



JURNAL TEKNIK PERKAPALAN

Jurnal Hasil Karya Ilmiah Lulusan S1 Teknik Perkapalan Universitas Diponegoro

Pengaruh *Post Weld Heat Treatment* pada Hasil Pengelasan SMAW Baja S50C dengan Elektroda E7018 Terhadap Kekuatan Tarik dan Ketangguhan Impak

Sarah Anggraini^{*)}, Hartono Yudo¹⁾, Wilma Amiruddin²⁾

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 : sarahaarn31@gmail.com

Abstrak

Penelitian ini menyelidiki hasil pengelasan pada baja S50C yang disebabkan oleh perlakuan panas, dengan fokus pada efek penggunaan polaritas terhadap kualitas dan karakteristik las, khususnya AC dan DC+. *Post Weld Heat Treatment* dengan menggunakan metode *annealing* secara luas diakui dapat memperbaiki tingkat keuletan, meningkatkan ketangguhan, dan menurunkan kekuatan. Tujuan penelitian ini adalah untuk mencari hasil pengelasan sambungan baja S50C dengan polaritas AC dan DC+ yang dilakukan perlakuan *Post Weld Heat Treatment* dan tanpa *Post Weld Heat Treatment*, yang dilihat dari nilai kekuatan tarik dan ketangguhan impak. Metode penelitian meliputi persiapan spesimen S50C, pengelasan menggunakan polaritas AC dan DC+ dengan atau tanpa perlakuan panas, serta pengujian mekanis sesuai dengan standar ASTM, termasuk ASTM E8 untuk uji tarik dan ASTM E23 uji impak. Hasil penelitian menunjukkan penurunan yang signifikan pada nilai kekuatan tarik terhadap perlakuan panas AC dan DC+ dan memberikan peningkatan terhadap AC Tanpa PWHT, sementara nilai ketangguhan impak terjadi peningkatan pada perlakuan panas AC. Dapat disimpulkan bahwa pengaruh polaritas pada hasil pengelasan AC memberikan hasil pengelasan yang lebih baik dibandingkan DC+, karena dalam pemanasan dan pendinginannya dapat membantu mengurangi keretakan, sehingga dengan dilakukannya perlakuan panas, ketangguhan pada AC akan semakin meningkat dibandingkan DC+. Sehingga menjadi peran penting terhadap kinerja material dalam polaritas pengelasan.

Kata Kunci : Baja S50C, SMAW, PWHT, Polaritas, Kekuatan Mekanis

1. PENDAHULUAN

Baja S50C adalah baja karbon menengah dengan kandungan karbon berkisar antara 0,47% hingga 0,53%, Baja ini menunjukkan sifat mekanik yang sangat baik dengan kekuatan tarik 650 N/mm² [1][2]. Baja S50C banyak digunakan dalam aplikasi termasuk suku cadang otomotif seperti roda gigi, dan poros (*shaft*) [3]. Sifat baja ini memungkinkan penyesuaian dalam kekuatan dan ketangguhan, sehingga cocok untuk berbagai keperluan industri [4][5]. Dalam meningkatkan sifat mekaniknya, proses perlakuan panas seperti *annealing* memainkan peran penting.

Perlakuan panas *annealing* yang melembutkan baja, meningkatkan ketangguhan, dan mengurangi tegangan sisa. Biasanya dilakukan pada suhu sekitar 550-650°C untuk S50C [6][7][8]. Proses perlakuan panas ini

memungkinkan optimalisasi sifat baja S50C, sehingga cocok untuk aplikasi kekuatan dan ketangguhan diperlukan. Memahami parameter perlakuan panas sangat penting untuk mencapai keseimbangan sifat mekanik yang diinginkan dalam baja S50C, dan memastikan efektivitasnya dalam berbagai konteks industri [9][10][11].

Penggunaan pengelasan *Shielded Metal Arc Welding* (SMAW) banyak digunakan karena menggunakan elektroda yang dilapisi fluks untuk membuat las yang kuat, sangat cocok untuk berbagai logam, termasuk baja S50C [12][13][14]. Elektroda menghasilkan busur listrik dengan benda kerja, menghasilkan panas intens yang diperlukan untuk melelehkan elektroda dan logam dasar, sehingga membentuk sambungan las saat bahan cair mendingin dan mengeras [15][16][17]. Dalam

proses pengelasan dapat menghasilkan tegangan sisa yang tinggi pada sambungan, yang berpotensi menyebabkan distorsi atau bahkan retak setelah pengelasan. Tegangan sisa ini bisa diatasi dengan menggunakan metode pengendalian suhu seperti PWHT [18][19]. Penelitian ini menggunakan PWHT dengan metode *annealing* untuk memperbaiki tingkat keuletan, meningkatkan nilai ketangguhan, dan menurunkan kekuatan tarik [20][21]. Pada bahan yang dilas, untuk meningkatkan sifat mekaniknya dan mengurangi masalah seperti kerapuhan dan tegangan sisa. metode *annealing* penghilang tegangan, yang dilakukan pada suhu 600 °C selama 60 menit [22][23][24]. Telah terbukti memberikan peningkatan pada ketangguhan serta keuletan, dan sedikit menurunkan kekuatan luluh sambil meningkatkan perpanjangan pada sampel yang dilas, menunjukkan efek menguntungkan pada daktilitas [25][26].

Perkembangan penelitian tentang pengaruh polaritas terhadap uji mekanis pada penelitian sebelumnya dari Z. Fahrul (2018) menunjukkan bahwa kekuatan tarik paling tinggi terdapat pada sambungan SMAW pelat baja karbon yang Non PWHT DC+. Sementara Uji keuletan paling tinggi terdapat pada sambungan SMAW pelat baja karbon rendah yang PWHT AC [27]. Penelitian dari E. Takahashi (1976) dengan menggunakan salah satu polaritas umum yang digunakan dalam pengelasan adalah *Direct Current Electrode Positive* (DCEP), dengan kutub positif pada elektroda, busur listrik lebih stabil dan menghasilkan panas lebih banyak pada material yang dilas, menghasilkan penetrasi yang lebih baik dan kekuatan las yang lebih tinggi, sedangkan *Alternating Current* (AC) sering digunakan untuk aplikasi yang lebih umum, tetapi biasanya menghasilkan hasil yang lebih rendah dalam hal penetrasi dan stabilitas busur dibandingkan dengan DC+. Sehingga dalam hasil mekanisnya polaritas DC+ akan menghasilkan nilai yang lebih baik dibandingkan AC [28].

Untuk mengevaluasi kinerja mekanis baja yang diberikan atau tidak diberikannya perlakuan panas terhadap variasi polaritas pengelasan, dilakukan pengujian tarik dan pengujian impak. Penelitian ini berupaya untuk menyelidiki secara sistematis hasil pengelasan dengan variasi polaritas pengelasan pada sifat mekanis baja yang mengalami perlakuan panas dan tanpa perlakuan panas. Penelitian ini

berfokus pada kuantifikasi degradasi kekuatan dan ketangguhan yang disebabkan oleh perlakuan panas pada variasi polaritas melalui pengujian mekanis yang terstandarisasi. Kekuatan tarik dilakukan menggunakan uji tarik yang dilakukan berdasarkan ASTM E8 [29], sedangkan uji impak sesuai dengan ASTM E23 [30], dilakukan untuk mengukur perubahan ketangguhan. Pengujian ini dirancang untuk menjelaskan perubahan signifikan dalam kinerja mekanis dan integritas struktural baja yang diakibatkan oleh hasil pengelasan dengan menggunakan polaritas AC dan DC+ terhadap perlakuan panas dan tanpa perlakuan panas.

2. METODE

2.1 Pengumpulan Data

Material pada penelitian ini merupakan baja dengan kandungan karbon menengah yaitu baja S50C. Material baja S50C banyak digunakan dalam industri manufaktur dan teknik karena kombinasi kekuatan dan kemampuan mesin yang baik, contohnya pada poros (*shaft*) kapal. Dilihat pada Tabel 1 dan Gambar 1.

Tabel 1. Kandungan Baja S50C [31]

No	Unsur	Kandungan (%)
1	Karbon (C)	0.47 – 0.53
2	Mangan (Mn)	0.60 – 0.90
3	Fosfor (P)	0.030
4	Silikon (Si)	0.15 – 0.35
5	Sulfur (S)	0.035

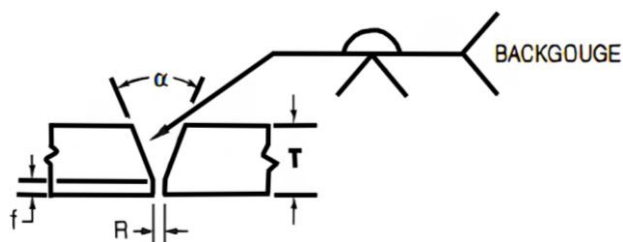


Gambar 1. Plat Baja S50C

Plat Baja S50C merupakan baja kandungan karbon menengah. Baja ini mempunyai titik didih sekitar 3000°C dan titik lebur mencapai 1520°C.

2.2 Pengelasan Shielded Metal Arc Welding (SMAW)

Baja S50C dilakukan menggunakan pengelasan SMAW dengan elektroda E7018 pada arus 90A dengan menggunakan polaritas AC dan DC+. Standar AWS NUMBER 3 [32]. dilaksanakan pada pengelasan posisi 1G dan menggunakan sambungan *Single* kampuh V *Butt Joint* dengan dilakukannya pada sudut 60°.



Gambar 2. Sambungan *Single* kampuh V- *Butt Joint* [32]

Penelitian ini mengaplikasikan pengelasan SMAW dengan parameter berikut: elektroda jenis E7018 dengan 2,6 mm diameter, tegangan antara 20-30 V. Proses pengelasan SMAW sampai pembuatan spesimen dilaksanakan di Inlastek Welding Institute, Surakarta Jawa Tengah.

2.3 Pengujian Tarik

Setelah pengelasan pada baja S50C selesai, spesimen akan dipotong sesuai dengan ukuran standarnya ASTM E8 [29]. Sebanyak 20 spesimen tarik, dengan dimensi 200 mm x 20 mm x 10 mm. Pengujian tarik dilakukan di Laboratorium Struktur dan Kekuatan Kapal, Departemen Teknik Perkapalan, Universitas Diponegoro, menggunakan Mesin Uji Universal (UTM) Model WEW-3100 dengan maksimum kapasitas 1000 kN. Prosedur eksperimen dimulai dengan penandaan setiap masing-masing spesimen sesuai dengan perlakuan dan variasi polaritas yang dilakukan sebelum pengujian. Menyiapkan mesin uji dan sistem komputer terkait. Selanjutnya spesimen akan dijepit dengan kuat pada suatu grip dalam mesin uji tarik dan dikenakan beban tarik, yang diterapkan secara bertahap dari beban awal 0 kg sampai terjadi fraktur.

Parameter yang dievaluasi dalam pengujian tarik meliputi kekuatan tarik atau *Ultimate Strength*, regangan atau *Fracture*

Strain dan modulus elastisitas atau *Young Modulus* [33][34]. *Yield Strength* dan *Fracture Energy*. Kekuatan tarik maksimum atau *Ultimate Strength* merupakan tegangan tertinggi yang dapat ditahan spesimen sebelum patah dan dapat dihitung menggunakan Persamaan 1.

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

Dimana σ adalah tegangan tarik maksimum (MPa), P adalah beban Maksimum (N), dan A_o adalah Luas pada penampang awalan dengan satuan (mm²), luas penampang diambil dari nilai lebar dan ketebalan pada spesimen. Regangan tarik atau *Fracture Strain* diukur pada perubahan sebuah panjang spesimen setelah patah dari panjang awalan sebelum putus dan dapat dihitung menggunakan Persamaan 2.

$$\varepsilon = \frac{\Delta L}{L_o} \times 100\%$$

$$\varepsilon = \frac{(L_i - L_o)}{L_o} \times 100\% \quad (2)$$

Dimana ε adalah regangan maksimum (%), L_i adalah suatu panjang pada spesimen sesudah patahan (mm), dan L_o adalah panjang awal (mm). Modulus Elastisitas atau *Young Modulus* merupakan ukuran kekakuan pada material yang didapatkan dari hasil tegangan hingga regangan yang dirumuskan pada Persamaan 3 [35].

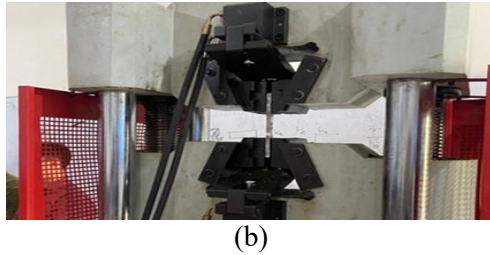
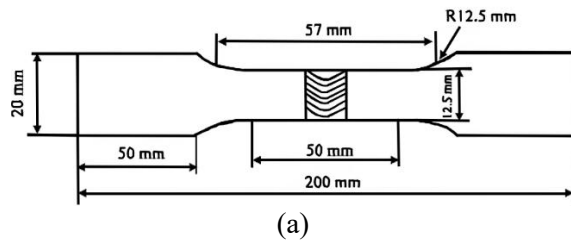
$$E = \frac{\sigma}{\varepsilon} \quad (3)$$

Dimana E adalah Modulus elastisitas dengan satuan (GPa), σ adalah nilai dari tegangan tarik maksimum (MPa), dan ε adalah nilai regangan pada spesimen uji dengan satuan (%). *Fracture Energy* adalah energi yang diperlukan material yang mengalami kegagalan pada keretakan [36]. Dirumuskan dalam Persamaan 4.

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

Dimana Gc adalah *Fracture Energy* dengan satuan (mJ/m³), W adalah energi yang diserap

yang disebabkan oleh keretakan (J), dan A adalah luas penampang yang disebabkan oleh keretakan (mm^2).



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

2.4 Pengujian Impak

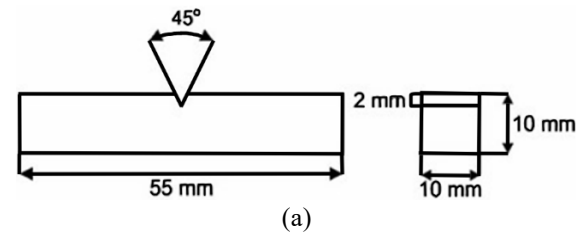
Penelitian ini selain dilakukan pada uji tarik, juga dilakukan pada uji ketangguhan melalui uji impak dengan menggunakan alat uji impak *Charpy* [37] Model DB-300A, guah Instrument Co., Ltd., Dongguan, China. Uji impak berfungsi untuk menilai kerapuhan materia dengan pembuatan spesimen sesuai standar ASTM E23 [30]. Dengan dimensi 55 mm x 10 mm x 10 mm, yang dilaksanakan di Laboratorium Struktur dan Kekuatan Kapal, Departemen Teknik Perkapalan, Universitas Diponegoro. Prosedur eksperimen dimulai dengan penandaan setiap masing-masing spesimen sesuai dengan variasi yang dilakukan sebelum pengujian dan menyiapkan mesin uji pada impak. Selanjutnya spesimen akan diletakkan horizontal dengan takikkan menghadap ke belakang dan pemukulan terjadi di bagian tengah spesimen.

Perhitungan untuk mencari nilai dari ketangguhan hasil impak [38]. Dapat menggunakan rumus Persamaan 5.

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

Dimana T adalah ketangguhan pada spesimen uji impak dengan satuan (J/mm^2), E adalah energi dari hasil pengujian impak yang diserap dalam satuan (J), dan A adalah luas

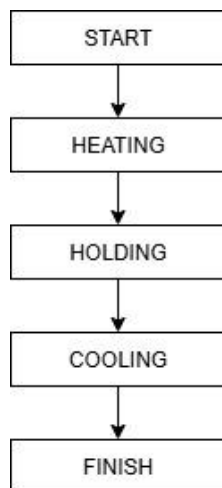
penampang dengan nilai perkalian dari lebar dan tebal masing – masing spesimen sebelum dilakukan pengujian, dengan satuan (mm^2).



Gambar 4. (a) Dimensi Ukuran Spesimen Spesimen Uji Impak, (b) Alat Impak Test

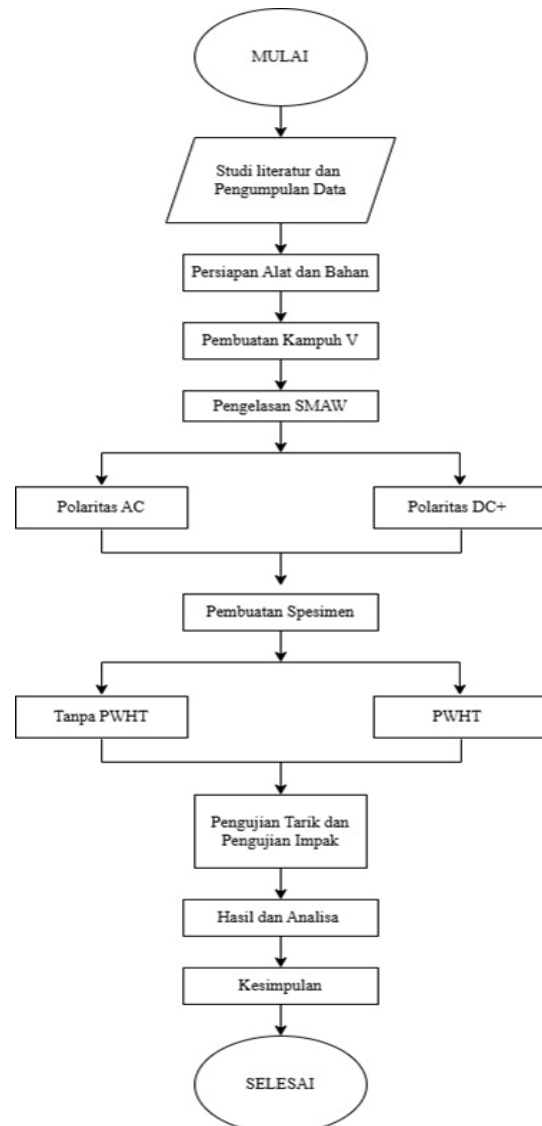
2.5 Penerapan Perlakuan Panas

Selesaiannya spesimen pengujian dibuat, selanjutnya melakukan proses *Post Weld Heat Treatment* (PWHT) yang dilakukan pemanasan kembali sebuah material yang dilakukan di dalam tungku furnace dengan kapasitas maksimal 1100°C , dengan penggunaan suhu pada penelitian ini 600°C selama 60 menit [39], [40]. Proses ini menyebabkan perubahan pada struktur dan grain material akibat pemanasan dan pendinginan. Tegangan sisa yang tinggi terjadinya pada tidak meratanya struktur, yang membuat material lebih keras namun mengurangi ketangguhannya dan meningkatkan keuletannya. PWHT dilakukan untuk memperbaiki keuletan, mengurangi tegangan tarik, dan meningkatkan ketangguhan material. Penggunaan tungku *furnace* dilakukan di Laboratorium Pengelasan Departemen Teknik Perkapalan, Universitas Diponegoro. Setelah penahanan selesai, material didinginkan pada suhu ruang sekitar 28°C - 30°C dengan cara mengeluarkannya dari oven menggunakan alat penjepit.



Gambar 5. Tungku Furnace

2.6 Diagram Alir



Gambar 6. Diagram Alir Penelitian

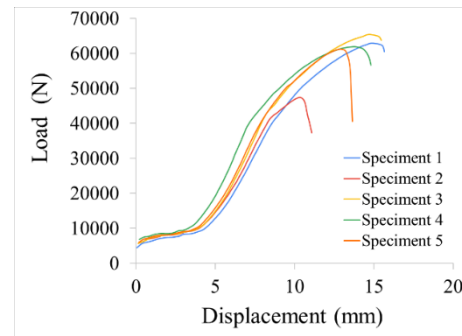
3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Hasil Pengujian Tarik

Pengujian tarik akan mendapatkan nilai kekuatan tarik maksimum pada hasil pengelasan material 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 S50C. Pengujian tarik ini menggunakan standar ASTM E8. Dilihat pada Tabel 2, Gambar 6, Gambar 7, Gambar 8, dan Gambar 9.

Tabel 2. Data Tegangan Tarik

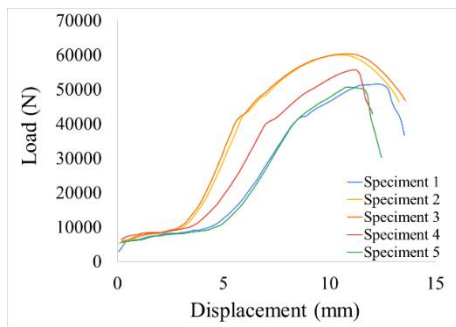
Spesimen	Ao (mm ²)	F (N)	σ Maks (Mpa)	Standar Deviasi	σ Rata-rata (Mpa)
AC PWHT	127	51500	406	35,75	432,789
	128	59800	467		
	128	60200	470		
	130	55900	430		
	130	50800	390		
AC TANPA PWHT	128	52900	413	36,23	477,304
	132	64800	492		
	128	62900	491		
	128	63600	497		
	127	62900	494		
DC+ PWHT	133	59000	444	13,98	447,179
	131	61400	469		
	134	58500	437		
	132	57300	434		
	130	58800	452		
DC+ TANPA PWHT	132	62900	478	51,38	451,283
	132	47400	360		
	137	65400	478		
	129	61600	479		
	133	61000	460		



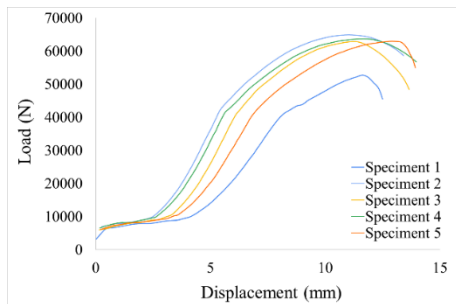
(d)

Gambar 6. Load – Displacement (a) Spesimen AC PWHT, (b) Spesimen AC Tanpa PWHT, (c) Spesimen DC+ PWHT, (d) Spesimen DC+ Tanpa PWHT

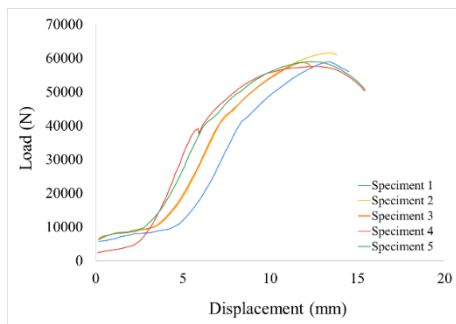
Gambar 6 menunjukkan perbandingan load - displacement pada variasi polaritas pengelasan AC dan DC+ dengan perlakuan panas dan tanpa perlakuan panas terhadap kekuatan tarik suatu material. Pada Gambar 6 (a) kurva menunjukkan kekuatan maksimum sekitar 55.000 N, pada Gambar 6 (b) mengalami peningkatan mencapai gaya maksimum sekitar 61.000 N, sedangkan pada Gambar 6 (c) memiliki kesamaan kekuatan maksimum sekitar 59.000 N. Sehingga polaritas AC Tanpa PWHT mengalami kekuatan maksimum tertinggi dibandingkan dengan penggunaan polaritas pengelasan DC+ Tanpa PWHT maupun dengan PWHT.



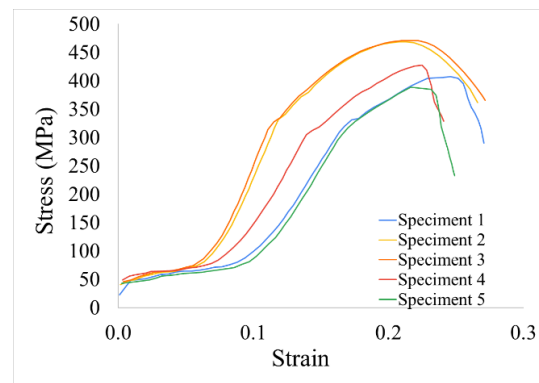
(a)



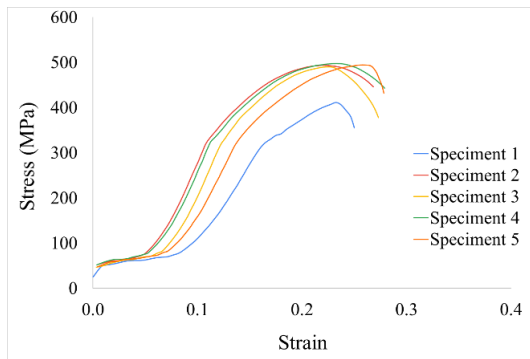
(b)



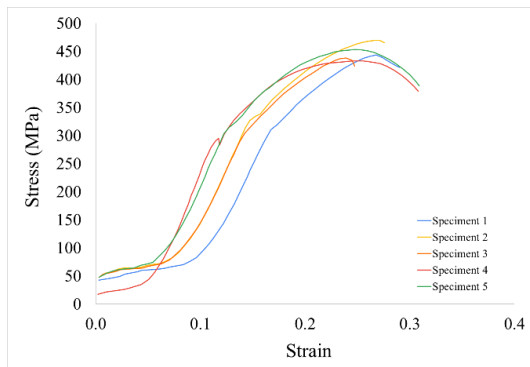
(c)



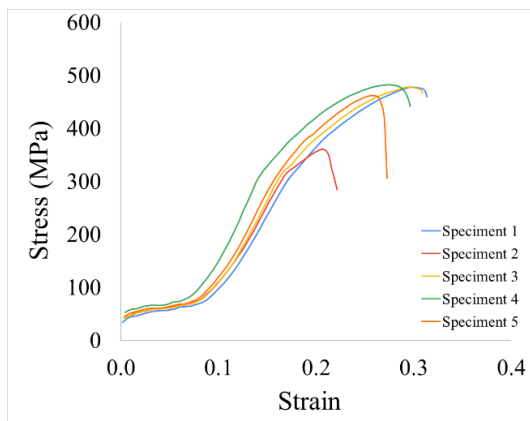
(a)



(b)



(c)



(d)

Gambar 7. Strees – Strain (a) Spesimen AC PWHT, (b) Spesimen AC Tanpa PWHT, (c) Spesimen DC+ PWHT, (d) Spesimen DC+ Tanpa PWHT

Gambar 7 (a) merupakan kurva *stress-strain*. Spesimen AC PWHT memiliki nilai tegangan tarik maksimum sebesar 432.663 Mpa, sementara Gambar 7 (b) spesimen AC Tanpa PWHT mengalami peningkatan nilai tegangan tarik maksimum sebesar 477.353 MPa, sedangkan Gambar 7 (c) spesimen DC+ PWHT memiliki nilai tegangan tarik maksimum sebesar 447,484 MPa, sementara Gambar 7 (d) spesimen DC+ Tanpa PWHT

mengalami peningkatan nilai tegangan tarik maksimum sebesar 452,238 MPa. Sehingga pada polaritas AC Tanpa PWHT mengalami tegangan maksimum tertinggi dibandingkan dengan penggunaan polaritas pengelasan pada DC+.



(a)



(b)

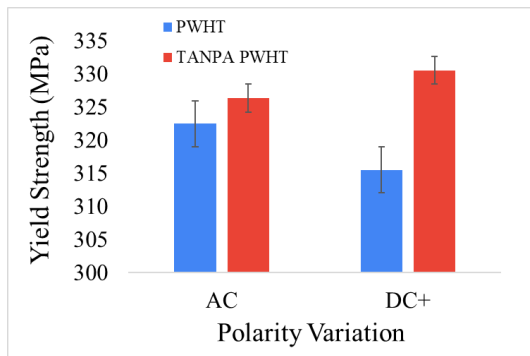


(c)

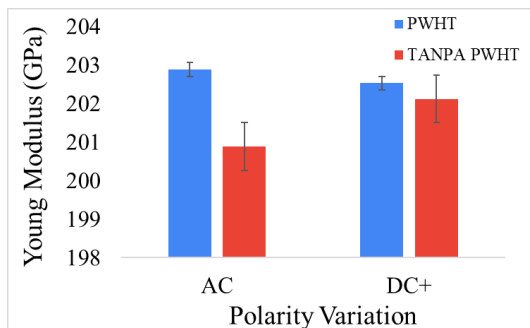


(d)

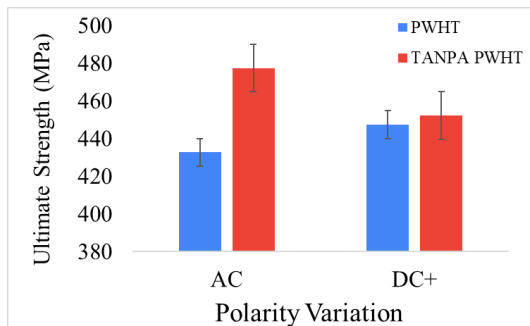
Gambar 8. (a) Spesimen AC PWHT, (b) Spesimen AC Tanpa PWHT, (c) Spesimen DC+ PWHT, (d) Spesimen DC+ Tanpa PWHT



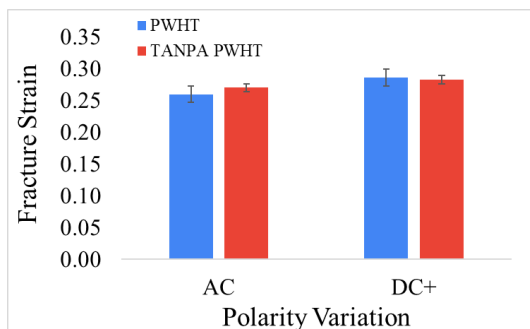
(a)



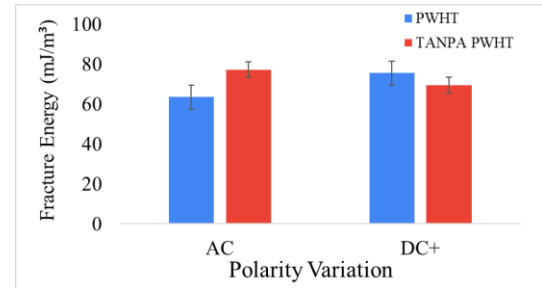
(b)



(c)



(d)



(e)

Gambar 9. (a) Yield Strength, (b) Young Modulus, (c) Ultimate Strength, (d) Fracture Strain, (e) Fracture Energy

Pada Gambar 9 menjelaskan hasil parameter perhitungan uji tarik dari masing-masing perlakuan panas dan polaritas, dimana pada Gambar 9 (a), tegangan maksimum yang dapat ditahan dari masing-masing spesimen sebelum mengenai *yield strength* menunjukkan bahwa polaritas AC Tanpa PWHT memiliki nilai tertinggi sebesar 346.476 MPa dibandingkan AC PWHT. Sementara pada polaritas DC+ Tanpa PWHT juga memiliki nilai tertinggi sebesar 340.774 MPa dibandingkan DC+ PWHT. Sehingga *yield strength* yang memiliki nilai tertinggi adalah polaritas AC Tanpa PWHT. Gambar 9 (b) pada modulus elastisitas menunjukkan nilai AC PWHT memiliki nilai tertinggi sebesar 202.884 GPa dibandingkan AC Tanpa PWHT. Sementara pada DC+ PWHT mengalami nilai tertinggi sebesar 202.529 GPa dibandingkan DC+ Tanpa PWHT. Sehingga modulus elastisitas yang memiliki nilai tertinggi adalah polaritas AC PWHT. Selanjutnya pada Gambar 9 (c) kekuatan maksimum pada AC Tanpa PWHT memiliki nilai tertinggi sebesar 477.502 MPa dibandingkan AC PWHT. Sementara DC+ Tanpa PWHT juga memiliki nilai tertinggi sebesar 452.238 MPa dibandingkan DC+ PWHT. Sehingga kekuatan maksimum yang memiliki nilai tertinggi adalah polaritas AC Tanpa PWHT. Pada Gambar 9 (d) *fracture strain* pada AC Tanpa PWHT memiliki nilai tertinggi sebesar 0.332 dibandingkan AC PWHT. Sementara pada DC+ PWHT memiliki nilai tertinggi sebesar 0.317 dibandingkan DC+ Tanpa PWHT. Sehingga *Fracture Strain* yang memiliki nilai tertinggi adalah polaritas AC Tanpa PWHT. Dan pada Gambar 9 (e) *fracture energy* pada polaritas AC Tanpa PWHT memiliki nilai tertinggi sebesar 77.164 mJ/m³ dibandingkan AC PWHT. Sementara pada

DC+ PWHT memiliki nilai tertinggi sebesar 75.552 mJ/m³ dibandingkan DC+ Tanpa PWHT. Sehingga *fracture energy* yang memiliki nilai tertinggi adalah polaritas AC Tanpa PWHT.

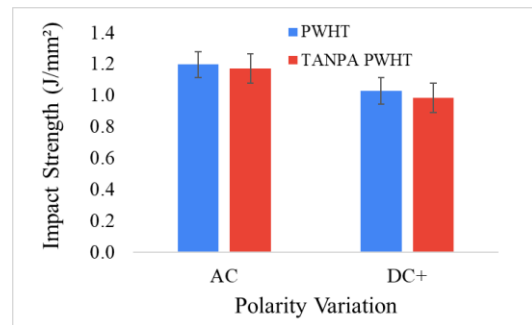
Hal ini berbeda dengan penelitian sebelumnya, dimana pada pengujian tarik baja ASTM A36 pada kampuh x yang dilakukan perlakuan panas terhadap variasi polaritas, dibuktikan hasil pengelasan yang tidak dilakukan perlakuan panas mendapatkan hasil tertinggi pada spesimen AC dengan nilai sebesar 48,544 Kgf/mm² dan Non PWHT DC+ dengan nilai sebesar 52.127 Kgf/mm². Lalu nilai menurun pada spesimen PWHT AC dengan nilai sebesar 46,451 Kgf/mm² dan PWHT DC+ dengan nilai sebesar 46.071 Kgf/mm². Sehingga hasil tegangan tarik maksimum terdapat pada spesimen Non PWHT DC+ dengan nilai sebesar 52.127 Kgf/mm² [27].

3.2 Hasil Pengujian Impak

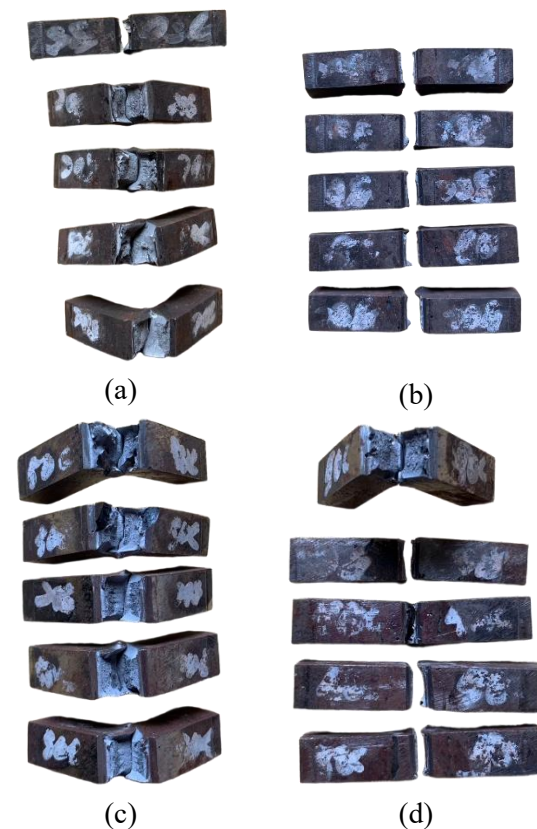
Pengujian impak akan mendapatkan nilai ketangguhan dari hasil material S50C pada variasi polaritas pada perlakuan panas. Pengujian impak ini menggunakan standar ASTM E23. Dilihat pada Tabel 3, Gambar 10 dan Gambar 11.

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)
AC PWHT	108	135	1.25	0.04	1.20
	110	133	1.21		
	110	125	1.13		
	114	136	1.20		
	110	130	1.18		
AC TANPA PWHT	111	125	1.13	0.05	1.17
	113	127	1.13		
	112	130	1.16		
	109	130	1.19		
	109	135	1.24		
DC+ PWHT	115	120	1.05	0.05	1.03
	105	112	1.07		
	112	111	0.99		
	112	108	0.96		
	108	116	1.08		
DC+ TANPA PWHT	110	115	1.04	0.04	0.98
	114	109	0.95		
	118	118	1.00		
	108	100	0.93		
	113	111	0.98		



Gambar 10. Grafik Impact Strength



Gambar 11. (a) Spesimen PWHT AC, (b) Spesimen PWHT DC+, (c) Spesimen Tanpa PWHT AC, (d) Spesimen Tanpa PWHT DC+

Berdasarkan hasil pengujian impak yang dapat dilihat pada Gambar 10. Bahwa hasil pengelasan AC PWHT mendapatkan hasil 1.20 J/mm². Lebih besar dari AC Tanpa PWHT dengan hasil 1.17 J/mm². Sementara pada DC+ PWHT menghasilkan nilai impak 1.03 J/mm², lebih besar dibandingkan DC+ Tanpa PWHT dengan hasil 0.98 J/mm². Hasil nilai impak tertinggi diperoleh pada spesimen AC PWHT dan DC+ PWHT. Jadi hasil impak memiliki hasil maksimal pada spesimen AC PWHT.

Hal ini berbeda dengan penelitian sebelumnya, dimana pada pengujian impak

baja ASTM 36 yang diberikan variasi polaritas DC+ dan DC- dan arus, dibuktikan dengan nilai arus 80A pengelasan DC+ memiliki nilai rata-rata lebih tinggi di banding nilai DC- sebesar 1,9 J/mm². Sehingga nilai rata-rata ketangguhan impak terbesar didapatkan pada arus 80A pengelasan DC+ dengan nilai sebesar 3,2 J/mm² dan nilai rata-rata ketangguhan impak terkecil di dapatkan pada perlakuan arus 60A dengan pengelasan DC+ dengan nilai rata-rata sebesar 1,6 J/mm² [41].

4. KESIMPULAN

Berdasarkan tugas akhir dengan penelitian yang telah dikerjakan dapat disimpulkan Bahwa hasil eksperimen yang dilakukan terhadap pengaruh polaritas dengan atau tidak dilakukannya perlakuan panas secara keseluruhan pada baja S50C. Dalam penggunaan polaritas AC tanpa PWHT memberikan hasil yang lebih baik dalam hal kekuatan tarik, sedangkan polaritas AC dengan PWHT menunjukkan ketangguhan impak yang lebih tinggi. Hal ini menunjukkan bahwa PWHT *Annealing* terhadap variasi polaritas pengelasan akan menghasilkan penurunan kekuatan tarik dan meningkatkan nilai ketangguhan pada impak. Dilihat dalam eksperimen yang telah dilaksanakan, bahwa dengan polaritas AC lebih efektif menghindari terjadinya retak pada material, karena polaritas AC menghasilkan pemanasan serta pendinginana yang lebih baik dibandingkan DC+, maka dengan hal tersebut kekuatan tarik polaritas AC Tanpa PWHT lebih tinggi daripada dengan DC+ Tanpa PWHT dan AC PWHT. Sementara dengan ketangguhannya polaritas AC PWHT lebih baik dibandingkan DC+ PWHT dan AC Tanpa PWHT, karena dengan pemanasan dan pendinginannya yang lebih baik dapat membantu mengurangi keretakan, sehingga dengan dilakukannya perlakuan panas, ketangguhannya akan semakin meningkat dan proses *annealing* memberikan pelunakan dan mengurangi kekerasan pada baja S50C sehingga pada ketangguhannya lebih tahan terhadap benturan dan tidak mudah untuk terjadinya keretakan.

5. DAFTAR PUSTAKA

- [1] "Sae 1049, jis s50c steel," *Alloy digest*, vol. 71, no. 12, 2022, doi: 10.31399/asm.ad.cs0237.
- [2] J. Li *et al.*, "Cold-rolled medium-carbon high-strength steel belt S50C and production method for same," 2019.
- [3] Musthafa Yusuf, "ANALISIS PENGARUH SUHU TEMPERING PADA BAJA S50C HASIL Pengerasan PERMUKAAN TERHADAP STRUKTUR MIKRO DAN SIFAT MEKANIK," Apr. 2020.
- [4] M. H. A. Munandar, K. Kardiman, and D. T. Santoso, "Pengaruh Variasi Holding Time Pada Proses Heat Treatment (Hardening) Untuk Baja S50c Sebagai Pisau Mesin Pencacah Kayu," *Jurnal Mesin Nusantara*, vol. 6, no. 2, pp. 127–136, 2023, doi: 10.29407/jmn.v6i2.20304.
- [5] P. and C. P. and T. C. Klaywanna Kanda and Kumkoon, "Comparative Study of Mechanical Properties for Steel S50C by Induction Heating Application," in *Advanced in Creative Technology- added Value Innovations in Engineering, Materials and Manufacturing*, S. and B. S. and S. P. and B. A. D. L. and B. A. and X. M. A. Janmanee Pichai and Chujuarjeen, Ed., Cham: Springer Nature Switzerland, 2024, pp. 67–75.
- [6] P. Q. , K. B. D. , & Q. D. D. Trung, "A Study of Annealing Effects on the Joints of a Rotary Friction Welds of AISI 1030 Steel," *Key Engineering Materials* , vol. 969, pp. 73–78, Dec. 2023.
- [7] J. Hasil Karya Ilmiah, M. F. Hilaqil S, and W. Amiruddin, "JURNAL TEKNIK PERKAPALAN Analisis Pengaruh Durasi Post Weld Heat Treatment Annealing Pada Pengelasan GMAW Baja ST60 Terhadap Kekuatan Uji Tarik, Uji IMPak, Uji Bending dan Struktur Mikro," *Jurnal Teknik Perkapalan*, vol. 12, no. 3, 2024, [Online]. Available: <https://ejournal3.undip.ac.id/index.php/nav al>
- [8] Z. Zhang *et al.*, "The impact of annealing temperature on improving microstructure and toughness of electron beam welded duplex stainless steel," *J Manuf Process*, vol. 31, pp. 568–582, 2018, doi: <https://doi.org/10.1016/j.jmapro.2017.12.018>.
- [9] Y. Feng, J. Liang, R. Zhang, Z. Song, D. Zhao, and J. Yin, "Method for producing annealing-free hot rolling S50C plate and strip," 2012.
- [10] T. Yao, Z. Sui, and S. Janaswamy,

- "Annealing," 2023, pp. 73–89. doi: 10.1007/978-981-99-5390-5_5.
- [11] I Iswanto, "Sifat Mekanik Poros Kapal Menggunakan Baja S50C Dengan Proses Heat Treatment," *Universitas Muhammadiyah*, 2021.
- [12] P. Biswas, N. R. Mandal, P. Vasu, and S. B. Padasalag, "A study on port plug distortion caused by narrow gap combined GTAW & SMAW and Electron Beam Welding," *Fusion Engineering and Design*, vol. 86, no. 1, pp. 99–105, 2011, doi: <https://doi.org/10.1016/j.fusengdes.2010.08.040>.
- [13] A. Sadeghi, A. Moloodi, M. Golestanipour, and M. Mahdavi Shahri, "An investigation of abrasive wear and corrosion behavior of surface repair of gray cast iron by SMAW," *Journal of Materials Research and Technology*, vol. 6, no. 1, pp. 90–95, 2017, doi: <https://doi.org/10.1016/j.jmrt.2016.09.003>.
- [14] S. F. Haider, M. M. Quazi, J. Bhatti, M. Nasir Bashir, and I. Ali, "Effect of Shielded Metal Arc Welding (SMAW) parameters on mechanical properties of low-carbon, mild and stainless-steel welded joints: A review," *Journal of Advances in Technology and Engineering Research*, vol. 5, no. 5, Oct. 2019, doi: 10.20474/jater-5.5.1.
- [15] M. F. Buchely, H. A. Colorado, and H. E. Jaramillo, "Effect of SMAW manufacturing process in high-cycle fatigue of AISI 304 base metal using AISI 308L filler metal," *J Manuf Process*, vol. 20, pp. 181–189, 2015, doi: 10.1016/J.JMAPRO.2015.08.005.
- [16] C. W. Noor, M. Ferry, and W. B. W. Nik, "A Study of Software Approach for Predicting Weld Bead Geometry in Shielded Metal Arc Welding (SMAW) Process," *Applied Mechanics and Materials*, vol. 554, pp. 386–390, 2014, doi: 10.4028/WWW.SCIENTIFIC.NET/AMM.554.386.
- [17] J. Jasman, I. Irzal, J. Adri, and P. Pebrian, "Effect of Strong Welding Flow on the Violence of Low Carbon Steel Results of SMAW Welding with Electrodes 7018," *Teknomekanik*, vol. 1, no. 1, pp. 24–31, Jun. 2018, doi: 10.24036/tm.v1i1.972.
- [18] B. E. Johnson and A. Hoger, "The use of a virtual configuration in formulating constitutive equations for residually stressed elastic materials," *J Elast*, vol. 41, no. 3, pp. 177–215, 1995, doi: 10.1007/BF00041874.
- [19] P. Dong, S. Song, and J. Zhang, "Analysis of residual stress relief mechanisms in post-weld heat treatment," *International Journal of Pressure Vessels and Piping*, vol. 122, pp. 6–14, 2014, doi: <https://doi.org/10.1016/j.ijpvp.2014.06.002>.
- [20] M. Todo, "Effect of annealing on the fracture toughness of poly(lactic acid)," *J Mater Sci*, no. 57.02434.1E, 2000, <https://doi.org/10.1023/B:JMSC.0000012957.02434.1E>, 2000.
- [21] S.-J. Kim, M. Okido, and K.-M. Moon, "The electrochemical study on mechanical and hydrogen embrittlement properties of HAZ part as a function of post-weld heat treatment in SMAW," *Surf Coat Technol*, vol. 169–170, pp. 163–167, 2003, doi: [https://doi.org/10.1016/S0257-8972\(03\)00219-6](https://doi.org/10.1016/S0257-8972(03)00219-6).
- [22] R. K. Aninda, S. M. Karobi, R. Shariar, Md. 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, 2024, doi: <https://doi.org/10.1016/j.jer.2023.10.012>.
- [23] R. Yustiar, P. * Rusiyanto, W. Widayat, D. Disetujui, and _____ D., "PENGARUH _____ TEMPERATUR ANNEALING SAMBUNGAN LAS SMAW (SHIELDED METAL ARC WELDING) TERHADAP SIFAT MEKANIS DAN FISIS BAJA K-945 EMS-45 Info Artikel," 2012. [Online]. Available: <http://journal.unnes.ac.id/sju/index.php/jme1>
- [24] T. Nagasaka, T. Muroga, M. L. Grossbeck, and T. Yamamoto, "Effects of post-weld heat treatment conditions on hardness, microstructures and impact properties of vanadium alloys," *Journal of Nuclear Materials*, vol. 307–311, pp. 1595–1599, 2002, doi: [https://doi.org/10.1016/S0022-3115\(02\)01170-4](https://doi.org/10.1016/S0022-3115(02)01170-4).
- [25] H. E. Emre and R. Kaçar, "Effect of Post Weld Heat Treatment Process on Microstructure and Mechanical Properties of Friction Welded Dissimilar Drill Pipe," *Materials Research-ibero-american*

- Journal of Materials*, vol. 18, no. 3, pp. 503–508, 2015, doi: 10.1590/1516-1439.308114.
- [26] S. T. Suherman and I. Abdullah, *TEKNIK PENGELASAN (CARA MENGHINDARI CACAT LAS)*. [Online]. Available: <http://umsupress.umsu.ac.id/>
- [27] Fachru Zaenuddin Nur Insan, “Pengaruh Post Weld Heat Treatment (PWHT) Terhadap Sifat Mekanik Material Baja Karbon Rendah Hasil Proses SMAW,” *Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Jakarta*, 2018.
- [28] E. Takahashi, Y. Tsutsumi, K. Okuyama, and F. Ogata, “Partial discharge characteristics of oil-immersed insulation systems under DC, combined AC-DC and DC reversed polarity voltage,” *IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems*, vol. 95, no. 1, pp. 411–420, 1976, doi: 10.1109/T-PAS.1976.32119.
- [29] A. I. ZwickRoell, *ASTM E8/E8M-24: Standard Test Methods for Tension Testing of Metallic Materials*. USA: ASTM International, PA, 2024.
- [30] A. I. ZwickRoell, *ASTM E23-23a: Standard Test Methods for Notched Bar Impact Testing of Metallic Materials*. USA: ASTM International, PA, 2023.
- [31] *ASM Handbook*, Metals Handbook., vol. 9. ASM International, 1992.
- [32] E. L. MCCOMBS, “Structural Welding Code-Steel. American Welding Society (AWS) D1,” 2002.
- [33] W. Ramberg and W. R. Osgood, “Description of Stress-Strain Curves by Three Parameters,” 1943, [Online]. Available: <https://ntrs.nasa.gov/api/citations/19930081614/downloads/19930081614.pdf>
- [34] V. A. Shvetsova and B. Margolin, “Stress-strain curves of polycrystals: Analysis of hardening and softening,” *Strength of Materials*, vol. 27, no. 10, pp. 580–591, 1995, doi: 10.1007/BF02215825.
- [35] M. F. Ashby and D. R. H. Jones, “The Elastic Moduli,” 2012, pp. 29–53. doi: 10.1016/B978-0-08-096665-6.00003-9.
- [36] M. Kwan, “Fracture energy,” 2018, doi: 10.6084/m9.figshare.7154930.
- [37] K. Li-Na, “Impact testing device,” 2013. [Online]. Available: <https://www.freepatentsonline.com/y2013/0239654.html>
- [38] M. Wahyu and A. Irwan, “ANALISA UJI IMPAK BAJA CARBON STEEL 1045 DENGAN MENGGUNAKAN METODE CHARPY,” 2020. [Online]. Available: <http://jurnal.harapan.ac.id/index.php/JSR>
- [39] T. Balamurugan, “Post Weld Heat Treatment,” 2018.
- [40] X. Hu, Q. Ma, Y. Yang, Z. Xu, and Y. Li, “Effect of Postweld Heat Treatment on Microstructure and Properties of Thick S11306 Ferritic Stainless Welded Joints,” *Metals (Basel)*, vol. 13, no. 1, Jan. 2023, doi: 10.3390/met13010081.
- [41] J. Hasil *et al.*, “JURNAL TEKNIK PERKAPALAN Analisa Kekuatan Tarik dan Impak Hasil Las SMAW (Shielded Metal Arc Welding) Pada Baja ASTM A36 Dengan Variasi Polaritas dan Besar Arus Pengelasan,” *Jurnal Teknik Perkapalan*, vol. 9, no. 4, p. 360, 2021, [Online]. Available: <https://ejournal3.undip.ac.id/index.php/nav al>