

PENGARUH VARIASI TEMPERATUR DALAM PROSES PWHT PENGELASAN SMAW UNTUK MATERIAL BAJA SS400 TERHADAP NILAI KEKUATAN TARIK DAN KEKUATAN IMPAK

Fajar Wahyu Pribadi

S1 Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Surabaya
Email: fajar.19059@mhs.unesa.ac.id

Novi Sukma Drastiawati

Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Surabaya
Email: novidrastiawati@unesa.ac.id

Abstrak

Arm Engine merupakan bagian yang menghubungkan roda belakang dengan rangka pada motor dan terpasang diantara rangka mesin. Material untuk *arm engine* sendiri adalah baja karbon rendah SS400. Untuk memproduksi *arm engine* diperlukan proses pengelasan. Baja karbon rendah dapat menggunakan pengelasan SMAW. Pada proses pengelasan SMAW dapat menyebabkan tegangan sisa yang merubah sifat mekanik dari material. Untuk mengurangi tegangan sisa dan memperbaiki sifat mekanik setelah proses pengelasan maka dapat dilakukan dengan metode PWHT (*Post Welding Heat Treatment*) yang bertujuan untuk mencari pengaruh variasi temperatur pada proses PWHT terhadap nilai kekuatan tarik dan kekuatan impak. Penelitian ini menggunakan metode eksperimen dengan memvariasikan temperatur dalam proses PWHT pengelasan SMAW pada material baja SS400, selanjutnya masing-masing variabel akan diuji tarik dan uji impak. Uji tarik bertujuan untuk mengukur kekuatan meregang dari spesimen sebelum patah dan uji impak bertujuan untuk mengukur kemampuan material untuk menahan retakan atau patah (ketangguhan). Spesimen yang sudah diuji tarik dan uji impak, akan dianalisa pengaruh variabel bebas terhadap variabel terikat. Variabel bebas meliputi tanpa PWHT, dengan proses PWHT temperatur 800°C dan temperatur 850°C. Berdasarkan hasil penelitian dapat disimpulkan bahwa terdapat pengaruh pada variasi temperatur dalam proses PWHT terhadap nilai kekuatan tarik dan kekuatan impak pengelasan material baja SS400. Variasi tanpa PWHT memiliki nilai kekuatan tarik tertinggi dengan nilai 456,44 MPa dan variasi temperatur 850°C memiliki nilai kekuatan tarik terendah dengan nilai 411,67 MPa. Sedangkan untuk nilai kekuatan impak tertinggi yaitu variasi temperatur 850°C dengan nilai 0,691 J/mm² dan variasi tanpa PWHT memiliki nilai kekuatan impak terendah dengan nilai 0,445 J/mm².

Kata Kunci: Baja SS400, *Arm Engine*, Variasi Temperatur, PWHT, Uji Tarik, dan Uji Impak

Abstract

The Arm Engine is a component that connects the rear wheel to the frame on a motorcycle and is installed between the engine frame. The material for the arm engine itself is low carbon steel SS400. The production of the arm engine requires a welding process. Low carbon steel can use Shielded Metal Arc Welding (SMAW). In the SMAW welding process, residual stress can alter the mechanical properties of the material. To reduce residual stress and improve mechanical properties after the welding process, this can be done using the Post Welding Heat Treatment (PWHT) method, which aims to investigate the influence of temperature variations in the PWHT process on tensile strength and impact strength values. This research employs an experimental method by varying temperatures in the PWHT process of SMAW welding on SS400 steel material. Subsequently, each variable will undergo tensile and impact tests. The tensile test aims to measure the tensile strength of the specimen before breaking, while the impact test aims to measure the material's ability to resist cracks or fractures (toughness). Specimens that have undergone tensile and impact tests will be analyzed for the influence of independent variables on dependent variables. Independent variables include without PWHT, with PWHT at temperatures of 800°C and 850°C. Based on the research results, it can be concluded that there is an influence of temperature variations in the PWHT process on the tensile strength and impact strength values of SS400 steel welding. The variation without PWHT has the highest tensile strength value at 456.44 MPa, and the 850°C temperature variation has the lowest tensile strength value at 411.67 MPa. Meanwhile, the highest impact strength value is in the 850°C temperature variation at 0.691 J/mm², and the variation without PWHT has the lowest impact strength value at 0.445 J/mm².

Keywords: SS400 Steel, *Arm Engine*, Temperature Variation, PWHT, Tensile Test, and Impact Test

PENDAHULUAN

Sepeda motor memiliki bagian-bagian penting, salah satunya yaitu bagian *arm engine* pada sepeda motor matik. *arm engine* sendiri merupakan bagian penting pada sepeda motor matik yang berfungsi untuk meredam getaran mesin dan permukaan jalan sekaligus menjaga gerak naik saat berkendara.

Material untuk *arm engine* sendiri adalah baja karbon rendah. Baja karbon rendah yang digunakan untuk memproduksi *arm engine* secara umum yaitu menggunakan baja karbon rendah SS400. Untuk memproduksi *arm engine* sendiri memerlukan proses pengelasan. Pengelasan untuk baja karbon rendah dapat menggunakan pengelasan SMAW (*Shielded Metal Arc Welding*). Jika pada pengelasan ini mengalami pemanasan

yang tidak merata maka akan terdapat tegangan sisa pada material setelah proses pengelasan. Hal ini mengakibatkan perubahan struktur yang tidak homogen yang menyebabkan kekuatan dan kekerasan dari hasil lasan akan kurang maksimal dan terdapat tegangan sisa pada material setelah proses pengelasan. Terdapat dua cara untuk membebaskan tegangan sisa yaitu cara mekanik dan cara thermal.

Dari dua cara diatas yang paling sering digunakan adalah cara thermal dengan proses *Post Weld Heat Treatment (PWHT)* (Wiryosumarto, 2004). Proses *Post Weld Heat Treatment (PWHT)* bertujuan untuk mengurangi tegangan sisa dan memperbaiki sifat mekanik setelah proses pengelasan. Metode *PWHT* terbagi menjadi beberapa jenis, salah satunya *PWHT Normalizing*. *Normalizing* adalah teknik yang digunakan untuk memberikan keseragaman dalam ukuran butir dan komposisi (equiaging) di seluruh paduan. *Normalizing* baja merupakan proses pemanasan baja ke fase austenite sehingga akan diperoleh struktur mikro austenite, selanjutnya akan didinginkan dengan media pendingin udara normal hingga suhu kamar. Sehingga struktur material yang berubah karena perlakuan mekanik dapat dikembalikan ke struktur yang normal melalui proses *normalizing* (Jokosisworo, 2018). Penelitian *PWHT* pada pengelasan SMAW dilakukan pada baja SS400 dengan aplikasi pada arm engine yang bertujuan untuk mengurangi tegangan sisa pada material (Wahyunanta & Drastiawati, 2023), (Saputro, Bramantyo Hari & Drastiawati, 2020).

PWHT Normalizing bertujuan untuk menghasilkan ukuran butiran yang homogen sama, bahan yang telah di *Normalizing* akan mempunyai sifat yang merata dengan keuletan yang tinggi. Pada penelitian ini metode *normalizing* dilakukan pada suhu 800°C dan 850°C karena temperatur kritis dari baja karbon rendah sendiri berada pada suhu 760°C dan proses dari *normalizing* sendiri berada pada 40°C diatas temperatur kritis dan memilih pertengahan temperatur dari penelitian sebelumnya.

Berdasarkan penjelasan tersebut, maka penulis melakukan penelitian yang akan menganalisa tentang pengaruh dari variasi temperatur dalam proses *PWHT* pengelasan SMAW terhadap sifat mekanik pada baja SS400. Penggunaan variasi temperatur ini, penulis bertujuan untuk mencari tahu pengaruhnya terhadap sifat mekanik dan kinerja sambungan las. Oleh karena itu judul dari penelitian ini yaitu “Pengaruh Variasi Temperatur Dalam Proses *PWHT* Pengelasan SMAW Untuk Material Baja SS400 Terhadap Nilai Kekuatan Tarik dan Kekuatan Impak”.

Rumusan Masalah

Masalah penelitian ini dapat dirumuskan sebagai berikut:

- Bagaimana pengaruh variasi temperatur terhadap nilai kekuatan Tarik Baja SS400 pada proses *Post Weld Heat Treatment (PWHT)*.
- Bagaimana pengaruh variasi temperatur terhadap nilai kekuatan Impak baja SS400 pada proses *Post Weld Heat Treatment (PWHT)*.

Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini yaitu:

- Untuk mengatui pengaruh variasi temperatur terhadap nilai kekuatan Tarik Baja SS400 pada proses *Post Weld Heat Treatment (PWHT)*.
- Untuk mengetahui pengaruh variasi temperatur terhadap nilai kekuatan Impak Baja SS400 pada proses *Post Weld Heat Treatment (PWHT)*.

METODE

Jenis Penelitian

Pendekatan penelitian menggunakan metode eksperimen asli untuk menguji bagaimana variasi temperatur *PWHT* mempengaruhi sifat mekanik baja SS400. Pengujian tarik dan pengujian impak menjadi tujuan utama penelitian.

Waktu dan Tempat Penelitian

• Waktu Penelitian

Dilakukannya proses penelitian mulai dari tanggal 21 Agustus 2023 – 10 Oktober 2023.

• Tempat Penelitian

- Proses pengelasan material dilakukan di Lab. Pengelasan Politeknik Negeri Malang.
- Proses pengujian tarik dilaksanakan di Lab. Uji Material Jurusan Teknik Mesin Politeknik Negeri Malang.
- Proses pengujian impak dilaksanakan di Lab. Uji Material Jurusan Teknik Mesin Politeknik Negeri Malang.

Variabel Penelitian

• Variabel Bebas

Variabel bebas dalam penelitian ini yaitu tanpa proses *PWHT*, temperatur *PWHT* 800°C, dan temperatur *PWHT* 850°C.

• Variabel Terikat

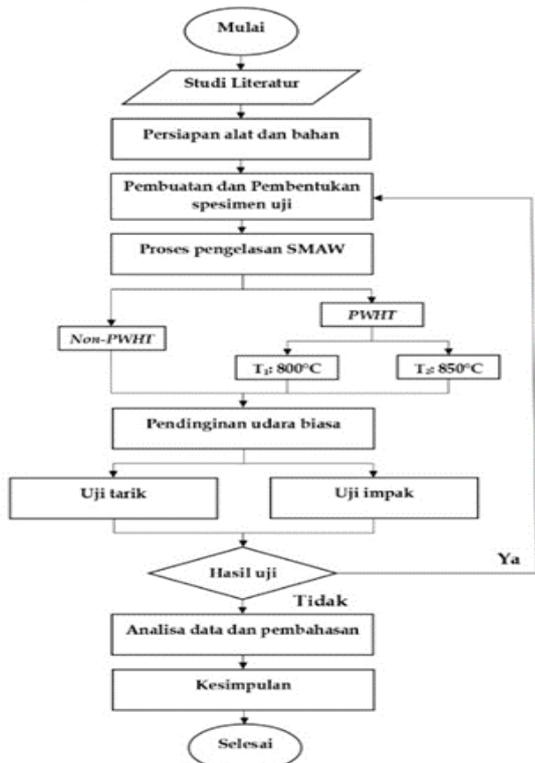
Variabel terikat dalam penelitian ini yaitu nilai kekuatan tarik dan nilai kekuatan impak.

• Variabel Kontrol

Variabel control penelitian ini sebagai berikut:

- Material yang digunakan adalah Baja SS400
- Menggunakan pengelasan SMAW dengan posisi 1G, menggunakan kampuh *single V*, dan memakai sambungan las *butt joint*.
- Proses *PWHT* dilakukan pada suhu 800°C dan 850°C, 40°C diatas temperatur kritis Austenit (Ac1) dengan waktu penahanan (*Holding Time*) 15 menit.

Rancangan Penelitian

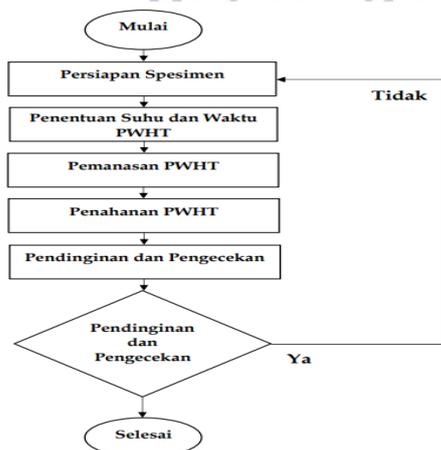


Gambar 1. Diagram Alur Penelitian

Pembuatan dan Pengelasan Spesimen

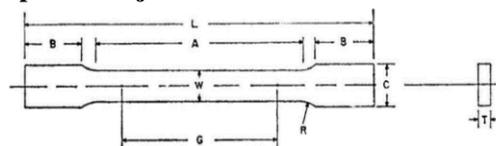
- Mempersiapkan bahan penelitian yaitu baja SS400.
- Mempersiapkan mesin las SMAW dan kawat las E6013
- Pembuatan kampuh pengelasan
- Meratakan permukaan potongan dengan gerinda agar tidak kasar dan mengurangi resiko cacat pada pengelasan.
- Mengatur amper yang akan digunakan.
- Melakukan proses pengelasan dan pendinginan pada ruang terbuka.
- Melakukan pengecekan pada pengelasan.
- Lanjut ke proses PWHT

Proses PWHT



Gambar 2. Diagram Alur Proses PWHT

Spesimen Uji Tarik

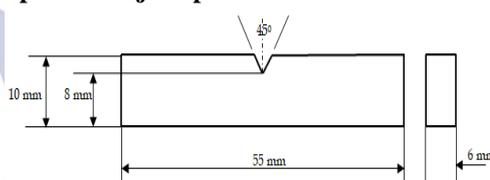


Gambar 3. Spesimen Uji ASTM E8

L (Overall Length)	C (Width of grip section)	W (Width)	T (Thickness)	R (Radius of Fillet)	A (Length of reduced section)
200 mm	20 mm	12,5 mm	6 mm	12,5 mm	57 mm

Tabel 1. Spesimen Uji ASTM E8

Spesimen Uji Impak



Gambar 4. Spesimen Uji ASTM E23

HASIL DAN PEMBAHASAN

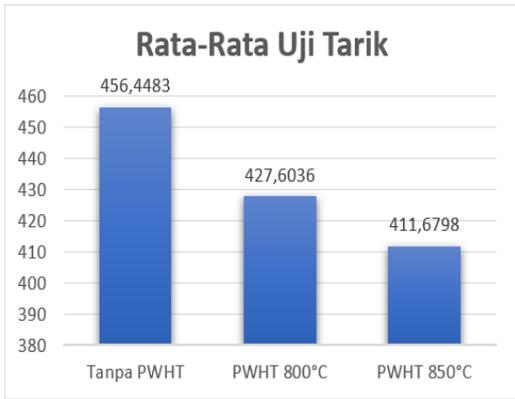
Hasil Pengujian Tarik

Uji Tarik dilakukan di Lab. Uji Material Jurusan Teknik Mesin Politeknik Negeri Malang. Pengujian dilakukan mengikuti standar ASTM E8. Dari hasil pengujian tarik, didapatkan berbagai data yang digunakan untuk mengetahui kekuatan tarik spesimen. Data hasil uji tarik disajikan pada Tabel 2.

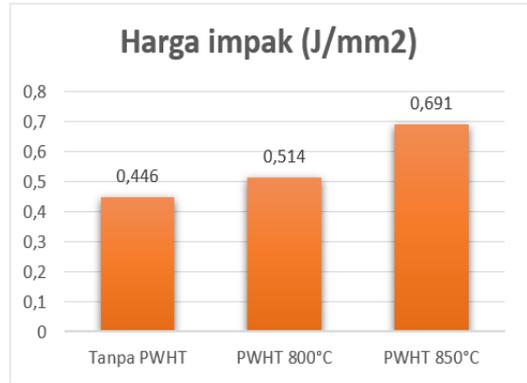
Tabel 2. Hasil Uji Tarik

Variasi	Spesimen	F (N)	σ (MPa)	ϵ (%)
Tanpa PWHT	1	34231,01	456,4135	27,22
	2	34623,41	461,6455	26,34
	3	33846,46	451,2861	26,78
Rata-Rata			456,4483	26,78
PWHT Temperatur 800°C	1	31915,85	425,5447	33,36
	2	32504,45	433,3927	31,18
	3	31790,28	423,8704	25,46
Rata-Rata			427,6036	30
PWHT Temperatur 850°C	1	30108,85	401,4513	25,04
	2	30640,55	408,5407	25,46
	3	31878,57	424,0476	35,12
Rata-Rata			411,6798	28,54

Berdasarkan hasil uji tarik yang telah disajikan, maka didapatkan gambar grafik rata-rata uji tarik seperti dibawah ini.



Gambar 5. Grafik Rata-Rata Uji Tarik



Gambar 6. Grafik Rata-Rata Uji Impak

Dari gambar grafik diatas menunjukkan bahwa penggunaan variasi tanpa PWHT, PWHT 800°C, PWHT 850°C, memiliki hasil uji tarik yang berbeda-beda. Rata-rata nilai uji kekuatan tarik tertinggi didapat pada variasi tanpa PWHT dengan rata-rata 456,44 MPa dan nilai uji kekuatan tarik terendah didapat pada variasi PWHT 850°C dengan rata-rata 411,67 MPa.

Hasil Pengujian Impak

Uji Impak dilakukan di Lab. Uji Material Jurusan Teknik Mesin Politeknik Negeri Malang. Pengujian dilakukan mengikuti standar ASTM E23. Dari hasil pengujian impact, didapatkan berbagai data yang digunakan untuk mengetahui kekuatan impact spesimen. Data hasil uji impact disajikan pada Tabel 3.

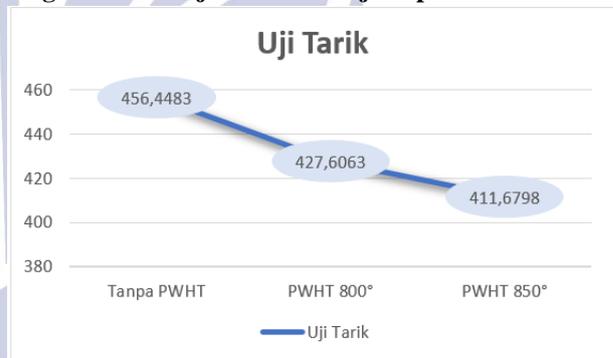
Tabel 3. Hasil Uji Impak

Variasi	Spesimen	α	β	E (Joule)	Harga Impak (J/mm ²)
Tanpa PWHT	1	120°	74°	37,89	0,473
	2		76°	36,24	0,453
	3		80°	32,91	0,411
Rata-Rata				35,68	0,446
PWHT Temperatur 800°C	1	120°	72°	39,52	0,494
	2		68°	42,72	0,534
	3		70°	41,13	0,514
Rata-Rata				40,57	0,514
PWHT Temperatur 850°C	1	120°	50°	55,82	0,697
	2		55°	52,44	0,655
	3		47°	52,74	0,721
Rata-Rata				55,33	0,691

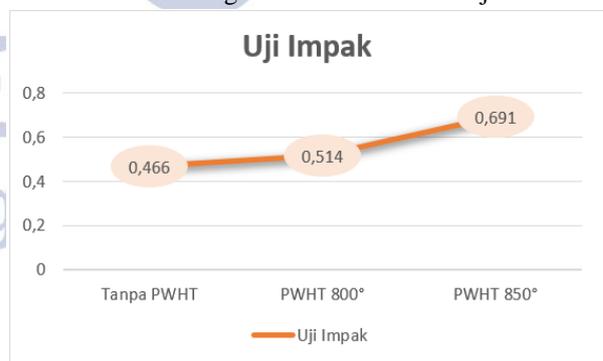
Berdasarkan hasil uji impact yang telah disajikan, maka didapatkan gambar grafik rata-rata uji impact seperti dibawah ini.

Dari gambar grafik diatas menunjukkan bahwa penggunaan variasi tanpa PWHT, PWHT 800°C, PWHT 850°C, memiliki hasil uji impact yang berbeda-beda. Nilai uji impact tertinggi didapat pada variasi PWHT 850°C dengan rata-rata 0,691 J/mm² dan nilai impact terendah didapat pada variasi tanpa PWHT dengan rata-rata 0,445 J/mm².

Diagram Garis Uji Tarik dan Uji Impak



Gambar 7. Diagram Garis Rata-Rata Uji Tarik



Gambar 8. Digaram Garis Rata-Rata Uji Impak

Dari kedua gambar diagram garis (gambar 7 dan gambar 8), menunjukkan bahwa hasil dari uji tarik dan uji impact berlawanan. Dimana hasil dari uji tarik menunjukkan bahwa spesimen tanpa PWHT memiliki nilai kekuatan tarik lebih tinggi daripada spesimen yang diberi perlakuan PWHT, sedangkan pada hasil uji impact menunjukkan bahwa spesimen dengan perlakuan PWHT memiliki nilai

kekuatan impak lebih tinggi daripada spesimen tanpa PWHT.

Pembahasan Hasil Penelitian

• Analisa Pengaruh Variasi PWHT Terhadap Uji Tarik

Melalui hasil pengujian tarik terlihat bahwa terdapat perbedaan nilai pada masing-masing spesimen. Pada spesimen tanpa PWHT mendapatkan hasil dengan rata-rata 456,4483 MPa dan regangan 26,78%, untuk rata-rata nilai kekuatan tarik pada spesimen PWHT 800°C yaitu 427,6036 MPa dan regangan 30%, dan untuk rata-rata nilai kekuatan tarik pada spesimen PWHT 850°C yaitu 411,6798 MPa dan regangan 28,54%. Hal ini membuktikan bahwa ada pengaruh variasi temperatur terhadap hasil kekuatan tarik.

Variasi temperatur dapat mempengaruhi nilai kekuatan tarik material, hal tersebut dikarenakan perbedaan perubahan kekerasan dan ductility pada material setelah proses PWHT. Dimana perubahan ini membuat kekerasan dan kekuatan pada material bertambah tetapi ductilitynya akan menurun. Kekerasan dari logam atau material setelah proses PWHT Normalizing akan bertambah, akan tetapi ductility pada logam atau material tersebut akan menurun (Wahid Suherman, 2003: 110). Hal tersebut juga didukung oleh penelitian (Yusuf Umardani et al., 2014) yang menyatakan bahwa material yang tidak mengalami perlakuan panas PWHT nilai kekuatan tariknya akan lebih tinggi daripada material setelah terkena perlakuan PWHT. Hal ini diperkuat dengan pernyataan (Zulfahmi, 2011) dimana dalam penelitiannya semakin keras suatu material maka ductilitynya akan menurun dan cenderung rapuh. Sehingga kekuatan tarik tertinggi didapatkan pada tanpa PWHT. Sedangkan kekuatan tarik terendah didapatkan pada PWHT 850°C. Hal ini sejalan dengan penelitian (Agy Randhiko et al., 2014) yang menyatakan bahwa material yang diberikan perlakuan panas PWHT diatas temperatur kritis kekerasannya akan meningkat. Hal ini dapat didukung oleh penelitian (Fachru Zaenuddin, 2018) yang menyatakan bahwa perbedaan variasi temperatur PWHT berpengaruh pada sifat mekanik hasil lasan. Pengujian tarik yang menggunakan PWHT mendapatkan hasil rata-rata Tensile Strength lebih kecil daripada rata-rata pengujian tarik tanpa PWHT. Sehingga pada variasi PWHT 850°C mendapatkan nilai kekuatan tarik terendah.

• Analisa Pengaruh Variasi PWHT Terhadap Uji Impak

Melalui hasil pengujian impak terlihat bahwa terdapat perbedaan nilai pada masing-masing spesimen.

Nilai rata-rata pada material hasil pengujian impak didapat dari variasi tanpa PWHT, PWHT 800°C, dan PWHT 850°C memiliki pengaruh terhadap nilai impak. Rata-rata pengujian impak variasi tanpa PWHT yaitu 0,445 J/mm², pada variasi PWHT 800°C mendapat rata-rata pengujian impak 0,514 J/mm², dan untuk variasi PWHT 850°C mendapat rata-rata pengujian impak 0,691 J/mm².

Variasi temperatur dapat mempengaruhi nilai kekuatan tarik material, hal tersebut dikarenakan perbedaan perubahan kekerasan dan ductility pada material setelah proses PWHT. Kekerasan dari logam atau material setelah proses PWHT Normalizing akan bertambah, akan tetapi ductility pada logam atau material tersebut akan menurun (Wahid Suherman, 2003: 110). Hal tersebut juga didukung oleh penelitian (Imam Sakroni, 2017) yang menyatakan bahwa secara keseluruhan energi impak dan kekuatan impak untuk material akan terus meningkat sesuai dengan temperatur pemanasan. Hal ini membuat material akan semakin tangguh dan tegangan sisa akan semakin berkurang seiring dengan semakin tingginya temperatur pemanasan pada material. Hasil ketangguhan yang diperoleh karena PWHT sendiri meningkatkan homogenitas sifat mekanis pada material, sehingga material tersebut lebih konsisten responnya terhadap beban atau pengujian impak. Sehingga pengujian impak tertinggi didapatkan pada variasi PWHT 850°C. Sedangkan pengujian impak terendah didapatkan pada tanpa PWHT. Hal ini sejalan dengan penelitian (Suryadi Ramadhan et al., 2021) yang menyatakan bahwa perlakuan panas PWHT memberikan pengaruh terhadap nilai impak yaitu menjadi lebih tangguh daripada yang tidak mengalami perlakuan. Sehingga pada tanpa PWHT mendapatkan hasil pengujian impak terendah. Hal ini juga didukung oleh penelitian (Gunawan Dwi Haryadi, 2017) menyatakan hasil dari analisis yang telah didapatkan menunjukkan bahwa pemberian perlakuan temperatur PWHT semakin tinggi maka akan menyebabkan nilai ketangguhan akan meningkat dan berkurangnya tegangan sisa pada material. Material tanpa perlakuan panas PWHT juga lebih rentan terhadap pembentukan retakan atau keretakan setelah proses pengelasan. Perlakuan panas PWHT sendiri bertujuan untuk mengurangi tegangan sisa yang timbul selama proses pengelasan. Jika tidak memberikan perlakuan panas PWHT, maka tegangan sisa tidak akan berkurang atau tidak terkontrol dengan baik.

• Analisa Pengaruh Variasi PWHT Terhadap Uji Tarik dan Uji Impak

Berdasarkan Analisis data yang diperoleh, dapat dilihat bahwa hasil dari pengujian tarik dan pengujian impak

berlawanan. Dimana pada uji tarik, spesimen tanpa perlakuan PWHT memiliki kekuatan tarik lebih tinggi daripada spesimen yang diberi perlakuan PWHT, sedangkan pada hasil uji dampak menunjukkan bahwa spesimen dengan perlakuan PWHT memiliki nilai kekuatan dampak lebih tinggi daripada spesimen tanpa PWHT. Hal ini bisa terjadi karena perlakuan panas PWHT dengan variasi temperatur dapat mempengaruhi nilai kekuatan tarik material, hal tersebut dikarenakan perbedaan perubahan kekerasan dan ductility pada material setelah proses PWHT. Dimana perubahan ini membuat kekerasan dan kekuatan pada material bertambah tetapi ductilitynya akan menurun. Kekerasan dari logam atau material setelah proses PWHT Normalizing akan bertambah, akan tetapi ductility pada logam atau material tersebut akan menurun (Wahid Suherman, 2003: 110). Sehingga dalam hal ini spesimen dengan perlakuan PWHT memiliki kekuatan tarik yang rendah, akan tetapi kekuatan impaknya lebih tinggi daripada spesimen tanpa perlakuan PWHT. Pemberian perlakuan temperatur PWHT semakin tinggi akan menyebabkan nilai ketangguhan meningkat dan berkurangnya tegangan sisa pada material. Selain itu perlakuan PWHT sendiri bertujuan untuk mengurangi tegangan sisa yang timbul selama proses pengelasan.

PENUTUP

Simpulan

Berdasarkan penelitian yang dilakukan, diperoleh kesimpulan sebagai berikut:

- Terdapat pengaruh variasi temperatur PWHT pada hasil pengelasan material baja SS400 terhadap nilai uji tarik. Hasil pengujian tarik pada material yang dipengaruhi variasi temperatur PWHT lebih rendah dibandingkan variasi tanpa PWHT. Kekuatan tarik pada material yang dipengaruhi perlakuan PWHT cenderung menurun daripada material yang tidak diberi perlakuan PWHT. Nilai kekuatan tarik tertinggi yaitu pada variasi tanpa PWHT yaitu 456,4483 MPa dan terendah yaitu pada PWHT temperatur 850°C dengan nilai 411,6798 MPa.
- Terdapat pengaruh variasi temperatur PWHT pada hasil pengelasan material baja SS400 terhadap nilai uji dampak. Hasil pengujian dampak pada material yang dipengaruhi variasi temperatur PWHT lebih tinggi dibandingkan variasi tanpa PWHT. Kekuatan dampak pada material yang dipengaruhi perlakuan PWHT akan bertambah semakin tangguh daripada material yang tidak diberi perlakuan PWHT. Nilai ketangguhan tertinggi yaitu pada variasi PWHT temperatur 850°C dengan nilai 0,691 J/mm² dan terendah yaitu pada variasi tanpa PWHT dengan nilai 0,446 J/mm².

Saran

Berdasarkan hasil penelitian yang sudah dilakukan, maka terdapat saran sebagai berikut:

- Diharapkan penelitian selanjutnya menambahkan temperatur dibawah temperatur kritis pada proses PWHT untuk dapat mengetahui perbedaan hasil pada kekuatan tarik dan kekuatan dampak.
- Diharapkan pada penelitian selanjutnya melakukan pengujian bending test.
- Diharapkan pada penelitian selanjutnya untuk menambahkan pengujian struktur mikro agar dapat mengetahui struktur mikro dari plat hasil PWHT.

DAFTAR PUSTAKA

- Haryadi, G. D., Ismail, R., & Haira, M. (2017). Pengaruh Post Weld Heat Treatment (Pwht) dengan Pemanas Induksi Terhadap Sifat Mekanik dan Struktur Mikro Sambungan Las Shield Metal Arc Welding (Smaw) pada Pipa API 5L X52. *Rotasi*, 19(3), 117.
- Insan, F.Z.N. (2018) Pengaruh Post Weld Heat Treatment (Pwht) Terhadap Sifat Mekanik Material Baja Karbon Rendah Hasil Proses SMAW.
- Isna Saputra, L., Budiarto, U., & Jokosisworo, S. (2019). JURNAL TEKNIK PERKAPALAN Analisa Perbandingan Kekuatan Tarik, Dampak, dan Mikrografi Pada Sambungan Las Baja SS 400 Pengelasan SMAW (Shielded Metal Arc Welding) Akibat dengan Variasi Jenis Kampuh dan Posisi Pengelasan. *Jurnal Teknik Perkapalan*, 7(4), 215.
- Jokosisworo, S. (2018). Pengaruh Normalizing Dengan Variasi Waktu Penahanan Panas (Holding Time) Terhadap Sifat Mekanik Baja ST 46. *Kapal: Jurnal Ilmu Pengetahuan Dan Teknologi Kelautan*, 15(2), 68–73.
- Ramadhan, S., Juhan, N., & Syukran. (2021). Analisis Pengaruh Proses Normalizing pada Sambungan Las SMAW Baja SS-400 terhadap Nilai Impact dan Hardness. *Jurnal Mesin Sains Terapan*, 5(2), 1–7.
- Randhiko, A., Haryadi, G.D., & Umardani, Y. (2014). Pengaruh post weld heat treatment (PWHT) T6 pada aluminium alloy 6061-O dan pengelasan longitudinal tungsten inert gas terhadap sifat mekanik dan struktur mikro. *Jurnal Teknik Mesin S-1*, 2(3), 167-174
- Sakroni, I. (2017). Analisa Pengaruh Variasi Temperatur Reforming Terhadap Kekuatan Dampak Dan Kekerasan Pada Baja SS400. Wahid Suherman, 2003. Ilmu logam I. Surabaya: Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- Saputro, Bramantyo Hari & Drastiawati, N. S. (2020). PENGARUH VARIASI MEDIA PENDINGIN DALAM PROSES PWHT PENGELASAN SMAW UNTUK MATERIAL BAJA SS400 TERHADAP NILAI KEKERASAN DAN KEKUATAN TARIK. *Canggih Wahyunanta Novi Sukma Drastiawati Abstrak*.
- Wahyunanta, C., & Drastiawati, N. S. (2023). Pengaruh Media Pendingin Dalam Proses PWHT Pengelasan SMAW Untuk Material Baja SS400 PENGARUH VARIASI MEDIA PENDINGIN DALAM PROSES PWHT PENGELASAN SMAW UNTUK MATERIAL BAJA SS400 TERHADAP NILAI KEKERASAN DAN KEKUATAN TARIK.