



ISSN 2338-0322

JURNAL TEKNIK PERKAPALAN

Jurnal Hasil Karya Ilmiah Lulusan S1 Teknik Perkapalan Universitas Diponegoro

Pengaruh *Post Weld Heat Treatment* Terhadap Kekuatan Tarik dan Impak Pada Pengelasan *Dissimilar* Baja ASTM A36 dan S50C

Muhammad Farrel Apriliansyah^{*)}, Hartono Yudo¹⁾, Ahmad Fauzan Zakki¹⁾

¹⁾Laboratorium Teknologi Material, Las, dan Produksi Kapal

Departemen Teknik Perkapalan, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro

Jl. Prof. Soedarto, SH, Kampus Undip Tembalang, Semarang, Indonesia 50275

^{*)}e-mail : mhdfarell147@gmail.com

Abstrak

Penelitian ini menyelidiki hasil pengelasan *dissimilar* pada baja ASTM A36 dan S50C, dimana diperlukan perhatian tersendiri untuk menghasilkan kualitas sambungan las yang kuat. Salah satu caranya dengan menggunakan *Post Weld Heat Treatment*, yang diakui dapat mengurangi tegangan sisa, dan meningkatkan sifat mekanik sambungan las. Tujuan penelitian ini adalah untuk mencari pengaruh suhu dan durasi *Post Weld Heat Treatment* pada pengelasan *dissimilar* baja ASTM A36 dan S50C, yang dilihat dari nilai kekuatan tarik dan ketangguhan impak. Metode penelitian meliputi persiapan spesimen baja ASTM A36 dan S50C, perlakuan panas pada suhu 500°C dan 600°C dengan durasi 30 menit dan 60 menit, serta pengujian mekanis sesuai dengan standar ASTM, termasuk ASTM A8 untuk uji tarik dan ASTM E23 uji impak. Hasil penelitian menunjukkan bahwa suhu 500°C dengan durasi 60 menit memberikan peningkatan kekuatan tarik dan ketangguhan impak, sedangkan suhu 600°C menunjukkan penurunan kekuatan tarik dan ketangguhan impak, namun meningkatkan kekuatan material. Dapat disimpulkan bahwa suhu dan durasi perlakuan panas yang lebih rendah memberikan hasil yang lebih optimal, dikarenakan pada suhu lebih tinggi menyebabkan perubahan mikrostruktur yang lebih signifikan yang dapat mengurangi kekuatan tarik dan ketangguhan impak. Sehingga pemilihan suhu dan durasi perlakuan panas yang sesuai memiliki peran yang penting dalam memperoleh hasil terbaik.

Kata Kunci : PWHT, Pengelasan *Dissimilar*, SMAW, ASTM 36, S50C

1. PENDAHULUAN

Proses pengelasan merupakan salah satu teknik penggabungan material yang banyak digunakan dalam berbagai industri. Pengelasan berdasarkan bahan dapat dibagi menjadi dua, yaitu pengelasan dengan bahan yang sama (*similar welding*) dan pengelasan dengan bahan yang berbeda (*dissimilar welding*) [1][2]. Pengelasan *dissimilar* merupakan pengelasan dengan menggabungkan dua logam yang berbeda [3][4][5]. Salah satu contoh umum dari pengelasan *dissimilar* yaitu penggabungan baja ASTM A36 karbon rendah dengan baja S50C karbon menengah. Pengelasan kedua material ini akan menimbulkan hasil kualitas sambungan, terhadap kekuatan dan ketangguhannya [6][7].

Pada pembentukan sambungan las kedua baja yang berbeda akan menggunakan pengelasan *Shielded Metal Arc Welding*

(SMAW) karena pengelasan ini mampu untuk menghasilkan sambungan yang kuat dan tahan lama pada berbagai jenis logam, termasuk sambungan dengan logam yang berbeda [8][9][10]. Pengelasan tersebut akan menghasilkan tegangan sisa yang tinggi pada sambungan las dan akan menyebabkan retak setelah pengelasan. Dengan menggunakan perlakuan panas akan mengurangi tegangan sisa dan meningkatkan ketangguhan yang terjadi antara dua baja yang berbeda [11][12]. terutama pada logam yang berbeda seperti baja ASTM A36 dan S50C.

Dengan memastikan kualitas sambungan yang kuat dan tahan lama, karena sifat mekanik material yang berbeda dapat menyebabkan komplikasi seperti retak panas dan tegangan sisa [13][14]. Untuk mengatasi masalah ini salah satu teknik yang sering digunakan adalah *Post Weld Heat Treatment* (PWHT) atau

perlakuan panas untuk mengurangi efek dari sifat mekanik material dalam *dissimilar* dengan mengurangi tegangan sisa, meningkatkan sifat mekanik dari sambungan las dan struktur mikro [15][16][17]. Perlakuan panas akan membantu meredakan tekanan dan mengembalikan integritas struktural sambungan las pada baja yang berbeda [18][19].

Penelitian ini menggunakan variasi suhu dan durasi terhadap perlakuan panas dalam melihat perubahan struktur mikro dan kinerja mekanis dari pengelasan dissimilar. Suhu yang lebih tinggi akan meningkatkan proses difusi pada pengurangan tegangan sisa, sementara durasi yang semakin tinggi akan memungkinkan transformasi yang berlangsung cepat dan tegangan sisa akan cepat direduksi [20][21]. Pada studi terdahulu dari R. K. Aninda (2024) menyatakan bahwa PWHT dapat meningkatkan kekuatan tarik dengan mengurangi tegangan sisa dan memperbaiki struktur mikro pada sambungan las, namun dapat mengurangi kekerasan [22]. Di sisi lain, pada studi sebelumnya dari F. Widya (2024) juga menemukan bahwa suhu PWHT yang terlalu tinggi dapat menurunkan kekuatan tarik, dikarenakan dapat menyebabkan ketidakstabilan termal pada material [23].

Dalam penelitian ini, menggunakan perlakuan panas dengan suhu 500°C dan 600°C pada durasi 30 menit dan 60 menit. Setiap variasi antara suhu dan durasi akan memberikan hasil sifat mekanik yang berbeda-beda [24][25]. Untuk mengetahui kinerja mekanis pada kedua baja yang berbeda ini, dengan diberikannya perlakuan panas terhadap variasi suhu dan durasi, akan dilakukan pengujian tarik dan pengujian impak[26]. Uji tarik yang akan dilakukan pengujian menggunakan standar ASTM E8 [27] dan Uji impak menggunakan standar ASTM E23 [28]. Penelitian ini menggunakan pendekatan pengujian multifaset untuk mengevaluasi sifat mekanik baja ASTM A36 dan S50C dalam hasil pengelasan dissimilar menggunakan perlakuan panas, mengintegrasikan uji tarik dan uji impak untuk memberikan analisis komprehensif tentang kekuatan dan ketangguhan [29][30].

Penelitian ini menyelidiki hasil pengelasan baja ASTM A36 dan S50C dengan perlakuan panas pada variasi suhu dan durasi. Penelitian ini berfokus pada hasil pengelasan dissimilar yang baik dalam pengujian mekanis yang terstandarisasi dengan kuantifikasi degradasi kekuatan dan ketangguhan yang disebabkan

oleh variasi suhu dan durasi pada perlakuan panas. Pengujian ini dirancang untuk menjelaskan perubahan signifikan dalam kinerja mekanis dan integritas struktural baja yang diakibatkan oleh variasi suhu dan durasi perlakuan panas.

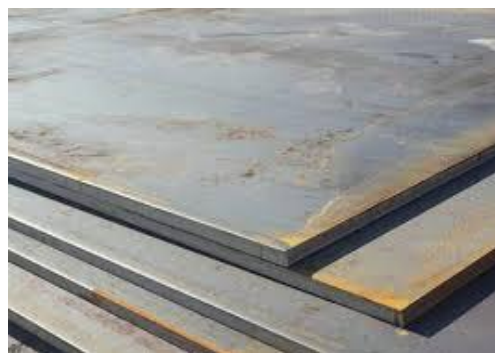
2. METODE

2.1 Pengumpulan Data

Penelitian ini diperoleh melalui kajian pustaka, pedoman suatu jurnal, dan observasi langsung yang dilakukan di lapangan. Material yang digunakan sebagai objek penelitian adalah baja ASTM A36 dan baja S50C, kedua baja tersebut memiliki suatu kandungan karbon yang berbeda yaitu rendah dan menengah, dapat dilihat pada Tabel 1 dan Gambar 1 [31][32].

Tabel 1. Perbandingan Kandungan Baja ASTM A36 dan S50C [31][32]

Unsur	ASTM A36 (%)	S50C (%)
Karbon (C)	0,26	0,53
Fosfor (P)	0,04	0,03
Mangan (Mn)	0,90	0,90
Sulfur (S)	0,05	0,035
Tembaga (Cu)	0,01	0,25
Silikon (Si)	0,40	0,35



(a)

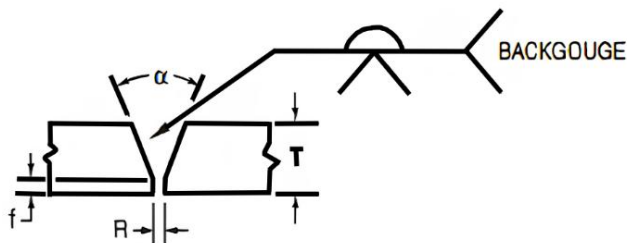


(b)

Gambar 1. (a) Plat Baja ASTM A36, (b) Plat Baja S50C

2.2 Pengelasan *Shielded Metal Arc Welding* (SMAW)

Baja ASTM A36 dengan baja S50C dilakukan pengelasan dissimilar pada arus 100A menggunakan pengelasan *Shielded Metal Arc Welding* (SMAW). Proses ini dilakukan secara manual dengan mengganti kawat setiap kali pada pengelasan. Dengan proses hal tersebut, aturan serta suatu prosedur *Welding Procedure Specification* (WPS) harus diperhatikan untuk memastikan kualitas sambungan material atau spesimen agar menghasilkan sambungan las yang baik. Pengelasan dilakukan sesuai dengan standar AWS NUMBER 3 [33]. Menggunakan posisi las datar (1G) dan sambungan single-V butt joint dengan sudut 60°.



Gambar 2. Sambungan kampuh *single V-butt joint*

Penerapan pada penelitian ini menggunakan pengelasan *Shielded Metal Arc Welding* (SMAW) dengan rincian sebagai berikut: jenis elektroda E7018 AWS 5.18, diameter elektroda 3,2 mm, sudut kampuh *Single V-butt joint* 60°, tegangan antara 20-30 V, dan arus 100A, posisi pengelasan *Down Hand* (1G).

2.3 Pengujian Tarik

Spesimen yang sudah dilakukan pengelasan, selanjutnya akan dilakukan pemotongan spesimen sesuai dengan ukuran yang sudah ditentukan yaitu, 20 spesimen uji tarik dengan standar ASTM E8/E8M [27]. Dengan dimensi 200 mm x 20 mm x 10 mm, Pengujian tarik dilakukan di Laboratorium Struktur dan Kekuatan Kapal, Departemen Teknik Perkapalan, Universitas Diponegoro, dengan menggunakan Mesin Uji Universal (UTM). Spesimen diuji di daerah las dan daerah HAZ yang merupakan hasil dari pengelasan dissimilar antara material ASTM A36 dan S50C. Selanjutnya spesimen dijepit dengan erat pada grip mesin uji tarik, kemudian diberikan beban tarik secara bertahap, dimulai dari beban awal 0 kg hingga terjadi deformasi atau fraktur

pada spesimen.

Hasil pengujian tarik mencakup *ultimate strength*, regangan, modulus elastisitas, *yield strength*, dan *fracture energy* [34][35]. Kekuatan tarik maksimum atau Ultimate strength adalah hasil tegangan tertinggi sebelum terjadinya perpatahan (*fracture*) dengan perhitungan dalam persamaan 1.

$$\sigma = \frac{P}{A_0} \quad (1)$$

Keterangan, σ ialah nilai suatu tegangan dari hasil tarik maksimum (MPa, N/mm²), P ialah beban tegangan maksimum (N), dan A_0 ialah luas awalan penampang spesimen (mm²). Regangan tarik atau *fracture strain* adalah hasil maksimum pada perubahan panjang material setelah pengujian dan menunjukkan suatu pertambahan spesimen pada panjang setelah terjadinya suatu perpatahan dengan perhitungan dalam persamaan 2.

$$\varepsilon = \frac{\Delta L}{L_0} \times 100\% \quad (2)$$

$$\varepsilon = \frac{(L_i - L_0)}{L_0} \times 100\%$$

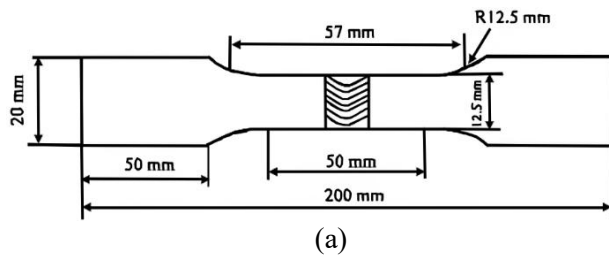
Keterangan, L_i merupakan panjang material sesudah patahan (mm), L_0 merupakan panjang material sebelum patahan (mm), dan ε adalah regangan pada tarik maksimum (%). Untuk modulus elastis atau *young modulus* dapat diukur dan dihitung dengan grafik tegangan-regangan pada kekakuan material berdasarkan kemiringan elastis yang bersifat linier pada grafik tersebut dengan perhitungan persamaan 3 [36].

$$E = \frac{\sigma}{\varepsilon} \quad (3)$$

Keterangan, E merupakan modulus elastisitas (GPa), σ merupakan tegangan nilai maksimum (kN/mm²), dan ε merupakan regangan pada tarik maksimum (%). *Fracture energy* adalah energi yang diperlukan material yang mengalami kegagalan pada keretakan dengan perhitungan persamaan 4 [37].

$$G_c = \frac{W}{A} \quad (4)$$

Keterangan, G_c merupakan *Fracture energy* (mJ/m³), W merupakan energi yang diserap yang disebabkan oleh keretakan (J), dan A merupakan luas penampang yang disebabkan oleh keretakan (m²).



(a)



(b)

Gambar 3. (a) Dimensi Spesimen Uji Tarik, (b) *Universal Testing Machine* (UTM)

2.4 Pengujian Impak

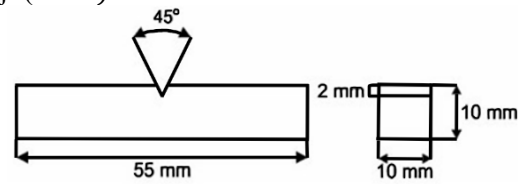
Penelitian ini juga dilakukan dengan uji ketangguhan menggunakan metode Charpy. Uji impak bertujuan untuk mengukur suatu ketangguhan material dalam hasil energi yang diserap. Metode ini digunakan untuk mengukur sifat kerapuhan suatu material. Pengujian yang dilakukan pada impak menggunakan standar ASTM E23 [28]. Dengan dimensi 55 mm x 10 mm x 10 mm, dengan takikan berbentuk V yang memiliki sudut 45° dan kedalaman 2 mm di bagian tengahnya. Pengujian impak dilakukan di Laboratorium Struktur dan Kekuatan Kapal, Departemen Teknik Perkapalan, Universitas Diponegoro, dengan menggunakan Mesin Charpy. Selanjutnya spesimen diuji di daerah las yang merupakan hasil dari pengelasan dissimilar antara material ASTM A36 dan S50C, dimana spesimen diletakkan pada dua tumpuan dengan posisi horizontal, kemudian pembebanan dihantam ke arah takikan dengan berlawanan arah.

Untuk mengetahui hasil ketangguhan material berdasarkan pengujian impak menggunakan perhitungan persamaan 5 [38].

$$T = \frac{E}{A} \quad (5)$$

Keterangan, T merupakan ketangguhan

material (J/mm^2), E merupakan Energi yang diserap (J), A merupakan volume spesimen yang diuji (mm^2).



(a)

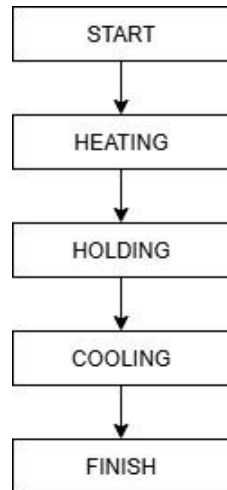


(b)

Gambar 4. (a) Dimensi Spesimen Uji Impak, (b) Mesin Charpy

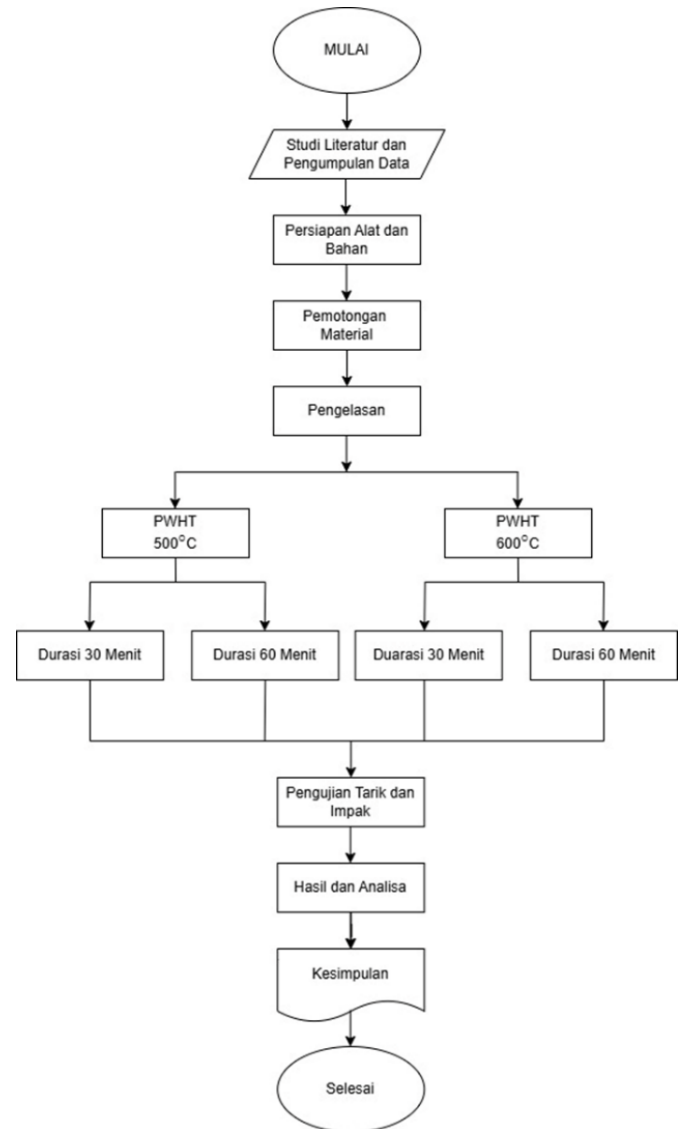
2.5 Aplikasi Perlakuan Panas

Setelah spesimen dibuat, langkah selanjutnya adalah melakukan aplikasi perlakuan panas setelah pengelasan, yaitu *Post Weld Heat Treatment* (PWHT) pada material. Proses PWHT dilakukan dengan material dipanaskan kembali menggunakan sebuah tungku furnace yang memiliki kapasitas maksimum 1100°C, dengan suhu pemanasan 500°C dan 600°C. Spesimen pada tarik dan impak akan dimasukkan ke dalam sebuah tungku secara bersamaan. Pertama yang dilakukan ialah material yang dilakukan setelah 30 menit, kedua setelah 60 menit. Proses dalam pemanasan sebuah material akan menggunakan furnace yang dilakukan di Laboratorium Teknologi Material, Las, dan Produksi Kapal, Teknik Perkapalan Universitas Diponegoro. Setelah waktu proses PWHT telah selesai, material didinginkan pada suhu ruang sekitar 28°C-30°C dengan cara dikeluarkan dari oven menggunakan alat penjepit.



Gambar 5. Tungku Furnace

2.6 Diagram Alir Penelitian



Gambar 6. Diagram Alir Penelitian

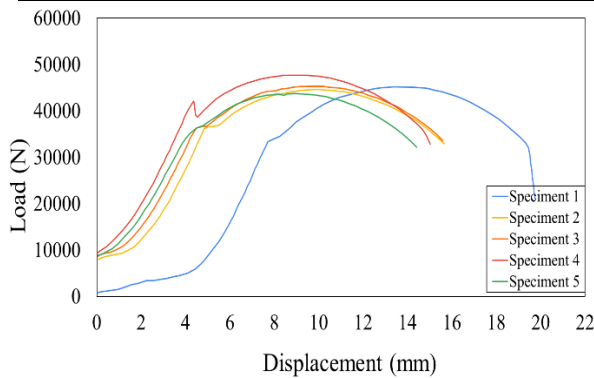
3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Hasil Pengujian Tarik

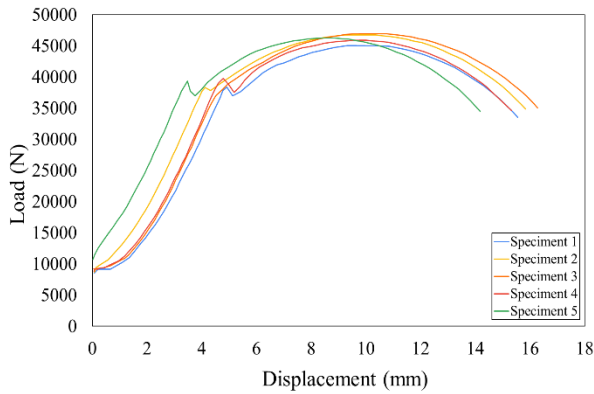
Pengujian tarik bertujuan untuk mengetahui kekuatan tarik maksimum pada pengelasan *dissimilar* baja ASTM A36 dan S50C saat ditarik sebelum mengalami putus. Kekuatan tarik didapat dengan melakukan uji tarik dan mencatat dari perubahan nilai regangan (*strain*) dan tegangan (*stress*) pada material. Dilihat pada Tabel 2, Gambar 6, Gambar 7, Gambar 8, dan Gambar 9.

Tabel 2. Data Tegangan Tarik

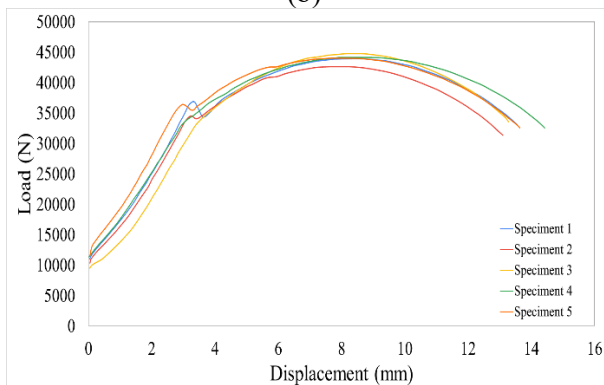
Spesimen	Ao (mm ²)	F (N)	σ Maks (Mpa)	Standar Deviasi	σ Rata-rata (Mpa)
PWHT 500°C 30 Minute	134	45500	341	7,89	348,189
	123	44500	360		
	129	45200	351		
	137	47500	347		
	127	43500	342		
PWHT 500°C 60 Minute	130	45100	347	4,48	352,846
	134	46800	349		
	132	46900	355		
	129	45800	355		
	129	46200	357		
PWHT 600°C 30 Minute	125	43900	352	5,48	349,876
	123	43600	356		
	128	44800	349		
	126	44200	352		
	129	44100	341		
PWHT 600°C 60 Minute	125	42600	341	8,54	342,289
	131	45600	348		
	116	41000	353		
	130	43900	338		
	126	41800	332		



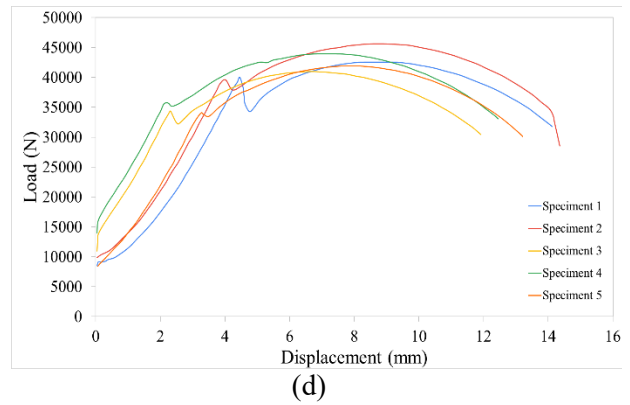
(a)



(b)



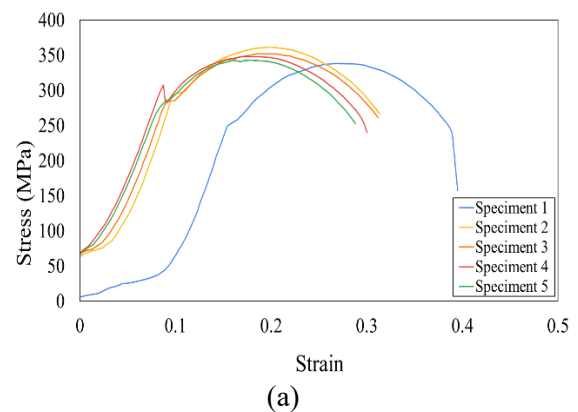
(c)



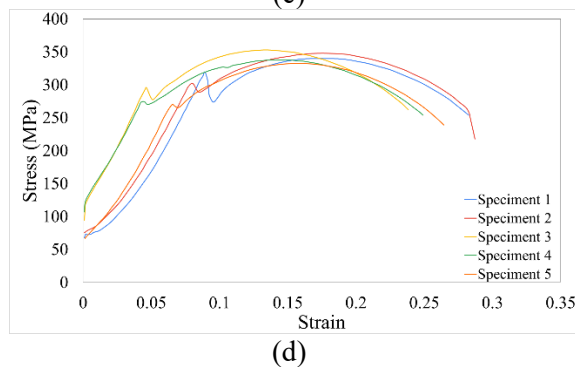
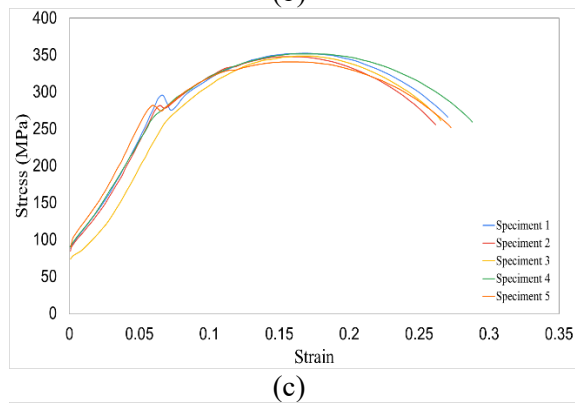
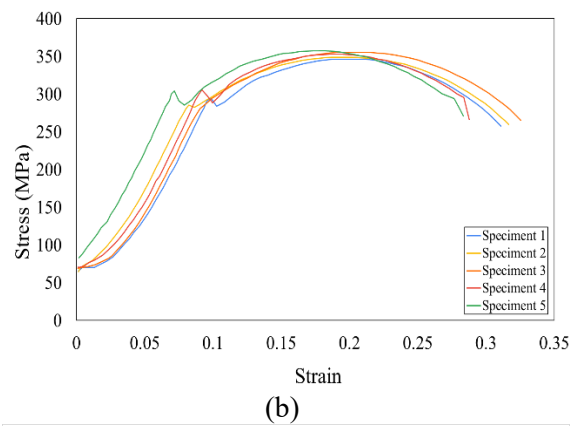
(d)

Gambar 6. (a) kurva load-displacement PWHT 500°C 30 menit, (b) kurva load-displacement PWHT 500°C 60 menit, (c) kurva load-displacement PWHT 600°C 30 menit, (d) kurva load-displacement PWHT 600°C 60 menit

Gambar 6 menunjukkan pengaruh perbandingan variasi PWHT terhadap kekuatan tarik suatu material yang dilihat dalam karakteristik respon gaya terhadap perpindahan. Pada Gambar 6(a), kurva load-displacement pada suhu 500°C 30 menit menunjukkan kekuatan maksimum sekitar 45.000 N, pada Gambar 6(b) suhu kekuatan maksimum pada suhu 500°C 60 menit mengalami peningkatan mencapai gaya maksimum sekitar 46.000 N, sedangkan pada Gambar 6(c), (d) suhu 600°C 30 menit dan 60 menit mengalami penurunan dibandingkan dengan suhu 500°C, pada rentang waktu 30 menit mengalami penurunan kekuatan maksimum sekitar 44.000 N, dan rentang waktu 60 menit mengalami penurunan drastis sekitar 42.000 N. Ini menunjukkan bahwa pada suhu 500°C cenderung memiliki nilai kekuatan maksimum yang lebih tinggi dibandingkan dengan suhu 600°C.



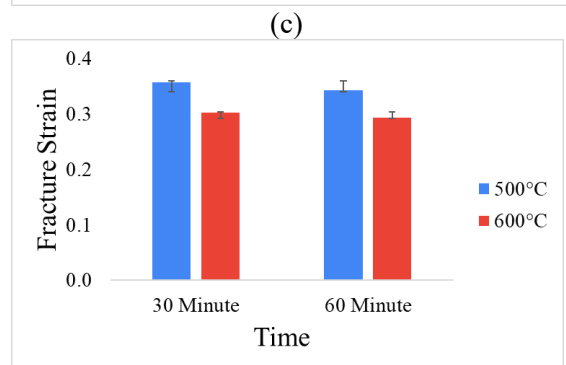
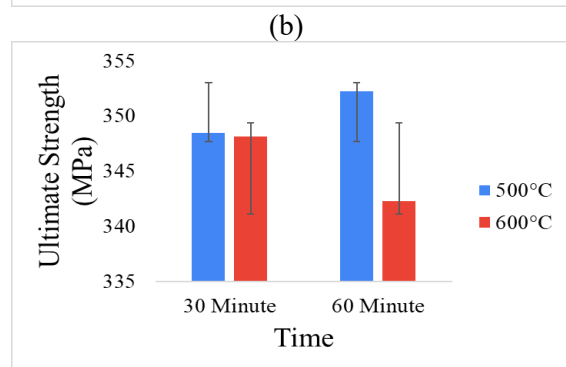
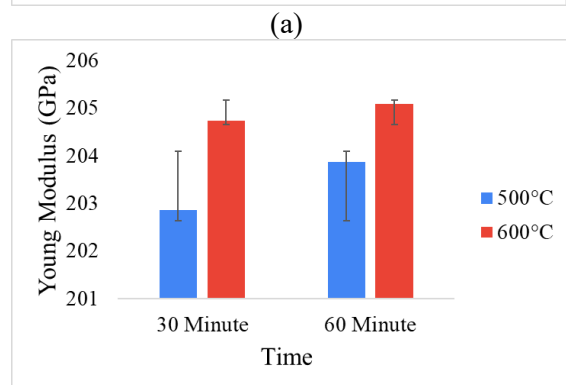
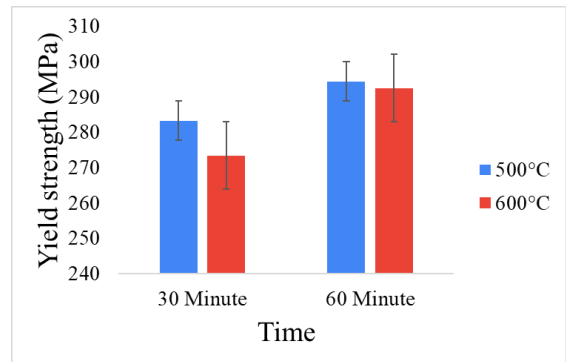
(a)

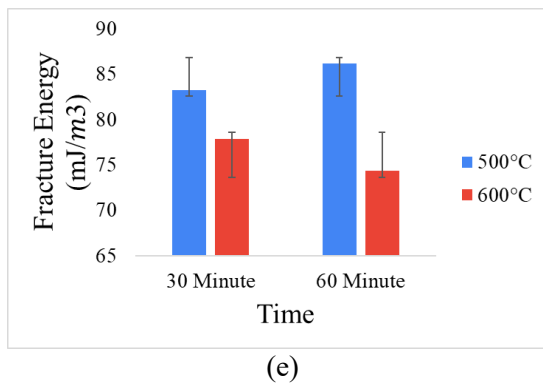


Gambar 7. (a) kurva stress-strain PWHT 500°C 30 menit, (b) kurva stress-strain PWHT 500°C 60 menit, (c) kurva stress-strain PWHT 600°C 30 menit, dan (d) kurva stress-strain PWHT 600°C 60 menit.

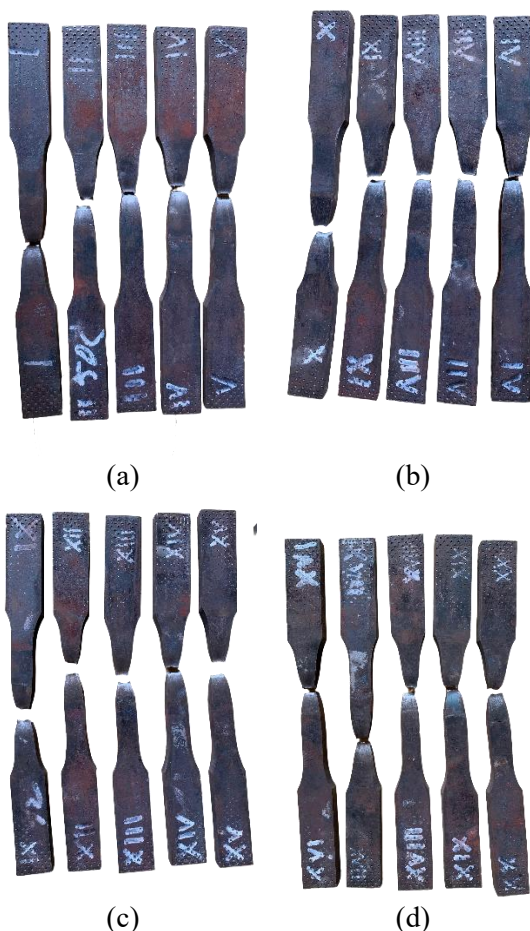
Gambar 7(a) merupakan kurva stress-strain, dengan memperlihatkan pola yang serupa. Spesimen dengan suhu 500°C 30 menit memiliki tegangan maksimum berupa 348,189 MPa, pada Gambar 7(b) suhu 500°C 60 menit nilai tegangan maksimum mengalami peningkatan sebesar 352,846 MPa, sedangkan pada Gambar 7(c), (d) pada suhu 600°C 30 menit mengalami penurunan nilai tegangan tarik maksimum sebesar 349,876 MPa, dan pada suhu 600°C 60 menit merupakan tegangan maksimum terkecil dibandingkan dengan variasi yang lainnya dengan nilai 342,289 MPa. Secara keseluruhan, grafik ini memperlihatkan bahwa tegangan maksimum cenderung meningkat pada suhu 500°C dengan durasi yang

lebih lama, sedangkan pada suhu 600°C, mengalami penurunan tegangan maksimum pada durasi yang lebih lama.





Gambar 8. Hasil perhitungan (a) *Yield Strength*, (b) *Young Modulus*, (c) *Ultimate Strength*, (d) *Fracture Strain*, dan (e) *Fracture Energy*



Gambar 9. (a) Spesimen suhu 500°C 30 menit, (b) Spesimen suhu 500°C 60 menit, (c) Spesimen suhu 600°C 30 menit, dan (d) Spesimen suhu 600°C 60 menit

Pada Gambar 8 menjelaskan hasil parameter perhitungan uji tarik dari masing-masing perlakuan panas, dimana pada gambar 8(a) *yield strength* menunjukkan bahwa pada suhu 500°C selama 60 menit memiliki nilai 294,412 MPa dimana pada suhu 600°C durasi 30 menit mengalami penurunan hingga 273,423 MPa.

Kemudian *young modulus* pada Gambar 8(b), suhu 600°C durasi 60 menit memiliki nilai tertinggi dengan nilai 205,084 GPa, dan pada suhu 500°C durasi 30 menit mengalami penurunan dengan nilai 202,848 GPa. Selanjutnya pada Gambar 8(c) *ultimate strength* menunjukkan pada suhu 500°C durasi 30 menit memiliki nilai jauh lebih tinggi dibandingkan dengan suhu 600°C durasi 60 menit, dengan nilai 352,206 MPa untuk suhu 500°C durasi 60 menit, dan 342,289 MPa untuk suhu 600°C durasi 60 menit. Pada Gambar 8(d) *fracture strain*, bahwa pada suhu 500°C durasi 30 menit lebih unggul dibandingkan variasi lain dengan nilai 0,322, dan pada suhu 600°C durasi 60 menit mengalami penurunan dengan nilai 0,264. Dan pada Gambar 8(e) *fracture energy* didapatkan bahwa, ketangguhan material dengan suhu 500°C durasi 60 menit memiliki hasil tertinggi dengan nilai 86,174 mJ/m³, pada suhu 600°C durasi 60 menit memiliki hasil terendah dengan nilai 74,312 mJ/m³.

Dapat dilihat pada Gambar 8 Hasil uji tarik menunjukkan bahwa material yang diuji pada suhu 500°C cenderung memiliki kekuatan tarik yang lebih tinggi, seperti pada *yield strength*, *ultimate Strength*, *fracture strain* dan *fracture energy* dibandingkan dengan suhu 600°C, yang menunjukkan bahwa material lebih tahan terhadap kerusakan dan mampu menyerap energi sebelum mengalami kegagalan. Meskipun pada suhu 600°C material menunjukkan *young modulus* yang sedikit lebih tinggi, dimana meningkatkan kekakuan pada material. Selain itu, pada durasi 60 menit dapat meningkatkan beberapa parameter pada suhu 500°C, sementara pada 600°C terjadi penurunan. Secara keseluruhan, suhu 500°C memberikan performa material yang lebih baik dalam hal kekuatan dan ketahanan terhadap kerusakan, sementara 600°C meningkatkan kekakuan material namun mengurangi kekuatan tarik dan ketahanannya terhadap kerusakan. Hasil ini memiliki persamaan pada penilitan sebelumnya, yaitu pengujian tarik pada pengelasan *dissimilar* baja ST37 dan AISI 304, yang diberikan perlakuan panas dengan variasi suhu 450°C mendapatkan kekuatan tarik 474, 5 MPa, 550°C mendapatkan kekuatan tarik 427, 8 MPa, dan 650°C mendapatkan kekuatan tarik 376,6 MPa [39]. Didapatkan bahwa semakin tinggi temperatur suhu yang diberikan akan menurunkan kekuatan tarik dari spesimen.

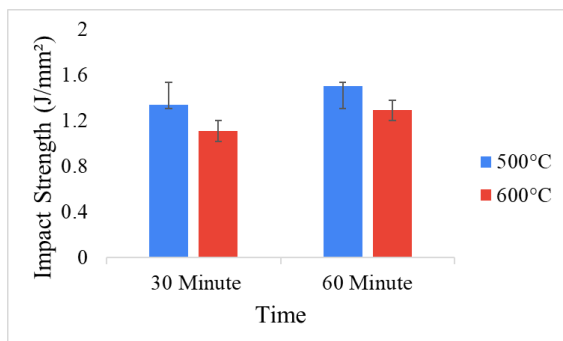
3.2 Hasil Ketangguhan Impak (*Charpy*)

Pengujian impak dilakukan untuk mengetahui ketahanan pada pengelasan *dissimilar* baja ASTM A36 dan S50C yang

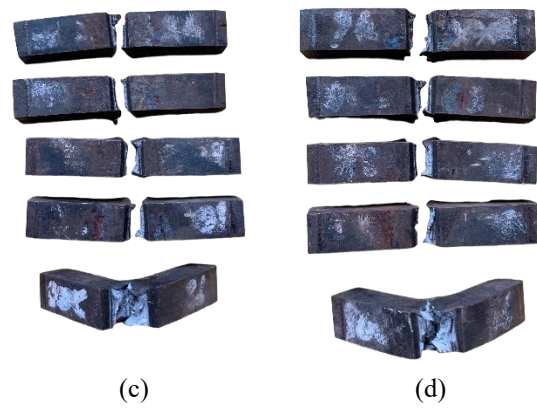
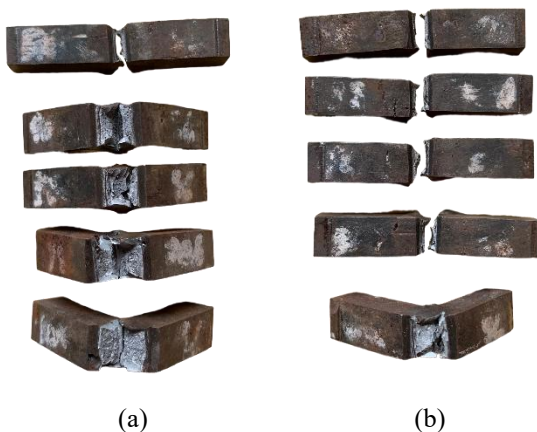
diberikan beban secara tiba-tiba. Spesimen diberikan beban pukulan pada palu dengan berat tertentu yang diayunkan dari sudut tertentu. Dilihat pada Tabel 3, Gambar 10, dan Gambar 11.

Tabel 3. Data Uji Impak

Spesimen	Luas (mm^2)	Energi Impak (J)	Harga Impak (J/mm^2)	Standar Deviasi	Rata-rata Impak (J/mm^2)
PWHT 500°C 30 Minute	112	59	0,53	0,54	1,34
	104	148	1,43		
	107	118	1,11		
	106	200	1,89		
	111	194	1,75		
PWHT 500°C 60 Minute	111	186	1,67	0,18	1,50
	109	146	1,34		
	105	155	1,48		
	99	132	1,33		
	110	187	1,70		
PWHT 600°C 30 Minute	110	98	0,89	0,23	1,11
	107	198	1,01		
	109	164	1,51		
	113	120	1,07		
	107	114	1,07		
PWHT 600°C 60 Minute	111	96	0,86	0,31	1,29
	106	130	1,23		
	117	196	1,68		
	113	165	1,46		
	115	138	1,20		



Gambar 10. Grafik Impact Strength



Gambar 11. (a) Spesimen suhu 500°C 30 menit, (b) Spesimen suhu 500°C 60 menit, (c) Spesimen suhu 600°C 30 menit, dan (d) Spesimen suhu 600°C 60 menit

Berdasarkan Tabel 3 dan Gambar 10 pengujian impak yang telah dilakukan, dapat dilihat nilai dan perbandingan hasil dari tiap spesimen dengan perlakuan PWHT dengan suhu dan durasi yang berbeda-beda. Didapatkan bahwa nilai *impact strength* tertinggi adalah spesimen 500° 60 menit dengan hasil sebesar 1,5 *Joule/mm²*, sedangkan yang dihasilkan spesimen 500°C 30 menit sebesar 1,34 *Joule/mm²*, lebih besar dibandingkan dengan spesimen 600°C 60 menit dengan hasil sebesar 1,29 *Joule/mm²*. Dan nilai terkecil adalah spesimen dengan suhu 600°C 30 menit sebesar 1,11 *Joule/mm²*.

Secara keseluruhan, suhu 500°C memberikan nilai *Impact Strength* yang lebih baik dibandingkan suhu 600°C, terutama pada durasi 60 menit, tetapi cenderung menyusut pada durasi 30 menit. Terdapat persamaan dengan penelitian sebelumnya pada pengujian impak pada pengelasan *dissimilar* baja ASTM A36 dan ASTM A240 dengan menggunakan perlakuan panas pada suhu 400°C mendapatkan nilai sebesar 1,31 *Joule/mm²*, sedangkan pada suhu 600°C dan 900°C mengalami penurunan nilai absorb energy sebesar 1,15 *Joule/mm²*, dan 1,03 *Joule/mm²* [40]. Dimana nilai *Impact Strength* mengalami penurunan pada temperatur suhu yang lebih tinggi.

4. KESIMPULAN

Berdasarkan penelitian mengenai pengaruh suhu dan durasi *Post weld heat treatment* (PWHT) pada pengelasan *dissimilar* baja ASTM A36 dan S50C diperoleh bahwa suhu 500°C menunjukkan hasil paling optimal dalam meningkatkan kekuatan tarik dan energi impak dibandingkan dengan suhu 600°C, dimana

peningkatan durasi pada suhu yang lebih rendah dapat memberikan hasil yang lebih stabil dan optimal. Peningkatan suhu menjadi 600°C cenderung menurunkan kekuatan tarik dan ketangguhan, menjadikan material lebih kaku namun kurang tangguh terhadap beban tarik dan dampak. Secara keseluruhan, penelitian ini menunjukkan bahwa PWHT dapat meningkatkan sifat mekanik pada pengelasan *dissimilar* antara baja ASTM A36 dan S50C, terutama dalam meningkatkan kekuatan tarik, dan ketangguhan material. Pemilihan suhu dan durasi perlakuan panas yang sesuai memiliki peran yang penting dalam memperoleh hasil terbaik, dengan kombinasi suhu 500°C dan durasi 60 menit memberikan hasil yang optimal pada sifat fisik dan mekanik sambungan las.

5. DAFTAR PUSTAKA

- [1] Serope Kalpakjian and Steven Schmid, *Manufacturing Engineering and Technology*, vol. Sixth edit. Prentice Hall, 2009.
- [2] J. Norrish, "1 – An introduction to welding processes," 2006, pp. 1–15. doi: 10.1533/9781845691707.1.
- [3] P. Carlone and A. Astarita, "Dissimilar metal welding," Nov. 01, 2019, *MDPI AG*. doi: 10.3390/met9111206.
- [4] T. Xu, S. Zhou, H. Wu, X. Ma, H. Liu, and M. Li, "Dissimilar joining of low-carbon steel to aluminum alloy with TiC particles added in a zero-gap lap joint configuration by laser welding," *Mater Charact*, vol. 182, p. 111574, Dec. 2021, doi: 10.1016/J.MATCHAR.2021.111574.
- [5] A. Hamada, M. Ali, S. Ghosh, M. Jaskari, M. Keskitalo, and A. Järvenpää, "Mechanical performance and formability of laser-welded dissimilar butt joints between medium-Mn stainless steel and high-strength carbon steel," *Materials Science and Engineering: A*, vol. 831, p. 142200, Jan. 2022, doi: 10.1016/J.MSEA.2021.142200.
- [6] S. T. Suherman and I. Abdullah, *TEKNIK PENGELASAN (CARA MENGHINDARI CACAT LAS)*. [Online]. Available: <http://umsupress.umsu.ac.id/>
- [7] N. Kumar, C. Pandey, and P. kumar, "Dissimilar Welding of Inconel Alloys with Austenitic Stainless-Steel: A Review," *Journal of Pressure Vessel Technology-transactions of The Asme*, vol. 145, no. 1, 2022, doi: 10.1115/1.4055329.
- [8] V. Goel, T. W. Liao, and K. S. Lee, "A shielded metal arc welding expert system," *Comput Ind*, vol. 21, no. 2, pp. 121–129, 1993, doi: 10.1016/0166-3615(93)90130-S.
- [9] R. Datta, D. Mukerjee, S. K. Jha, K. Narasimhan, and R. Veeraraghavan, "Weldability characteristics of shielded metal arc welded high strength quenched and tempered plates," *J Mater Eng Perform*, vol. 11, no. 1, pp. 5–10, 2002, doi: 10.1007/S11665-002-0001-7.
- [10] S. R. Ahmed, L. A. Agarwal, and B. S. S. Daniel, "Effect of Different Post Weld Heat Treatments on the Mechanical properties of Cr-Mo Boiler Steel Welded with SMAW Process," *Mater Today Proc*, vol. 2, no. 4–5, pp. 1059–1066, Jan. 2015, doi: 10.1016/J.MATPR.2015.07.002.
- [11] H. C. Dill and A. E. Wisler, "Heat treatment of welds," 1974. [Online]. Available: <https://patents.google.com/patent/US3997374A/en>
- [12] K. N. Krishnan, "The effect of post weld heat treatment on the properties of 6061 friction stir welded joints," *J Mater Sci*, vol. 37, no. 3, pp. 473–480, 2002, doi: 10.1023/A:1013701104029.
- [13] V. Ploshikhin, A. Prihodovsky, and A. Ilin, "Experimental investigation of the hot cracking mechanism in welds on the microscopic scale," *Front Mater Sci*, vol. 5, no. 2, pp. 135–145, 2011, doi: 10.1007/S11706-011-0135-3.
- [14] Y. Xu *et al.*, "Dissimilar joining of aluminum alloy and low-alloy carbon steel by resistance spot welding," *Journal of Materials Research and Technology*, vol. 33, pp. 919–928, Nov. 2024, doi: 10.1016/J.JMRT.2024.09.133.
- [15] I. O. Oladele, D. B. Alonge, T. O. Betiku, E. O. Igbafe, and B. O. Adewuyi, "Performance Evaluation of the Effects of Post Weld Heat Treatment on the Microstructure, Mechanical and Corrosion Potentials of Low Carbon Steel," vol. 44, no. 1, pp. 41–47, 2019, doi: 10.24867/ATM-2019-1-007.
- [16] Chetan Singh, *Post Weld Heat Treatment PWHT: Standards, Procedures, Applications, and Interview Q&A*. Chetan Singh, 2023.
- [17] V. D. Kalyankar and G. Chudasama, "Effect of post weld heat treatment on mechanical properties of pressure vessel steels," *Mater Today Proc*, vol. 5, no. 11, pp. 24675–24684, Jan. 2018, doi: 10.1016/J.MATPR.2018.10.265.
- [18] Kiduck Park, S. Kim, J. Chang, and C. Lee, "Post-weld heat treatment cracking susceptibility of T23 weld metals for fossil fuel applications," *Mater Des*, vol. 34, no. 34, pp. 699–706, 2012, doi: 10.1016/J.MATDES.2011.05.029.

- [19] M. W. Dewan, J. Liang, M. A. Wahab, and A. M. Okeil, "Effect of post-weld heat treatment and electrolytic plasma processing on tungsten inert gas welded AISI 4140 alloy steel," *Mater Des*, vol. 54, pp. 6–13, 2014, doi: 10.1016/J.MATDES.2013.08.035.
- [20] S. Nogami, N. Hara, T. Nagasaka, A. Hasegawa, and T. Muroga, "Effect of PWHT on the mechanical and metallographical properties of a dissimilar-metal weld joint of F82H and SUS316L steels," *Fusion Science and Technology*, vol. 60, no. 1, pp. 334–338, 2011, doi: 10.13182/FST11-A12375.
- [21] Y. Huang *et al.*, "Effect of post weld heat treatment on microstructural and mechanical properties of martensitic heat-resistant steel weldments," *International Journal of Pressure Vessels and Piping*, vol. 212, p. 105323, Dec. 2024, doi: 10.1016/J.IJVP.2024.105323.
- [22] R. K. Aninda, S. M. Karobi, R. Shariar, M. M. Rahman, and M. I. I. Rabby, "Effect of post-weld heat treatment on mechanical properties and microstructure in electric arc welded mild steel joints," *Journal of Engineering Research*, vol. 12, no. 2, pp. 210–215, Jun. 2024, doi: 10.1016/J.JER.2023.10.012.
- [23] F. Widya, S. Ashari, A. Hafizh, A. Rasyid, M. Arif Irfi, and S. Drastiawati, "PENGARUH VARIASI TEMPERATUR POST WELD HEAT TREATMENT FULL ANNEALING PADA MATERIAL SA 516 G 70 TERHADAP KEKUATAN TARIK DAN KETANGGUHAN," *Agustus*, vol. 3, no. 1, pp. 1–16, 2024, [Online]. Available: <http://jurnal.poliwangi.ac.id/index.php/jinggo/>
- [24] D. Tomerlin, D. Marić, D. Kozak, and I. Samardžić, "Post-Weld Heat Treatment of S690QL1 Steel Welded Joints: Influence on Microstructure, Mechanical Properties and Residual Stress," *Superalloys*, vol. 13, no. 5, p. 999, 2023, doi: 10.3390/met13050999.
- [25] U. Özdemir, S. Keskinçilic, F. Acar, F. Kabakci, and M. Acarer, "Effect of PWHT Temperature and Time on Hardness and Microstructure of 410NiMo Weld Metal," 2018, doi: 10.20944/PREPRINTS201811.0182.V1.
- [26] William D. Callister and David G. Rethwish, "Materials Science and Engineering An Introduction, 8th Edition," *Wiley*, p. 992, Dec. 2009.
- [27] A. I. ZwickRoell, *ASTM E8/E8M-24: Standard Test Methods for Tension Testing of Metallic Materials*. USA: ASTM International, PA, 2024.
- [28] A. I. ZwickRoell, *ASTM E23-23a: Standard Test Methods for Notched Bar Impact Testing of Metallic Materials*. USA: ASTM International, PA, 2023.
- [29] J. Cornu, "Mechanical Testing of Welds," in *Fundamentals of Fusion Welding Technology*, J. Cornu and J. Weston, Eds., Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, 1988, pp. 35–48. doi: 10.1007/978-3-662-11049-2_5.
- [30] K. Budinski and M. Budinski, *Engineering Materials: Properties and Selection*. 2010.
- [31] George F. Vander Voort, *ASM Handbook Volume 9: Metallography and Microstructures*, vol. 9. ASM International, 2004.
- [32] J. E. Bringas, "Handbook of Comparative World Steel Standards ASTM DS67A 2nd Edition." [Online]. Available: <http://www.copyright.com/>.
- [33] E. L. MCCOMBS, *Structural Welding Code-Steel. American Welding Society (AWS) D1*. 2002.
- [34] T. Tuswan *et al.*, "Correlation between lamina directions and the mechanical characteristics of laminated bamboo composite for ship structure," *Curved and Layered Structures*, vol. 10, no. 1, Jan. 2023, doi: 10.1515/cls-2022-0186.
- [35] P. Ghavami, "Stress and Strain," Springer, Cham, 2015, pp. 143–162. doi: 10.1007/978-3-319-07572-3_6.
- [36] M. Ashby and D. Jones, "The Elastic Moduli," 2012, pp. 29–53. doi: 10.1016/B978-0-08-096665-6.00003-9.
- [37] F. Wittmann, H. Mihashi, and N. Nomura, "Size effect on fracture energy of concrete," *Eng Fract Mech*, vol. 35, pp. 107–115, Aug. 1990, doi: 10.1016/0013-7944(90)90188-M.
- [38] M. Wahyu and A. Irwan, "ANALISA UJI IMPAK BAJA CARBON STEEL 1045 DENGAN MENGGUNAKAN METODE CHARPY." [Online]. Available: <http://jurnal.harapan.ac.id/index.php/JSR>
- [39] F. Abdillah Windratama and dan Sidiq Ruswanto, "Analisis Pengaruh Parameter Suhu Annealing Terhadap Sifat Mekanik Hasil Pengelasan SMAW Dissimilar Metal," *Prosiding Seminar Nasional Teknik Mesin Politeknik Negeri Jakarta*, pp. 743–750, 2019, [Online]. Available: <http://semnas.mesin.pnj.ac.id>
- [40] Abd. Wahab, L. H. Arma, H. Arsyad, and R. Bin Othman, "Effect of Temperature Variation PWHT Dissimilar Welding Low Carbon Steel ASTM A36 with ASTM A240 Type 316L," *EPI International Journal of*

Engineering, vol. 7, no. 1, pp. 33–37, Feb.
2024, doi: 10.25042/epi-ije.022024.05.