

PENGARUH VARIASI MEDIA PENDINGIN SETELAH PWHT PENGELASAN SMAW BAJA ST37 TERHADAP KETANGGUHAN DAN STRUKTUR MIKRO

Ash Fahani Arrochman

S1 Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Surabaya
Email: ash.20033@mhs.unesa.ac.id

Akhmad Hafizh Ainur Rasyid

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

Abstrak

Penelitian ini berfokus pada pengelasan baja karbon rendah ST37, yang banyak digunakan dalam industri otomotif, khususnya pada rangka sepeda motor. Salah satu masalah yang sering muncul pada pengelasan adalah retak atau patahnya rangka di area *Heat Affected Zone* (HAZ), yang disebabkan oleh tegangan sisa. Untuk mengurangi tegangan sisa, metode yang umum digunakan adalah *Post Weld Heat Treatment* (PWHT), diikuti dengan pendinginan. Penelitian ini menggunakan metode eksperimen dengan memvariasikan media pendingin setelah PWHT pada pengelasan SMAW. Pengujian dampak dan struktur mikro dilakukan setelah proses PWHT dan pendinginan. Hasil menunjukkan bahwa spesimen yang didinginkan dengan minyak sayur memiliki nilai dampak 0,788 J/mm², dengan oli 0,905 J/mm², dan tanpa media pendingin 1,095 J/mm². Hasil uji struktur mikro menunjukkan bahwa fasa ferit lebih dominan karena laju pendinginan yang lambat. Sebaliknya, ketika laju pendinginan meningkat, kekuatan dampak cenderung menurun akibat terbentuknya fasa perlit dan martensit. Dengan demikian, dapat disimpulkan bahwa penggunaan media pendingin mempercepat laju pendinginan, yang pada akhirnya menurunkan kekuatan dampak.

Kata Kunci: SMAW, Rangka, ST37, PWHT, Media Pendingin, Uji Dampak, Uji Struktur Mikro

Abstract

This study focuses on welding low carbon steel ST37, which is widely used in the automotive industry, particularly for motorcycle chassis. One common issue in welding is the cracking or breaking of the chassis in the Heat Affected Zone (HAZ), caused by residual stress. To reduce residual stress, the commonly used method is post weld heat treatment (PWHT), followed by cooling. This research uses an experimental method by varying cooling media after PWHT on SMAW welding. Impact and microstructure tests were conducted after the PWHT and cooling processes. The results showed that specimens cooled with vegetable oil had an impact value of 0.788 J/mm², with oil 0.905 J/mm², and without cooling media 1.095 J/mm². The results of the microstructure analysis show that the ferrite phase is more dominant due to the slow cooling rate. Conversely, when the cooling rate increases, the impact strength tends to decrease as pearlite and martensite phases form. Thus, it can be concluded that the use of a cooling medium accelerates the cooling rate, which ultimately reduces the impact strength.

Keywords: SMAW, Chassis, ST37, PWHT, Cooling Media, Impact Test, Microstructure Test

PENDAHULUAN

Pada masa kini seiring berkembangnya teknologi yang semakin maju terutama pada bidang manufaktur, tentunya banyak melibatkan bagian proses penggabungan logam atau biasa disebut dengan pengelasan. Pengelasan merupakan penyambungan dua logam atau lebih dengan menggunakan panas dan/atau tekanan. Proses ini meliputi penggabungan material dasar dan bahan pengisi logam (*American Welding Society*). Salah satu pengaplikasian pengelasan pada konstruksi manufaktur adalah konstruksi otomotif.

Dalam proses pembuatan rangka sepeda motor, pengelasan memiliki peran yang sangat penting. Penyambungan rangka sering dilakukan dengan metode las SMAW (*Shielded Metal Arc Welding*) karena

kemudahannya, efisiensinya, serta kemampuannya dalam berbagai posisi yang berbeda. Adapun, dalam proses pengelasan sasis, beberapa permasalahan umum yang sering ditemui meliputi retak, bengkok, dan bahkan patahnya rangka, terutama di daerah yang terpengaruh oleh panas (*Heat Affected Zone/HAZ*).

Dalam konstruksi rangka, disarankan untuk memperhatikan kemungkinan adanya tegangan sisa dan perubahan sifat mekanik yang signifikan di beberapa area akibat distribusi panas yang tidak merata. Proses terjadinya tegangan sisa dipengaruhi oleh sejumlah faktor yang beragam, termasuk batas transformasi materi, batas luluh, suhu pemanasan tinggi, laju pendinginan, resistansi dari lingkungan eksternal, ketebalan bahan, arus saat proses pengelasan, lama waktu pengelasan, tahap pemanasan awal, dan juga area serta panas yang

terpengaruh langsung dari proses las. Biasanya wilayah HAZ memiliki tegangan sisa yang lebih tinggi daripada daerah lain (Ramang Magga, 2012).

Penelitian yang dilakukan oleh Chabiibullah (2023) berusaha untuk mengatasi permasalahan tersebut melalui pemanfaatan media pendingin untuk meningkatkan sifat mekanik material setelah proses pengelasan. Namun, dari hasil penelitian menunjukkan bahwa spesimen tanpa media pendingin memiliki nilai uji impact tertinggi, mencapai 0,303 J/mm², sementara nilai terendah yang tercatat pada spesimen menggunakan media pendingin gel lidah buaya adalah sebesar 0,066 J/mm². Oleh karena itu, belum ada bukti yang menunjukkan efektivitas penggunaan media pendingin dalam meningkatkan ketangguhan bahan. Maka, penulis berencana untuk melanjutkan penelitian dengan menerapkan metode inovatif guna mengatasi tegangan sisa.

Pembebasan tegangan sisa pada material dapat dilakukan secara mekanik atau termal, dengan metode termal seperti *Post Weld Heat Treatment* (PWHT) menjadi yang paling umum digunakan. PWHT melibatkan pemanasan logam pada suhu tertentu, mempertahankan suhu tersebut, lalu mendinginkannya perlahan. Metode ini tidak hanya efektif untuk mengurangi tegangan sisa tetapi juga meningkatkan ketangguhan di daerah heat-affected zone (HAZ) dan memperbaiki struktur butir kristal material. Struktur butir yang halus berkontribusi pada peningkatan ketangguhan dan pengurangan kegetasan.

Penambahan media pendingin dengan kerapatan rendah setelah PWHT berpotensi memperbaiki sifat mekanik material. Pendinginan yang lambat melalui media ini memungkinkan pembentukan struktur yang lebih ulet.

Berdasarkan hal tersebut, tujuan dari penelitian ini untuk mengetahui pengaruh variasi media pendingin setelah PWHT terhadap ketangguhan dan struktur mikro sambungan las SMAW pada baja ST37. Judul penelitian ini adalah “Pengaruh Variasi Media Pendingin Setelah *Post Weld Heat Treatment* (PWHT) Pengelasan SMAW Baja ST37 Terhadap Ketangguhan dan Struktur Mikro”.

METODE

Jenis Penelitian

Penelitian ini menggunakan pendekatan eksperimen, yaitu jenis penelitian yang dirancang untuk mengetahui pengaruh suatu perlakuan terhadap variabel lain dalam kondisi yang terkontrol (Sugiyono, 2016). Pendekatan yang digunakan adalah eksperimen sejati (true experimental research) dengan tujuan mendapatkan data yang akurat dan relevan sesuai dengan variabel serta tujuan penelitian. Data yang diperlukan hanya dapat diperoleh melalui percobaan yang dilakukan secara terencana dan terkontrol.

Penelitian ini memanfaatkan metode eksperimen yang diawali dengan proses pembuatan serta pengelasan spesimen. Kemudian spesimen dikenai proses *Post Weld Heat Treatment* (PWHT) dengan menggunakan berbagai jenis media pendingin seperti oli SAE 20W, minyak sayur, dan udara. Kemudian, dilakukan pengujian dampak dan

analisis struktur mikro untuk mengevaluasi kekuatan hasil pengelasan pada material. Penelitian ini menggunakan desain faktorial sebagai pendekatan yang digunakan. Desain ini memperhatikan bagaimana variabel moderator mempengaruhi hubungan antara variabel bebas dan variabel terikat, sambil meneliti efek dari penggabungan dua atau lebih perlakuan terhadap variabel terikat. Desain ini dibuat dengan tujuan untuk mengumpulkan sebanyak mungkin informasi dengan cara yang simpel, sehingga penelitian dapat berjalan dengan efektif dan efisien.

Tabel 1 Desain Eksperimen Penelitian

Perlakuan	Pengujian	
	I ₁	I ₂
T ₁	T ₁ I ₁	T ₁ I ₂
T ₂	T ₂ I ₁	T ₂ I ₂

Keterangan :

T₁I₁ = Tanpa media pendingin dengan pengujian impact.

T₁I₂ = Tanpa media pendingin dengan pengujian foto struktur mikro.

T₂I₁ = Menggunakan media pendingin dengan pengujian impact.

T₁I₁ = Menggunakan media pendingin dengan pengujian foto struktur mikro.

Waktu dan Tempat Penelitian

- **Waktu Penelitian**

Penelitian ini dilakukan pada tanggal 2 Agustus 2024 hingga 30 September 2024.

- **Tempat Penelitian**

Tempat penelitian ini dilaksanakan di Laboratorium penguji bahan POLINEMA.

- **Objek Penelitian**

Penelitian ini menggunakan objek baja ST37 dengan dilakukan perlakuan PWHT setelah pengelasan SMAW dengan elektroda E6013 diameter 4 mm.

Variabel Penelitian

- **Variabel Bebas (Independent)**

Variabel bebas merupakan variabel yang mempengaruhi atau menjadi penyebab perubahan atau terciptanya variabel terikat. Variabel bebas dalam penelitian ini adalah media pendingin oli SAE 20W dan minyak sayur digunakan setelah proses PWHT.

- **Variabel Terikat (dependent)**

Variabel terikat merupakan variabel yang dipengaruhi atau yang menjadi akibat karena adanya variabel bebas (Sugiyono, 2016). Variabel terikat dalam penelitian ini adalah hasil pengujian

impak dan foto struktur mikro pada baja ST 37 dengan proses PWHT.

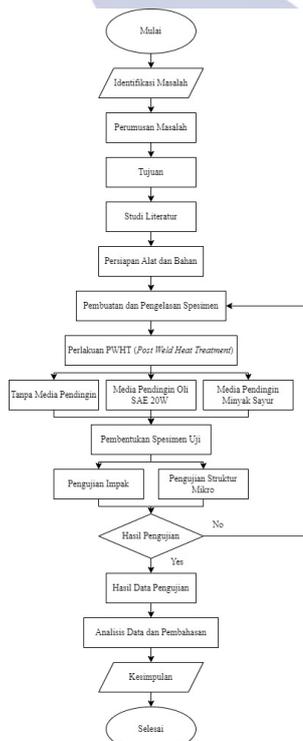
- Variabel Kontrol

Variabel kontrol merupakan variabel yang dikendalikan atau dibuat konstan sehingga pengaruh variabel independen terhadap variabel dependen tidak dipengaruhi oleh faktor luar yang tidak diteliti (Sugiyono, 2016). Variabel kontrol dalam penelitian ini adalah:

- Material plat baja ST37 ketebalan 10 mm.
- Menggunakan pengelasan SMAW
- Menggunakan elektroda E-6013 Ø 4 mm.
- Kampuh las single V- Groove 60°
- Pengelasan dilakukan oleh satu tukang las dengan mesin las yang sama dan posisi pengelasan yang sama (1G)
- Standart spesimen uji impact ASTM E23
- Pengujian impact harus patah/rusak pada daerah HAZ (*Heat Affected Zone*).
- Perlakuan PWHT setiap spesimen dengan temperatur 850°C dan *holding time* selama 90 menit.

Rancangan Penelitian

Penelitian ini disusun secara sistematis dalam bentuk diagram alir penelitian sebagai berikut:

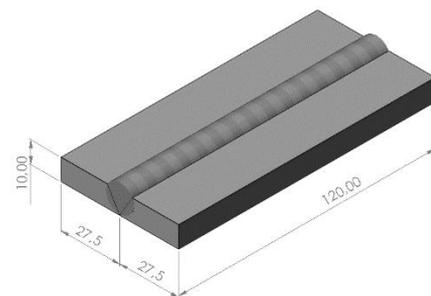


Gambar 1 Diagram Alir Penelitian

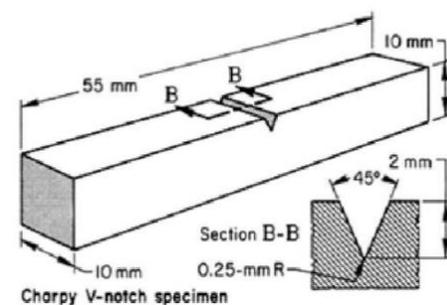
Proses Pembuatan dan Pengelasan Spesimen

- Menyiapkan bahan utama berupa baja ST37
- Menyiapkan mesin las SMAW dan elektroda E-6013 diameter 4mm

- Membuat kampuh pengelasan
- Meratakan dan menghaluskan permukaan potongan untuk mengurangi resiko cacat pengelasan
- Mengatur *ampere* yang akan digunakan
- Melakukan pengelasan pada material kemudian memotong spesimen sesuai standar pengujian impact ASTM E23
- Melakukan PWHT (*Post Weld Heat Treatment*) menggunakan media pendingin oli SAE 20W dan minyak sayur.



Gambar 2 Desain Pengelasan Spesimen



Gambar 3 Spesimen Uji Impact ASTM E23

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil Pengujian Impact

Pengujian impact dilakukan untuk mengetahui kemampuan material dalam menahan beban impact. Setelah pengujian impact, didapatkan sudut akhir pendulum (β). Sudut ini digunakan untuk menghitung nilai impact dengan menggunakan rumus berikut:

Nilai Impact suatu spesimen yang diuji coba menggunakan impact charpy dirumuskan:

$$HI = E/A$$

Keterangan:

HI = Nilai Impact (Kg/mm²)

E = Energi Yang Diserap (Joule)

A = Luas Penampang di bawah takikan (mm²)

Usaha yang dilakukan pendulum waktu memukul benda uji atau energi yang diserap benda uji sampai patah didapat rumus yaitu:

Sedangkan Energi terserap spesimen uji dihitung dengan rumus :

$$E = m \cdot g \cdot \lambda (\cos \beta - \cos \alpha)$$

Keterangan:

E = Energi terserap mematahkan spesimen uji (J)

m = Berat Pendulum (Kg)

g = Gravitasi 9,81 m/s²

λ = Jarak lengan pengayun (m)

α = Sudut posisi awal pendulum

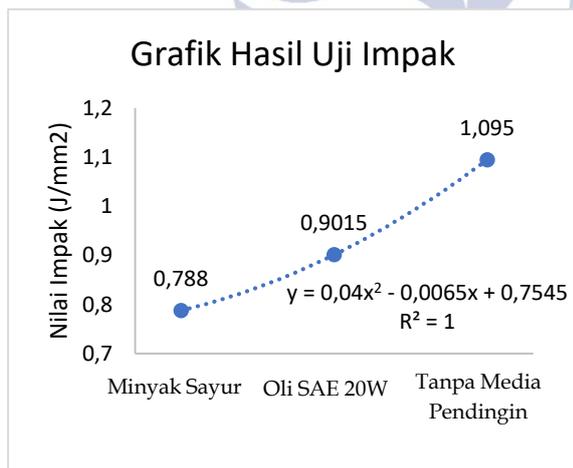
β = Sudut posisi akhir pendulum

Berikut merupakan nilai dari pengujian impact setelah

dilakukan proses PWHT pada pengelasan baja ST37.

Tabel 2. Lembar Hasil Pengujian Impact

Variasi	α	B	Energi Impact (Joule)	Nilai Impact (J/mm ²)	Rata-rata Nilai Impact
Minyak Sayur	120	89,8	63,40	0,7927	0,788
	120	90,7	61,41	0,7676	
	120	89,3	64,49	0,8061	
Oli SAE 20W	120	85,9	71,98	0,8997	0,9015
	120	86,2	71,32	0,8915	
	120	85,4	73,08	0,9135	
Tanpa Media Pendingin	120	72,9	100,01	1,25	1,095
	120	79,6	85,71	1,0713	
	120	83,6	77,02	0,9627	



Gambar 4 Grafik Polynomial Hasil Pengujian Impact

Hasil eksperimen menunjukkan kenaikan, hal tersebut dibuktikan dengan grafik polynomial serta nilai R² sebesar 1 yang artinya variabel saling berhubungan.

Dapat diketahui hasil dari pengujian impact pada gambar di atas memiliki rata-rata nilai impact yang berbeda-beda. Rata-rata nilai impact media pendingin minyak sayur 0,788 j/mm². Rata-rata nilai impact media pendingin oli SAE 20W 0,9015 j/mm². Rata-rata nilai impact tanpa media pendingin 1,095 j/mm². Dari hasil uji impact menunjukkan bahwa media pendingin setelah

dilakukan proses PWHT mempengaruhi nilai impact. Media pendingin mempengaruhi nilai impact ditinjau dari kecepatan pendinginannya, dengan pendinginan yang lebih cepat maka nilai impact semakin menurun dan berbanding terbalik dengan pendinginan yang lebih lambat menghasilkan nilai impact yang semakin meningkat.

Hasil Pengujian Foto Mikro

Pengujian foto mikro digunakan untuk mengetahui perubahan fasa yang terjadi karena adanya perlakuan panas. Berikut merupakan hasil pengujian foto mikro hasil pengelasan baja ST37 setelah proses PWHT.

Tabel 3. Lembar Hasil Foto Mikro

Variasi	Base Metal	HAZ	Weld Metal
Tanpa Media Pendingin			
Minyak Sayur			
Oli SAE 20W			

Pada pengujian foto struktur mikro ini terbentuk fasa ferrit, perlit, dan martensit. Untuk mengetahui presentase fasa terutama ferrit, tiap spesimen dilakukan perhitungan dengan menggunakan metode *point count*. Metode ini digunakan untuk menghitung persentase dari fasa tertentu yang tersebar dalam struktur mikro dari suatu logam. Metode *point count* menggunakan *grid* sebagai media perhitungan. Sebelum dilakukan perhitungan hasil foto mikro dipotong dengan dimensi (100 mikrometer x 100 mikrometer). Metode *point count* memiliki beberapa keunggulan dalam menghitung persentase fase mikrostruktur baja ST37, antara lain:

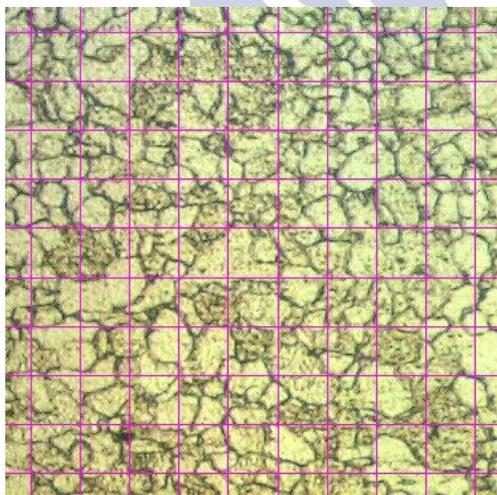
- Akurat dan Konsisten: Metode ini memberikan hasil yang cukup akurat karena menghitung jumlah titik dari fase tertentu dalam grid yang dipilih secara acak, sehingga mampu menghasilkan representasi proporsi fase mikro yang konsisten.
- Mengurangi Bias Pengamatan: Dengan distribusi titik acak di area sampel, metode ini mengurangi subjektivitas dan bias pengamat, yang penting dalam

analisis mikrostruktur untuk mendapatkan hasil yang obyektif.

- Proses yang Relatif Mudah dan Efisien: Teknik point count tidak memerlukan perangkat lunak khusus atau peralatan mahal, sehingga prosesnya lebih sederhana dan ekonomis dibandingkan metode kuantitatif lainnya.
- Cocok untuk Struktur Heterogen: Baja ST37, yang mungkin memiliki variasi fase seperti ferit dan perlit, dapat dianalisis dengan baik menggunakan metode ini karena point count mampu memberikan data proporsional dari fase-fase yang berbeda dalam mikrostruktur heterogen.

Metode ini memberikan keseimbangan yang baik antara akurasi, efisiensi waktu, dan kemudahan dalam aplikasi, sehingga cocok digunakan untuk menghitung persentase fase mikrostruktur pada baja ST37. (ASTM E562-02, 2002)

- Perhitungan persentase fase ferrit pada spesimen dengan pendinginan udara.
 - *Base Metal*



Gambar 5 Metode *Point Count* pada *Base Metal* Spesimen dengan Pendinginan Udara

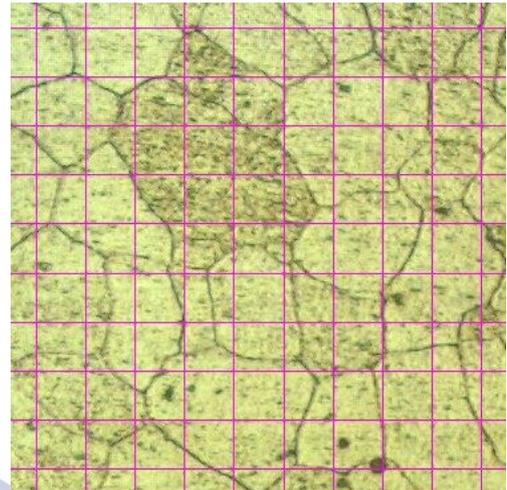
Jumlah titik = 100
 Titik yang mengenai fasa = 44
 Titik yang mengenai tepi fasa = 26
 Presentase fasa ferit

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

$$= \frac{((44 \times 1) + (26 \times 0,5))}{100} \times 100\%$$

$$= 57\%$$

- *Heat Affected Zone (HAZ)*



Gambar 6 Metode *Point Count* pada HAZ Spesimen dengan Pendinginan Udara

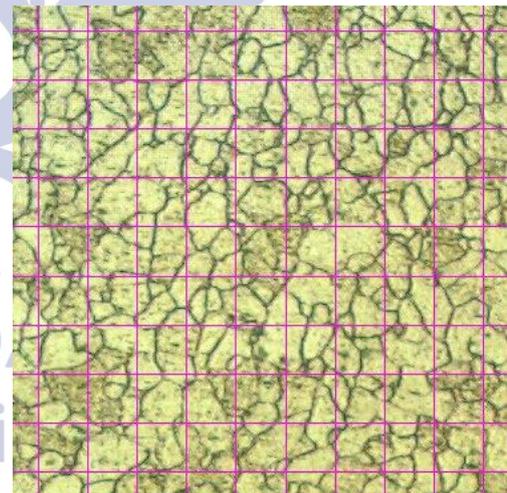
Jumlah titik = 100
 Titik yang mengenai fasa = 70
 Titik yang mengenai tepi fasa = 9
 Presentase fasa ferit

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

$$= \frac{((70 \times 1) + (9 \times 0,5))}{100} \times 100\%$$

$$= 74,5\%$$

- *Weld Metal*



Gambar 7 Metode *Point Count* pada Weld Metal Spesimen dengan Pendinginan Udara

Jumlah titik = 100
 Titik yang mengenai fasa = 37
 Titik yang mengenai tepi fasa = 24
 Presentase fasa ferit

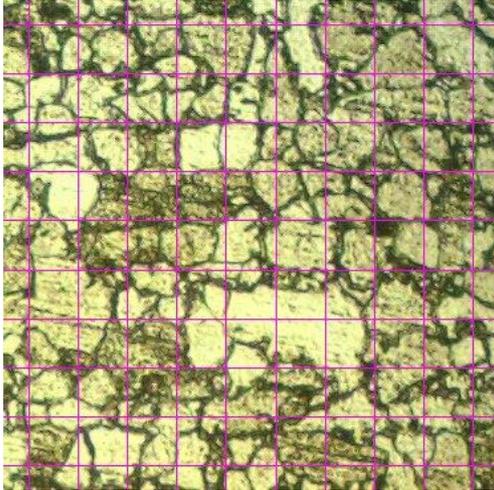
$$= \frac{(\text{Jumlah titik yang mengenai fasa})}{(\text{jumlah titik total})} \times 100\%$$

$$= \frac{((37 \times 1) + (24 \times 0,5))}{100} \times 100\%$$

$$= 49\%$$

- Perhitungan persentase fasa ferrit pada spesimen dengan media pendingin minyak sayur.

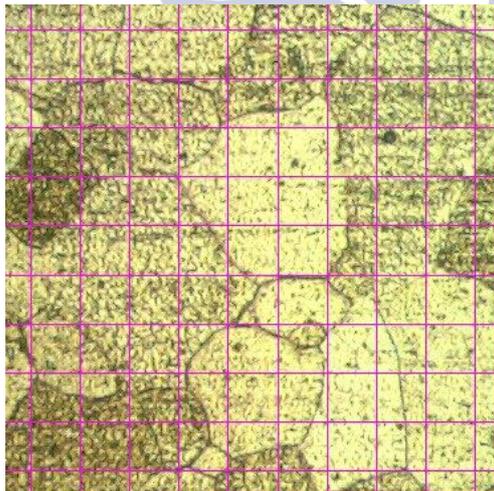
- *Base Metal*



Gambar 8 Metode *Point Count* pada *Base Metal* Spesimen dengan Media Pendingin Minyak Sayur

Jumlah titik = 100
 Titik yang mengenai fasa = 25
 Titik yang mengenai tepi fasa = 11
 Presentase fasa ferrit
 $= \frac{(\text{Jumlah titik yang mengenai fasa})}{(\text{jumlah titik total})} \times 100\%$
 $= \frac{((25 \times 1) + (11 \times 0,5))}{100} \times 100\% = 30,5\%$

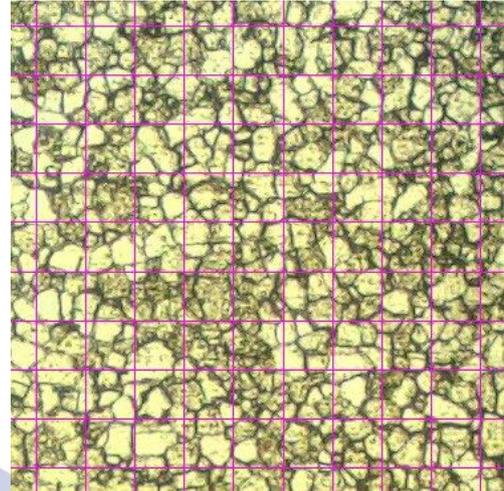
- *Heat Affected Zone (HAZ)*



Gambar 9 Metode *Point Count* pada HAZ

Spesimen dengan Media Pendingin Minyak Sayur
 Jumlah titik = 100
 Titik yang mengenai fasa = 30
 Titik yang mengenai tepi fasa = 6
 Presentase fasa ferrit
 $= \frac{(\text{Jumlah titik yang mengenai fasa})}{(\text{jumlah titik total})} \times 100\%$
 $= \frac{((30 \times 1) + (6 \times 0,5))}{100} \times 100\%$
 $= 33\%$

- *Weld Metal*

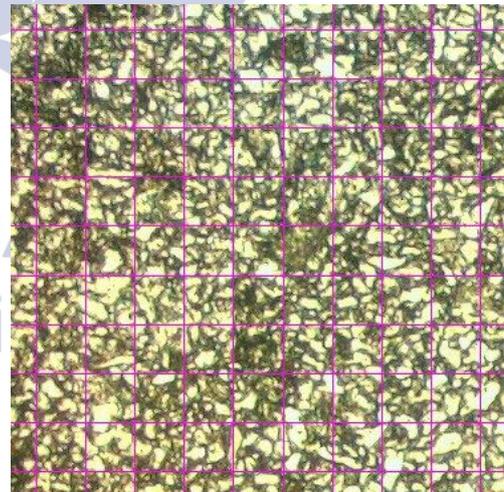


Gambar 10 Metode *Point Count* pada *Weld Metal*

Spesimen dengan Media Pendingin Minyak Sayur
 Jumlah titik = 100
 Titik yang mengenai fasa = 30
 Titik yang mengenai tepi fasa = 27
 Presentase fasa ferrit
 $= \frac{(\text{Jumlah titik yang mengenai fasa})}{(\text{jumlah titik total})} \times 100\%$
 $= \frac{((37 \times 1) + (27 \times 0,5))}{100} \times 100\%$
 $= 50,5\%$

- Perhitungan persentase fasa ferrit pada spesimen dengan media pendingin Oli SAE 20W

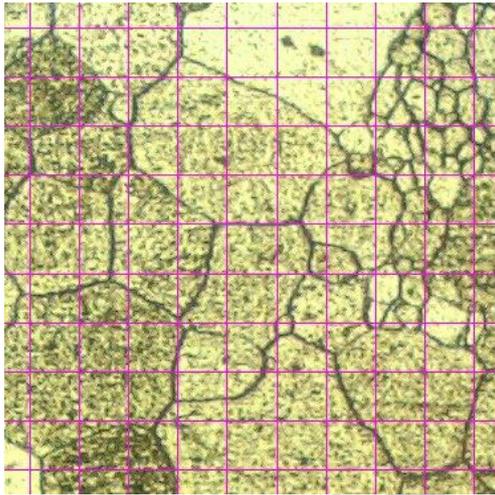
- *Base Metal*



Gambar 11 Metode *Point Count* pada *Base Metal*

Spesimen dengan Media Pendingin Oli SAE 20W
 Jumlah titik = 100
 Titik yang mengenai fasa = 16
 Titik yang mengenai tepi fasa = 29
 Presentase fasa ferrit
 $= \frac{(\text{Jumlah titik yang mengenai fasa})}{(\text{jumlah titik total})} \times 100\%$
 $= \frac{((16 \times 1) + (29 \times 0,5))}{100} \times 100\% = 30,5\%$

• *Heat Affected Zone (HAZ)*



Gambar 12 Metode *Point Count* pada HAZ

Spesimen dengan Media Pendingin Oli SAE 20W

Jumlah titik = 100

Titik yang mengenai fasa = 17

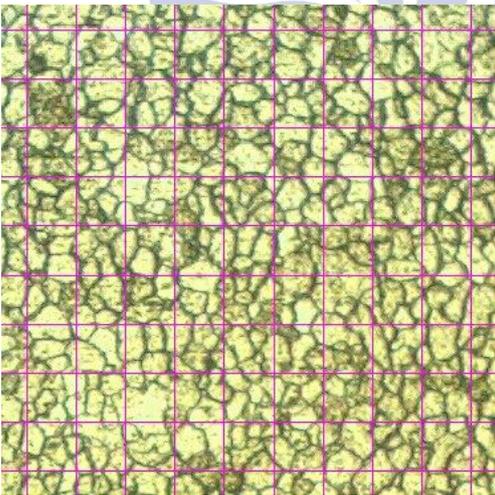
Titik yang mengenai tepi fasa = 10

Presentase fasa ferit

= (Jumlah titik yang mengenai fasa)/(jumlah titik total) × 100%

= ((17×1)+(10×0,5))/100 × 100% = 22%

• *Weld Metal*



Gambar 13 Metode *Point Count* pada *Weld Metal*

Spesimen dengan Media Pendingin Oli SAE 20W

Jumlah titik = 100

Titik yang mengenai fasa = 31

Titik yang mengenai tepi fasa = 40

Presentase fasa ferit

= (Jumlah titik yang mengenai fasa)/(jumlah titik total) × 100%

= ((31×1)+(40×0,5))/100 × 100%

= 51%

Dari perhitungan di atas, dapat diperoleh persentase fasa yang dihasilkan dari proses PWHT (*Post Weld Heat Treatment*) dengan variasi media pendingin

seperti minyak, oli, dan udara (tanpa pendingin). Dapat dilihat bahwa fasa ferrit lebih dominan pada spesimen dengan pendinginan udara, karena fasa ferrit terbentuk dengan laju pendinginan yang lambat. Fasa ferrit ini berwarna terang dan memiliki sifat yang ulet. Selain itu, terdapat juga struktur perlit yang bersifat keras. Kombinasi antara fasa ferrit yang ulet dan perlit yang keras diperlukan untuk meningkatkan ketangguhan baja. Adapun martensit yang bersifat keras dan getas, lebih terbentuk pada laju pendinginan yang cepat, seperti pada pendinginan dengan minyak atau oli.

Berdasarkan hasil pengujian struktur mikro, dapat dilihat bahwa spesimen dengan media pendingin udara bagian *base metal* terdapat fasa ferrit yang dominan daripada perlit dengan ukuran butir yang seragam menghasilkan sifat yang ulet dan tangguh. Pada bagian HAZ terlihat struktur ferrit juga dominan disbanding perlit namun terdapat perubahan butir yang semakin besar akibat pemanasan yang merambat dari *weld metal*. Di bagian *weld metal* juga terdapat ferrit yang dominan sehingga pada spesimen ini didapatkan ketangguhan paling tinggi dibanding spesimen dengan pendingin minyak atau oli.

PENUTUP

Simpulan

Proses PWHT dengan variasi media pendingin memberikan pengaruh terhadap kekuatan impak material. Nilai tertinggi pengujian impak terdapat pada spesimen PWHT tanpa media pendingin yaitu sebesar 1,095 J/mm² sedangkan nilai pengujian impak terendah terdapat pada spesimen PWHT dengan media pendingin minyak sayur yaitu sebesar 0,788 J/mm².

Saran

Adapun beberapa saran yang dapat disampaikan oleh penulis dari penelitian ini yaitu:

- Penelitian ini perlu penelitian lanjutan dengan variasi lainnya seperti temperatur atau waktu tahan untuk proses PWHT-nya.
- Volume untuk media pendingin sebaiknya diperhatikan agar pendinginan spesimen lebih merata atau lebih baik.
- Untuk meningkatkan ketangguhan sebaiknya tidak menggunakan pendinginan cepat.

DAFTAR PUSTAKA

- Al Faris, M. S., & Rasyid, A. H. A. (2023). Pengaruh Variasi Media Pendingin Terhadap Nilai Kekerasan Dan Ketangguhan Baja Aisi 1045 Aplikasi Poros Motor.
- Ananda, T. F. (2018, December 13). Pengaruh Proses *Post Weld Heat Treatment* Pada Hasil Pengelasan SMAW Terhadap Ketangguhan Baja Karbon Rendah.

- Arianzas, G., & Prayitno, D. (2019). Pengaruh Media Pendingin Pada Proses Hardening Terhadap Ketangguhan Baja S45c.
- ASTM International. (2023). *ASTM E23: Standard test methods for notched bar impact testing of metallic materials.*
- ASTM International. (2002). *ASTM E562-02: Standard test method for determining volume fraction by systematic manual point count.*
- Azwinur, A., Jannifar, M.Yudi, dan Zulkifli, "Pengaruh media pendingin terhadap kekerasan dan ketangguhan hasil pengelasan material AISI 1050 pada proses las MAG." *Jurnal Polimesin.* Volume 18, Nomor 2, Agustus 2020.
- Calister, W.D. 2007. *Materials science and engineering 7 th* . Kanada: John Wiley & Sons, Inc.
- Calister, W.D. 2013. *Materials science and engineering 9 th* . Kanada: John Wiley & Sons, Inc.
- Chabiibullah, C., & Rasyid, A. H. A. (2023). Penggunaan Media Pendingin Pada Pengelasan SMAW Material Baja ST37 Terhadap Kekerasan dan Struktur Mikro.
- KADAFI, M., Pranandita, N., & Arriyani, Y. F. (2022, September). Pengaruh Arus Pengelasan Terhadap Kekuatan Impak dan Kekerasan Baja ST. 37 Las SMAW Dengan Elektroda E7016 dan E308.
- Made Angga Priadi, I Nyoman Pasek Nugraha, dan Gede Widayana "Pengaruh Media Pendingin Terhadap Kekerasan dan Struktur Mikro Hasil Pengelasan Oxy Acetylene Pada Material Baja ST37".
- Mashiwa, K. (2011). *Mengenal Proses PWHT*
- Ningsih, T. H., Prayogo, T. M., & Fiveriati, A. (2023). Pengaruh Variasi Waktu Tahan Proses Pengelasan SMAW terhadap Kekuatan Impak Material S45C.
- Nurdiansyah, M. S. A., & Sakti, A. M. (2022). Analisa Pengaruh Hardening Terhadap Kekerasan Dan Ketangguhan Baja S45C Dengan Media Pendingin Air Garam Dan Oli Untuk Aplikasi Poros Motor Roda Tiga.
- Pribadi, F. W., & Drastiawati, N. S. (2024). Pengaruh Variasi Temperatur Dalam Proses PWHT Pengelasan SMAW Untuk Material Baja SS400 Terhadap Nilai Kekuatan Tarik Dan Kekuatan Impak.
- Sofwansyah, B., Iksan, M. R. N., & Santoso, E. (2022, October). Analisa Pengaruh PWHT Pada Baja ST41 Pada Proses Laku Panas Dengan Variasi Temperatur Pemanasan Dan *Holding Time* Terhadap Sifat Mekanik Dan Struktur Mikro.
- Subiyanto, I. H. Analisa Rekondisi Baja Pegas Daun Bekas SUP 9A Dengan Metode Quench-Temper Pada Temperratur Tempering 460°C Terhadap Kekerasan Dan Kekuatan Tarik.
- Tarigan, B. S. S., & Drastiawati, N. S. (2022). Pengaruh Variasi Arus Pegelasan *Shield Metal Arc Welding* (SMAW) Terhadap Kekuatan Tarik Dan Tekuk Pada Baja ST 37.
- Wirjosumarto, Harsono dan Okumura,Toshie. 2000. *Teknik Pengelasan Logam.* Jakarta : PT. Pradnya Paramita