

ANALISIS PENGARUH VARIASI FREKUENSI LASER DAN DAYA (*POWER*) LASER PADA PENGELASAN *LASER BEAM WELDING (LBW)* JENIS *FIBER LASER* DENGAN MATERIAL *STAINLESS STEEL* DIN 1.4003 TERHADAP SIFAT MEKANIK DAN STRUKTUR MIKRO

Danang Aji Prayogo¹, M. Miftachul Munir², Mukhlis³

Program Studi Teknik Pengelasan, Jurusan Teknik Bangunan Kapal, Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya, Surabaya 60111^{1*}

Email: danangaji.1811@gmail.com¹

Abstract – Welding is a major process in the transport fabrication industry. PT. XYZ uses GMAW welding for splicing DIN 1.4003 Stainless Steel material. But still found some welding defects. One way to fix this obstacle is to replace the welding process by using a fiber laser type Laser Beam Welding. Fiber lasers have several parameters including laser frequency and laser power. In this study, the parameters used were frequency parameters of 1000 Hz and 1200 Hz which were varied with laser power of 45% and 48% using DIN 1.4003 material. The tests carried out are metallographic tests, hardness tests, tensile tests, and SEM. The results obtained show the existence of a new phase in the weld metal area, namely the martensite phase. The highest hardness value is in the weld metal area of 383.2 kgf/mm². The penetration has a concave shape because the value of the width parameter is too wide. In tensile testing, all variation specimens fail due to a lack of penetration defect. SEM coating shows texture in coarse weld metal with large grain size while in fine texture fusion line with small grain size and there is a lot of chrome carbide on the grain border. The results of this study show that the greater the laser frequency and power laser parameters, the more the hardness value due to the formation of the martensite phase.

Keyword: Laser Beam Welding, DIN 1.4003, microstructure, hardness

1. PENDAHULUAN

Kemajuan teknologi di bidang industri sedang berkembang saat ini. Industri di bidang manufaktur khususnya konstruksi dan transportasi menggunakan berbagai jenis material sebagai bahan baku produksinya. Salah satunya adalah material *stainless steel*. PT. XYZ menggunakan material *stainless steel* DIN 1.4003 sebagai bahan baku untuk membuat kerangka bus listrik.

PT. XYZ menggunakan proses pengelasan GMAW untuk menyambung material *stainless steel* DIN 1.4003. Namun, masih ditemukan cacat pada hasil pengelasan seperti visual yang tidak sesuai standard acuan, distorsi, HAZ yang terlalu lebar, dan lain-lain. Oleh karena itu, untuk memperbaiki kendala tersebut digunakanlah pengelasan *Laser Beam Welding (LBW)* berjenis *fiber laser*. *Laser Welding* merupakan salah satu jenis pengelasan yang efektif dan efisien karena memiliki akurasi tinggi, rasio kedalaman yang baik, dan dapat mengurangi atau meminimalisir *Heat Affected Zone* [6].

Terdapat beberapa parameter yang berpengaruh terhadap hasil las pada LBW tipe *fiber laser* diantaranya yaitu frekuensi laser dan daya (*power*) laser. Frekuensi laser adalah parameter yang dapat mempengaruhi penetrasi

kedalaman las [5]. Sedangkan daya (*power*) laser dapat mempengaruhi peningkatan penyerapan energi [3]. Sehingga dengan menyesuaikan parameter antara frekuensi dan daya yang sesuai dapat menciptakan sambungan pengelasan yang baik.

Oleh sebab itu, maka dilakukan penelitian mengenai analisis pengaruh variasi frekuensi laser dan daya (*power*) laser pada pengelasan *Laser Beam Welding (LBW)* tipe *fiber laser* dengan material *stainless steel* DIN 1.4003 terhadap sifat mekanik dan struktur mikro. Pengujian yang akan dilakukan adalah uji kekerasan, uji tarik, uji makro mikro, dan SEM (*Scanning Electron Microscope*).

2. METODOLOGI

Penelitian ini menggunakan material *stainless steel* DIN 1.4003 dengan dimensi 300x150x2 mm. Material tersebut dilas menggunakan LBW tipe *fiber laser* dengan menggunakan nilai parameter frekuensi 1000 Hz dan 1200 Hz yang divariasikan dengan nilai parameter daya laser 45% dan 48%. Sehingga jumlah total tes kupon nantinya adalah 4 spesimen. Berikut adalah spesimen beserta pembagian parameter pada Tabel 1.

Tabel 1 Parameter Pengelasan

Spesimen	Frekuensi Laser (Hz)	Power Laser (%)
1	1000	45
2	1000	48
3	1200	45
4	1200	48

Material disambung dengan tipe sambungan *square butt joint double side weld*. Filler metal yang digunakan adalah ER308L. Setelah proses pengelasan selesai dilakukan, tes kupon akan dipotong dan selanjutnya dijadikan spesimen-spesimen untuk pengujian. Pengujian yang dilakukan adalah pengujian kekerasan, pengujian tarik. Pengujian makro mikro, dan pengujian SEM.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Hasil Pengujian Kekerasan

Berikut adalah rata-rata nilai kekerasan total tiap spesimen variasi pada penelitian ini terdapat pada Gambar 1.



Gambar 1 Diagram Rata-rata Nilai Kekerasan

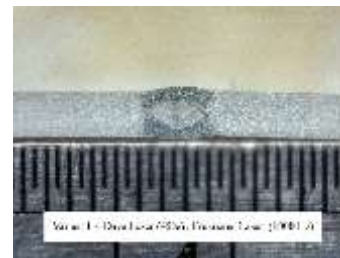
Berdasarkan diagram rata-rata nilai kekerasan tiap spesimen variasi diatas. Nilai kekerasan tertinggi terdapat pada spesimen variasi 4 dengan nilai kekerasan daerah *weld metal* sebesar 383.2 kgf/mm² dan pada daerah *fusion line* sebesar 359.7 kgf/mm². Dan spesimen dengan nilai kekerasan terendah adalah spesimen variasi 1 dengan nilai kekerasan pada daerah *weld metal* sebesar 371.7 kgf/mm² dan pada daerah *fusion line* sebesar 350.4 kgf/mm². Nilai kekerasan yang tinggi pada daerah *weld metal* disebabkan akibat dari masukan panas (*heat input*) yang tinggi disertai pendinginan yang cepat. Selain itu, struktur mikro dari *weld metal* terdiri dari fasa *martensite* sehingga memiliki nilai kekerasan tinggi [1].

Nilai kekerasan yang tinggi disebabkan karena penggunaan parameter daya laser yang tinggi yaitu sebesar 48%. Ini karena untuk spesimen variasi 4 dan spesimen variasi 2 memiliki nilai kekerasan yang tinggi dibanding spesimen variasi lain. Hal ini karena penggunaan parameter daya laser memiliki pengaruh terhadap penyerapan energi pada proses pengelasan *fiber*

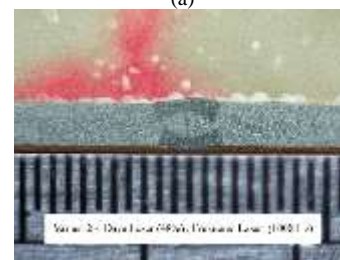
laser [3]. Penyerapan energi panas yang besar menyebabkan kekerasan pada material akan meningkat.

3.2 Hasil Pengujian Makro

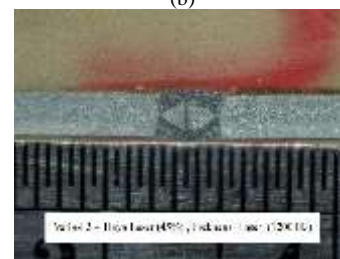
Berikut adalah hasil pengamatan makro pada tiap spesimen variasi pada Gambar 2.



(a)



(b)



(c)



(d)

Gambar 2 Hasil Pengujian Makro
 (a) spesimen variasi 1, (b) spesimen variasi 2, (c) spesimen variasi 3, (d) spesimen variasi 4

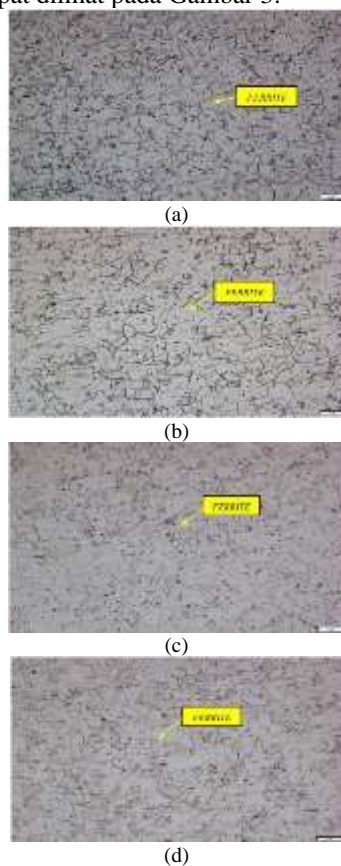
Dari hasil pengamatan pengujian makro dapat dilihat apabila bentuk dari penetrasi hasil pengelasan berbentuk cekung. Hal ini karena penggunaan parameter *width* yang terlalu lebar yakni sebesar 3 mm pada penelitian ini. Parameter *width* memiliki pengaruh terhadap gerakan *keyhole* laser. *Keyhole* adalah model peleburan logam pada pengelasan laser dimana sinar laser akan melelehkan logam pada titik tertentu. Semakin pendek parameter lebar las (*width*) maka penetrasi akan semakin dalam sedangkan semakin panjang parameter lebar las (*width*) maka penetrasi tidak akan fokus ketengah [2]. Bentuk

penetrasi yang cekung menyebabkan semua hasil pengelasan spesimen variasi mengalami cacat LOP (*Lack Of Penetration*).

Hasil penetrasi terdalam terdapat pada spesimen variasi 3 dan 4 yaitu dengan kedalaman penetrasi tengah sebesar 0.6 mm dan kedalaman penetrasi pinggir sebesar 1.2 mm. Kedalaman hasil penetrasi disebabkan karena penggunaan parameter frekuensi laser yang besar yaitu sebesar 1200Hz. Semakin besar nilai parameter frekuensi laser yang dipakai akan semakin dalam penetrasi yang diciptakan.

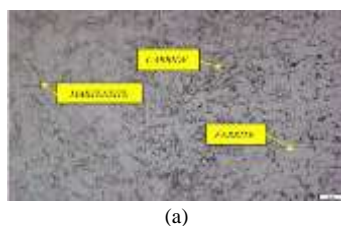
3.3 Hasil Pengujian Mikro

Hasil pengamatan mikro tiap spesimen variasi pada daerah *base metal* dengan perbesaran 500x dapat dilihat pada Gambar 3.

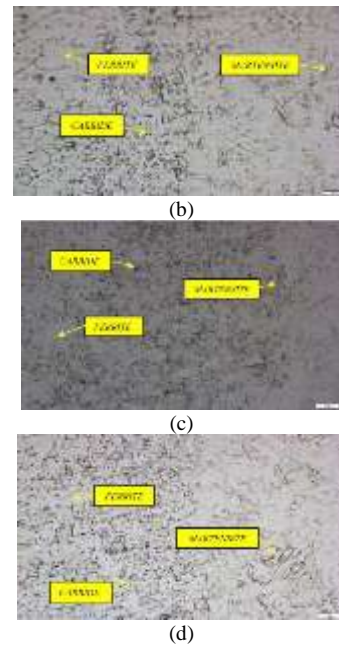


Gambar 3 Hasil Struktur Mikro *Base Metal*
(a) spesimen variasi 1, (b) spesimen variasi 2, (c) spesimen variasi 3, (d) spesimen variasi 4

Hasil mikro pada daerah *fusion line* dengan perbesaran 500x dapat dilihat pada Gambar 4.

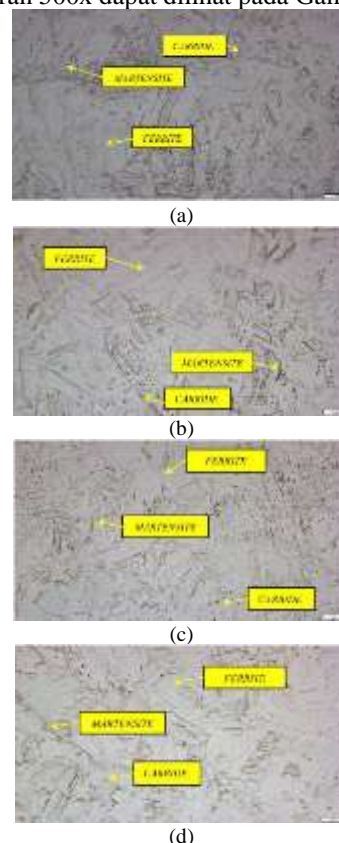


(a)



Gambar 4 Hasil Struktur Mikro *Fusion Line*
(a) spesimen variasi 1, (b) spesimen variasi 2, (c) spesimen variasi 3, (d) spesimen variasi 4

Hasil mikro pada daerah *weld metal* dengan perbesaran 500x dapat dilihat pada Gambar 5.



Gambar 5 Hasil Struktur Mikro *Weld Metal*
(a) spesimen variasi 1, (b) spesimen variasi 2, (c) spesimen variasi 3, (d) spesimen variasi 4

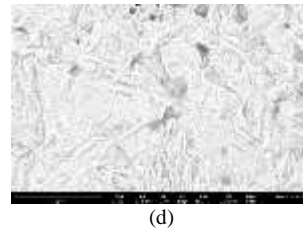
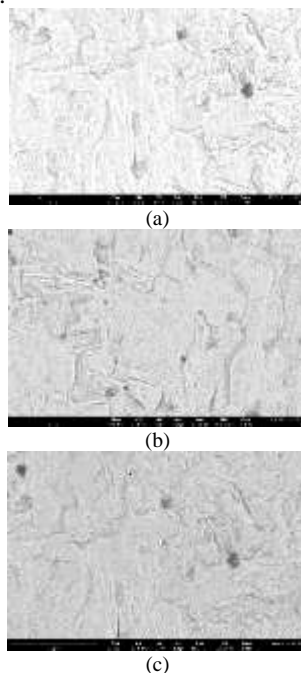
Pada daerah *base metal* menunjukkan fasa yang dominan adalah fasa *ferrite* dengan bentuk seperti butiran. Fasa ini adalah struktur asli dari material dan belum terpengaruh panas dari

pengelasan. Selanjutnya adalah daerah *fusion line* yang menunjukkan fasa campuran antara *base metal* dan *weld metal*, namun pada daerah ini terdapat banyak titik-titik hitam dimana titik hitam itu adalah presipitasi karbida krom. Karbida krom merupakan endapan anatu senyawa yang terbentuk akibat proses sensitisasi. Proses sensitisasi adalah tertariknya atom kromium oleh atom karbon dan membentuk ikatan yang terjadi pada suhu sensitisasi (450-850°C). Presipitasi karboda krom pada daerah *fusion line* menyebabkan daerah ini menjadi rawan terkena korosi [3].

Daerah *weld metal* terdiri dari fasa *ferrite*, fasa *martensite*, dan terdapat karbida krom. Fasa *martensite* terbentuk dari proses pendinginan *austenite* dengan proses laju pendinginan cepat (*rapid cooling*) pada suhu sekitar 300°C. Laju pendinginan dapat dipengaruhi oleh media pendinginan dan ketebalan material yang digunakan [4].

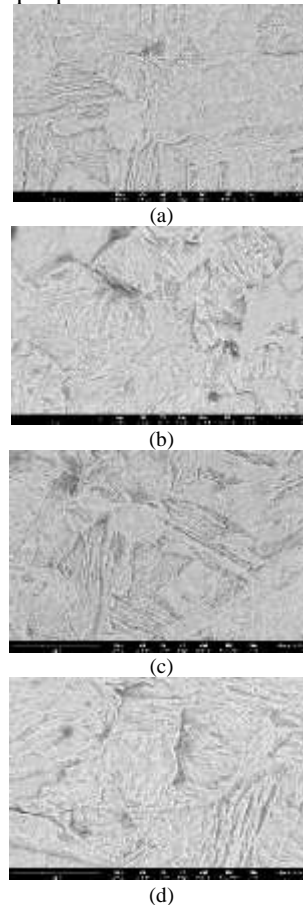
3.4 Hasil Pengujian SEM (*Scanning Electron microscope*)

Pengujian SEM (*Scanning Electron Microscope*) pada penelitian ini dilakukan di dua daerah yaitu *fusion line* dan *weld metal* dengan menggunakan perbesaran 10.000x. Berikut adalah hasil pengujian SEM pada daerah *fusion line* pada Gambar 6.



Gambar 6 Hasil Pengujian SEM Pada Daerah *Fusion Line* Perbesaran 10.000x
(a) spesimen variasi 1, (b) spesimen variasi 2, (c) spesimen variasi 3, (d) spesimen variasi 4

Hasil pengujian SEM pada daerah *weld metal* terdapat pada Gambar 7.



Gambar 7 Hasil Pengujian SEM Pada Daerah *Weld Metal* Perbesaran 10.000x
(a) spesimen variasi 1, (b) spesimen variasi 2, (c) spesimen variasi 3, (d) spesimen variasi 4

Hasil pengujian SEM mendukung hasil pengujian mikro karena terlihat lebih jelas topografi dan fasa dari daerah *fusion line* dan *weld metal*. Pada daerah *fusion line* memiliki struktur topografi yang lebih halus daripada *weld metal*. Daerah *weld metal* terdiri dari fasa *martensite* yang berwarna hitam dengan ukuran butir yang relatif besar. Sedangkan pada daerah *fusion line* memperlihatkan perbedaan yang sangat jelas antara bentuk butir dan struktur dari *base metal* dan *weld metal*. Hal ini karena *fusion line* adalah daerah transisi. Pada daerah ini juga terdapat presipitasi karbida krom yang terlihat jelas

berbentuk butiran hitam dan terletak pada batas butir.

3.5 Hasil Pengujian Tarik

Pada penelitian ini setiap spesimen variasi diambil 2 sampel untuk pengujian tarik. Hasil dari pengujian tarik dari tiap spesimen variasi terdapat pada Tabel 2 dan perbandingan nilai dari tiap spesimen disajikan dalam bentuk diagram pada Gambar 8.

Tabel 2 Hasil Pengujian Tarik

Spesimen		Max. Strength (Mpa)
Variasi 1	T1	344.70
	T2	148.20
Variasi 2	T1	73.84
	T2	97.04
Variasi 3	T1	367.99
	T2	295.48
Variasi 4	T1	144.52
	T2	154.25



Gambar 8 Diagram Nilai Kekuatan Tarik

Hasil pengujian tarik menunjukkan dari semua spesimen variasi mengalami kegagalan karena patah di daerah *weld metal* dan memiliki nilai tarik dibawah minimum material induk yaitu sebesar 450 Mpa. Selain itu, terdapat cacat LOP (*Lack Of Penetration*) yang menyebabkan kegagalan karena penetrasi yang tercipta menjadi tidak sempurna.

4. KESIMPULAN

Dari hasil penyajian data dan analisis hasil pengujian dalam penelitian ini dapat diambil kesimpulan antara lain:

1. Hasil pengujian kekerasan tertinggi terdapat pada spesimen variasi 4 dengan nilai kekerasan daerah *weld metal* sebesar 383.2 HVN dan pada daerah *fusion line* sebesar 359.7 kgf/mm². Sedangkan nilai kuat tarik terendah adalah spesimen variasi 1 dengan nilai kekerasan pada daerah *weld metal* 371.7 kgf/mm² dan pada daerah *fusion line* sebesar 350.4 kgf/mm².
2. Dari hasil pengujian tarik pada semua spesimen variasi menunjukkan kegagalan karena nilai uji tarik semua spesimen berada dibawah minimum kuat tarik material induk. Selain itu, terdapat cacat pengelasan yaitu LOP (*Lack of Penetration*).
3. Hasil pengujian makro menunjukkan semua spesimen variasi memiliki bentuk penetrasi

cekung dan terdapat cacat LOP (*Lack of Penetration*). Hasil pengujian mikro terlihat pada tiap spesimen variasi pada daerah *base metal* memiliki struktur fasa *ferrite* dan pada daerah *weld metal* terdiri dari fasa *ferrite* dan fasa *martensite*. Fasa baru pada *weld metal* terbentuk akibat proses pengelasan singkat disertai pendinginan cepat. Pada daerah *fusion line* memiliki fasa campuran dan terdapat banyak presipitasi karbida krom.

5. UCAPAN TERIMAKASIH

Peneliti mengucapkan terimakasih kepada semua pihak yang telah membantu peneliti dalam melakukan pengerjaan tugas akhir ini, seperti dosen pembimbing, pembimbing OJT, PT.Inka Multi Solusi, dan terkhusus juga untuk Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya.

6. PUSTAKA

- [1] Çam, Gürel & Erım, S. & Yeni, Çınar & Koçak, Mustafa. (1999). Determination of Mechanical and Fracture Properties of Laser Beam Welded Steel Joints. *Welding journal*. 78. 193s-201s.
- [2] Gong, S., Pang, S., Wang, H., & Zhang, L. (2021). *Weld pool dynamics in deep penetration laser welding*. Springer Singapore.
- [3] Huang, Y., Gao, X., Ma, B., Liu, G., Zhang, N., Zhang, Y., & You, D. (2021). Optimization of weld strength for *laser welding* of steel to PMMA using Taguchi design method. *Optics & Laser Technology*, 136, 106726.
- [4] Lubay, Asmadi. VARIASI WAKTU TAHAN PADA PROSES AUSTEMPERING BERPENGARUH TERHADAP SIFAT MEKANIK BAJA KARBON TINGGI. *TEKNIKA: Jurnal Teknik*, [S.l.], v. 1, n. 1, p. 112-128, june 2017. ISSN 2686-5416.
- [5] Meng, W., Xu, Z., Ma, Q., Yin, X., & Fang, J. (2019). Pulse fiber *laser welding* of AISI 321-AISI 405 stainless steel thick plates butt joints. *Journal of Materials Processing Technology*, 271, 214-225.
- [6] Mosavi, Amir & Salehi, Fatemeh & László, Nádai & Széll, Károly & Gorji, Nima. (2019). Modeling the Temperature Distribution During Laser Hardening Process. *Results in Physics*.102883.10.1016/j.rinp.2019.102883.