

Analisa Karakteristik Mekanis pada Baja Karbon Medium Akibat Pengelasan Mig

Nobertus Alfred ^{1*}, Muhammad Halim Asiri ², Mardin ³

1*) Magister Teknik Mesin, Universitas Muslim Indonesia, Makassar

2) Magister Teknik Mesin, Universitas Muslim Indonesia, Makassar

3) Magister Teknik Mesin, Universitas Muslim Indonesia, Makassar

Abstract

MIG welding is a metal joining method using a consumable electrode and inert gas as a shielding gas. The purpose of this research is determine effect of weld pool on tensile strength and hardness, as well as the condition of microstructure in the joint area due to MIG weld process. In this research, using S50C medium carbon steel as a specimen. Formation of the specimen, the weld pool volume is made equal. Then for the tensile test, specimens are formed according to the ASTM E8 standard. For the hardness test, the test is carried out of SNI 8388, that is Rockwell Test. To determine the microstructure condition, observations made using an optical microscope. The result of this research is indicated, that different types of weld pool produce different mechanical properties. The highest tensile strength is on the type of weld pool X, with a value of 799,64 N/mm². For the highest hardness value is on the weld pool I with an average value in the HAZ area of 62,20 HRA and 59,40 HRA on the weld metal. The microstructure formed in each type of weld pool is relatively same, in the HAZ area Pearlite and Proeutectoid Ferrite are formed, In the weld metal area formed by Acicular Ferrite, Grain Boundary Ferrite and Ferrite Widmanstätten.

Keywords: Mechanical Properties, MIG Weld, S50C carbon steel

Abstrak

Pengelasan MIG merupakan salah satu metode penyambungan logam yang menggunakan kawat las pengisi sebagai elektroda terumpan dan gas mulia sebagai gas pelindung. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui pengaruh kampuh las terhadap kekuatan tarik dan kekerasan, serta kondisi mikro struktur pada area sambungan baja karbon medium akibat proses pengelasan MIG. Pada penelitian ini menggunakan baja karbon medium S50C sebagai spesimen. Dalam pembentukan spesimen, volume kampuh las dibuat sama. Kemudian untuk spesimen uji tarik dibentuk sesuai standar ASTM E8. Untuk uji kekerasan dilakukan pengujian dengan standar SNI 8388, yaitu *Rockwell Test*. Untuk mengetahui kondisi struktur mikro, dilakukan pengamatan struktur mikro menggunakan mikroskop optik. Hasil dari penelitian ini menunjukkan bahwa, jenis kampuh yang berbeda menghasilkan sifat mekanik yang berbeda. Tegangan tarik tertinggi ada pada jenis kampuh X dengan nilai 799,64 N/mm². Untuk nilai kekerasan tertinggi ada pada kampuh I dengan nilai rata-rata pada daerah HAZ 62,20 HRA dan pada logam las 59,40 HRA. Struktur mikro yang terbentuk pada setiap jenis kampuh relatif sama, pada daerah HAZ terbentuk Perlit dan *Proeutectoid Ferrite*, pada daerah logam las terbentuk *Ferrite Accicular*, *Grain Boundary Ferrite* dan *Ferrite widmanstätten*.

Kata Kunci: Baja S50c, Karakteristik Mekanis, Pengelasan Mig

1. PENDAHULUAN

Baja karbon medium adalah salah satu logam yang sering digunakan dalam pembuatan komponen alat berat. Terkadang dalam mendesain komponen alat berat, diperlukan untuk melakukan penyambungan. Salah satu metode yang digunakan untuk melakukan penyambungan baja adalah pengelasan. Pengelasan adalah metode penyambungan logam dengan cara mencairkan sebagian logam induk dan logam pengisi dengan atau tanpa tekanan dan dengan atau tanpa logam pengisi dan menghasilkan sambungan yang kontinu (Sonawan dan Suratman, 2006). Salah satu metode pengelasan yang banyak digunakan saat

ini adalah pengelasan MIG. Pengelasan MIG adalah proses pengelasan yang menggunakan kawat pengisi sebagai elektroda terumpan dan menggunakan gas mulia sebagai gas pelindung (Wiryosumarto, 2008).

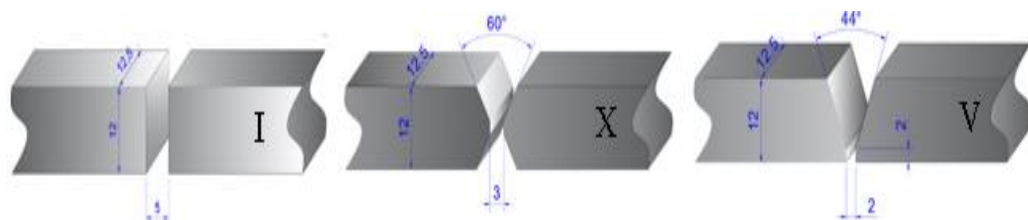
Menurut Fahrizal (2016), proses pengelasan dapat mempengaruhi sifat mekanis dari material induk maupun sambungannya. Besarnya panas yang diterima material akibat arus listrik pengelasan, berhubungan dengan volume pada jenis kampuh yang digunakan. Semakin besar volume kampuh las, maka akan membutuhkan panas yang juga semakin besar. Pemanasan yang besar mengakibatkan pencampuran logam pengisi dan logam induk semakin sempurna (Ishak, 2020). Pada proses pengelasan terdapat tiga area yang mengalami siklus panas, yaitu daerah logam lasan, daerah HAZ, dan daerah logam induk. Setiap bagian dari daerah lasan akan mengalami tingkat pemanasan yang berbeda, sehingga mengakibatkan laju proses pendinginan masing-masing area juga berbeda. Struktur mikro dari masing-masing daerah memiliki karakteristik yang berbeda tergantung pada laju pendinginan yang dialaminya (Sonawan dan Suratman, 2006).

Berdasarkan uraian diatas, tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui pengaruh variasi kampuh terhadap kekuatan tarik, kekerasan dan kondisi struktur mikro pada area sambungan baja karbon medium akibat proses pengelasan MIG.

2. METODOLOGI

A. Persiapan kampuh las

Variasi kampuh las yang digunakan pada penelitian ini adalah Kampuh I, Kampuh X dan Kampuh V yang dibuat berdasarkan standar ISO 9692. Setiap kampuh las dibuat dengan selisih volume yang tidak jauh berbeda.



Gambar 1 Kampuh las I, X dan V

B. Proses pengelasan

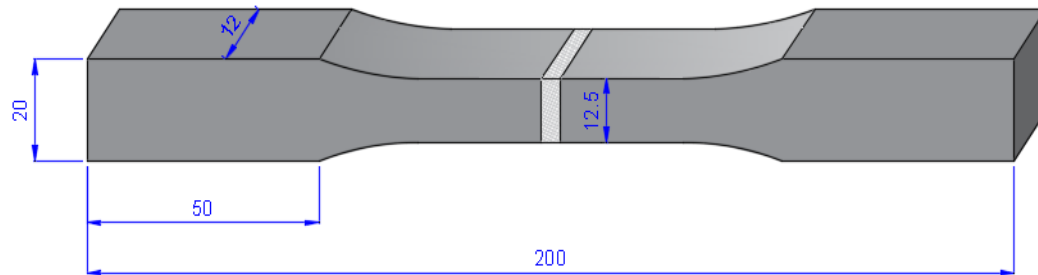
Adapun proses pengelasan spesimen dilakukan dengan parameter sebagai berikut:

Tabel 1 Parameter pengelasan yang digunakan

Parameter	Kampuh I	Kampuh X	Kampuh V
Arus	140 A	140 A	140 A
Polaritas	DC-RP	DC-RP	DC-RP
Gas Pelindung	CO ₂	CO ₂	CO ₂
Tekanan Gas	14 L/menit	14 L/menit	14 L/menit
Tipe Kawat Las	ER70S-6	ER70S-6	ER70S-6
Diameter Kawat Las	1.0 mm	1.0 mm	1.0 mm
Posisi Pengelasan	2G	2G	2G

C. Pengujian Tarik

Untuk spesimen pengujian tarik akan dibentuk sesuai standar ASTM E8/E8M *Sheet Type* dengan ukuran seperti yang tertera di bawah ini.



Gambar 2 Ukuran Spesimen Pengujian Tarik

D. Pengujian Kekerasan

Pada proses pengujian kekerasan area yang akan diuji adalah Area Las, Area HAZ dan Logam Induk. Proses pengujian tarik dilakukan sesuai dengan standar SNI 8388 yaitu menggunakan metode *Rockwell Test* dengan skala HRa. Dalam pengambilan data, penekanan dilakukan 5 titik pada masing-masing area.

E. Pengamatan Mikro Struktur

Pada pengamatan mikro, spesimen yang digunakan adalah potongan dari masing-masing area, yaitu logam induk, daerah HAZ dan daerah logam las dari setiap jenis kampuh las. Spesimen yang telah dipotong tadi, dicetak menggunakan resin untuk memudahkan pemegangan saat proses pemolesan. Mikroskop yang digunakan pada proses pengamatan mikro adalah mikroskop optik dengan pembesaran 120x.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Hasil Pengelasan

Setelah dilakukan proses pengelasan, diperoleh waktu pengelasan yang berbeda. Perbedaan waktu pengelasan dari tiap kampuh ini disebabkan karena lebar dari kampuh las berbeda, sehingga kecepatan ayunan elektroda ketika proses pengelasan juga berbeda. Adapun nilai durasi pengelasan dari tiap kampuh dapat dilihat pada tabel dibawah.

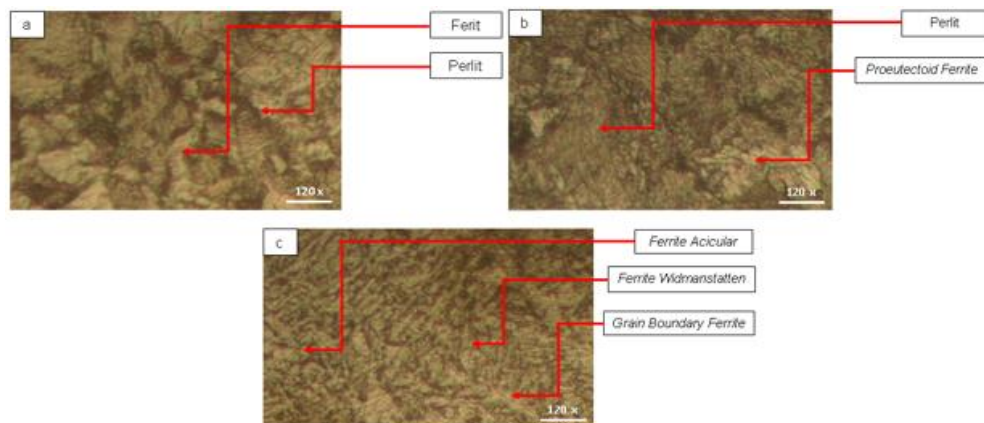
Tabel 2 Durasi pengelasan tiap kampuh las

Jenis Kampuh	Kampuh I	Kampuh X	Kampuh V
Durasi	2 Menit 16 Detik	4 Menit 10 Detik	3 Menit 46 Detik

B. Pengamatan Mikro Struktur

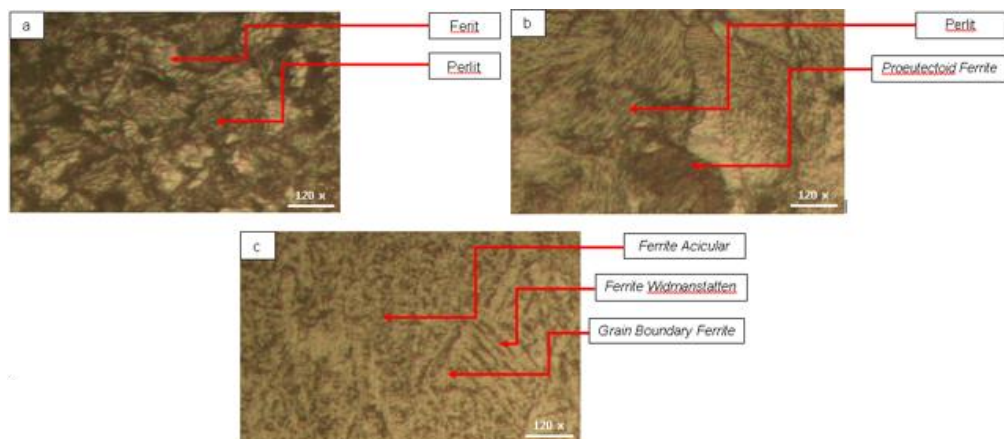
Setelah dilakukan proses pengamatan mikro struktur, diperoleh beberapa foto dari masing-masing area sambungan las pada tiap kampuh. Dari foto-foto yang diperoleh dipilih foto yang terang dan menampakkan struktur mikro yang jelas.

a) Pengamatan mikro struktur kampuh I



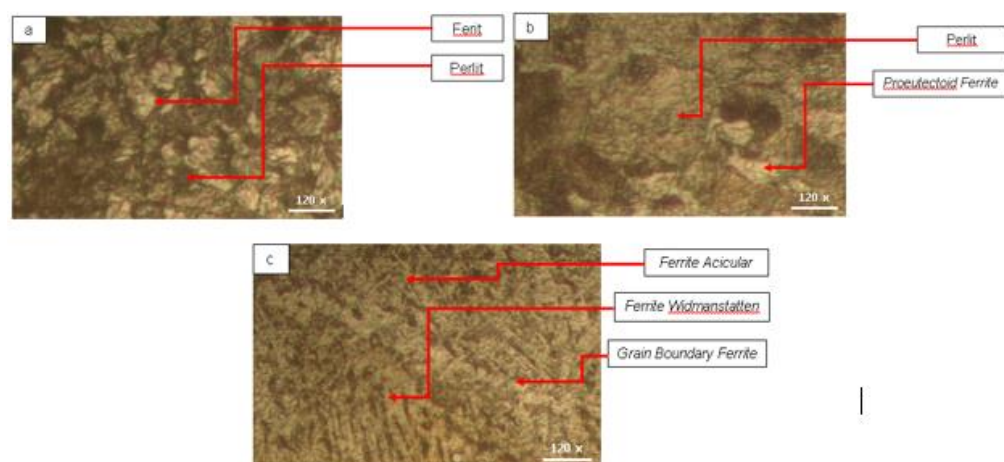
Gambar 3 Hasil foto struktur mikro kampuh I

b) Pengamatan mikro struktur kampuh X



Gambar 4 Hasil foto struktur mikro kampuh X

c) Pengamatan mikro struktur kampuh V



Gambar 5 Hasil foto struktur mikro kampuh V

d) Pembahasan pada Hasil Mikro Struktur

Berdasarkan foto mikro struktur yang telah dilakukan pembesaran 120x dari setiap jenis kampuh pada gambar 3, 4, dan 5, terlihat perbedaan struktur mikro pada setiap area pengelasan. Pada logam induk semua jenis kampuh (Gambar 3a, 4a, dan 5a) memiliki struktur mikro yang sama, yaitu Ferit dan Perlit, dimana distribusi butiran dari perlit terlihat mendominasi.

Pada daerah HAZ (Gambar 3b, 4b, dan 5b) terjadi perubahan fasa akibat masukan panas dari proses pengelasan. Masukan panas ini sendiri dipengaruhi oleh kecepatan pengelasan, semakin cepat kecepatan pengelasan maka semakin kecil masukan panas yang terjadi (Mizhar dan Pandiangan, 2014). Akibat perbedaan masukan panas yang diterima oleh logam induk, fasa Ferit dan Perlit berubah menjadi fasa Perlit dan *Proeutectoid Ferrite* dengan ukuran butir yang berbeda. Hal ini terlihat pada daerah HAZ setiap kampuh, dimana ukuran perlit menjadi membesar seiring masukan panas yang diterima. Ukuran perlit terbesar ada pada kampuh X (Gambar 4b), dimana durasi pengelasan pada kampuh X lebih lama, kemudian kampuh V (Gambar 5b) dan yang terkecil pada kampuh I (Gambar 3b) yang memiliki durasi pengelasan paling cepat.

Pada daerah HAZ (Gambar 3b, 4b, dan 5b), perubahan struktur mikro terjadi karena pada daerah ini mengalami siklus termal akibat proses pengelasan. Fasa ferit pada logam induk yang merupakan area pengelasan, mengalami pemanasan melewati temperatur 875°C berubah menjadi fasa austenit. Ketika mengalami proses pendinginan, butir ferit yang ada di dalam batas butir austenit menjadi lebih banyak karbon. Ketika temperatur turun ke atas titik eutektoid, butir ferit tumbuh menjadi lebih besar. Lalu pada proses pendinginan di bawah titik eutektoid, semua fasa austenit berubah menjadi perlit. Ferit yang berada di dalam fasa perlit ini disebut *proeutectoid ferrite*.

Pada daerah logam las (Gambar 3c, 4c, dan 5c) terbentuk fasa *Ferrite Widmanstatten*, *Grain Boundary Ferrite* dan *Ferrite Acicular* dengan jumlah yang berbeda. Dominasi fasa *Ferrite Acicular* berbeda pada setiap jenis kampuh. Pada Kampuh I (Gambar 3c), terlihat jumlah fasa *Ferrite Widmanstatten* lebih mendominasi dibandingkan struktur *Ferrit Acicular*. Pada Kampuh X (Gambar 4c), terlihat jumlah struktur lebih didominasi struktur *Ferrit Acicular* dibandingkan struktur *Ferrite Widmanstatten*. Sedangkan pada kampuh V (Gambar 5c), terlihat struktur *Ferrite Widmanstatten* dan *Ferrit Acicular* terlihat hampir seimbang.

Pada logam las, struktur yang terlihat adalah *Ferrite Widmanstatten*, *Grain Boundary Ferrite* dan didominasi oleh *Ferrite Acicular*. Struktur ini terbentuk dikarenakan besarnya masukan panas dan waktu pendinginan yang relatif cepat (Suharno, 2008). Fasa *Ferrite Acicular* terbentuk akibat dari kecepatan proses pendinginan cepat pada logam las. Hal ini sesuai dengan yang terlihat pada gambar 4c, dimana kampuh X merupakan kampuh yang mengalami proses pengelasan paling lama, memiliki fasa *Ferrite Acicular* yang lebih dominan. Karena pada kondisi masukan panas yang lebih besar membuat laju pendinginan yang lambat, sehingga fasa *Ferrite Acicular* mudah terbentuk (Suharno, 2008).

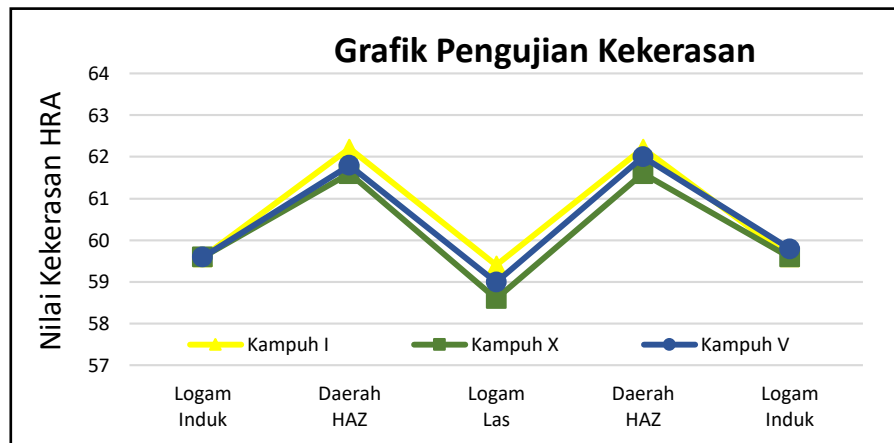
C. Pengujian Kekerasan

a) Hasil pengujian kekerasan

Hasil data yang didapatkan pada pengujian kekerasan berupa data yang dicatat secara manual, kemudian dituangkan dalam bentuk tabel. Setelah nilai kekerasan rata-rata didapatkan, kemudian disajikan dalam bentuk grafik untuk menunjukkan perbedaan yang jelas dari nilai kekerasan setiap area pada masing-masing jenis kampuh.

Tabel 3 Hasil pengujian kekerasan tiap kampuh las

Jenis Kampuh	Titik Penekanan	Logam Induk	Daerah HAZ	Logam Las	Daerah HAZ	Logam Induk
Kampuh I	1	60	63	59	62	59
	2	59	63	60	62	59
	3	60	62	60	61	61
	4	59	61	59	6	60
	5	60	62	59	63	59
Rata-rata		60	63	59	62	59
Kampuh X	1	60	62	59	61	59
	2	60	61	59	61	60
	3	60	62	58	62	59
	4	59	61	58	62	60
	5	59	62	59	62	60
Rata-Rata		59,6	61,6	58,6	61,6	59,6
Kampuh V	1	59	61	58	62	59
	2	60	62	59	62	60
	3	60	62	59	63	59
	4	59	63	60	61	61
	5	60	61	59	62	60
Rata-Rata		59,6	61,8	59	62	59,8



Gambar 6 Grafik hasil pengujian kekerasan

e) Pembahasan

Dari hasil rata-rata nilai kekerasan setelah dilakukan pengujian kekerasan pada tabel 3, didapatkan grafik seperti yang terlihat pada Gambar 6. Dari grafik terlihat nilai kekerasan pada setiap kampuh menghasilkan memiliki nilai kekerasan rata-rata yang berbeda-beda, namun tidak terlalu signifikan. Kekerasan pada logam induk untuk semua jenis kampuh memiliki nilai yang sama yaitu 59,6 HRA. Sedangkan untuk daerah HAZ dan logam las terjadi perbedaan nilai kekerasan. Nilai kekerasan tertinggi diperoleh pada Kampuh I sebesar 62,2 HRA untuk daerah HAZ dan 59,4 HRA untuk logam las. Kemudian Kampuh V sebesar 62 HRA untuk daerah HAZ dan 61,8 HRA untuk logam las. Nilai kekerasan terendah diperoleh pada Kampuh X sebesar 61,6 HRA untuk daerah HAZ dan 59 HRA untuk logam las. Dari nilai kekerasan pada setiap kampuh, terlihat bahwa nilai kekerasan tertinggi terdapat pada daerah HAZ. Daerah HAZ memiliki nilai kekerasan tertinggi karena pada daerah HAZ terjadi pengkasaran ukuran butir dan didominasi oleh struktur perlit.

Perbedaan nilai kekerasan pada setiap kampuh dipengaruhi oleh kecepatan pengelasan. Semakin tinggi kecepatan yang digunakan, maka nilai kekerasan semakin tinggi (Mohruni dan Kembaren, 2013). Pada penelitian ini diperoleh durasi pengelasan yang berbeda. Dimana pengelasan yang membutuhkan waktu paling cepat yaitu proses pengelasan Kampuh I, kemudian Kampuh V dan yang terlama adalah kampuh X.

Nilai kekerasan pada setiap kampuh dipengaruhi oleh jenis fasa yang mendominasi pada setiap area pengelasan. Nilai kekerasan logam las pada kampuh I lebih tinggi dibandingkan dengan kampuh yang lain dikarenakan didominasi oleh fasa *Ferrite Widmanstatten*. Sedangkan pada kampuh X, memiliki nilai kekerasan terendah karena didominasi oleh fasa *Ferrite Acicular*. Selain itu perbedaan nilai kekerasan ini juga dipengaruhi oleh ukuran butir struktur yang terbentuk pada area pengelasan setiap kampuh. Terbentuknya ukuran butir yang besar menjadikan nilai kekerasannya menjadi lebih rendah (Soleh dkk, 2017). Fasa perlit pada Kampuh X memiliki ukuran yang lebih besar dibanding kampuh yang lain, sehingga membuat nilai kekerasannya menjadi yang paling rendah.

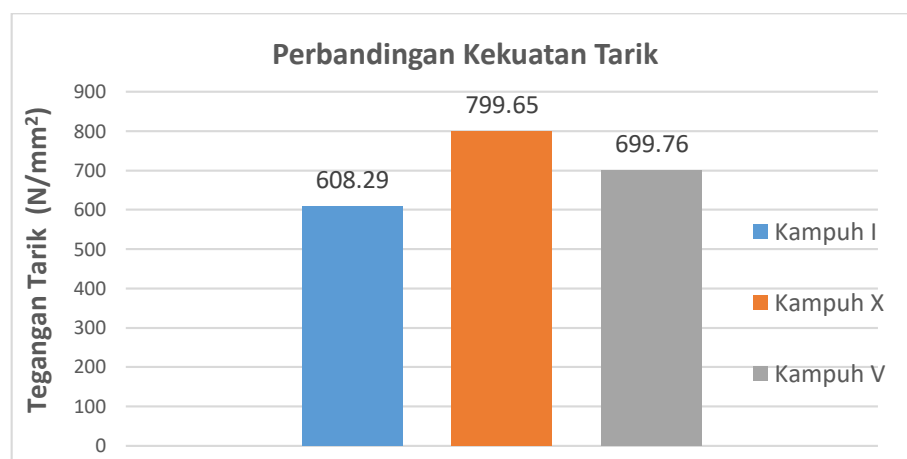
D. Pengujian Tarik

a) Hasil pengujian tarik

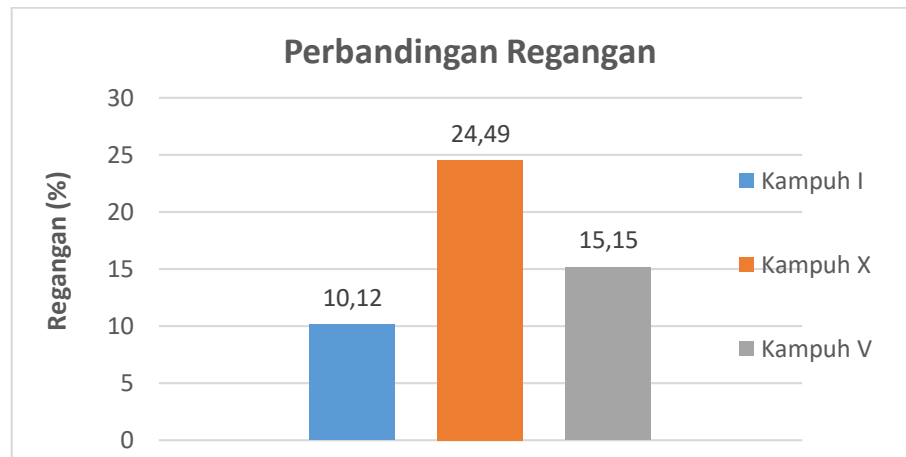
Data yang dijadikan perbandingan adalah data yang menunjukkan tegangan tarik tertinggi dari masing-masing kampuh.

Tabel 4 Hasil pengujian tarik tiap kampuh

Jenis Kampuh	Elongation (mm)	Beban Maksimum (N)	Tegangan Tarik (N/mm ²)	Regangan (%)
Kampuh I	5,06	91242,75	608,29	10,12
Kampuh X	14,75	119946,78	799,65	24,49
Kampuh V	7,57	104963,52	699,76	15,15



Gambar 7 Grafik perbandingan tegangan tarik tiap kampuh las



Gambar 8 Grafik perbandingan regangan tiap kampuh las

b) Pembahasan

Dari tabel data dan grafik diatas, diperoleh perbedaan besar nilai tegangan tarik dan regangan dari tiap jenis kampuh. Nilai tegangan tarik terbesar ada pada kampuh X dengan nilai 799,64523 N/mm² dan regangan sebesar 24,49336 %. Kemudian Kampuh V dengan nilai tegangan tarik sebesar 699,75681 N/mm² dan regangan sebesar 15,14652 %. Nilai tegangan tarik terendah ada pada kampuh I sebesar 608,28501 N/mm² dan regangan sebesar 10,12392 %.

Adanya perbedaan nilai tegangan tarik dan nilai regangan ini disebabkan karena durasi pengelasan yang berbeda, sehingga besar masukan panas yang diterima oleh masing-masing kampuh juga berbeda. Perbedaan besar masukan panas yang diterima oleh setiap kampuh, mengakibatkan fasa mikro struktur yang terbentuk pada logam las berbeda. Dimana pada kampuh X, fasa yang mendominasi pada daerah logam lasnya adalah *Ferrite Acicular* seperti yang terlihat pada Gambar 4c. Sifat dari fasa *Ferrite Acicular* ini sendiri lebih ulet dan tangguh. Sehingga nilai kekuatan tarik dari kampuh X lebih tinggi dibandingkan jenis kampuh yang lain.

Nilai kekerasan juga berpengaruh terhadap kekuatan tarik. Semakin tinggi nilai kekerasan material, maka nilai tegangan tarik akan menurun. Dari hasil pengujian kekerasan, didapatkan bahwa nilai kekerasan tertinggi ada pada kampuh I. Sehingga ketika dilakukan pengujian tarik, nilai tegangan tarik pada kampuh I menjadi yang terendah.

4. PENUTUP

A. Kesimpulan

Dari serangkaian proses penelitian yang telah dilakukan, maka dapat disimpulkan sebagai berikut:

1. Jenis kampuh yang berbeda, menghasilkan sifat mekanis yang juga berbeda. Nilai tegangan tarik tertinggi terdapat pada kampuh X dengan nilai 799,64 N/mm². Untuk nilai kekerasan tertinggi ada pada kampuh I dengan nilai rata-rata pada daerah HAZ 62,20 HRA dan pada logam las 59,40 HRA.
2. Struktur mikro yang terbentuk pada setiap jenis kampuh relatif sama, pada daerah HAZ terbentuk perlit dan proeutectoid ferrite, pada daerah logam las terbentuk Ferrite Accicular dan Ferrite widmanstatten.

B. Saran

Adapun saran yang untuk penelitian serupa selanjutnya adalah sebagai berikut:

1. Perlu dilakukan jenis pengujian *Impact* untuk mengetahui ketangguhan dari sambungan las.
2. Perlu dilakukan variasi arus listrik pengelasan untuk mendapatkan arus listrik yang optimal
3. Perlu dilakukan pengukuran ukuran butir dan jumlah butir yang mendominasi pada setiap area sambungan dari setiap kampuh las

5. DAFTAR PUSTAKA

- Abson, D. J., dan Pargeter, R. J. (1989). Factors Including Strength Microstructure and Toughness of as Deposite Manual Metal Arc Weld Suitable for C-Mn Steel Fabrications, *International Metal reviews*, vol.31, No.4, 141-193.
- Arifin, A dan Henrianto. M. (2018) Pengaruh Arus dan Jarak Kampuh Pengelasan Terhadap Distorsi Sambungan Pelat Baja KArbon Rendah Dengan Menggunakan SMAW. *Jurnal Teknik Mesin Untirta*, Vol.IV. No. 1. 20-25
- Asrul, A., Kamil, K., & Asiri, M. H. (2018). Analisis Kekuatan Sambungan Las Metal Inert Gas (MIG) pada Logam Aluminium Paduan AA6063 dengan Variasi Arus Listrik. *Teknik Mesin " TEKNOLOGI "*, Vol 18. No. 1. 27-32
- ASM Handbook. 2004. Vol. 9. Metallography and Microstructures. ASM International.
- ASTM E8/E8M. 2016. Standard Test Methods for Tension of Metallic Materials. United State of America
- Azis, R. A, Suharno dan Saputro, Herman. (2019). Pengaruh Variasi Diameter Elektroda E7018 Terhadap Kekuatan Tarik, Kekerasan, dan Struktur Mikro Pengelasan pada Baja Karbon Rendah Jenis SS400 dengan Metode SMAW. *Jurnal Teknik*. Vol. 17, No. 2. Hal 94-105
- Budianto, Eko., dan Sulis Dri Handoko. 2020. Pengujian Material. Lampung: CV. Laduny Alifatama.
- Bebonchina.com. 2011. JIS S50C steel plate. Diakses 1 September 2022, dari <https://www.bebonchina.com/steel/Steel-plate/JIS/S50C.html>
- Callister W. D, dan Rethwisch D. G. 2018, Materials Science and Engineering an Introduction 10th. Department, Jhone Wiley and Sonc, Inc, Hoboken, NJ
- Dimu, R. J dan Rerung, O. D. (2019). Analisa Pengaruh Variasi Arus Listrik Terhadap Kekerasan Material Baja Karbon Rendah Pada Daerah Lasan TIG dan MIG. *Jurnal Teknik Mesin*. Vol. 2, No. 1, Hal 12-19
- Fahrizal, Mochammad. (2016). Analisa Sambungan Las Metode Pengelasan SMAW Menggunakan Material SA 36 yang Sebelumnya Terbakar dengan Suhu 7000 °C dan 9000 °C Selama 4 Jam. Skripsi. Jawa Timur. Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- Genggong, Vincentius. (2021). "Perbedaan Kekuatan Tarik Hasil Sambungan Las MIG Menggunakan Kampuh V dan X pada Baja ST42". Skripsi. Makassar: Universitas Negeri Makassar.
- Gumara, R. A dan Drastiawati, N. S. (2021). Pengaruh Variasi Arus Listrik Pengelasan Metal Inert Gas (MIG) Terhadap Kekuatan Tarik Sambungan Las Pada Baja Karbon ASTM A36. *Jurnal Teknik Mesin Unesa*. Vol. 9, No.03.
- Harsono, Wiryosumarto dan Toshi Okumura. 2008. Teknologi Pengelasan Logam, Jakarta. PT. Balai Pustaka (Persero).
- Irawan, D dan Wardhani, R. P. (2020). Analisa Perbandingan Kekuatan Tarik Hasil Pengelasan SMAW dan MIG pada Pelat ASTM A 36. *Mecha Jurnal Teknik Mesin*. Vol. 3, No. 1

- Ishak, S., Asiri, M. H., & Kamil, K. (2020). Analisis Sambungan Las MIG pada Baja Karbon Rendah Variasi Kampuh Las V, I dan K terhadap Kekuatan Tarik. *Teknik Mesin "TEKNOLOGI"*, Vol. 21 (1 Okt), 5-11
- ISO 9692-1.2013. Welding and Allied Processes-Types of Joint Preparation.
- Iswanto, dkk. (2020). Analisa Perbandingan Kekuatan Tarik Hasil Pengelasan TIG dan Pengelasan MIG pada Aluminium 5083. *Jurnal Program Studi Teknik Mesin "TURBO"*, Vol. 9, No. 1
- Manurung, Vuko A.T, Yohanes Tri Joko Wibowo, Satriyo Yudi Baskoro. (2020). Panduan Metalografi. Jakarta: LP2M Politeknik Manufaktur Astra.
- Marthina, Wenny, Mahyoedin, Yovial., Duskardi, Duskardi, Rahim, Afri (2020). Analisa Pengaruh Variasi Arus Listrik Pengelasan Terhadap Kekuatan Sambungan Pengelasan MIG pada Material ST37. *Jurnal Kajian Teknik Mesin*. Vol.5, No. 2. 140-144.
- Mohruni, A. S dan Kembaren, B. H. (2013). Pengaruh Variasi Kecepatan Dan Kuat Arus Terhadap Kekerasan, Tegangan Tarik, Struktur Mikro Baja Karbon Rendah dengan Elektroda E6013. *Jurnal Rekayasa Mesin Universitas Sriwijaya*. Mohruni dan Kembaren, 2013 Vol. 13, No. 1
- Otaisteel.com. 2020. S50 Carbon Steel I JIS 4051 S50C steel plate. Diakses 1 September 2022, dari <https://www.otaisteel.com/s50c-carbon-steel/>
- Sari, N. H. 2018. Material Teknik. Deepublishing. Yogyakarta
- SNI 8388. 2017. Cara Uji Keras Dengan Metode Rockwell. Badan Standarisasi Nasional.
- Soedarmadji, W. (2020). Pengaruh Pengelasan Shielded Metal Arc Welding (SMAW) pada Mild Steel S45C di Daerah Haz dengan Pengujian Metalografi. *Journal Mechanical and Manufacture Technology (JMMT)*, Vol 1(1).
- Soleh, A. A dkk. (2017). Analisa Pengaruh Kuat Arus Terhadap Struktur Mikro, Kekerasan, Kekuatan Tarik Pada Baja Karbon Rendah Dengan Las SMAW Menggunakan Jenis Elektroda E7016. *Jurnal Ilmiah Cendekia Eksakta*. 1(2), Hal. 29-35
- Sonawan, Hery., dan Suratman, Rochim (2006). Pengantar untuk Memahami Proses Pengelasan Logam. CV. Alfabeta. Bandung
- Suharno. (2008). Struktur Mikro Las Baja C-MN Hasil Pengelasan Busur Terendam dengan Variasi Masukan Panas. *Jurnal teknik Mesin*. Vol. 10. No. 1 (4)
- Suprijanto, Djoko (2005). Study Pengaruh Bentuk Kampuh Terhadap Kekerasan pada Lasan MIG Baja Karbon Rendah Plat Kapal. Rosiding PPI - PDIPN 2005 Puslitbang Teknologi Maju – BATAN Yogyakarta,
- Surdia, T. dan Saito, T. (1999). Pengenalan Bahan Teknik, Cetakan ke-4, PT. Prandya Paramita, Jakarta
- Tyotecgmandiri.com. 2014. Kawat Las MIG/CO₂ MIG Wire Merk ARCTIC. Diakses 1 September 2022, dari https://www.tyotechmandiri.com/_KAWAT-LAS-CO-1-0-mm-ARCTIC-70S-6-CO2-MIG-WIRE-ER70S-6-SOLID-WIRE.html
- Wijoyo dan Aji, B. K. 2015. Kajian Kekerasan Dan Struktur Mikro Sambungan Las GMAW Baja Karbon Tinggi Dengan Variasi Masukan Arus Listrik. *Jurnal SIMETRIS*. Vol. 6, No. 2