akan menghentikan arus tetapi masih dilakukan penekanan. Tekanan dilepaskan setelah logam mendingin. Pencegahan elektrode tembaga agar tidak meleleh dan menempel pada permukaan logam dilakukan dengan memberikan air pendingin yang bersirkulasi. Sirkulasi air pendingin pada ujung elektroda juga mempercepat pendinginan pada logam yang bertujuan untuk memperbaiki struktur mikro dari logam tersebut kualitasnya dapat dipertahankan. Perancangan, umur pakai dan keamanan dari suatu kendaraan sangat dipengaruhi oleh kualitas dan kekuatan dari proses las titik [7]. Prosesnya yang mudah, ekonomis, dan cepat sangat cocok untuk produksi massal, suplai panas yang diberikan cukup akurat, sifat mekanik hasil las hampir menyerupai logam induk dan tidak memerlukan kawat las. Kualitas hasil las yang optimal, seperti kekuatan tarik dan kekuatan akibat pengaruh beban dari luar dipengaruhi oleh pengontrolan pada media pendingin yang berpengaruh pada karakteristik hasil pengelasan [8]. Media pendingin dan waktu pengelasan menjadi tolak ukur untuk menentukan kekuatan tarik dari sambungan las plat baja. Waktu pengaliran arus listrik secara langsung mengontrol besarnya masukan panas (*heat input*) yang membentuk diameter sambungan atau HAZ, sedangkan media pendingin menentukan laju penurunan suhu yang mempengaruhi struktur mikro logam. Sambungan tidak akan menyatu dengan sempurna apabila waktu pengelasan terlalu singkat. Logam berisiko mengalami deformasi atau retak apabila waktu pengelasan terlalu lama. Media pendingin yang tepat digunakan seperti udara, air, atau oli. Media pendingin yang tepat akan mengatur tingkat kekerasan dan keuletan material setelah proses pengelasan. Kombinasi yang presisi antara waktu pengelasan dengan media pendingin menjadi kunci dalam mencapai standar kekuatan tarik yang optimal pada konstruksi baja. Proses pengelasan material kerja yang di las dalam skala besar dipengaruhi oleh penempatan sistem pendingin pada *spot welding*. ST 40 merupakan bahan atau material yang sering digunakan pada penyambungan material beda jenis dalam dunia industri digunakan dalam penelitian [9]. Pelat baja ST 40 dalam las titik dipergunakan karena bahan tersebut tahan terhadap korosi, mudah dibentuk dan di las, tahan terhadap temperatur panas tinggi maupun rendah, dan desain produk yang sangat berkualitas [10]. Baja ST 40 memiliki karakteristik yang memberikan keseimbangan antara kekuatan Tarik dan fleksibilitas sehingga sangat ideal untuk dijadikan komponen yang memerlukan presisi tinggi seperti bodi kendaraan atau peralatan industri. Sambungan las tidak mudah getas atau mengalami pemuaihan yang ekstrem karena kemampuan baja ST 40 ini tetap stabil dalam berbagai kondisi suhu. Risiko cacat las pada material dapat diminimalisir dengan sifat *weldability*. Efisiensi produksi dan estetika produk akhir secara keseluruhan dapat dicapai dengan penggunaan material baja ST 40.

Sifat mekanik dari sambungan baja tersebut didapatkan dengan melakukan pengujian tarik pada material yang telah dilas. Parameter penting seperti tegangan maksimum (*ultimate tensile strength*), titik luluh (*yield point*), dan elastisitas sambungan dapat diperoleh dengan melakukan metode pengujian tarik. Spesimen uji diberikan beban tarikan secara bertahap hingga putus guna melihat apakah kegagalan terjadi pada titik las atau pada area logam induk di sekitarnya. Prosedur pengelasan yang diterapkan telah memenuhi standar keamanan dan spesifikasi teknis yang dibutuhkan sebelum komponen tersebut digunakan secara luas dalam konstruksi atau industri otomotif diperoleh dari data pengujian tarik yang sudah divalidasi. Proses validasi ini akan mendapatkan parameter pengelasan mulai dari kuat arus hingga durasi penekanan dipastikan mampu menghasilkan sambungan yang tangguh dan reliabel. Bukti empiris bahwa integritas struktural material berada di atas ambang batas minimum yang diizinkan untuk meminimalisir risiko kegagalan fatal saat kendaraan atau bangunan menerima beban mekanis yang dinamis ditunjukkan dengan data uji tarik. Hasil pengujian laboratorium dan penerapan di lini produksi harus disinkronisasi untuk menjadi jaminan mutlak bagi kualitas dan keselamatan produk akhir.

1.2. Rumusan Masalah

Rumusan masalah yang di bahas pada penelitian berdasarkan latar belakang tersebut yaitu:

1. Apakah variasi aliran fluida pendingin berpengaruh terhadap kekuatan tarik sambungan material setelah proses *spot welding*.
2. Apakah waktu pengelasan berpengaruh terhadap kekuatan tarik pada sambungan material setelah proses *spot welding* dengan adanya aliran fluida pendingin.

1.3. Tujuan

Tujuan dari analisis pengaruh aliran fluida pendingin dan waktu pengelasan terhadap kekuatan tarik pada material setelah proses *spot welding* adalah:

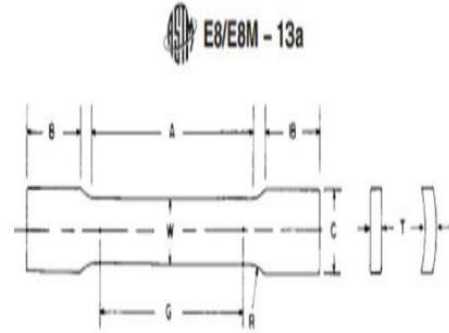
1. Dapat mengetahui aliran fluida pendingin berpengaruh terhadap kekuatan tarik sambungan material setelah proses *spot welding*.
2. Dapat mengetahui waktu pengelasan berpengaruh terhadap kekuatan tarik pada sambungan material setelah proses *spot welding* dengan adanya aliran fluida pendingin.

2. Metode dan Bahan

2.1. Benda Uji

Metode eksperimental digunakan dalam pengujian dan pengambilan data pada mesin *spot welding* dan *shear test*. Standar uji geser ASTM E8 sebagai syarat digunakan membentuk bahan plat baja ST 40 untuk melakukan pengujian tarik seperti yang ditunjukkan pada gambar 1. Metode untuk pengujian tarik bahan logam menggunakan Standar ASTM E8/E8M. *American Society For Testing And Material* (ASTM) mengembangkan ASTM E8/E8M yang merupakan standar pengujian untuk spesiemen berbentuk pelat [11]. Sifat material logam digambarkan secara khusus dengan standar ASTM. Penentuan *yield point*, pemanjangan titik luluh, *tensile strength*, *strain at break*, dan *reduction area* dijelaskan dalam standar

ASTM E8/E8M tentang pengujian tarik uniaksial logam pada suhu kamar. ASTM E8/E8M membuat prediksi nilai-nilai penting tentang kekuatan dan ketangguhan material. Satuan pengukuran inci dan pon digunakan dalam ASTM E8, sementara ASTM E8M menggunakan satuan SI. Nilai karakteristik yang ditentukan dengan satu sistem satuan tidak persis sama dengan yang ditentukan dengan sistem satuan lainnya.



Keterangan	Panjang (mm)
<i>Gage Length (G)</i>	50
<i>Length Of Reduced Section (A)</i>	57
<i>Widht (W)</i>	12,5
<i>Thickness (T)</i>	1-10
<i>Radius Of Filler (R)</i>	12,5
<i>Overall Length (L)</i>	200
<i>Widht Of Grip Section (C)</i>	20

Gambar 1. Standar ASTM E8M benda uji tarik

Analisis ini menggunakan mesin *ultimate testing machine* untuk pengambilan data. Spesimen ini dibuat dari dua buah plat baja yang sama, dengan ukuran masing-masing plat sebagai berikut: panjang 225 mm, lebar daerah yang dijepit mesin 50 mm, panjang daerah pegangan yang dijepit mesin 75 mm, ketebalan 1,1 mm, lebar daerah yang tidak dijepit mesin 30 mm, panjang daerah yang tidak dijepit mesin 150 mm, dengan radius 25°. kedua plat baja tersebut ditumpuk yang disebut sambungan tumpuk (*lap joint*) dengan ukuran tumpang tindih (*overlap*) 50 mm. Lebar daerah yang tidak dijepit mesin tetap 30 mm, panjang daerah yang tidak dijepit mesin menjadi 250 mm, ketebalan menjadi 2,2 mm, dan panjang keseluruhan menjadi 400 mm.

Jumlah specimen untuk setiap variable adalah 10 buah. Variable tetap adalah aliran fluida pendingin yang ditunjukkan dalam *flow meter* dengan skala 2,3,4,5 liter/menit. Waktu setiap pengelasan diseting pada alat *spot welding* dengan interval waktu 5.0, 6.0, 7.0, 8.0, 9.0 detik. Arus pengelasan yang dipergunakan sebesar 75 A. Elektroda menggunakan tembaga dengan penekanan 10 kg. Variable bebas dari penelitian adalah kekuatan tarik hasil pengelasan.

Metode kuantitatif dipergunakan untuk mengumpulkan data yang diperlukan dalam penelitian serta pengolahan menggunakan metode deskriptif. Fenomena yang sedang diteliti menggunakan pendekatan ini karena mendapatkan gambaran yang objektif dan terukur. Data yang telah terkumpul selanjutnya dilakukan langkah klasifikasi dan tabulasi agar informasi lebih mudah dibaca. Metode analisis deskriptif merupakan metode analisa dengan mendeskripsikan data yang telah ditampilkan dalam bentuk grafik [12]. Visualisasi tersebut

menggambarkan pola perkembangan atau perbandingan antar variabel dapat terlihat dengan lebih jelas dan sistematis. Hasil pengujian dibuatkan grafik untuk melihat pengaruh arus terhadap kekuatan geser hasil pengelasan. Distribusi frekuensi maupun nilai rata-rata dari populasi yang diuji digambarkan dengan grafik untuk mempermudah dalam membaca dan memahami. Analisis deskriptif dipergunakan untuk dapat menggambarkan kekuatan geser yang didapatkan. Fondasi yang kuat bagi validitas hasil penelitian secara keseluruhan didapatkan dengan integrasi antara data kuantitatif dan analisis deskriptif. Informasi yang disajikan menjadi sebuah narasi ilmiah yang didasarkan pada fakta empiris yang akurat serta tidak hanya berupa angka mati.

2.2. Perhitungan Tegangan Tarik

Nilai yang dituliskan sebagai hasil uji tarik tetapi pada kenyataannya nilai tersebut kurang bersifat mendasar dalam kaitannya dengan kekuatan bahan sering disebut sebagai tegangan tarik. Beban maksimum dimana material dapat menahan beban sesumbu untuk keadaan yang sangat terbatas harus ditahan dengan logam yang memiliki elastisitas tinggi. Hubungan antara beban atau gaya yang diberikan berbanding lurus dengan perubahan panjang pada spesimen disebut dengan daerah *linier* atau *linear zone* uji tarik [13]. Hukum *Hooke* mengatur tentang kurva pertambahan panjang dengan beban disebut dengan rasio tegangan (*stress*) dan regangan (*strain*) yang bersifat konstan. Beban dibagi luas penampang bahan disebut dengan *stress*, sedangkan pertambahan panjang (L_1) dibagi panjang awal bahan (L_0) disebut dengan *strain*. *Destructive* dan *non destructive testing* dapat dilakukan pada sambungan logam hasil pengelasan [14]. Kekuatan sambungan logam hasil pengelasan diuji dengan uji tarik yang telah distandarasi dapat dilakukan dengan *destructive test*. Sifat logam induk, daerah *heat affected zone* (HAZ), sifat logam tambah las, dan geometri serta distribusi tegangan dalam sambungan las mempengaruhi kekuatan tarik sambungan las. Pengujian spesimen dengan kenaikan beban meningkat secara perlahan dan konstan hingga spesimen uji tersebut patah, nilai uji tarik dapat dihitung dengan rumus. Besarnya beban tarik yang diberikan terhadap spesimen uji beserta skala perpanjangan (*elongation*) yang terjadi pada spesimen akan tercatat oleh mesin uji tarik. *Load cell* merupakan alat pencatat beban tarik, sedangkan *extensometer* merupakan alat pencatat perpanjangan yang terjadi. Kurva diperoleh dari hasil pencatatan tegangan yang membujur rata-rata dari pengujian tarik serta pertambahan panjangnya. Pembagian beban yang diberikan dengan luas awal penampang benda uji merupakan tegangan tarik diperoleh dengan cara seperti dalam persamaan berikut [15]:

$$A = \text{Lebar pelat} \times \text{Tebal pelat} \quad (1)$$

Sedangkan tegangan tarik didapat dengan rumus:

$$\sigma = \frac{F}{A_0} \quad (2)$$

dimana

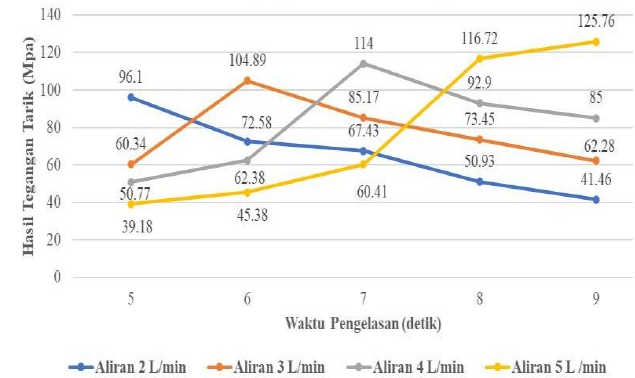
σ = Tegangan tarik maksimum (MPa)

F = Kekuatan tarik (N)

A_0 = Luas awal dari penampang batang uji (mm²)

Universal testing machine digunakan untuk pengujian material. Benda uji dicekam pada *universal testing machine*, beban statik naik secara bertahap hingga spesimen putus. *Plotter* yang terdapat dalam mesin uji tarik akan mencatat besarnya beban dan pertambahan panjang, sehingga diperoleh grafik tegangan (N/m² atau MPa) yang memberikan informasi data tegangan normal (σ), ketangguhan dan keuletan sambungan las yang diuji.

3. Hasil Pengujian

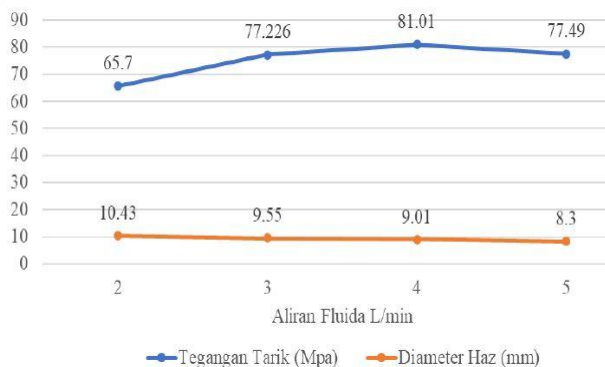


Gambar 2. Grafik tegangan tarik terhadap waktu pengelasan

Gambar 2 menunjukkan bahwa jika semakin tinggi hasil tegangan tarik pada bahan ST 40 tergantung pada pengontrolan laju aliran pendingin yang berbanding lurus terhadap waktu pengelasan yang tepat. Kombinasi aliran fluida dan waktu pengelasan yang bervariasi sangat berpengaruh pada hasil tegangan tarik (MPa). Semua rentang waktu yang diberikan menunjukkan tidak ada satu aliran fluida tunggal yang secara konsisten memberikan hasil tertinggi. Tegangan mencapai puncak pada waktu tertentu dipengaruhi oleh waktu pengelasan, sementara yang lain menurun. Hal tersebut dikarenakan pada saat pendinginan yang terlalu cepat atau waktu yang terlalu singkat yang menyebabkan sambungan yang rapuh dan titik leleh bahan saat proses pengelasan tidak tercapai mengakibatkan nilai dari tegangan tariknya sangat rendah begitu juga sebaliknya pendinginan yang lambat dan waktu pengelasan yang tepat membantu mencapai kekuatan tarik yang paling optimal dengan mempertahankan integritas struktural sambungan las [16].

Pada gambar 2 menyatakan bahwa laju aliran 2 liter/menit pada waktu pengelasan 5.0 detik dengan hasil tegangan tarik sebesar 96,10 MPa sudah optimal mendinginkan bahan ST 40 saat proses pengelasan dibandingkan dengan aliran fluida 3,4,5 liter/menit di waktu yang sama dan waktu pengelasan 6.0, 7.0, 8.0, 9.0 di variasi fluida yang berbeda. Laju aliran 3 liter/menit pada waktu pengelasan 6.0 detik dengan hasil tegangan tarik sebesar 104,89 MPa sudah optimal mendinginkan bahan ST 40 saat proses pengelasan dibandingkan dengan aliran fluida 2,4,5 liter/menit di waktu yang sama dan waktu pengelasan 5.0, 7.0, 8.0, 9.0 di variasi fluida yang berbeda. Laju aliran 4 liter/menit pada waktu pengelasan 7.0 detik dengan hasil tegangan tarik sebesar 114,00 MPa sudah optimal mendinginkan bahan ST 40 saat proses pengelasan, dibandingkan dengan aliran fluida 2,3,5 liter/menit di waktu yang sama dan waktu pengelasan 5.0, 6.0, 8.0, 9.0 di variasi fluida yang berbeda. Laju aliran 5

liter/menit pada waktu pengelasan 8,0, 9,0 detik dengan hasil tegangan tarik sebesar 116,72 MPa dan 125,76 MPa sudah optimal mendinginkan bahan ST 40 saat proses pengelasan, dibandingkan dengan aliran fluida 2,3,4 liter/menit di waktu yang sama dan waktu pengelasan 5,0, 6,0, 7,0 di variasi fluida yang berbeda.



Gambar 3. Grafik HAZ dengan tegangan tarik

Gambar 3 terlihat perbandingan rata-rata HAZ dengan rata-rata tegangan tarik bahwa dengan meningkatnya aliran fluida, ketebalan HAZ cenderung menurun. Hal ini terjadi karena peningkatan aliran fluida membantu mendinginkan material lebih cepat, sehingga mengurangi ukuran HAZ [17]. Tegangan tarik material meningkat dengan peningkatan aliran fluida, mencapai nilai tertinggi pada aliran 4 L/min dengan rata-rata 9,01 agar material tetap terjaga struktur mikronya. Nilai terendah tercatat pada aliran 2 L/min dengan 65,7 MPa. Aliran fluida optimal untuk mencapai kekuatan Tarik maksimum pada aliran 4 L/min dengan 81,01 MPa. Tegangan Tarik justru mengalami penurunan Ketika aliran fluida pendingin ditingkatkan menjadi 5 L/min menjadi 77,49 MPa yang mengindikasikan titik jenuh atau penurunan efisiensi pada aliran yang lebih tinggi.

Material mengalami peningkatan kekuatan tarik saat HAZ mengecil, karena distribusi panas yang lebih merata dan pendinginan yang lebih efektif. Tegangan tarik tertinggi ditunjukkan dengan aliran fluida 4 L/min, sementara hasil diameter HAZ terkecil ditunjukkan pada aliran fluida 5 L/min. Hal ini menunjukkan adanya hubungan terbalik antara tegangan Tarik dengan diameter HAZ. Penyeimbangan kedua parameter ini berdasarkan prioritas aplikasi perlu dilakukan untuk mendapatkan kekuatan Tarik maksimum dengan meminimalis diameter HAZ. Pendinginan yang tepat akan menghasilkan diameter HAZ yang kecil sehingga kekuatan tarik menjadi maksimum. Hubungan negatif antara ukuran HAZ dan aliran fluida, serta hubungan positif antara aliran fluida dan tegangan tarik, menunjukkan bahwa pengaturan aliran fluida dapat mempengaruhi karakteristik material yang terpengaruh oleh proses panas. Distribusi panas yang lebih merata dan pendinginan yang lebih efektif menyebabkan pengecilan diameter HAZ. Proses penyambungan material seperti pengelasan, Fenomena ini menjadi krusial khususnya dalam ilmu metalurgi. Panas yang terkonsentrasi selama proses pengelasan secara lokal dan menyebar dengan cepat menyebabkan struktur mikro di sekitar sambungan cenderung tetap halus. Pertumbuhan butir (*grain growth*) yang berlebihan biasanya menyebabkan kerapuhan dapat dicegah dengan pendinginan yang lebih cepat. Kekuatan mekanis material

dasar dapat terjaga akibat zona yang terkena panas tidak meluas. Transformasi fasa yang diinginkan terjadi tanpa merusak area yang berdekatan akibat distribusi panas yang optimal. Kemampuan material untuk menahan beban tanpa mengalami deformasi permanen mencerminkan kekuatannya. Meminimalkan ukuran HAZ dapat dilakukan dengan mengontrol parameter aliran fluida pendingin atau kecepatan pengelasan. Sambungan yang lebih kuat dan lebih tahan lama dapat dicapai untuk memenuhi standar kualitas teknik yang ketat.

4. Kesimpulan

Aliran fluida pendingin dalam proses pengelasan titik secara signifikan mempengaruhi diameter HAZ. Aliran fluida yang lebih cepat meningkatkan transfer panas dari elektroda ke pendingin, membantu menjaga suhu elektroda dan material las di bawah 1.500 °C, sehingga mengurangi keausan elektroda dan mempertahankan ukuran *nugget* las yang stabil pada 5,00 mm. Diameter HAZ terendah tercatat pada aliran 5 liter/menit dengan diameter HAZ 8,30 mm, sedangkan tertinggi pada aliran 2 liter/menit dengan diameter 10,43 mm.

Pendinginan yang terlalu cepat atau waktu pengelasan yang terlalu singkat dapat menyebabkan sambungan las yang rapuh dan menurunkan tegangan tarik. Sebaliknya, pendinginan yang lebih lambat dengan waktu pengelasan yang tepat menghasilkan kekuatan tarik yang optimal dengan mempertahankan integritas struktural sambungan.

Hasil optimal ditemukan pada laju aliran fluida 2 liter/menit pada 5,0 detik dengan tegangan tarik 96,10 MPa, 3 liter/menit pada 6,0 detik dengan tegangan tarik 104,89 MPa, 4 liter/menit pada 7,0 detik dengan tegangan tarik 114,00 MPa dan 5 liter/menit pada 8,0 dan 9,0 detik dengan tegangan tarik 116,72 MPa dan 125,76 MPa

Ucapan Terima Kasih

Penulis menyampaikan ucapan terima kasih atas bantuan dan dukungan dari teman sejawat, teknisi dan mahasiswa yang telah membantu dalam proses pengambilan data. Ucapan terima kasih kepada Politeknik Negeri Bali dengan memberikan dukungan fasilitas dalam pengambilan data, pengolahan data maupun kesempatan untuk publikasi ilmiah hasil dari penelitian.

Daftar Pustaka

- [1] S. I. Samudra, H. Widya Prasetya, D. I. Pratiwi, T. Mekanika Perkeretaapian, P. Perkeretaapian, and I. Madiun, "Pengaruh Variasi Arus Resistance Spot Welding Terhadap Kuat Tarik Material Stainless Steel 304 Kereta K1," vol. 9, no. 2, pp. 26–32, 2023.
- [2] I. Sofwan, Sugiyarto, and E. Erwanto, "Fenomena Las Gesek (Friction Welding) Dengan Variasi Waktu Gesek Pada Material AISI 1040 Dengan Kuningan," *J. Inov. Teknol. Terap.*, vol. 1, no. 2, pp. 374–382, 2023, doi: 10.33504/jitt.v1i2.45.
- [3] I. Iswanto, N. Noerdianto, A. Fachruddin, and M. Mulyadi, "Analisa perbandingan kekuatan hasil pengelasan TIG dan pengelasan MIG pada Aluminium 5083," *Turbo J. Progr. Stud. Tek. Mesin*, vol. 9, no. 1, pp. 87–92, 2020, doi: 10.24127/trb.v9i1.1166.
- [4] A. D. Krisanggoro and S. Suheni, "Analisis

- Pengaruh Posisi Pengelasan Dan Besar Arus Terhadap Kekuatan Tarik Dan Struktur Makro Pada Proses Las Gmaw Dengan Material Baja A-36,” *Pros. SENASTITAN Semin. Nas. Teknol. Ind. Berkelanjutan III*, no. Senastitan Iii, pp. 4–8, 2023, [Online]. Available: <http://ejurnal.itats.ac.id/senastitan/article/view/4190>
- [5] M. A. Fitrah, M. Ikhsan, and H. H. Utami, “Analisis Leveled Surface Terhadap Diameter Nugget Las Pada Plat Stainless Steel 304 Proses Resistance Spot Welding (Rsw),” *J. Tematis (Teknologi, Manufaktur dan Ind.*, vol. 4, no. 2, pp. 2985–4946, 2023, [Online]. Available: <https://jurnal.politeknikbosowa.ac.id/index.php/TMT/article/view/414>
- [6] Lukmanul Hakim, “Pengaruh Pengelasan Smaw Terhadap Kekuatan Impak Dan Hardness Dengan Variasi Arus 80,90, Dan 100 Amper Pada Baja Stainles 308,” vol. 4, no. 2, pp. 1–7, 2020.
- [7] H. Haikal, “Pengaruh Parameter Pengelasan Resistance Spot Welding Terhadap Sifat Fisik Dan Mekanik Multi-Layer Logam Tak Sejenis Berbeda Ketebalan,” *Mach. J. Tek. Mesin*, vol. 7, no. 1, pp. 16–24, 2021, doi: 10.33019/jm.v7i1.1661.
- [8] R. Rasyid and N. S. Drastiawati, “Pengaruh Waktu Pengelasan Titik (Spot Welding) Terhadap Kekerasan, Kekuatan Geser Dan Diameter Nugget Pada Baja Spcen 1,6 Mm,” *Otopro*, vol. 16, no. 1, p. 1, 2020, doi: 10.26740/otopro.v16n1.p1-6.
- [9] R. Haq, “Analisa Kekuatan Tarik, Tekuk, dan Impak Pengelasan Flux Cored Arc Welding Material Baja St 40 Posisi 3G dengan Variasi Kuat Arus Listrik,” *Tek. Perkapalan, Univ. Diponegoro*, vol. 7, no. 4, pp. 184–193, 2020.
- [10] S. Budi Harjanto, D.Ricky Lumintang, “Analisis Pengaruh Heat Treatment 900°C Baja St40 Pada Body Truk Unimog Militer Terhadap Sifat Fisis Dan Mekanis,” *Mekanikasista*, vol. 11, no. 2, pp. 135–145, 2024.
- [11] W. Hendrawan and I. M. Anwar, “Pengujian Mesin Uji Tarik Hidrolik Manual Kapasitas 20 Ton,” *PRIME Publ. J. Mech. Eng.*, vol. 2, no. 1, pp. 40–52, 2024, doi: 94.617676/prime.v1.1.
- [12] I. P. Darmawa, I. M. A. Adiaksa, I. Bagus, P. Indra, and I. W. Suma, “The Effectiveness of Using Continuous Variable Transmission (CVT) in 2WD Buggy Vehicles,” *J. Inov. Vokasional dan Teknol.*, vol. 23, no. 1, pp. 53–60, 2023.
- [13] F. Tuerah, M. Umboh, and I. Rondonuwu, “Automasi Alat Uji Tarik Tipe Terco MT 3017 Berbasis Microcontroller,” *J. Online Poros Tek. Mesin*, vol. 9, no. 1, pp. 10–21, 2021.
- [14] A. A. Santoso, R. J. Pribadi, and S. Raharja, “Deteksi Cacat Hasil Pengelasan Pada Baja Karbon Rendah Menggunakan Fungsi Transfer Untuk Non Destructive Test (Ndt),” *Pros. Semin. Nas. UNIMUS*, vol. 5, pp. 105–115, 2022.
- [15] N. P. Agus Surya, I. Budiarsa, I. Antara, and B. Jimbaran Bali Abstrak, “Sifat Mekanis Sambungan Dissimilar sStainless Steel 304-Baja Karbon ST 37 Dengan Variasi Diameter Spot Welding Electrode Taper,” *J. Ilm. Tek. DESAIN Mek.*, vol. 9, no. 1, pp. 858–862, 2020.
- [16] K. S. Imam Ibnu Pamungkas, Nani Mulyaningsih, “Pengaruh Variasi Arus Pengelasan SMAW Terhadap Kekutan Tarik Baja Karbon SS400,” *J. Mer-C*, vol. 2, no. 2, pp. 16–21, 2020.
- [17] Erwin, Husen Asbanu, Yefri Chan, Didik Sugiyanto, and Herry Susanto, “Studi Aplikasi Heat Transfer Menggunakan Sistem Penukar Panas Tipe Shell & Tube di Industri Manufaktur,” *J. Pendidik. Tek. Mesin Undiksha*, vol. 12, no. 1, pp. 29–42, 2024, doi: 10.23887/jptm.v12i1.69071.