

PENGARUH VARIASI TEMPERATUR DALAM PROSES PWHT PENGELASAN SMAW UNTUK MATERIAL BAJA SS400 TERHADAP KEKUATAN BENDING DAN STRUKTUR MIKRO

Muhamad Rosadil Huda

S1 Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Surabaya
Email: m.rosadil.21065@mhs.unesa.ac.id

Akhmad Hafizh Ainur Rasyid

S1 Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Surabaya
Email: akhmadrasyid@unesa.ac.id

Abstrak

Arm engine merupakan komponen yang menghubungkan roda belakang dengan rangka sepeda motor dan biasanya terbuat dari baja karbon rendah tipe SS400. Komponen ini diproduksi melalui proses pengelasan SMAW, yang berpotensi menimbulkan tegangan sisa dan memengaruhi sifat mekanik material. Untuk mengurangi tegangan sisa tersebut serta meningkatkan sifat mekanik baja, dilakukan perlakuan panas pasca-pengelasan (Post Weld Heat Treatment/PWHT) dengan variasi temperatur. Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi pengaruh temperatur PWHT terhadap kekuatan lentur (bending) dan perubahan struktur mikro pada baja SS400. Penelitian ini mengkaji pengaruh variasi temperatur perlakuan panas pasca-las (PWHT) terhadap kekuatan bending dan struktur mikro baja SS400 hasil pengelasan SMAW. PWHT dilakukan pada suhu 650°C, 700°C, dan 750°C, serta dibandingkan dengan sampel tanpa perlakuan. Hasil menunjukkan PWHT pada 650°C memberikan kekuatan bending tertinggi (1342,95 MPa) dan struktur mikro terbaik dengan dominasi fasa ferrit. Semakin tinggi suhu PWHT di atas 650°C, kadar ferrit menurun. Analisis statistik membuktikan bahwa variasi temperatur PWHT berpengaruh signifikan terhadap sifat mekanik dan mikrostruktur sambungan las.

Kata Kunci: SS400, PWHT, SMAW, uji bending, struktur mikro

Abstract

The engine arm is a component that connects the rear wheel to the motorcycle frame and is usually made of low carbon steel type SS400. This component is manufactured through the SMAW welding process, which has the potential to cause residual stress and affect the mechanical properties of the material. To reduce the residual stress and improve the mechanical properties of the steel, post-weld heat treatment (Post Weld Heat Treatment/PWHT) is carried out with temperature variations. This study aims to evaluate the effect of PWHT temperature on bending strength and microstructural changes in SS400 steel. This study examines the effect of post-weld heat treatment (PWHT) temperature variation on the bending strength and microstructure of SS400 steel from SMAW welding. PWHT was conducted at 650°C, 700°C, and 750°C, and compared with untreated samples. The results showed that PWHT at 650°C gave the highest bending strength (1342.95 MPa) and the best microstructure with the dominance of ferrite phase. The higher the PWHT temperature above 650°C, the ferrite content decreased. Statistical analysis proved that the variation of PWHT temperature has a significant effect on the mechanical properties and microstructure of welded joints

Keywords: SS400, PWHT, SMAW, bending test, microstructure

PENDAHULUAN

Saat ini, sepeda motor telah menjadi salah satu kebutuhan utama bagi sebagian masyarakat. Faktor kenyamanan saat berkendara menjadi aspek yang sangat diperhatikan. Berdasarkan data yang dirilis oleh Asosiasi Industri Sepeda Motor Indonesia (AISI), jumlah penjualan sepeda motor di Indonesia pada tahun 2022 mencapai sekitar 5,2 juta unit. Dari total tersebut, motor jenis matik atau skutik masih mendominasi pasar dengan persentase penjualan sebesar 87,49% (Luthfi Anshori, 2022).

Baja karbon rendah SS400 merupakan salah satu material yang umum digunakan dalam industri otomotif karena sifat mekaniknya yang baik, kemudahan dalam pengelasan, serta biaya produksinya yang relatif rendah.

Komponen seperti arm engine pada sepeda motor matic, yang berfungsi sebagai penghubung antara rangka dan mesin, umumnya menggunakan baja ini. Namun, proses pengelasan SMAW (*Shielded Metal Arc Welding*) yang digunakan pada sambungan arm engine berpotensi menimbulkan tegangan sisa serta perubahan mikrostruktur pada zona HAZ (*Heat Affected Zone*) yang dapat menurunkan kekuatan sambungan (Pribadi et al., 2024; Sawaldi et al., 2019).

Salah satu metode untuk mengurangi tegangan sisa dan memperbaiki sifat mekanik sambungan adalah melalui proses *Post Weld Heat Treatment* (PWHT). PWHT dengan metode subcritical annealing dapat memperhalus struktur mikro dan meningkatkan keuletan material dengan cara

memanaskan material pada suhu di bawah temperatur kritis (A_{c1}), kemudian didinginkan secara perlahan (Bayu Arie Hanggara, 2019; Bisri & Hasan, 2019). Penentuan temperatur yang tepat pada proses PWHT sangat penting, karena akan memengaruhi distribusi fasa ferrit dan perlit yang berdampak pada kekuatan mekanik sambungan las (Suherman, 2003; Syafi'ul Umam, 2022).

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengevaluasi efek dari variasi temperatur perlakuan panas pasca-las (PWHT) terhadap karakteristik mekanik dan struktur mikro baja SS400 yang disambung menggunakan proses pengelasan SMAW. Evaluasi dilakukan melalui uji bending dan pengamatan struktur mikro pada daerah las dan HAZ. Hasil penelitian ini diharapkan dapat menjadi acuan dalam penentuan parameter PWHT untuk meningkatkan kualitas sambungan las dalam aplikasi industri (Khalik Achmad Nasra, 2020; Pratama et al., 2019).

METODE

A. Jenis Penelitian

Penelitian ini merupakan studi eksperimental di laboratorium yang bertujuan menganalisis dampak variasi temperatur perlakuan panas pasca-las (PWHT) terhadap sifat mekanik dan struktur mikro baja SS400 yang dilas menggunakan metode SMAW. Pendekatan yang digunakan bersifat kuantitatif, karena data yang diperoleh berupa nilai numerik, seperti kekuatan bending (dalam MPa) dan persentase komposisi struktur mikro.

B. Rancangan Penelitian

Material yang digunakan adalah baja karbon rendah SS400 dengan ketebalan 4 mm. Proses pengelasan dilakukan menggunakan metode SMAW dengan elektroda E6013 berdiameter 2,6 mm, arus 80 A, sambungan butt joint, kampuh single V, dan posisi 1G. Setelah proses pengelasan, spesimen dibagi menjadi empat kelompok perlakuan, yaitu tanpa PWHT, serta PWHT pada temperatur 650°C, 700°C, dan 750°C. PWHT dilakukan selama 15 menit (*holding time*) menggunakan furnace, kemudian didinginkan secara alami di udara.

C. Teknik Pengumpulan Data

Pengumpulan data melalui dua metode:

1. **Uji Bending** untuk memperoleh nilai kekuatan lentur spesimen, dengan mencatat beban maksimum saat spesimen mulai mengalami retak.
2. **Pengamatan Struktur Mikro** menggunakan mikroskop optik untuk mengidentifikasi fasa dominan seperti ferrit dan perlit di zona HAZ. Dokumentasi dilakukan melalui foto mikro dan perhitungan persentase fasa menggunakan metode point count

D. Teknik Analisis Data

Data yang dikumpulkan dianalisis menggunakan pendekatan deskriptif dan perbandingan untuk mengevaluasi perbedaan hasil antar variasi temperatur PWHT. Setiap nilai kekuatan bending dan hasil struktur mikro dari masing-masing perlakuan dibandingkan guna mengidentifikasi kondisi perlakuan yang paling optimal. Penyajian data diperjelas melalui penggunaan tabel dan grafik.

HASIL DAN PEMBAHASAN

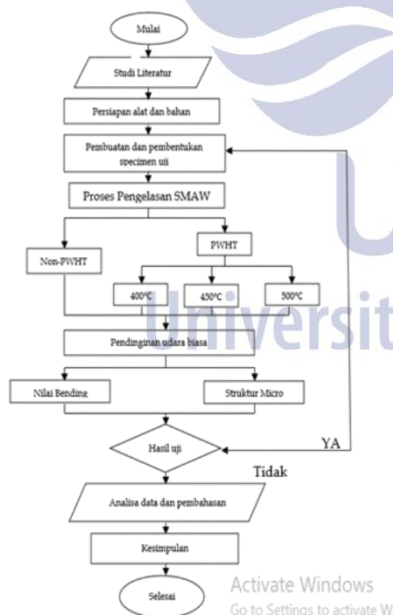
A. Hasil Uji Bending

Pengujian bending dilakukan untuk mengetahui nilai kekuatan lentur setiap spesimen. Hasil pengujian disajikan pada Tabel 1

Tabel 1. Hasil Uji Bending

Perlakuan PWHT	Temperatur (°C)	Kekuatan Bending (MPa)
Tanpa PWHT		1273,78
PWHT Annealing	650	1342,95
PWHT Annealing	700	1299,35
PWHT Annealing	750	1285,03

Dari data di atas, terlihat bahwa spesimen yang diberi perlakuan PWHT pada temperatur 650°C menunjukkan nilai kekuatan bending tertinggi. Peningkatan ini disebabkan oleh proses stress relief yang efektif pada temperatur tersebut, di mana tegangan sisa akibat



Gambar 1. Flowchart

pengelasan dapat dikurangi secara signifikan tanpa memicu pertumbuhan butir yang berlebihan.

Pada temperatur 700°C dan 750°C, nilai kekuatan bending menurun jika dibandingkan dengan 650°C. Hal ini menunjukkan bahwa kenaikan temperatur di atas titik optimal justru mulai melemahkan kekuatan sambungan, kemungkinan karena efek *over-tempering* yang menurunkan kekerasan dan menyebabkan struktur menjadi terlalu lunak

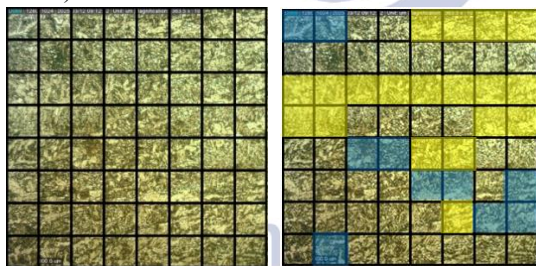
B. Hasil Struktur Mikro

Struktur mikro tanpa perlakuan PWHT menunjukkan distribusi ferrit dan perlit yang tidak seragam, dengan ukuran butir yang lebih besar dan tidak teratur. Perlakuan PWHT pada 650°C menghasilkan struktur paling optimal dengan dominasi ferrit yang merata, ukuran butir halus, dan distribusi fasa homogen. Struktur ini sangat mendukung sifat ulet dan kekuatan yang baik.

Pada perlakuan 700°C dan 750°C, meskipun ferrit masih dominan, terjadi penurunan proporsi akibat pertumbuhan butir dan pelunakan akibat temperatur yang lebih tinggi. Hal ini berdampak langsung pada penurunan kekuatan bending. Untuk menentukan fraksi volume fasa, khususnya ferrit, pada setiap spesimen dilakukan kuantifikasi menggunakan metode point count. Metode ini diaplikasikan untuk menghitung proporsi relatif dari fasa tertentu yang tersebar dalam mikrostruktur logam (Goldstein, 2018).

1. Perhitungan presentase fasa ferrit pada spesimen tanpa perlakuan.

1) Weld Metal



Gambar 1. Spesimen tanpa perlakuan

Untuk warna kuning menunjukkan bahwa titik kotak yang mengenai fasa dan warna biru untuk yang mengenai tepi fasa

Jumlah titik = 100

Titik yang mengenai fasa = 19

Titik yang mengenai tepi fasa = 10

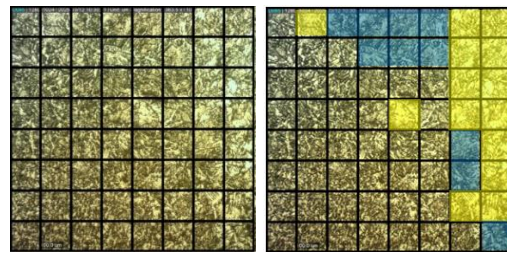
Presentase fasa ferrit

$$= \frac{\text{Jumlah titik yang mengenai fasa}}{\text{jumlah titik total}} \times 100\%$$

$$= \frac{(19 \times 1) + (10 \times 0,5)}{100} \times 100\%$$

$$= 24\%$$

2) Heat Affected Zone (HAZ)



Gambar 2. Spesimen tanpa perlakuan

Untuk warna kuning menunjukkan bahwa titik kotak yang mengenai fasa dan warna biru untuk yang mengenai tepi fasa

Jumlah titik = 100

Titik yang mengenai fasa = 15

Titik yang mengenai tepi fasa = 10

Presentase fasa ferrit

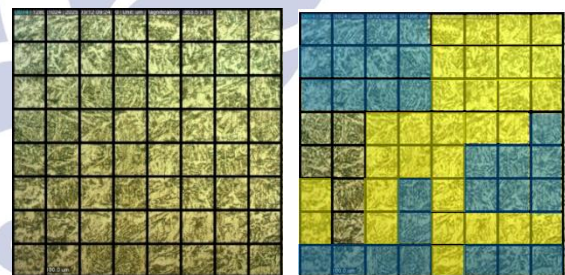
$$= \frac{\text{Jumlah titik yang mengenai fasa}}{\text{jumlah titik total}} \times 100\%$$

$$= \frac{(15 \times 1) + (10 \times 0,5)}{100} \times 100\%$$

$$= 20\%$$

2. Perhitungan presentase fasa ferrit pada spesimen dengan temperatur 650°C.

1) Weld Metal



Gambar 3. Spesimen dengan temperatur 650°C

Untuk warna kuning menunjukkan bahwa titik kotak yang mengenai fasa dan warna biru untuk yang mengenai tepi fasa

Jumlah titik = 100

Titik yang mengenai fasa = 30

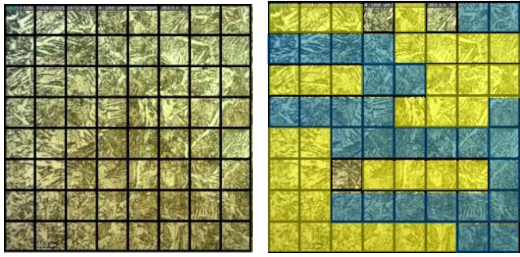
Titik yang mengenai tepi fasa = 28

Presentase fasa ferrit

$$= \frac{\text{Jumlah titik yang mengenai fasa}}{\text{jumlah titik total}} \times 100\%$$

$$= \frac{(30 \times 1) + (28 \times 0,5)}{100} \times 100\%$$

$$= 44\%$$

2) *Heat Affected Zone (HAZ)*

Gambar 4. Spesimen dengan temperatur 650°C

Untuk warna kuning menunjukkan bahwa titik kotak yang mengenai fasa dan warna biru untuk yang mengenai tepi fasa

Jumlah titik = 100

Titik yang mengenai fasa = 33

Titik yang mengenai tepi fasa = 28

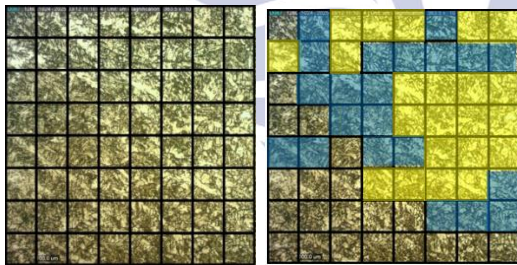
Presentase fasa ferit

$$= \frac{\text{Jumlah titik yang mengenai fasa}}{\text{jumlah titik total}} \times 100\%$$

$$= \frac{(33 \times 1) + (28 \times 0,5)}{100} \times 100\%$$

$$= 47\%$$

3. Perhitungan presentase fasa ferrit pada spesimen dengan temperatur 700°C.

1) *Weld Metal*

Gambar 5. Spesimen dengan temperatur 700°C

Untuk warna kuning menunjukkan bahwa titik kotak yang mengenai fasa dan warna biru untuk yang mengenai tepi fasa

Jumlah titik = 100

Titik yang mengenai fasa = 22

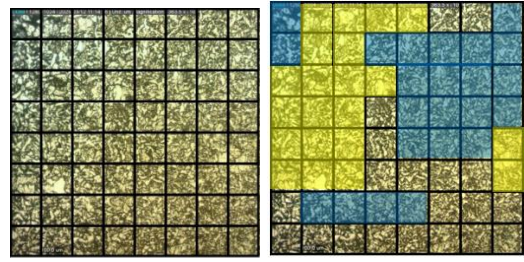
Titik yang mengenai tepi fasa = 21

Presentase fasa ferit

$$= \frac{\text{Jumlah titik yang mengenai fasa}}{\text{jumlah titik total}} \times 100\%$$

$$= \frac{(22 \times 1) + (21 \times 0,5)}{100} \times 100\%$$

$$= 32,5\%$$

2) *Heat Affected Zone (HAZ)*

Gambar 6. Spesimen dengan temperatur 700°C

Untuk warna kuning menunjukkan bahwa titik kotak yang mengenai fasa dan warna biru untuk yang mengenai tepi fasa

Jumlah titik = 100

Titik yang mengenai fasa = 21

Titik yang mengenai tepi fasa = 23

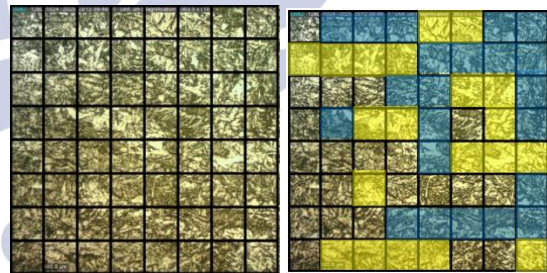
Presentase fasa ferit

$$= \frac{\text{Jumlah titik yang mengenai fasa}}{\text{jumlah titik total}} \times 100\%$$

$$= \frac{(21 \times 1) + (23 \times 0,5)}{100} \times 100\%$$

$$= 32,5\%$$

4. Perhitungan presentase fasa ferrit pada spesimen dengan temperatur 750°C.

1) *Weld Metal*

Gambar 7. Spesimen dengan temperatur 750°C

Untuk warna kuning menunjukkan bahwa titik kotak yang mengenai fasa dan warna biru untuk yang mengenai tepi fasa

Jumlah titik = 100

Titik yang mengenai fasa = 20

Titik yang mengenai tepi fasa = 22

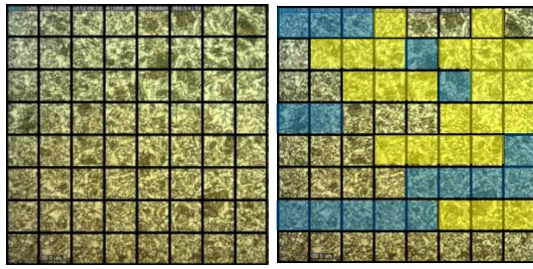
Presentase fasa ferit

$$= \frac{\text{Jumlah titik yang mengenai fasa}}{\text{jumlah titik total}} \times 100\%$$

$$= \frac{(20 \times 1) + (22 \times 0,5)}{100} \times 100\%$$

$$= 31\%$$

2) Heat Affected Zone (HAZ)



Gambar 8. Spesimen dengan temperatur 750°C

Untuk warna kuning menunjukkan bahwa titik kotak yang mengenai fasa dan warna biru untuk yang mengenai tepi fasa

Jumlah titik = 100

Titik yang mengenai fasa = 23

Titik yang mengenai tepi fasa = 17

Presentase fasa ferit

$$= \frac{\text{Jumlah titik yang mengenai fasa}}{\text{jumlah titik total}} \times 100\%$$
$$= \frac{(23 \times 1) + (17 \times 0,5)}{100} \times 100\%$$
$$= 31,5\%$$

Berdasarkan hasil uji struktur mikro, spesimen dengan PWHT 650°C menunjukkan dominasi fasa ferrit pada HAZ dan weld metal dibandingkan variasi 700°C, 750°C, dan tanpa PWHT. Kandungan ferrit tertinggi tercatat sebesar 47% di HAZ, menghasilkan sifat yang lebih ulet dan tangguh dengan kekerasan yang moderat. Sebaliknya, spesimen tanpa PWHT memiliki kandungan ferrit terendah, yakni 20%, yang berdampak pada penurunan sifat mekanik materia

C. Pembahasan

Variasi temperatur PWHT memberikan pengaruh nyata terhadap performa mekanik dan struktur mikro lasan. Temperatur 650°C terbukti sebagai titik optimal, di mana terjadi pelepasan tegangan sisa yang signifikan dan struktur mikro ferrit yang halus terbentuk. Hasil ini sejalan dengan teori Suherman (2003), yang menyatakan bahwa PWHT subkritis memperbaiki distribusi fasa dan meningkatkan keuletan.

Pada temperatur yang lebih tinggi (700–750°C), proses *over-annealing* mulai terjadi, di mana pelunakan berlebihan dan pertumbuhan butir menyebabkan menurunnya kekuatan material. Fenomena ini juga didukung oleh pengamatan mikrostruktur yang menunjukkan kecenderungan pembesaran butir ferrit dan penurunan homogenitas. Selain itu, uji bending menunjukkan bahwa struktur mikro yang dominan ferrit memberikan ketahanan terhadap deformasi dan retak.

Spesimen tanpa PWHT, yang memiliki struktur mikro kurang homogen, mengalami penurunan ketahanan akibat konsentrasi tegangan di zona HAZ

Secara keseluruhan, hasil penelitian ini memperkuat pentingnya penentuan temperatur PWHT yang tepat. Pemilihan temperatur 650°C dapat direkomendasikan untuk aplikasi pengelasan baja SS400 yang memerlukan sambungan berkekuatan tinggi dan struktur mikro yang stabil.

Simpulan

Berdasarkan hasil penelitian mengenai pengaruh variasi temperatur (PWHT) terhadap kekuatan bending dan struktur mikro pada baja SS400 hasil pengelasan SMAW, dapat disimpulkan hal-hal berikut:

1. perlakuan PWHT dengan variasi temperatur memberikan pengaruh signifikan terhadap nilai kekuatan bending. Temperatur PWHT 650°C menghasilkan kekuatan lentur tertinggi sebesar 1342,95 MPa, semakin tinggi temperatur PWHT di atas 650°C (yakni pada 700°C dan 750°C), kecenderungan terjadi karena penurunan kekuatan lentur akibat pelunakan logam yang disebabkan oleh pertumbuhan butir (grain growth).
2. Hasil pengamatan struktur mikro menunjukkan bahwa PWHT pada temperatur 650°C menghasilkan distribusi fasa ferrit dan perlit, fasa ferrite yang lebih merata dengan butiran halus, terutama di zona Heat Affected Zone (HAZ). Struktur ini mendukung peningkatan sifat mekanik lasan, khususnya dalam hal keuletan dan daya tahan terhadap deformasi.

Dengan demikian, temperatur PWHT sebesar 650°C dapat direkomendasikan sebagai perlakuan pasca las yang optimal untuk meningkatkan kualitas sambungan pengelasan SMAW pada baja SS400, baik dari aspek kekuatan maupun kestabilan mikrostrukturnya.

DAFTAR PUSTAKA

- Bayu Arie Hanggara, M. R. H. (2019). Pengaruh Posisi Pengelasan Smaw Dengan Variasi Posisi Elektroda E3086 Terhadap Kekuatan Impak Pada Stainless Steel Aisi 304. *Jurnal Online Universitas Islam Sumatra Utara, PISTON VOL. 4 No. 1*, 1–7.
- Bisri, & Hasan. (2019). *Pengaruh Media Pendinginan Pada Proses Pengelasan Smaw Material Baja SS400 Terhadap Kekuatan Tarik Dan Struktur Mikro*.
- Goldstein, J. (2018). *Scanning Electron Microscopy and X-ray Microanalysis*. Springer.
- Khalik Achmad Nasra, Z. J. C. K. (2020). Pengaruh Post Weld Heat Treatment Terhadap Sifat Mekanik dan Struktur Mikro Baja Karbon ST42 dengan Pengelasan SMAW (Shielded Metal Arc Welding). *Jurnal Teknik Mesin, Vol. 1 No. 1*.

- Luthfi Anshori. (2022). *Penjualan Motor Tahun 2022 Tembus 5,2 Juta Unit*.
- Pratama, Mathews Yose, Untung Budiarto, & And Sarjito Jokosisworo. (2019). Analisa Perbandingan Kekuatan Tarik, Tekuk, Dan Mikrografi Pada Sambungan Las Baja Ss 400 Akibat Pengelasan Fcaw (Flux-Cored Arc Welding) Dengan Variasi Jenis Kampuh Dan Posisi Pengelasan. *Teknik Perkapalan*.
- Pribadi, Fajar Wahyu, & And Novi Sukma Drastiawati. (2024). Pengaruh Variasi Temperatur Dalam Proses Pwht Pengelasan Smaw Untuk Material Baja Ss400 Terhadap Nilai Kekuatan Tarik Dan Kekuatan Impak. *Jurnal Teknik Mesin*, 17–22.
- Sawaldi, A. , Fathier, A. , Ibrahim, & Akhyar. (2019). Pengaruh PWHT terhadap Struktur Mikro Pada Lasan Pipa Baja ASTM A106 grade B. *Jurnal of Welding Technology*, 1, 31–35.
- Suherman, W. (2003). Ilmu Logam. . . *Jurusan Teknik Mesin, Institut Teknologi Sepuluh November Surabaya*.
- Syafi'ul Umam, M. (2022). Pengaruh Variasi Temperatur Pwht Pada Baja St 42 Dan Baja Aisi 1020 Pasca Pengelasan Smaw Terhadap Kekuatan Tarik, Impact, Kekerasan Dan Struktur. *Im Malang*.

