JURNAL rekayasa mesin
ISSN 2477-6041 articles 18, pp. 205 – 212, 2023
Vol. 14. No.1

ANALISIS PENGARUH ARUS PADA PENGELASAN BERTINGKAT (MULTILAYER WELDING) TERHADAP STRUKTUR MIKRO, KEKERASAN DAN KUAT TARIK SAMBUNGAN MATERIAL ASTM A106

Elkana Bilak Lopo [1], Moch Chamim [2], Nugroho Tri Atmoko [2] ✉, Margono [2], Hendi Lilih Wijayanto [3]

[1]***Prodi Permesinan Kapal***
Politeknik Pertahanan RI Belu
elkana.lopo@idu.ac.id

[2] ***Jurusan Teknik Mesin***
Sekolah Tinggi Teknologi Warga Surakarta
Chamim@sttw.ac.id
nugroho.ta@sttw.ac.id
margono@sttw.ac.id

[3] ***Jurusan Teknik Perawatan Mesin***
Politeknik Industri Logam Morowali
hendilw@gmail.com

Abstract

This aims of this study to determine the effect of multilayer welding on ASTM A106 type carbon steel pipe material on the characteristics of the microstructure, hardness and maximum tensile strength of the material. ASTM A106 type carbon steel pipe is used as a raw material for welding using the Shielded Metal Arc Welding (SMAW) method. Welding on material joints is carried out in three layers (multilayer welding), namely the root pass, hot pass, and capping layers. There are two variations of welding specimens carried out in this study, namely in specimen 1 the currents used were 60, 70 and 80 A while in specimen 2 the currents used were 70, 80 and 90 A. To determine the effect of current variations on each specimen carried out three include Vickers Testing, microstructure testing and tensile testing. The results show that the base metal area is dominated by the ferrite phase, which indicates that the area has low hardness while the weld shows more perlite phase than ferrite besides the grain size is smaller and denser; this indicates that the hardness level will increase when compared to base metal. The results of the hardness test for all variations of the specimen concluded that the highest hardness value was in the weld. From the tensile test, it can be concluded that specimen 2 has a greater tensile strength of 2.5% when compared to specimen 1.

Keywords: *Multilayer Welding, Carbon Steel Pipe, SMAW, Microstructure, Hardness, Tensile Strength*

1. PENDAHULUAN

Industri minyak dan gas sampai saat ini masih menggunakan pipa penyalur (*pipe line*) sebagai sarana transportasi dalam mendistribusikan gas dan minyak dari sumur penghasil (*well*) menuju tempat penampungan dan pengolahan (*gas plant*), saluran pipa dalam industri minyak dan gas adalah salah satu komponen penting [1]. Saat ini salah satu sambungan logam dengan proses pengelasan semakin banyak digunakan, baik pada industri migas, kontruksi bangunan, kontruksi mesin maupun perpipaan, hal ini disebabkan oleh banyaknya ketergantungan yang diperoleh dan disambung dengan cara dilas. Luasnya penggunaan pengelasan karena biaya murah, proses pngelasan relatif lebih cepat, kekuatan tinggi, lebih ringan dan bentuk kontruksi yang lebih variatif [2]. Meskipun pengelasan sudah

Corresponding Author:
✉ ***Nugroho Tri Atmoko***
Received on: 2022-03-17
Revised on: 2022-08-09
Accepted on: 2022-11-10

DOI: 10.21776/jrm.v14i1.1210
Copyright: © 2023 by the authors.

JURNAL rekayasa mesin
ISSN 2477-6041 articles 18, pp. 205 – 212, 2023
Vol. 14. No.1

sejak lama ada, namun penelitian terkait pengelasan terus dikembangkan dengan tujuan agar efektivitas dan kinerja terus meningkat [3]. Proses pengelasan yang paling umum dijumpai adalah dengan metode *GTAW* (*Gas Tungsten Arc Welding*) akan tetapi pengelasan jenis ini sangat mahal jika dibandingkan dengan pengelasan *SMAW* (*Shielded Metal Arc Welding*) yang memiliki nilai ekonomi dan kualitas pengelasan yang sangat rendah, umumnya pengelasan *SMAW* sering terjadi cacat penetrasi karena tidak di lindungi gas, maka gabungan ke dua jenis ini di lakukan pengelasan pada beberapa sambungan tipe las agar dapat tutupi kekurangan dari tiap-tiap las [4][5]. Proses pengelasan *SMAW* merupakan proses yang menyatukan lebih dari dua logam melalui proses melelehkan logam induk melalui penghantar energi panas, diakibatkan pada saat proses pengelasan suhu bisa mencapai 1500 °C.

Proses pengelasan *SMAW* arus yang digunakan berbeda tergantung kebutuhan yang digunakan, namun arus listrik yang digunakan sangat berpengaruh pada hasil logam yang dilas menyebabkan fenomena pada struktur mikro di daerah pengelasan dengan krakteristik yang berbeda bergantung pada proses pendinginan secara alami [6]. Proses pengelasan menghasilkan panas dan akibatkan di sekitar logam akan terjadi siklus thermal yang menyebabkan perubahan pada sifat fisik pada spesimen [7]. Elektroda pada pengelasan SMAW berfungsi sebagai bahan pengisi, *cover pass* dalam istiah pengelasan adalah pengisi bagian luar pada pengelasan SMAW. Pada proses pengelasan 2 *layer* di lakukan pengelasan pada bagian akar (*root pass*) yang langsung di tutup dengan *cover pass*, namun berbeda dengan pengelasan 3 layer atau lebih sehingga bagian *root pass* dan sebelum pada *cover pass* itu di sebut hot pass adalah layer yang terletak pada bagian tengan, biasa nya di sebut inti pada bagian pengelasan *multilayer* [4]. Penelitian sebelumnya di lakukan oleh Ahmed [8] tentang optimalisasi pengelasan *multilayer* dari *titanium alloy*, dimana identifikasi suatu kualitas sambungan las dengan parameter kombinasi yang sesuai sangatlah penting sesuai yang diinginkan, maka proses *GTAW* membutuhkan optimalisasi agar mendapat hasil yang baik, penelitian ini menggunakan analisis metode variasi yang di terapkan dalam memahami parameter proses *GTAW*, parameter yang di pertimbangkan yaitu diameter *filler*, arus pengelasan, kecepatan dan ketepatan pengelasan, namun untuk keluaran di inginkan ialah *head input.* Hasil percobaan dilakukan optimasi agar mencari kondisi las yang optimum dari benda uji yang di las agar minimalkan head input dari empat lintasan las adalah (5570 J/mm) dan total *heat input* bersih selama proses pengelasan agar prosedur *GTAW* sebanyak empat lapis las, dari penelitian tersebut menunjukan nilai 3342 J/mm agar dapat mencegah perubahan struktur yang terutama untuk pelat tebal, sedangkan struktur mikro *HAZ* dan zona las terbentuk struktur mikro yang berbeda, untuk itu zona las dari struktur mikro di semua sampel mengandung sejumlah kecil *primary alpha, acicular alpha* dan *massive beta*. Perubahan ini memiliki efek kecil pada struktur mikro.

Berdasarkan kajian yang sudah dilakukan perlu adanya identifikasi lebih lanjut melalui studi eksperimen terhadap tingkat kekerasan, struktur mikro dan kuat tarik spesimen hasil pengelasan multilayer memvariasikan arus pada tiap-tiap layer pengelasan tersebut. Hal ini penting dilakukan karena dengan mengetahui karakteristik struktur mikro, nilai kekerasan dan kuat tarik material hasil pengelasan multilayer dapat menjadi acuan dalam menentukan parameter proses pengelasan multilayer diwaktu yang akan datang.

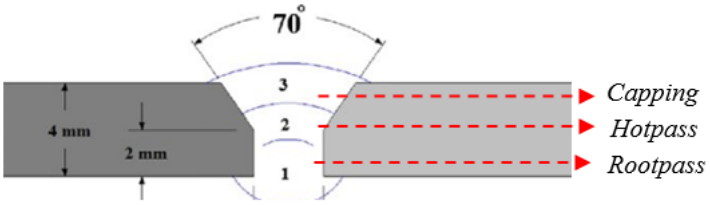
2. METODE DAN BAHAN

Pipa baja karbon jenis ASTM A106 digunakan sebagai material induk (*raw material*) yang akan mengalami proses pengelasan dalam studi ini. Komposisi kimia pipa baja

DOI: 10.21776/jrm.v14i1.1210
Copyright: © 2023 by the authors.

JURNAL rekayasa mesin
ISSN 2477-6041 articles 18, pp. 205 – 212, 2023
Vol. 14. No.1

karbon jenis ASTM A106 dapat dilihat pada Tabel 1, sedangkan sifat mekanik dari material diberikan pada Tabel 2. Jenis elektroda yang digunakan yaitu LB-E7016 berdiameter 2.6 mm. Pengelasan pada sambungan material dilakukan sebanyak tiga kali lapisan (*multilayer welding*) yakni lapisan *rootpass*, hotpass dan caping. Skema pengelasan *multilayer welding* ditunjukkan pada Gambar 1. Pengelasan menggunakan metode *shielded metal arc welding* (SMAW) dengan memvariasikan arus yang berbeda pada masing-masing spesimen las. Terdapat dua variasi pengelasan yang dilakukan pada penelitian ini yakni pada spesimen 1 arus yang digunakan adalah 60, 70 dan 80 A sedangkan pada spesimen 2 arus yang digunakan adalah 70, 80 dan 90 A. Untuk mengetahui efek dari variasi arus pada masing-masing spesimen dilakukan 3 meliputi pengujian kekerasan *Vikers*, pengujian struktur mikro dan pengujian Tarik. Pengujian kekerasan *Vickers* dilakukan secara tampang melintang (*cross section*) yang mewakili daerah logam induk (*base metal*), HAZ (*heat affected zone*), dan daerah pengelasan (*weld*) selain itu pengujian kekerasan juga dilakukan pada bagian *layer by layer* yakni daerah *rootpass*, *hotpass* dan *capping*. pengujian kekerasan dilakukan sesuai dengan standart ASTM E92 [9].



Gambar 1. Skema pengelasan *multilayer welding* pada spesimen [10]

Tabel 1. Komposisi kimia pada pipa baja karbon ASTM A106 [11].

No	Unsur Kimia	Min (%wt)	Max (%wt)
1	Mangan (Mn)	29	106
2	Tembaga (Cu)	-	40
3	*Chromium* (Cr)	-	40
4	Nikel (Ni)	-	40
5	Fosfor (P)	-	30
6	Karbon (C)	-	21
7	*Molibdenum* (Mo)	-	15
8	Sulfur (S)	-	10
9	Silikon (Si)	10	-
10	*Vanadium* (V)	-	8

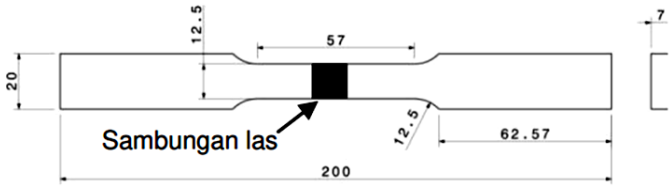
Tabel 2. Sifat Mekanik pipa baja karbon ASTM A106 [11].

Tensile Strength (Mpa)	415
Yield Strength/kekuatan luluh (Mpa)	290
Elongation (%)	24
Hardness vickers (HV)	248

DOI: 10.21776/jrm.v14i1.1210
Copyright: © 2023 by the authors.

JURNAL rekayasa mesin
ISSN 2477-6041 articles 18, pp. 205 – 212, 2023
Vol. 14. No.1

Pengujian foto *micro* dilakukan dengan pembesaran 1000x, namun sebelumnya cairan alkohol dan HNO_3 digunakan untuk mengikis permukaan logam yang tidak terlindung untuk menciptakan desain pada logam yang di sebabkan oleh larutan asam. Perbandingan HNO_3 dan alkohol yaitu 5 ml : 95 ml kemudian spesimen dicelup selama ±10 detik. Gambar 2. merupakan dimensi dari spesimen setelah mengalami proses preparasi sebelum uji tarik. Pengujian tarik menggunaan standar ASME BPVC.IX-2017 [12].

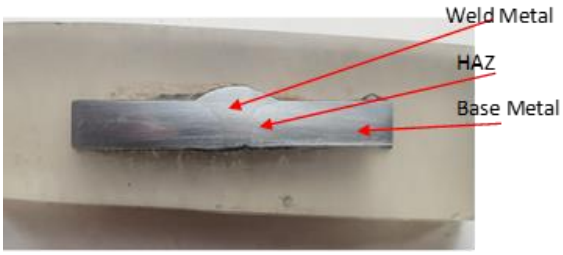


Gambar 2. Dimensi Spesimen Uji Tarik

3. HASIL DAN DISKUSI

3.1. Hasil Foto Micro

Pengujian foto mikro dilakukan pada bagian base metal, HAZ (*heat affected zone*), dan *weld* seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3. Tujuan dari pengujian ini adalah untuk mengetahui struktur material yang terbentuk pada daerah sambungan khususnya daerah *base metal*, HAZ dan *weld*.



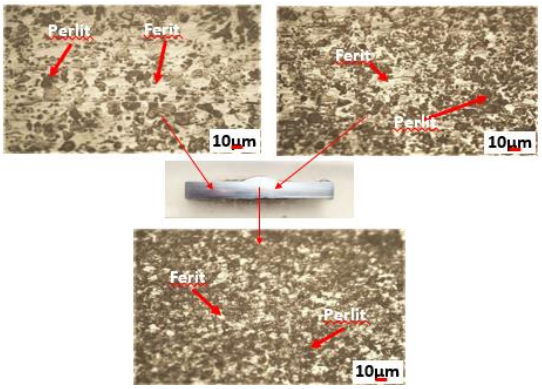
Gambar 3. Spesimen Uji

Hasil pengujian foto mikro dapat dilihat pada Gambar 4 dan 5. Gambar 4 merupakan hasil pen-gujian foto mikro pada spesimen 1 dengan variasi arus 60, 70 dan 80 A. Pada Gambar 5 merupakan hasil foto mikro spesimen 2 dengan variasi arus 70, 80 dan 90 A. Dari Gambar 4 dapat ditunjukkan bahwa base metal tidak terlihat perbedaan yang signifikan, Struktur mikro didominasi butir-butir *ferit* yang berwarna putih terang, sedangkan fasa *perlit* lebih berwana gelap cenderung lebih sedikit. Butir ferit cenderung lebih halus dan memiliki sifat lunak sedangkan butir perlit lebih kasar dan memiliki sifat keras karena mengan-dung karbon. Dikarenakan fasa *ferit* yang mendominasi pada base metal ini menandakan bahwa material bersifat tidak keras namun lunak. Bentuk dan ukuran butir pada daerah HAZ yang ditunjukan oleh Gambar 4 sudah mengalami perbedaan yang agak mencolok jika dibandingkan dengan daerah base metal. Butir-butir perlit mulai mendominasi pada daerah HAZ ini menandakan bahwa material bersifat lebih keras jika dibandingkan dengan daerah *base metal*. Perbedaan ini terjadi kemungkinan karena adanya efek panas dari proses pengelasan yang menyebabkan struktur mikronya berubah. Gambar 4 menunjukan pada daerah weld terbentuk fasa perlit yang lebih banyak dibandingkan dengan fasa *ferit* dan strukturnya lebih rapat. Jika

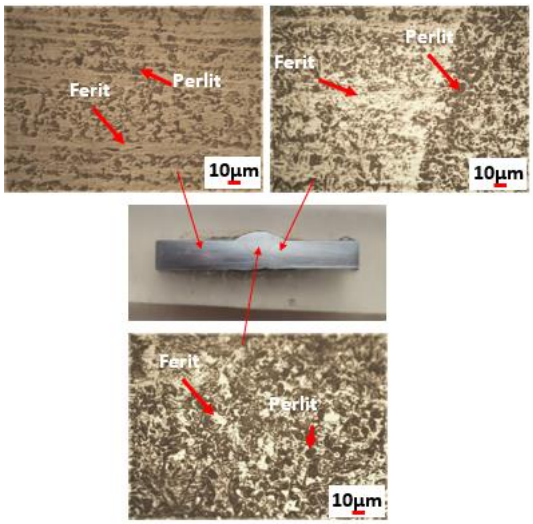
DOI: 10.21776/jrm.v14i1.1210
(cc) BY
Copyright: © 2023 by the authors.

JURNAL rekayasa mesin
ISSN 2477-6041 articles 18, pp. 205 – 212, 2023
Vol. 14. No.1

dibandingkan dengan daerah base dan HAZ, daerah *weld* ini fasa *perlit* lebih banyak dan rapat, hal tersebut menandakan sifat dari daerah *weld* lebih keras dari pada daerah lainnya. Jika dilihat secara seksama batas butir pada spesimen ini lebih kecil dan rapat, hal ini memungkinkan bahwa spesimen pada bagian *weld* memiliki nilai kekerasan yang lebih tinggi sesuai dengan kaidah hukum *hall petch* (*Hall petch law*) dimana semakin kecil batas butir yang terlihat material akan memiliki kecenderungan lebih keras [13] [14].



Gambar 4. Struktur mikro pada spesimen 1: a) *Base metal*; (b) HAZ; dan (c) *Weld* dengan pembesaran 1000x



Gambar 5. Struktur mikro pada spesimen 2: a) *Base metal*; (b) HAZ; dan (c) *Weld* dengan pembesaran 1000x

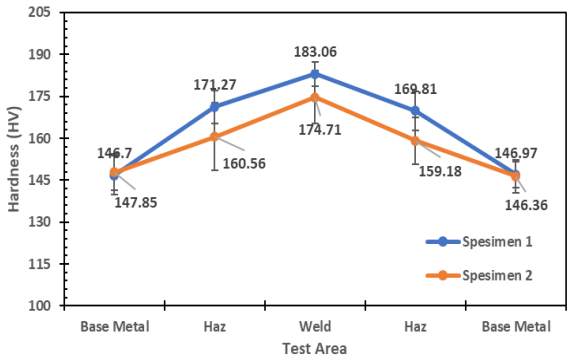
3.2. Hasil Kekerasan *Vickers*

Hasil pengujian kekerasan dilakukan pada daerah *base metal*, HAZ dan *weld*. Masing-masing daerah terse-but dilakukan 9x pengujian kekerasan kemudian diambil rata-rata yang dapat dilihat pada Gambar 6. Di-mana specimen pada daerah *base metal* (kiri - kanan) menunjukan nilai kekerasan berkisar antara 146.7-146.97 VHN. Daerah HAZ (*Heat Affected Zone*) merupakan daerah yang berpengaruh panas pada proses pengelasan, pengujian dilakukan pada HAZ (kiri - kanan) dengan nilai HV kisaran 171-169.81 VHN. Se-dangkan untuk hasil uji pada daerah *weld* menunjukan nilai kekerasan rata-rata 183.06 VHN. Dari data hasil pengujian tersebut menunjukan daerah base metal

DOI: 10.21776/jrm.v14i1.1210
(cc) BY
Copyright: © 2023 by the authors.

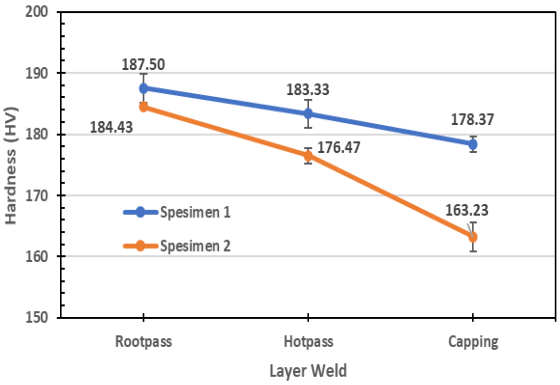
JURNAL rekayasa mesin
ISSN 2477-6041 articles 18, pp. 205 – 212, 2023
Vol. 14. No.1

mempunyai nilai kekerasan yang rendah, pada daerah HAZ memiliki nilai kekerasan yang lebih tinggi dan daerah *weld* nilai kekerasan paling tinggi untuk semua variasi spesimen.



Gambar 6. Grafik hasil pengujian kekerasan *Vickers*

Pada proses pengelasan *Rootpass*, *Hotpass*, *Capping* dengan variasi arus (*ampere*) yang berbeda maka pen-gujian dilakukan di setiap titik pembebanan pada setiap *layer* seperti Gambar 7. Jika dilihat dari Gambar nilai kekerasan antar lapisan las maka menunjukan pada *layer rootpass* menghasilkan nilai kekerasan tertinggi sedangkan nilai kekerasan terendah berada pada daerah *capping*. Hal ini bisa terjadi dimungkinkan karena laju pendinginan yang lebih cepat, karena ketika laju pendinginan cepat maka butir material tidak ada kesempatan untuk saling mengikat sehingga butir material akan membentuk butir yang relatif kecil seperti yang di tunjukan pada Gambar 4c. Susunan butir yang relatif kecil tersebut akan menghasilkan nilai kekerasan yang tinggi dan mempunyai sifat getas.



Gambar 7. Perbandingan hasil pengujian kekerasan pada *layer by layer* bagian *weld*

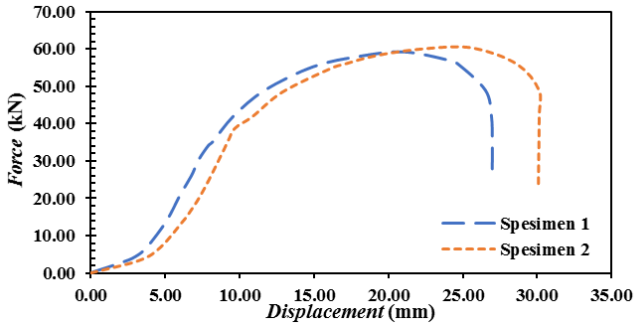
3.3. Hasil Uji Tarik

Pengujian tarik dilakukan berdasarkan standar ASME BPVC.IX 2017 [12]. Dari pengujian ini menghasilkan tegangan maksium, tegangan luluh serta regangan yang terjadi pada spesimen. Hasil pengujian tarik dapat di lihat pada Gambar 8 dimana terjadi patahan di daerah base metal, hal tersebut dimungkinkan terjadi karena arus pengelasan. Laju pendinginan pada spesimen juga berpengaruh karena semakin tinggi suhu material maka waktu yang diperlukan untuk pendinginan akan lebih lama. Selama proses

DOI: 10.21776/jrm.v14i1.1210
Copyright: © 2023 by the authors.

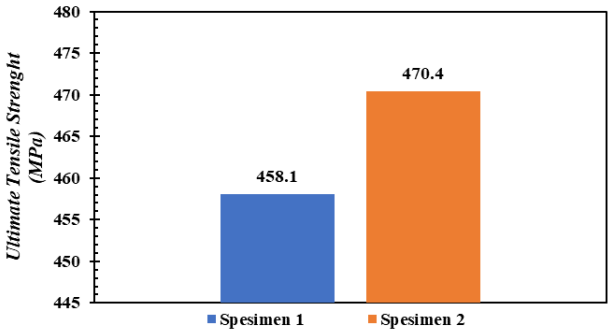
JURNAL rekayasa mesin
ISSN 2477-6041 articles 18, pp. 205 – 212, 2023
Vol. 14. No.1

pendinginan butir fasa yang terbentuk akan relatif besar, sehingga mengakibatkan material menjadi lunak.



Gambar 8. Grafik perbandingan hasil pengujian tarik pada spesimen

Untuk memudahkan analisa maka dari Gambar 8 diambil data tertinggi kekuatan tarik masksimal kemudian data tersebut disajikan pada Gambar 9. Gambar 9 merupakan perbandingan kekuatan tarik maksimal antara spesimen 1 dengan spesimen 2, dari Gambar 9 didapatkan bahwa kekuatan tarik maksimal terbesar ketika variasi yang digunakan pada spesimen 2 yakni memiliki kekuatan tarik maksimal 470.4 MPa atau lebih besar 2.5% jika dibandingkan dengan variasi spesimen 1. Hasil tersebut sejalan dengan penelitian yang telah dilakukan oleh Wijoyo [15] dan Raza [16], yang menyatakan bahwa arus listrik pada pengelasan sangat berpengaruh terhadap hasil lasan karena arus mempengaruhi masukan panas dalam proses pengela-san, terutama pada siklus termal selama pemanasan dan pendinginan serta jika kekuatan arus lebih tinggi dalam proses pengelasan, nilai kekuatan tarik juga lebih tinggi pada logam las seperti yang ditunjukkan pada Gambar 9.



Gambar 9. Nilai *Ultimate Tensile Strenght* (UTS) pada spesimen 1 dan spesimen 2

4. KESIMPULAN

Berdasarkan analisa yang sudah dilakukan menunjukkan bahwa hasil struktur mikro daerah base metal didominasi oleh fasa *ferit*. Lalu pada daerah HAZ mengalami sedikit perubahan struktur fasa yang didominasi oleh fasa perlit. Pada daerah *weld* terbentuk fasa perlit yang lebih banyak dari ferit dan butir yang terbentuk di daerah weld lebih rapat dibandingkan daerah HAZ. Sedangkan hasil pengujian kekerasan untuk semua variasi spesimen didapatkan kesimpulan bahwa nilai kekerasan tertinggi berada pada daerah *weld*. Dari pengujian tarik yang dilakukan dapat disimpulkan bahwa spesimen 2 mempunyai kekuatan tarik lebih besar 2.5% jika dibandingkan spesimen 1.

DOI: 10.21776/jrm.v14i1.1210
(cc) BY
Copyright: © 2023 by the authors.

DAFTAR PUSTAKA

[1] M. R. RAHMAN, "Perencanaan Modifikasi Pipa Penyalur Minyak dengan Adanya Penambahan Platform Produksi," Seminar Nasional Cendekiawan 2015. Indonesia, 2015.

[2] HAMDANI, "Pengaruh Masukan Panas Proses Pengelasan Terhadap Sifat Mekanik Baja Aisi 1045 : Suatu Kajian Eksperimental," Polimesin, vol. 1, no. 2, pp. 1–8, 2019.

[3] H. HAIKAL, M. CHAMIM, D. ANDRIYANSYAH, A. WIYONO, A. S. BASKORO, and I. ISNARNO, "Peningkatan Kedalaman Penetrasi Las *Stainless Steel* 304 dengan Medan Magnet Eksternal pada Pengelasan Autogenous Tungsten Inert Gas Welding," J. Rekayasa Mesin, vol. 12, no. 1, p. 87, 2021, doi: 10.21776/ub.jrm.2021.012.01.10.

[4] J. AWALI, S. IRAWAN, and M. A. CHOIRON, "Pengaruh Kuat Arus Pengelasan Dua *Layer* dengan Metode GTAW dan SMAW terhadap Kekuatan Tarik pada Plat ASTM A 36," J. Rekayasa Mesin, vol. 5, no. 2, pp. 107–112, 2014.

[5] Y. IRWAN, "Pengaruh Kondisi Elektroda Terhadap Sifat Mekanik Hasil Pengelasan Baja Karbon Rendah," 2017.

[6] H. SONAWAN and R. SURATMAN, "Pengantar untuk Memahami Proses Pengelasan Logam," Bandung Alfa Beta, 2004.

[7] H. WIRYOSUMARTO and T. OKUMURA, "Teknologi Pengelasan Logam," Teknol. Pengelasan Logam, vol. 8, 2000.

[8] YASSIN MUSTAFA AHMED , KHAIRUL SALLEH MOHAMED SAHARI , BASIM A. KHIDHIR, and MAHADZIR ISHAK. "*Optimization of Multi-layer Welding of Titanium Alloy". · Research Journal of Applied Sciences, Engineering and Technology 10(9):1029-1034*, 2015.

[9] UN STANDARDS, "*Standard Specification for seamless carbon steel Pipe for High Temperature Service*," p. 9.

[10] M. RAHMANI, A. EGHLIMI, and M. SHAMANIAN, "*Evaluation of microstructure and mechanical properties in dissimilar austenitic/super duplex stainless steel joint," J. Mater. Eng. Perform*., vol. 23, no. 10, pp. 3745–3753, 2014, doi: 10.1007/s11665-014-1136-z.

[11] A. INTERNATIONAL, "*Standard Spesification For Seamless Carbon Steeel Pipe for High Temperature Service*." .

[12] ASME, "*ASME Boiler and Pressure Vassel Code An International Code*," 2017.

[13] M. KATO, "*Hall Petch Relationship and Dislocation Model for Deformation of Ultra fi ne-Grained and Nanocrystalline Metals*," vol. 55, no. 1, pp. 19–24, 2014.

[14] N. T. ATMOKO, "Analisa Jenis Fluida Pendingin Proses *Quenching* pada Besi Cor Terhadap Kekerasan dan Struktur Mikro," vol. 23, no. 3, pp. 26–30, 2021.

[15] W. WIJOYO, M. MUJAHID, A. NURHIDAYAT, E. SURJADI, and I. SAEFULOH, "*The effect of current strength on tensile strength and impact toughness of cast iron welded joints*," Tek. J. Sains dan Teknol., vol. 17, no. 2, p. 125, 2021, doi: 10.36055/tjst.v17i2.11216.

[16] R. MD. ANIS, S. K. KASHYAP, and RAKESH, "*the Effect of Welding on Mechanical and Microstructural*," J. Manuf. Sci. Eng., vol. 1, no. 2, pp. 1–24, 2016.

DOI: 10.21776/jrm.v14i1.1210
Copyright: © 2023 by the authors.