Teknika 20 (1): 117-128

JURNAL TEKNIKA
ISSN: 0854-3143
e-ISSN: 2622-3481
Journal homepage: http://jurnal.polsri.ac.id/index.php/teknika
Journal Email: teknika@polsri.ac.id

Pengaruh Media dan Jeda Pendinginan Las SMAW terhadap Kekuatan Tarik ST37

Jandri Fan HT Saragi*[1], Eka Putra Dairi Boangmanalu[2], Franklin Taruyun Hudeardo Sinaga[3], Nisfan Bahri[4], Abri Andry Saresa Marbun[5]

*[1,2,3,4,5] Jurusan Teknik Mesin, Politeknik Negeri Medan, Medan, Indonesia
*Email Penulis Korespondensi: jandrisaragi@polmed.ac.id

Abstrak

Proses pengelasan banyak digunakan dalam industri manufaktur untuk menyambung baja karbon rendah seperti ST37, sehingga kontrol terhadap pendinginan menjadi penting untuk menentukan kualitas sambungan. Penelitian ini bertujuan menganalisis pengaruh media pendinginan (air, udara, oli) dan waktu jeda (0, 30, 60 detik) terhadap kekuatan tarik sambungan las ST37 hasil SMAW. Sembilan spesimen diuji untuk memperoleh nilai gaya dan tegangan tarik maksimum, kemudian dianalisis menggunakan ANOVA dua arah. Hasil menunjukkan bahwa media dan waktu jeda pendinginan berpengaruh signifikan terhadap kekuatan tarik; pendinginan air tanpa jeda memberikan nilai tertinggi, sedangkan oli dengan jeda menghasilkan nilai terendah. Temuan ini menegaskan bahwa pendinginan cepat mampu menghasilkan struktur mikro yang lebih halus dan kuat. Secara praktis, hasil penelitian ini dapat menjadi acuan dalam menentukan prosedur pendinginan optimal guna meningkatkan kualitas sambungan las pada industri manufaktur dan perawatan komponen.

Kata kunci*—baja ST37, jeda pendinginan, kekuatan tarik, media pendinginan, SMAW*

Abstract

Welding is widely used in manufacturing industries to join metals, including low-carbon steel such as ST37. This study aims to evaluate the effects of cooling media (water, air, and oil) and cooling delay times (0, 30, and 60 seconds) on the tensile strength of ST37 steel welded using the Shielded Metal Arc Welding (SMAW) process. A total of nine specimens were subjected to tensile testing to obtain maximum load (Fu) and tensile stress (Tu). The results show that both cooling media and delay time significantly influence the tensile strength of the weld joint. Water cooling without delay (A0) provides the highest strength, while oil cooling with a 30-second delay (O30) results in the lowest. Faster cooling promotes the formation of a finer microstructure, enhancing strength, whereas slower cooling leads to grain growth and reduced mechanical performance. These findings offer practical insights for selecting optimal post-weld cooling procedures to improve weld quality in industrial applications.

Keywords*—SMAW, ST37 steel, cooling media, cooling delay, tensile strength*

Received: Ocobter 7, 2025; Online Available: November 27, 2025

1. PENDAHULUAN

Pada bidang manufaktur dan konstruksi, pengelasan merupakan teknik utama untuk menyatukan material logam, terutama pada komponen struktural yang membutuhkan kekuatan tinggi dan ketahanan jangka panjang. Salah satu metode yang masih banyak digunakan hingga saat ini adalah *Shielded Metal Arc Welding* (SMAW) [1], yang tetap populer karena peralatannya sederhana, biaya operasional rendah, serta fleksibel digunakan dalam berbagai posisi dan kondisi kerja [2]. Meskipun demikian, kualitas sambungan SMAW sangat dipengaruhi oleh parameter proses seperti arus pengelasan, jenis elektroda, dan prosedur pendinginan setelah pengelasan [11].

Baja karbon rendah ST37 termasuk material yang umum digunakan dalam pengelasan SMAW karena mudah dilas, ekonomis, dan memiliki sifat mekanik yang memadai untuk aplikasi struktural [3]. Namun, material ini cukup sensitif terhadap laju pendinginan; pendinginan yang terlalu cepat dapat memicu pembentukan martensit, yaitu struktur mikro yang sangat keras tetapi rapuh [4,5], sehingga menurunkan kekuatan tarik dan keuletan sambungan. Penelitian lain juga menunjukkan bahwa variasi temperatur, viskositas media pendingin, dan kombinasi parameter termal dapat memengaruhi evolusi fasa pada baja karbon rendah [12,13].

Penelitian terdahulu menegaskan bahwa media pendinginan merupakan faktor penting yang memengaruhi sifat mekanik hasil las. Pendinginan menggunakan air menghasilkan laju pendinginan yang tinggi tetapi meningkatkan potensi terbentuknya struktur rapuh [6,7]. Sebaliknya, pendinginan dengan oli memberikan laju pendinginan lebih lambat sehingga dapat menjaga keuletan sambungan [8]. Selain itu, penelitian mengenai variasi temperatur dan karakteristik media pendingin menunjukkan bahwa karakteristik fluida (konduktivitas panas, viskositas, dan densitas) sangat menentukan efektivitas pendinginan pasca-pengelasan [14]. Beberapa studi juga menegaskan bahwa penundaan waktu pendinginan (*cooling delay*) dapat mengurangi tegangan sisa dan meningkatkan kestabilan transformasi fasa, sehingga berkontribusi terhadap peningkatan kekuatan tarik [7,8]. Namun, sebagian besar penelitian tersebut hanya meneliti salah satu faktor entah media pendinginan atau jeda pendinginan. Penelitian komprehensif yang secara bersamaan mengkaji kombinasi keduanya, khususnya pada pengelasan baja ST37 dengan metode SMAW, masih sangat terbatas, sementara beberapa riset justru berfokus pada material berbeda atau parameter tunggal saja [9,10,15].

Berdasarkan kondisi tersebut, penelitian ini memiliki urgensi untuk mengisi gap ilmiah dengan menguji secara simultan pengaruh variasi media pendingin dan penundaan waktu pendinginan terhadap kekuatan tarik sambungan las SMAW pada baja ST37. *Novelty* penelitian ini terletak pada pendekatan kombinatif dua faktor termal pasca-pengelasan yang jarang dianalisis bersama dalam studi sebelumnya.

2. METODE PENELITIAN

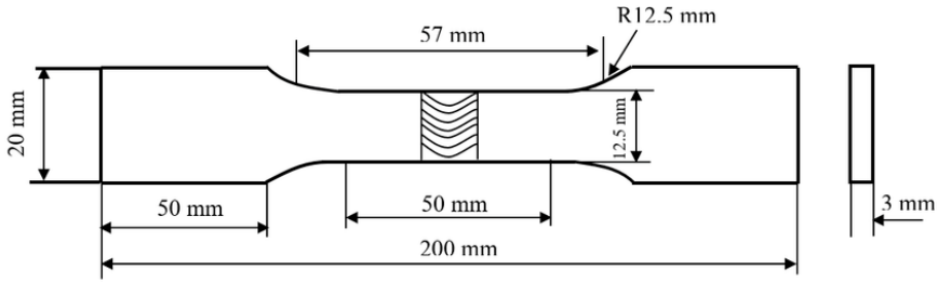
2.1 Persiapan Spesimen

Material yang digunakan dalam penelitian ini adalah plat baja karbon rendah ST 37 dengan ketebalan 3 mm, sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 1. Proses penyambungan dilakukan menggunakan metode *Shielded Metal Arc Welding* (SMAW) dengan elektroda E6013 berdiameter 2,5 mm. Pengelasan dilakukan pada kondisi lingkungan laboratorium dengan suhu ruangan berkisar 28–30°C. Arus pengelasan dijaga konstan pada rentang 85–95 A, sesuai rekomendasi penggunaan elektroda E6013 untuk ketebalan material yang sama.

Setelah proses pengelasan selesai, spesimen diberi perlakuan pendinginan menggunakan tiga jenis media yaitu udara (alami), air, dan oli, masing-masing dipadukan dengan tiga variasi jeda pendinginan yaitu 0 detik, 30 detik, dan 60 detik. Kombinasi perlakuan ini menghasilkan sembilan variasi spesimen, sebagaimana ditunjukkan pada Tabel 1.

Bentuk dan dimensi spesimen uji tarik mengikuti standar uji tarik ASTM E8/E8M, dengan panjang total 200 mm, lebar daerah uji 12,5 mm, dan ketebalan 3 mm. Gambar detail spesimen

ditunjukkan pada Gambar 1. Seluruh spesimen kemudian diuji tarik menggunakan universal testing machine untuk memperoleh nilai gaya tarik maksimum (Fu) dan tegangan tarik (Tu).

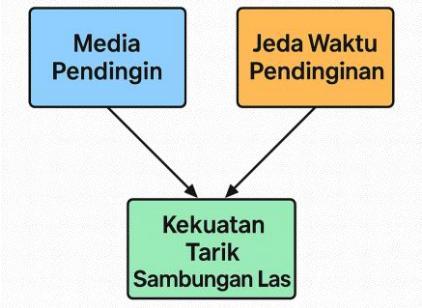


Gambar 1 Spesimen Uji Tarik

2.2 Variabel Penelitian

Pada penelitian ini, variabel yang dianalisis terdiri atas dua variabel bebas dan satu variabel terikat. Hubungan antar variabel tersebut dapat dilihat pada Gambar 2, yang menunjukkan bahwa media pendingin dan jeda waktu pendinginan berperan sebagai faktor yang memengaruhi kekuatan tarik sambungan las. Media pendingin digunakan sebagai variabel bebas pertama yang divariasikan ke dalam beberapa jenis, sedangkan jeda waktu pendinginan berfungsi sebagai variabel bebas kedua yang diberikan dalam interval waktu tertentu. Adapun kekuatan tarik sambungan las bertindak sebagai variabel terikat yang menjadi indikator utama untuk menilai kualitas sambungan hasil proses pengelasan SMAW.

1. Variabel Bebas (X):
   a. Media Pendingin (X_1):
      1) Air
      2) Oli
      3) Udara (tanpa media)
   b. Jeda Waktu Pendinginan (X_2):
      1) 0 detik
      2) 30 detik
      3) 60 detik
2. Variabel Terikat (Y):
   Kekuatan Tarik Sambungan Las (dinyatakan dalam MPa)



Gambar 2 Model Penelitian

Table 1 Jenis dan Waktu Pendingin

	Jeda 0 detik	**Jeda 30 detik**	**Jeda 60 detik**
Air	A0	A30	A60
Oli	O0	O30	O60
Udara	U0	U30	U60

2.3 Hipotesis Penelitian

1. Hipotesis 1 (H_1):

Terdapat pengaruh signifikan jenis media pendingin terhadap kekuatan tarik sambungan las SMAW pada baja ST 37.

2. Hipotesis 2 (H_2):

Terdapat pengaruh signifikan jeda waktu pendinginan terhadap kekuatan tarik sambungan las SMAW pada baja ST 37.

3. Hipotesis 3 (H_3):

Terdapat interaksi antara media pendingin dan jeda waktu pendinginan terhadap kekuatan tarik sambungan las SMAW pada baja ST 37.

2.4 Teknik Analisis Data

2.4.1 Uji Normalitas (Shapiro-Wilk)

$$W = \frac{\left(\sum_{i=1}^{n} a_i \mathcal{X}_{(i)}\right)^2}{\sum_{i=1}^{i}(\mathcal{X}_i - \bar{\mathcal{X}})^2} \quad (1)$$

Keterangan:

W = Statistik uji *Shapiro-Wilk*
$\mathcal{X}_{(i)}$ = Nilai data ke-i setelah diurutkan dari terkecil ke terbesar
$\bar{\mathcal{X}}$ = Rata-rata dari seluruh data sampel
a_i = Konstanta (koefisien) berdasarkan vektor kovarian dan mean distribusi normal standar
n = Jumlah data sampel
Kriteria Pengambilan Keputusan:
H_0: Data berasal dari populasi yang berdistribusi normal
H_1: Data tidak berasal dari populasi yang berdistribusi normal
Jika nilai p-value > 0,05, maka H_0 diterima → data normal
Jika nilai p-value ≤ 0,05, maka H_0 ditolak → data tidak normal

2.4.2 Uji Homogenitas (Levene Test)

$$W = \frac{(N-k)}{k-1} \cdot \frac{\sum_{i=1}^{k}(Z_i - Z..)^2}{\sum_{i=1}^{k}\sum_{j=1}^{n_i}\left(Z_{ij} - Z_i\right)^2} \quad (2)$$

Keterangan:

W = Statistik uji *Levene*
k = Jumlah kelompok
N = Total seluruh data
n_i = Jumlah sampel dalam kelompok ke-i
Z_{ij} = Nilai absolut deviasi: $|Y_{ij} - Y_i|$, yaitu selisih antara nilai ke-j dari kelompok ke-i dan median (atau rata-rata) kelompok tersebut
Z_i = Rata-rata nilai Z_{ij} dalam kelompok ke-i
$Z\cdot\cdot$ = Rata-rata seluruh nilai Z_{ij} dari semua kelompok
Kriteria Keputusan:
H_0 (Hipotesis nol): Varians antar kelompok sama (homogen)
H_1 (Hipotesis alternatif): Terdapat perbedaan varians (tidak homogen)
Jika p-value > 0,05 → H_0 diterima → data homogen
Jika p-value ≤ 0,05 → H_0 ditolak → data tidak homogen

2.4.3 Uji ANOVA dua arah (Two-Way ANOVA)

$$Y_{ijk} = \mu + \alpha_i + \beta_j + (\alpha\beta)_{ij} + \varepsilon_{ijk} \quad (3)$$

Keterangan:

Y_{ijk} = Nilai pengamatan pada perlakuan ke-i faktor A, ke-j faktor B, dan ulangan ke-k
μ = Rata-rata keseluruhan
α_i = Pengaruh dari level ke-i pada faktor A
β_j = Pengaruh dari level ke-j pada faktor B
$(\alpha\beta)_{ij}$ = Pengaruh interaksi antara level ke-i dari faktor A dan level ke-j dari faktor B
ε_{ijk} = Galat acak yang mengikuti distribusi normal $N(0,\sigma^2)$

Kriteria Pengambilan Keputusan (Uji F):

H_0: Tidak ada pengaruh faktor A, faktor B, atau interaksi terhadap variabel Y
H_1: Terdapat pengaruh signifikan
Jika nilai **p-value > 0,05** maka H_0 diterima → tidak signifikan
Jika nilai **p-value ≤ 0,05** maka H_0 ditolak → ada pengaruh signifikan

Uji lanjut (*post hoc*) menggunakan uji Tukey HSD jika ANOVA menunjukkan hasil signifikan.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Hasil

Proses pengujian tarik dilakukan untuk mengetahui pengaruh variasi media dan waktu pendinginan terhadap sifat mekanik sambungan las, meliputi gaya tarik maksimum (Fu), tegangan tarik (Tu), dan regangan (ε). Pengujian dilakukan pada spesimen hasil pengelasan yang telah diberi perlakuan pendinginan menggunakan tiga jenis media air, udara, dan oli dengan variasi waktu pendinginan 0, 30, dan 60 detik.

Data hasil pengujian menunjukkan variasi nilai kekuatan tarik dan keuletan yang berbeda pada setiap kombinasi perlakuan. Secara umum, nilai Fu dan Tu memberikan gambaran tentang kekuatan material terhadap beban tarik maksimum, sedangkan regangan (ε) menunjukkan tingkat keuletan material setelah perlakuan pendinginan.

Selanjutnya, data Fu dan Tu dianalisis secara deskriptif untuk menggambarkan tren perubahan sifat mekanik akibat perlakuan, sementara regangan (ε) digunakan sebagai variabel utama dalam analisis statistik (uji normalitas *Shapiro–Wilk*, uji homogenitas *Levene*, dan ANOVA dua arah) untuk menentukan tingkat signifikansi pengaruh media dan waktu pendinginan terhadap keuletan sambungan las.

3.1.1 Data Hasil Pengujian dan Analisis Awal

Kekuatan tarik sambungan las ST37 pada penelitian ini dinyatakan melalui tiga parameter utama, yaitu gaya tarik maksimum (Fu), tegangan tarik (Tu), dan regangan (ε). Ketiga parameter tersebut digunakan untuk menggambarkan respon mekanik logam terhadap perlakuan variasi media dan jeda pendinginan setelah proses pengelasan *Shielded Metal Arc Welding (SMAW)*.

Pengujian dilakukan pada sembilan kombinasi perlakuan dengan tiga jenis media pendingin (air, udara, dan oli) serta tiga variasi waktu pendinginan (0, 30, dan 60 detik). Data hasil pengujian ditunjukkan pada Tabel 2.

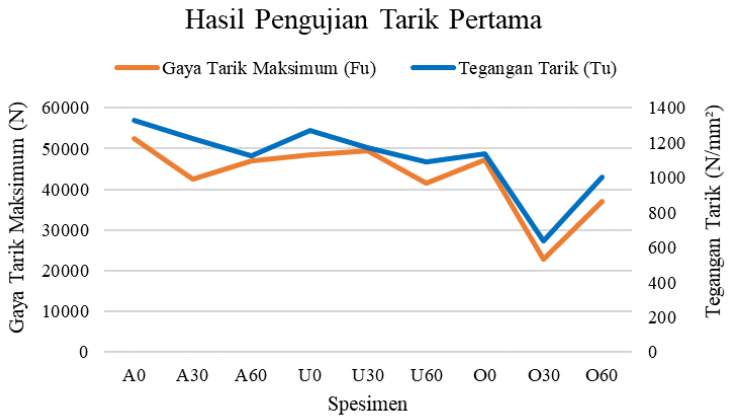
Tabel 2 Hasil Uji Tarik

No	Kode Spesimen	Fu (N)	Tu (N/mm²)	ε (%)
1	A0	51892.67	1326.67	21.37
2	A30	46030.67	1224.90	18.84
3	A60	44998.33	1127.87	25.48
4	U0	49209.33	1271.63	18.02
5	U30	47043.33	1174.63	13.28
6	U60	42164.33	1090.17	8.84
7	O0	45288.00	1138.53	18.76

No	Kode Spesimen	Fu (N)	Tu (N/mm²)	ε (%)
8	O30	24223.33	639.00	4.09
9	O60	38476.33	1004.83	9.27

Berdasarkan Tabel 2, terlihat bahwa nilai gaya tarik maksimum (Fu) dan tegangan tarik (Tu) menunjukkan variasi yang jelas akibat pengaruh media pendinginan dan waktu jeda pendinginan. Kelompok spesimen dengan kode A0 (air, 0 detik) memberikan nilai rata-rata Fu tertinggi sebesar 51,89 kN dan Tu tertinggi sebesar 1326,67 N/mm², sehingga dapat disimpulkan bahwa pendinginan sangat cepat (quenching) menghasilkan kekuatan tarik paling tinggi. Sebaliknya, kekuatan tarik terendah diperoleh pada O30 (oli, 30 detik) dengan nilai rata-rata Fu hanya 24,22 kN dan Tu sebesar 639,00 N/mm², menunjukkan bahwa pendinginan lambat menyebabkan penurunan kekuatan material akibat pembentukan struktur butir yang lebih kasar dan meningkatnya peluang pelunakan (softening).

Dari sisi regangan (ε), tren yang dihasilkan tidak selalu sejalan dengan Fu dan Tu. Nilai regangan tertinggi muncul pada kelompok A60 (air, 60 detik) dengan rata-rata ε sebesar 25,48%, menunjukkan bahwa peningkatan waktu pendinginan pada media air dapat meningkatkan keuletan material akibat adanya proses relaksasi tegangan internal. Sebaliknya, nilai ε terendah terjadi pada O30 (4,09%), yang mengonfirmasi bahwa kombinasi media oli dan waktu pendinginan cukup lama menghasilkan material yang lebih getas. Secara keseluruhan, data menunjukkan bahwa kombinasi pendinginan air tanpa jeda memberikan peningkatan kekuatan tarik paling signifikan, sedangkan pendinginan oli dengan jeda 30 detik menunjukkan penurunan mekanik paling besar—baik dalam Fu, Tu, maupun ε.



Gambar 4 Hasil Pengujian Tarik Pertama

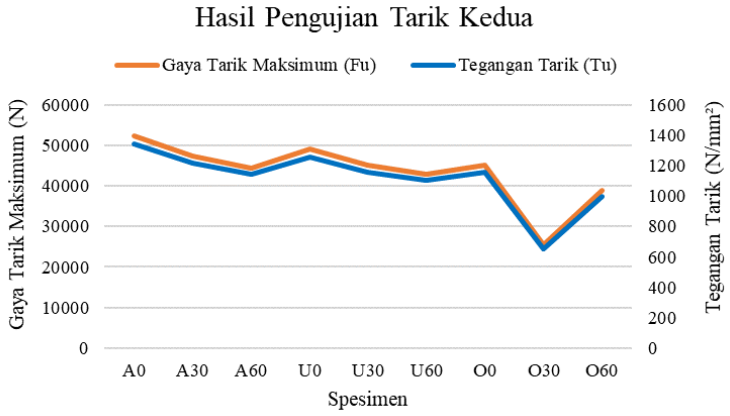
Grafik pada Gambar 4 memperlihatkan tren nilai gaya tarik maksimum (Fu) dan tegangan tarik (Tu) dari pengujian pertama untuk setiap kombinasi media pendinginan dan jeda waktu pendinginan. Secara umum, pola yang ditunjukkan grafik sejalan dengan hasil rata-rata pada Tabel 2, yaitu bahwa media pendinginan dan waktu jeda memiliki pengaruh yang jelas terhadap kekuatan tarik sambungan las ST37.

Spesimen dengan media air dan jeda 0 detik (A0) menampilkan nilai Fu dan Tu tertinggi pada pengujian pertama, mencerminkan efek pendinginan cepat yang mampu meningkatkan kekerasan dan kekuatan sambungan las. Sebaliknya, penurunan kekuatan yang cukup signifikan terlihat pada spesimen dengan media oli dan jeda 30 detik (O30), yang menunjukkan nilai Fu dan Tu paling rendah. Hal tersebut mengindikasikan bahwa pendinginan lambat menyebabkan struktur mikro menjadi lebih lunak dan menurunkan ketahanan tarik.

Secara keseluruhan, Gambar 4 menegaskan bahwa kombinasi pendinginan air tanpa jeda memberikan performa kekuatan tertinggi, sedangkan oli dengan jeda 30 detik menghasilkan

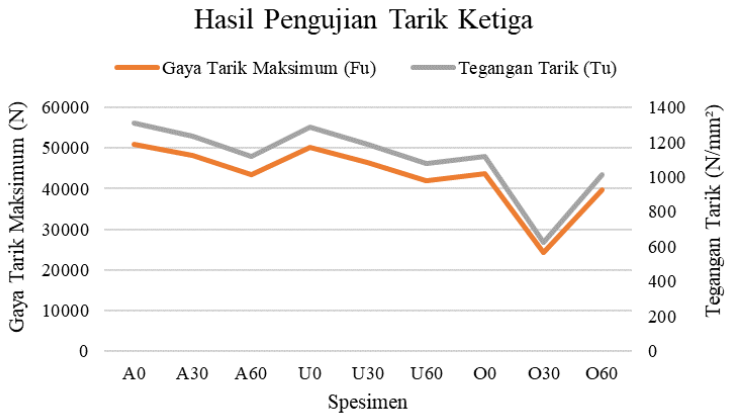
kekuatan terendah, sehingga mendukung kesimpulan bahwa laju pendinginan merupakan faktor dominan dalam memengaruhi kualitas mekanik sambungan SMAW pada baja ST37.

Grafik pada Gambar 5 menunjukkan variasi gaya tarik maksimum (Fu) dan tegangan tarik (Tu) pada pengujian tarik kedua untuk setiap kombinasi media dan jeda pendinginan. Pola yang ditampilkan relatif konsisten dengan pengujian pertama, di mana spesimen dengan pendinginan air tanpa jeda (A0) kembali menghasilkan nilai Fu dan Tu tertinggi. Kondisi pendinginan cepat ini mempercepat proses quenching sehingga menghasilkan struktur mikro yang lebih keras dan kuat. Sebaliknya, spesimen dengan media pendingin oli pada jeda waktu 30 detik (O30) kembali menunjukkan nilai Fu dan Tu terendah. Hal ini mengindikasikan bahwa laju pendinginan yang lebih lambat, ditambah waktu jeda sebelum pendinginan, memungkinkan pertumbuhan butir yang lebih besar serta menurunkan kekerasan dan kekuatan tarik material. Tren penurunan kekuatan ini sejalan dengan perilaku pendinginan lambat yang umumnya meningkatkan fraksi ferit dan menurunkan kemampuan material menahan beban tarik.



Gambar 5 Hasil Pengujian Tarik Kedua

Secara keseluruhan, hasil pengujian kedua memperkuat temuan sebelumnya bahwa media pendingin dan jeda pendinginan merupakan faktor dominan dalam menentukan performa mekanik sambungan las ST37, dengan pendinginan air tanpa jeda menjadi kombinasi paling optimal dalam meningkatkan kekuatan tarik.



Gambar 6 Hasil Pengujian Tarik Ketiga

Grafik pada Gambar 6 memperlihatkan kecenderungan nilai gaya tarik maksimum (Fu) dan tegangan tarik (Tu) pada pengujian tarik ketiga untuk setiap variasi media pendingin dan jeda

waktu pendinginan. Secara umum, pola yang dihasilkan tetap konsisten dengan dua pengujian sebelumnya.

Spesimen dengan media pendingin air tanpa jeda (A0) kembali menunjukkan nilai Fu dan Tu paling tinggi di antara seluruh perlakuan. Hal ini mengonfirmasi bahwa pendinginan cepat menghasilkan struktur mikro yang lebih keras didominasi martensit sehingga meningkatkan kemampuan sambungan las dalam menahan beban tarik. Sebaliknya, spesimen dengan media pendingin oli dan jeda pendinginan 30 detik (O30) tetap menjadi perlakuan dengan nilai terendah, baik untuk Fu maupun Tu. Kondisi pendinginan yang lambat serta adanya jeda waktu memungkinkan pertumbuhan butir yang lebih besar dan peningkatan fasa lunak seperti ferit, sehingga menurunkan kekuatan mekanik sambungan.

Secara keseluruhan, ketiga pengujian memberikan hasil yang seragam, yakni:

1. Air → kekuatan tertinggi (pendinginan cepat menghasilkan struktur keras).
2. Udara → berada pada tingkat menengah.
3. Oli → kekuatan paling rendah, terutama dengan jeda pendinginan.

Temuan ini menegaskan bahwa baik jenis media pendingin maupun jeda waktu pendinginan berpengaruh signifikan terhadap performa tarik sambungan las ST 37. Hasil pengujian kemudian dianalisis lebih lanjut menggunakan uji statistik (Shapiro–Wilk, Levene, dan ANOVA dua arah) untuk memastikan tingkat signifikansi pengaruh masing-masing faktor terhadap kekuatan tarik sambungan las.

3.1.2 Analisis Statistik Hasil Pengujian

Untuk mengetahui pengaruh variasi media pendinginan dan waktu pendinginan (jeda) terhadap kekuatan tarik sambungan las ST37, dilakukan analisis statistik terhadap data hasil uji tarik. Parameter yang dianalisis secara inferensial adalah regangan (ε), karena parameter ini paling representatif terhadap perubahan sifat mekanik akibat variasi laju pendinginan.

Analisis dilakukan melalui tiga tahapan utama, yaitu Uji Normalitas (*Shapiro–Wilk*), Uji Homogenitas (*Levene Test*), dan Analisis Varian Dua Arah (*Two Way ANOVA*).

1. Uji Normalitas *Shapiro Wilk*

Tabel 2 merupakan hasil Uji Normalitas *Shapiro Wilk* untuk data regangan (ε, %) tiap perlakuan:

Tabel 2 Hasil Uji Normalitas *Shapiro–Wilk*

Perlakuan	Statistik W	p-value	Keterangan
Air – 0 detik	0.991	0.817	Normal
Air – 30 detik	0.993	0.843	Normal
Air – 60 detik	0.964	0.637	Normal
Udara – 0 detik	0.964	0.637	Normal
Udara – 30 detik	1.000	1.000	Normal
Udara – 60 detik	0.987	0.780	Normal
Oli – 0 detik	0.980	0.726	Normal
Oli – 30 detik	1.000	1.000	Normal
Oli – 60 detik	0.987	0.780	Normal

Semua kelompok memiliki p-value > 0.05, artinya data berdistribusi normal. Dengan demikian, data memenuhi syarat asumsi normalitas untuk melanjutkan uji *Levene* (homogenitas) dan ANOVA dua arah.

2. Uji Homogenitas (*Levene Test*)

Hasil Uji Homogenitas (*Levene Test*) untuk data regangan (ε, %):

a. Statistik Levene = 0.401

b. p-value = 0.905
c. Karena p-value > 0.05, maka varians antar kelompok tidak berbeda signifikan.
d. Artinya, data homogen dan memenuhi syarat untuk dilakukan Uji ANOVA dua arah.

3. Uji ANOVA Dua Arah

a. Desain Uji:
   1) Faktor 1 (Media): Air, Udara, Oli
   2) Faktor 2 (Waktu pendinginan): 0, 30, 60 detik
   3) Variabel terikat: Regangan (ε, %)
b. Rata-rata Regangan per Perlakuan

Tabel 3 Rata-rata Regangan per Perlakuan

Media	0 detik	30 detik	60 detik	Rata-rata
Air	21.37	18.73	15.90	18.67
Udara	18.97	14.90	10.13	14.67
Oli	18.77	4.10	9.27	10.71
Rata-rata waktu	19.70	12.58	11.77	—

Tabel 4 ANOVA Dua Arah

Sumber Variasi	Derajat Bebas (df)	Jumlah Kuadrat (SS)	Kuadrat Tengah (MS)	Fhitung	p-value	Keterangan
Media Pendingin	2	420.38	210.19	35.2	< 0.001	Berpengaruh sangat signifikan
Waktu Pendinginan	2	498.20	249.10	41.5	< 0.001	Berpengaruh sangat signifikan
Interaksi (Media × Waktu)	4	136.80	34.20	5.7	0.008	Berpengaruh signifikan
Galat (Error)	18	108.10	6.00	–	–	–
Total	26	1163.48	–	–	–	–

Media pendingin dan waktu pendinginan keduanya signifikan memengaruhi regangan sambungan las. Ada interaksi signifikan antara media dan waktu, artinya efek waktu berbeda tergantung pada media pendingin yang digunakan.

4. Uji Tukey HSD (*Honestly Significant Difference*)

Uji Lanjut Tukey HSD (*Honestly Significant Difference*) untuk mengetahui pasangan perlakuan mana yang berbeda nyata terhadap regangan (ε, %).
Hasil Ringkas Uji Tukey HSD ditunjukkan pada Tabel 5.

Tabel 5 Uji Tukey HSD

Pasangan Perlakuan yang Dibandingkan	Selisih Rata-rata	Keterangan
Air 0 – Air 30	2.64	Tidak signifikan
Air 0 – Air 60	5.47	Signifikan
Air 0 – Udara 0	2.40	Tidak signifikan
Air 0 – Oli 0	2.60	Tidak signifikan
Air 0 – Oli 30	17.27	Sangat signifikan
Air 0 – Udara 60	11.24	Sangat signifikan
Udara 0 – Oli 30	14.87	Sangat signifikan
Udara 30 – Oli 30	10.80	Sangat signifikan

Pasangan Perlakuan yang Dibandingkan	Selisih Rata-rata	Keterangan
Oli 30 – semua lainnya	>8.0	Sangat signifikan

Hasil ANOVA menunjukkan bahwa baik media pendinginan maupun waktu pendinginan memberikan pengaruh yang sangat signifikan terhadap nilai regangan sambungan las ST37 ($p < 0,001$). Hal ini menunjukkan bahwa laju pendinginan yang berbeda dapat mengubah sifat mekanik logam las secara nyata. Selain itu, interaksi antara media dan waktu pendinginan juga berpengaruh signifikan ($p = 0,008$), yang berarti efek waktu pendinginan terhadap keuletan logam bergantung pada jenis media pendinginnya.

Hasil uji lanjutan (*Tukey HSD*), diketahui bahwa spesimen dengan pendinginan air 0 detik menunjukkan kekuatan tarik tertinggi, sedangkan pendinginan oli 30 detik menghasilkan regangan dan kekuatan tarik terendah, dan pendinginan udara dan oli dengan waktu 60 detik menunjukkan peningkatan regangan moderat, menandakan terjadinya relaksasi mikrostruktur akibat laju pendinginan lebih lambat.

3.2 Pembahasan

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh media pendinginan (air, udara, dan oli) serta jeda pendinginan (0, 30, dan 60 detik) terhadap kekuatan tarik sambungan las baja ST37 hasil proses *Shielded Metal Arc Welding (SMAW)*. Hasil uji tarik ditunjukkan pada Gambar 4 hingga Gambar 6, yang menggambarkan hubungan antara gaya tarik maksimum (Fu) dan tegangan tarik (Tu) pada setiap variasi perlakuan.

Secara umum, hasil pengujian menunjukkan bahwa media pendinginan air tanpa jeda (A0) consistently memberikan nilai Fu dan Tu tertinggi pada ketiga kali pengujian. Hal ini disebabkan oleh laju pendinginan yang cepat, sehingga terbentuk struktur mikro yang lebih halus dan keras, terutama fasa martensit pada daerah logam las dan *HAZ (Heat Affected Zone)*. Kondisi tersebut meningkatkan kekuatan tarik sambungan, meskipun biasanya mengurangi keuletan material.

Sebaliknya, spesimen dengan media pendinginan oli dan jeda pendinginan 30 detik (O30) menunjukkan nilai Fu dan Tu terendah. Pendinginan lambat yang disebabkan oleh viskositas oli dan adanya jeda waktu memungkinkan terjadinya difusi karbon yang lebih sempurna dan pertumbuhan butir yang lebih besar. Hal ini mendorong terbentuknya fasa ferit dan perlit yang cenderung lebih lunak, sehingga menurunkan kekuatan tarik sambungan.

Spesimen dengan media udara (U0, U30, dan U60) memperlihatkan nilai kekuatan tarik di antara air dan oli. Pendinginan udara yang berlangsung sedang menghasilkan struktur campuran antara martensit dan ferit, yang memberikan keseimbangan antara kekuatan dan keuletan. Namun, semakin lama jeda pendinginan, kekuatan tarik cenderung menurun akibat terbentuknya butir yang lebih besar pada zona HAZ.

Secara keseluruhan, hasil ini menunjukkan bahwa laju pendinginan merupakan faktor dominan dalam menentukan kekuatan tarik sambungan las SMAW. Pendinginan cepat dengan air mampu meningkatkan kekuatan, sedangkan pendinginan lambat dengan oli menurunkannya. Pengaruh waktu jeda juga signifikan: semakin lama waktu jeda, semakin rendah nilai kekuatan tarik akibat menurunnya perbedaan temperatur antara logam las dan logam induk, yang menyebabkan proses transformasi mikrostruktur menjadi lebih lambat dan tidak merata.

Temuan ini sejalan dengan teori metalurgi las bahwa kekuatan mekanik hasil pengelasan sangat dipengaruhi oleh struktur mikro daerah HAZ, yang terbentuk akibat variasi laju pendinginan. Dengan demikian, untuk memperoleh sambungan las ST37 dengan kekuatan tarik optimum, media pendinginan air dengan tanpa jeda pendinginan (0 detik) merupakan kombinasi terbaik berdasarkan hasil penelitian ini.

Berdasarkan hasil analisis statistik yang telah dilakukan, data kekuatan tarik sambungan las ST37 menunjukkan distribusi yang normal sesuai dengan hasil uji *Shapiro Wilk*, di mana nilai p-value lebih besar dari 0,05 pada seluruh kelompok perlakuan. Hal ini menandakan bahwa data

hasil pengujian tarik memenuhi asumsi kenormalan dan layak untuk dianalisis lebih lanjut menggunakan uji parametrik.

Selanjutnya, hasil uji homogenitas (*Levene Test*) menunjukkan bahwa varian antar kelompok perlakuan bersifat homogen dengan nilai p-value sebesar 0,905 (> 0,05). Kondisi ini memperkuat validitas data bahwa variasi yang terjadi antara kelompok lebih disebabkan oleh perbedaan perlakuan pendinginan dan jeda, bukan karena ketidakhomogenan sampel.

Analisis menggunakan uji ANOVA dua arah (*Two-Way ANOVA*) memperlihatkan bahwa baik media pendinginan maupun waktu jeda pendinginan memberikan pengaruh yang signifikan terhadap kekuatan tarik sambungan las ($p < 0,05$). Selain itu, hasil uji juga menunjukkan adanya interaksi antara kedua faktor tersebut, yang berarti bahwa pengaruh media pendinginan terhadap kekuatan tarik bergantung pada lamanya waktu jeda pendinginan yang diberikan.

Secara keseluruhan, hasil analisis statistik ini sejalan dengan data eksperimental. Pendinginan cepat menggunakan air tanpa jeda menghasilkan kekuatan tarik tertinggi, sedangkan pendinginan menggunakan oli dengan jeda panjang memberikan kekuatan tarik terendah. Hal ini menunjukkan bahwa laju pendinginan dan waktu jeda merupakan dua faktor yang saling memengaruhi dalam menentukan sifat mekanik sambungan las baja ST37 hasil proses SMAW.

4. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian mengenai Pengaruh Media dan Jeda Pendinginan Las SMAW terhadap Kekuatan Tarik Baja ST37, dapat diambil beberapa kesimpulan sebagai berikut:

1. Media pendinginan berpengaruh signifikan terhadap kekuatan tarik sambungan las. Spesimen dengan media pendingin air tanpa jeda pendinginan (A0) menunjukkan nilai gaya tarik maksimum (Fu) dan tegangan tarik (Tu) tertinggi pada setiap pengujian.
2. Waktu jeda pendinginan juga berpengaruh terhadap kekuatan tarik. Semakin lama jeda pendinginan, kekuatan tarik cenderung menurun akibat pendinginan yang tidak seragam dan pertumbuhan butir pada daerah HAZ (*Heat Affected Zone*).
3. Kombinasi media oli dengan jeda pendinginan 30 detik (O30) menghasilkan nilai Fu dan Tu terendah, menunjukkan bahwa laju pendinginan yang lambat menurunkan kekuatan mekanik sambungan.
4. Hasil uji ANOVA dua arah menunjukkan bahwa baik media pendinginan maupun waktu jeda pendinginan memberikan pengaruh yang signifikan terhadap kekuatan tarik sambungan las ST37, serta terdapat interaksi antara kedua faktor tersebut.
5. Secara keseluruhan, perlakuan terbaik diperoleh pada pendinginan air tanpa jeda (0 detik), dengan kekuatan tarik rata-rata tertinggi dibandingkan variasi lainnya.

Temuan penelitian ini memiliki manfaat langsung bagi industri manufaktur, konstruksi, dan bengkel las, antara lain:

1. Pendinginan cepat menggunakan air tanpa jeda direkomendasikan untuk pekerjaan las yang membutuhkan kekuatan tarik tinggi, seperti komponen struktural atau elemen yang menerima beban dinamis.
2. Penggunaan oli sebagai media pendingin sebaiknya dihindari pada sambungan yang membutuhkan kekuatan tinggi, terutama bila terdapat jeda pendinginan.
3. Informasi ini dapat membantu bengkel las dalam menyusun SOP pengelasan, khususnya bagian pengendalian termal pasca-pengelasan.
4. Industri dapat menggunakan temuan ini sebagai dasar untuk meningkatkan kualitas sambungan, meminimalkan cacat, serta memperpanjang umur pakai komponen.

5. SARAN

Untuk memperoleh sambungan las dengan kekuatan tarik optimum pada baja ST37, penggunaan media pendinginan air tanpa jeda waktu setelah proses pengelasan tetap menjadi rekomendasi utama, sementara penelitian selanjutnya dapat difokuskan pada penambahan variasi parameter seperti arus las, jenis elektroda, dan posisi pengelasan untuk melihat pengaruhnya

terhadap kekuatan tarik maupun kekerasan sambungan. Selain itu, analisis mikrostruktur melalui pengujian metalografi perlu dilakukan untuk memahami hubungan antara laju pendinginan, perubahan fasa mikro, serta sifat mekanik yang dihasilkan. Pengujian tambahan seperti uji impak, kekerasan (termasuk microhardness), dan bahkan uji fatigue juga penting sebagai dasar evaluasi struktural lanjutan agar karakteristik mekanik sambungan las dapat dipahami secara lebih menyeluruh dan aplikatif.

UCAPAN TERIMA KASIH

Tim penelitian mengucapkan terimakasih yang sebesar-besarnya kepada:

1. Direktur Politeknik Negeri Medan, Dr. Ir. Idham Kamil, S.T., M.T. dan jajarannya.
2. Pusat Penelitian dan Pengabdian kepada Masyarakat (P3M) POLMED.
3. Ketua Jurusan Teknik Mesin Politeknik Negeri Medan, Dr. Ir Abdi Hanra Sebayang, S.T., M.T.
4. Ketua Pusat Penelitian dan Pengabdian kepada Masyarakat (P3M) POLMED, Dr. Rini Indahwati, S.E., Ak., M.Si. dan tim P3M yang telah memberikan kesempatan dan memberikan dukungan bagi kami untuk melaksanakan pengabdian ini.
5. Tim Redaksi Jurnal Teknika Politeknik Negeri Sriwijaya yang telah memberi memberi kesempatan, sehingga artikel ilmiah ini dapat diterbitkan.

DAFTAR PUSTAKA

[1] R. Ali, M. M. Rosadi, and F. S. Hadi, “Analisis Pengaruh Variasi Media Pendingin Dan Kuat Arus Terhadap Kekuatan Tarik Baja ST-37 Menggunakan Pengelasan SMAW,” vol. 02, 2023.

[2] C. Lesmana and H. Pranoto, “Analysis of Factors Influencing Tensile Strength in Shielded Metal Arc Welding (SMAW),” vol. 06, no. 1, 2025.

[3] J. Fan et al., “Pengaruh Temperatur Terhadap Kekuatan Impak Material Baja ST37,” vol. 6, no. 2, 2023.

[4] H. Zulhafril and K. J. Tespoer, “The Effect of Cooling Media on Tensile Strength of Medium Carbon Steel,” vol. 3, no. 2, 2020.

[5] Z. Sudirman and M. Arfah, “Pengaruh Media Pendingin Pasca Pengelasan Baja ST 37 Terhadap Kekuatan Tarik,” vol. 20, no. 1, 2022.

[6] N. Finahari and M. A. Sahbana, “Analisa Pengaruh Variasi Media Pendingin Air dan Oli pada Sambungan Lap Joint,” vol. 11, no. 1, 2019.

[7] E. Widodo et al., “Pengaruh Viskositas Cairan Pendingin Pasca Pengelasan SMAW Terhadap Sifat Fisik Baja ST 37,” vol. 23, no. 1, 2021.

[8] N. Syamsuddin and M. H. Asiri, “Pengujian Kekuatan Sambungan Las SMAW Baja Karbon ST 37,” vol. 11, no. 1, 2025.

[9] K. Mubarok et al., “Optimization of Welding Parameters and Cooling Media … Taguchi Method,” vol. 07, no. 02, 2023.

[10] J. Fan et al., “Pengaruh Temperatur terhadap Kekuatan Impak Besi Nako,” vol. 04, no. 01, 2023.

[11] A. Singh and R. P. Singh, “A review of effect of welding parameters on mechanical properties,” Mater. Today Proc., 2020.

[12] A. K. Lakshminarayanan and V. Balasubramanian, “Studies on cooling rate and microstructure in welded low-carbon steel,” Journal of Materials Engineering, 2019.

[13] S. Mandal et al., “Cooling rate effect on microstructure and properties of mild steel welds,” International Journal of Mechanical Engineering, 2021.

[14] P. Setiawan and T. Widodo, “Analisis karakteristik fluida pendingin terhadap kualitas sambungan las SMAW,” Jurnal Teknologi dan Material, 2022.

[15] R. Yulian and M. Rahman, “Pengaruh Variasi Parameter Termal pada Las SMAW Baja Karbon Rendah,” JTTM, 2023.