

ANALISIS VARIASI POWER DAN JUMLAH LAYER BUTTERING MENGGUNAKAN LASER BEAM WELDING PADA PENGELASAN GMAW SS 400 DAN SUS 304L TERHADAP SIFAT MEKANIK DAN STRUKTUR MIKRO

Benediktus Wahyu Setiawan^{1*}, Moh. Miftachul Munir², Rikat Eka Prastyawan³

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

Email: benediktus.wsetiawan@gmail.com¹

Abstract – The buttering process, typically used in dissimilar metal welding to enhance joint quality, is less common in thin plate materials. This study investigated the use of laser beam welding (LBW) for buttering thin SS 400 and SUS 304L plates, examining parameters of 4 and 6 buttering layers with power settings at 40%, 45%, and 50%. Experimental tests included tensile, bend, hardness, and metallographic analyses. Results showed that the lowest tensile strength (481 MPa) occurred with 4 layers at 40% power using ER 308LSi electrodes, while the highest (512.8 MPa) was achieved with 6 layers at 50% power using ER 309L electrodes. Hardness values followed a similar trend, with the lowest hardness at 40% power and 4 layers (203.23 kgf/mm²) and the highest at 50% power and 6 layers (219.76 kgf/mm²). Bending tests revealed discontinuities at lower power settings and fewer layers. Microstructural analysis indicated that higher laser power and more buttering layers resulted in a more compact microstructure, leading to improved tensile strength and hardness. This study provides valuable insights for industries engaged in dissimilar metal and laser welding applications.

Keyword: Laser Beam Welding, Buttering, Dissimilar Metal Welding

1. PENDAHULUAN

Kemajuan teknologi industri, khususnya dalam manufaktur, konstruksi, dan transportasi, telah meningkatkan penggunaan berbagai material logam seperti *carbon steel*, *stainless steel*, dan *aluminium*. Penyambungan logam, terutama melalui pengelasan, merupakan bagian krusial dari pengelasan. Pengelasan menggunakan panas untuk melelehkan logam dasar dan sering kali melibatkan penambahan logam pengisi untuk meningkatkan kekuatan sambungan.[6]

Teknologi pengelasan telah berkembang, contohnya pengelasan *dissimilar*. Yaitu pengelasan dengan menyambungkan material yang berbeda jenis. Hal ini sering digunakan dalam industri, namun menghadapi risiko tinggi akibat perbedaan komposisi kimia dan titik lebur material. PT. XYZ, yang bergerak di bidang manufaktur transportasi darat, mengalami tantangan dalam pengelasan *dissimilar* antara *stainless steel* SUS 304L dan *mild steel* SS 400 pada tanpa menggunakan *buttering*. *Buttering* adalah metode untuk menambah material pengelasan guna mencegah migrasi karbon dan meningkatkan kualitas sambungan [1]. Ketebalan lapisan *buttering* mempengaruhi sifat mekanik sambungan [5].

Saat ini, PT. XYZ mengembangkan penggunaan *Laser Beam Welding* (LBW), yang memanfaatkan sinar laser untuk melelehkan material dengan akurasi tinggi, rasio kedalaman yang baik, dan mengurangi *Heat Affected Zone* (HAZ). LBW efektif untuk material tipis dan

parameter pentingnya, seperti daya laser, mempengaruhi hasil pengelasan serta sifat mekanik material. [4]

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis variasi daya dan jumlah lapisan *buttering* menggunakan LBW pada pengelasan GMAW SS 400 dan SUS 304L. Tujuannya adalah untuk memaksimalkan pengelasan *dissimilar*, menyamakan material selama proses, dan memperpendek waktu produksi.

2. METODOLOGI.

Penelitian ini menggunakan material stainless steel SUS 304L dan *mildsteel* SS 400 dengan dimensi 250x100x3 mm. Material tersebut dilakukan *buttering* menggunakan LBW pada plat SS 400 dengan menggunakan dua variasi elektroda yaitu ER 308LSi dan ER 309L serta variasi nilai parameter daya laser 40%, 45%, dan 50%. Selanjutnya variasi jumlah *layer buttering* pada setiap variasi power yaitu 4 dan 6 *layer*. Kemudian material dilas menggunakan proses GMAW. Sehingga jumlah total tes kupon nantinya adalah 12 spesimen pada Tabel 1.

Tabel 1. Variasi *buttering*

Variabel	Jumlah Layer	Tipe Elektroda	Daya Laser (%/Watt)	Wire Speed (mm/s)
V1	4	ER 308LSi	40/600	3,67

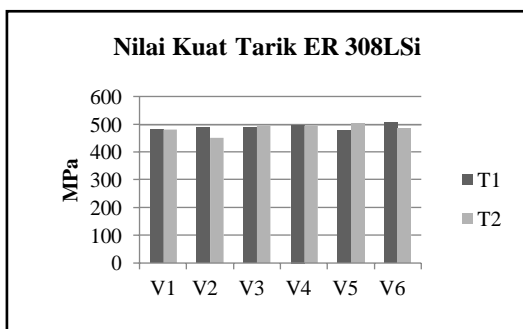
Variable	Jumlah Layer	Tipe Elektroda	Daya Laser (%/Watt)	Wire Speed (mm/s)
V1	4	ER 308LSi	40/600	3,67
V2	6	ER 308LSi	40/600	3,67
V3	4	ER 308LSi	45/675	3,96
V4	6	ER 308LSi	45/675	3,96
V5	4	ER 308LSi	50/750	4,31
V6	6	ER 308LSi	50/750	4,31
V7	4	ER 309L	40/600	3,54
V8	6	ER 309L	40/600	3,54
V9	4	ER 309L	45/675	3,84
V10	6	ER 309L	45/675	3,84
V11	4	ER 309L	50/750	4,25
V12	6	ER 309L	50/750	4,25

Setelah dilakukan proses *buttering* pada sisi SS 400, kemudian dilakukan penyambungan menggunakan pengelasan GMAW dengan *joint design double bavel* posisi 1G. Kemudian dilakukan beberapa pengujian yang terdiri dari uji tarik, uji *bending*, uji kekerasan, dan uji metallography.

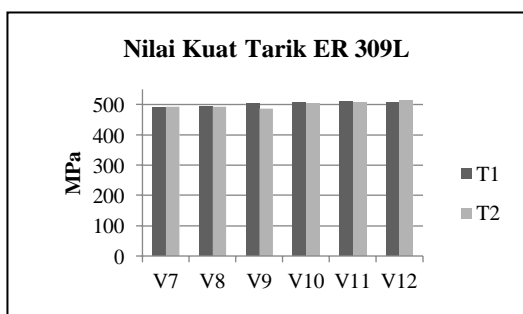
3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Hasil Pengujian Tarik

Berikut adalah rata-rata nilai kuat tarik total tiap spesimen variasi pada penelitian ini terdapat pada Gambar 1 dan Gambar 2.



Gambar 1. Nilai Kuat Tarik ER 308LSi



Gambar 2. Nilai Kuat Tarik ER 309L

Berdasarkan hasil uji tarik, semua variasi menunjukkan peningkatan nilai kuat tarik. Peningkatan ini disebabkan oleh heat input yang lebih tinggi, yang meningkatkan nilai ultimate tensile strength karena daya laser yang lebih besar dan jumlah layer *buttering* yang lebih banyak. Elektroda ER 309L cenderung memberikan nilai kuat tarik yang lebih tinggi dibandingkan elektroda ER 308 LSi. Semua variasi memenuhi syarat keberterimaan, dengan patahan terjadi pada base metal dan nilai kuat tarik melebihi nilai minimum 400 MPa yang diperlukan untuk pengelasan beda material, seperti SS 400.

Pengujian menunjukkan bahwa sambungan dissimilar antara SS 400 dan SUS 304L menunjukkan bahwa SUS 304L memiliki kekuatan yang lebih tinggi, karena semua patahan terjadi pada base metal SS 400. Penelitian [3] mendukung temuan ini, menyebutkan bahwa austenite stainless steel memiliki kekuatan las yang lebih tinggi dibandingkan low carbon steel dan lasan campuran, berkat sifat materialnya.

3.2 Hasil Pengujian Bending

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

Tabel 2. Hasil Pengujian Bending

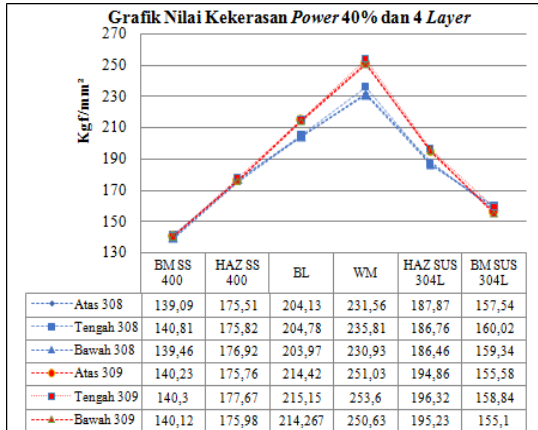
CODE	Panjang open discontinuity (mm)			
	Face bend 1	Face bend 2	Root band 1	Root bend 2
V1	19	-	-	-
V2	-	-	-	-
V3	-	-	19	-
V4	-	-	-	-
V5	-	-	-	-
V6	-	-	-	-
V7	-	-	-	-
V8	-	-	-	-
V9	-	-	-	-
V10	-	-	-	-
V11	-	-	-	-
V12	-	-	-	-

Acceptance criteria pengujian *bending* adalah maksimal panjang *open discontinuity* sebesar 3 mm di ukur dari berbagai arah. Jika terdapat satu spesimen dari kelompok jenis *bending test* gagal, maka seluruh kelompok *bending test* tersebut dianggap gagal. Pada variasi *power* 40%, 4 *layer* dan *power* 45%, 4 *layer* menggunakan elektroda ER308LSi terdapat salah satu spesimen *bending* yang gagal, namun pada hasil pengujian tarik didapatkan nilai kuat tarik memenuhi *acceptance criteria* serta tidak ada kerusakan pada struktur mikro seperti rekristalisasi dan dislokasi butir karena parameter pengelasan ini masih sesuai dengan WPS yang berlaku. Sehingga kegagalan pengujian *bending* pada variasi tersebut disebabkan karena adanya cacat pada hasil pengelasan variasi tersebut yang menyebabkan

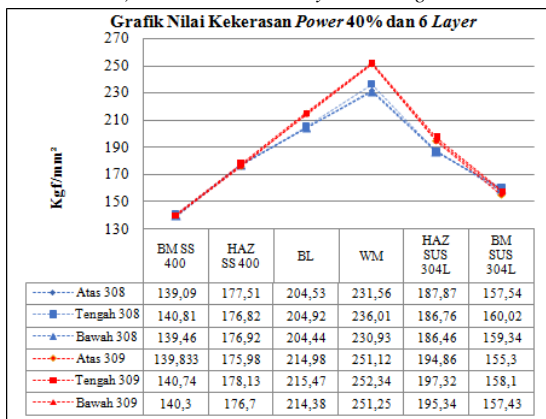
awal munculnya *open discontinuity* saat pengujian *bending* dilakukan.

3.3 Hasil Pengujian Hardness

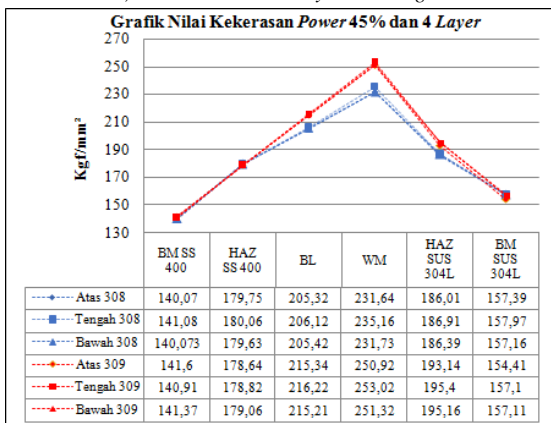
Berikut adalah hasil pengujian *hardness* dituliskan dalam bentuk grafik dengan setiap grafiknya menunjukkan variasi daya dan *layer* yang sama tapi dengan elektroda yang berbeda. Dapat dilihat seperti pada Gambar 3.



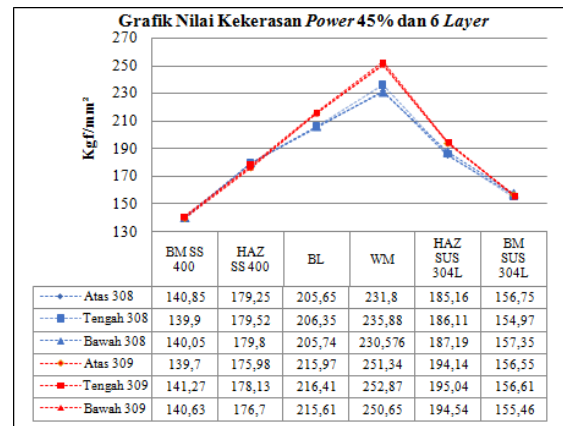
a) Power 40% dan 4 layer buttering



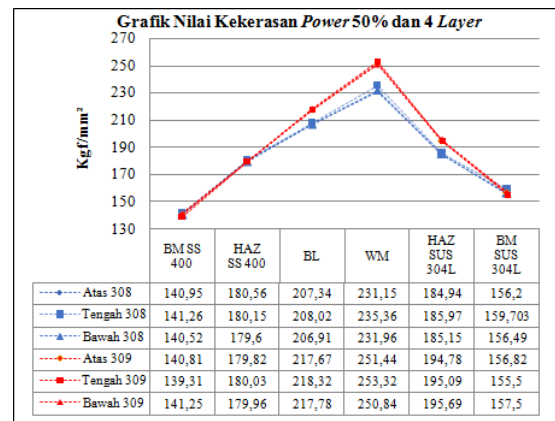
b) Power 40% dan 6 layer buttering



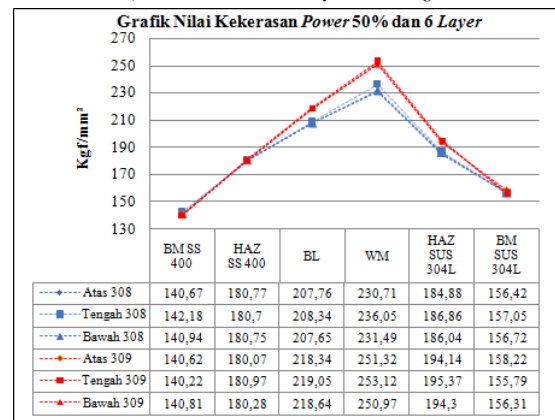
c) Power 45% dan 4 layer buttering



d) Power 45% dan 4 layer buttering



e) Power 50% dan 4 layer buttering



f) Power 50% dan 6 layer buttering

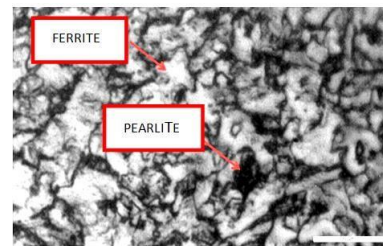
Gambar 3. Nilai rata-rata kekerasan (HVN)

Dari beberapa data diatas didapatkan hasil pengujian *hardness* sebagai berikut. Perbandingan penggunaan elektroda terhadap nilai kekerasan material didapatkan bahwa penggunaan elektroda ER 309L memiliki nilai kekerasan lebih tinggi dibandingkan ER 308LSi hal ini disebabkan karena elektroda ER 309L dirancang khusus untuk pengelasan baja tahan panas dan baja tahan korosi, kandungan *Chromium (Cr)* dan *nikel (Ni)* pada ER 309L yang lebih tinggi dari pada ER 308 LSi menyebabkan kekerasan dan kekuatan ER 309L meningkat. Kemudian nilai kekerasan tertinggi didapat pada daerah *weld metal* dibandingkan dengan daerah lainnya, hal ini didukung dengan

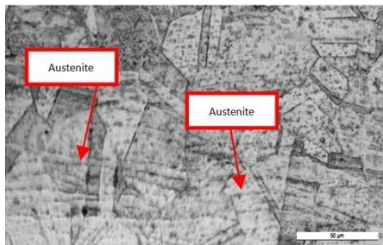
penelitian [2] karena semakin besar masukan panas maka ukuran dendrit semakin besar pada struktur mikro yang terbentuk pada sebagian *weld metal*. Lalu *heat input* juga merupakan faktor yang cukup utama yang mempengaruhi nilai kekerasan material.

3.4 Hasil Pengujian Micro

Hasil pengamatan mikro pada daerah base metal dengan perbesaran 500x dapat dilihat pada Gambar 4.



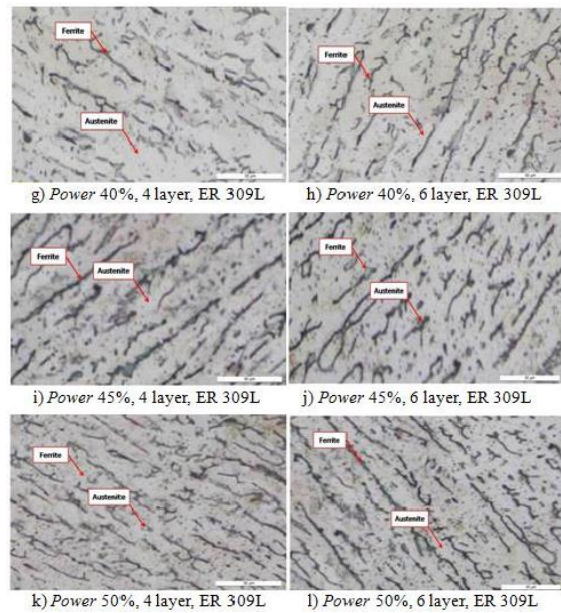
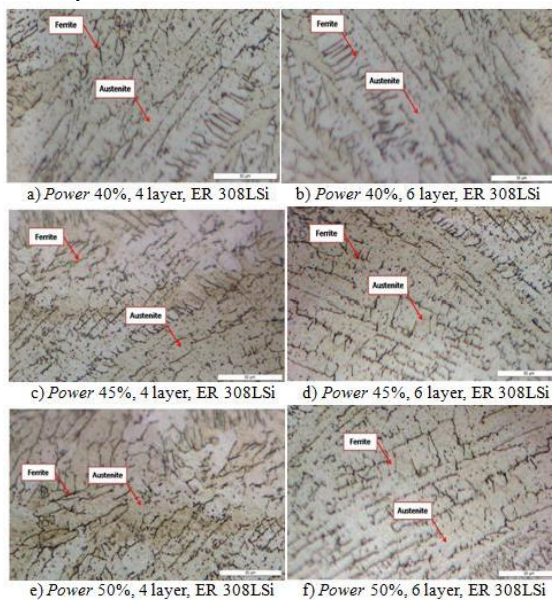
a. BM SS 400



b. BM SUS 304L

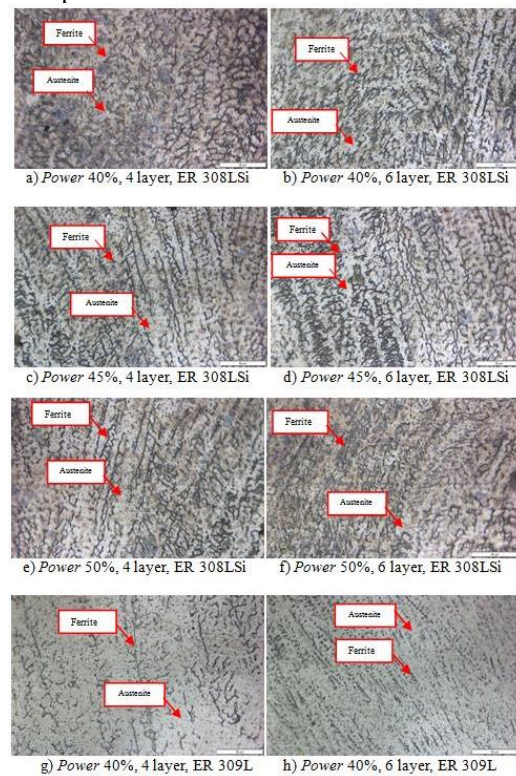
Gambar 4. Struktur mikro base metal

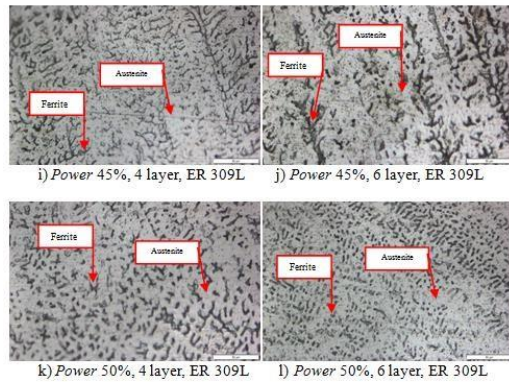
Hasil pengamatan mikro pada daerah *buttering layer* dengan perbesaran 500x dapat dilihat pada Gambar 5.



Gambar 5. Struktur mikro *buttering layer*

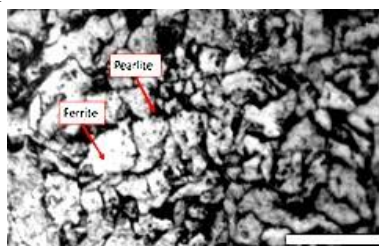
Hasil pengamatan mikro pada daerah *buttering layer* dengan perbesaran 500x dapat dilihat pada Gambar 6.



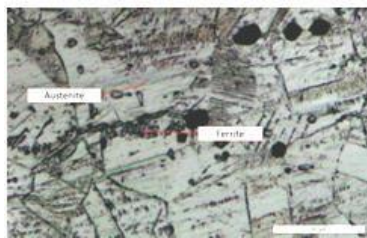


Gambar 6. Struktur mikro buttering layer

Hasil pengamatan mikro pada daerah buttering layer dengan perbesaran 500x dapat dilihat pada Gambar 7.



a) HAZ SS 400



b) HAZ SUS 304L

Gambar 7. Struktur mikro HAZ

Bagian *base metal* tidak langsung terkena proses pengelasan, melainkan melalui rambatan panas, memengaruhi struktur mikro seperti *ferrite* dan *pearlite* pada baja SS 400. *Ferrite* adalah fase lembut yang memberi kelenturan, sedangkan *pearlite* menambah kekuatan. Untuk *stainless steel* SUS 304L, didominasi oleh fase *austenite* karena kandungan nikel tinggi dan karbon rendah, yang meminimalkan pembentukan karbida.

Hasil pengujian mikro buttering layer pada elektroda ER 308 LSi dan ER 309L menunjukkan struktur mikro serupa, dengan *ferrite* berwarna gelap dan *austenite* berwarna terang. *Ferrite* membentuk *lathy ferrite*, pita panjang yang terbentuk pada suhu rendah akibat pendinginan cepat dari pengelasan laser pada material 3 mm. *Lathy ferrite* meningkatkan kekuatan dan kekerasan material karena orientasi memanjang dan distribusi stres yang lebih baik. Pada 6 layer buttering, *ferrite* lebih rapat dibandingkan 4 layer, sejalan dengan peningkatan layer yang meningkatkan panas dan kekerasan material.

Untuk *weld metal*, elektroda ER 308LSi menunjukkan fasa *ferrite* dengan struktur

skeletal dan lathy ferrite. *Skeletal ferrite* berbentuk kerangka dan terbentuk pada suhu lebih tinggi daripada *lathy ferrite*, mempengaruhi kekuatan namun distribusinya kurang merata. Sementara itu, elektroda ER 309L menunjukkan fasa *ferrite* dengan struktur *vermicular dan lathy ferrite*, di mana *lathy ferrite* sering berada di antara fasa *vermicular ferrite*. Struktur *vermicular ferrite* berupa garis pendek di sekitar *lathy ferrite*, disebabkan oleh transformasi difusi terbatas yang mempengaruhi pola residual *ferrite*.

Pada daerah HAZ *low carbon steel*, *ferrite* (warna terang) dan *pearlite* (warna gelap) terlihat dengan struktur mikro lebih kasar dibanding *base metal*, dengan *pearlite* mendominasi. Pada 6 layer buttering, struktur *pearlite* lebih banyak karena *heat input* tinggi. Di HAZ *stainless steel austenitik*, butir bertumbuh lebih besar dengan penurunan kerapatan dan adanya *dendritic ferrite* akibat *cooling rate* rendah, tanpa perubahan fasa signifikan dibanding *base metal*.

4. KESIMPULAN

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

1. Pengujian tensile pada sambungan *stainless steel* SUS 304L dan *mildsteel* SS 400 menunjukkan bahwa *ultimate tensile strength* dan *yield strength* memenuhi syarat. Nilai tertinggi (512,8 MPa) terdapat pada spesimen dengan 6 layer buttering, power laser 50%, dan elektroda ER 309L, sementara terendah (481 MPa) pada 4 layer buttering, power laser 40%, dan elektroda ER 308LSi.
2. Hasil pengujian kekerasan menunjukkan nilai tertinggi pada spesimen dengan 6 layer buttering, power laser 50%, dan elektroda ER 309L: buttering 219,76 kgf/mm², HAZ SS 400 180,41 kgf/mm², weld metal 253,87 kgf/mm². Nilai terendah ada pada 4 layer buttering, power laser 40%, elektroda ER 308LSi: buttering 203,23 kgf/mm², HAZ SS 400 176,8 kgf/mm², weld metal 230,11 kgf/mm². Masukan panas yang tinggi meningkatkan kekerasan.
3. Pengujian bending menunjukkan beberapa spesimen memiliki *open discontinuity* lebih dari 3 mm. Contohnya, pada face bend 1 dengan 4 layer buttering, power laser 40%, elektroda ER 308LSi, terdapat *open discontinuity* sebesar 19 mm. Pada root bend 2 dengan 4 layer buttering, power laser 45%, elektroda ER 308LSi, juga terdapat *open discontinuity* sebesar 19 mm.
4. Pengujian *metallography* menunjukkan terbentuknya fasa *pearlite* pada HAZ SS 400 karena energi panas pengelasan, serta fasa

austenite dan ferrite pada buttering layer. Penambahan luasan HAZ SS 400 terbesar terjadi pada variasi power 50% dengan 6 layer buttering.

5. UCAPAN TERIMA KASIH

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

7. PUSTAKA

- [1] ASME Boiler & Pressure Vessel Code Section IX, (2023). Welding and Brazing Qualification. New York
- [2] Bagus Budiman. (2021). Analysis of Vertical Position SMAW Welding Process Results. Vol. 1 No. 1
- [3] Gathot, Rivai, dan Irsyadus. (2014) Analysis of Buttering Method on Mechanical Properties Welded Material Low Carbon Steel.
- [4] Heru & Solichin, Solichin. (2016). PENGARUH VARIASI ARUS LISTRIK PENGELASAN TITIK (SPOT WELDING) TERHADAP KEKUATAN GESER, KEKERASAN DAN STRUKTUR MIKRO PADA SAMBUNGAN DISSIMILAR BAJA STAINLESS STEEL AISI 304 DENGAN BAJA KARBON RENDAH ST 41. 24. 1-10.
- [5] Huang Yijie, Perry P. Gao, Yanxi Zhang. (2021). A review of laser welding for aluminium and copper dissimilar metals, Optics & Laser Technology, Volume 167, 2023, 109721, ISSN 0030-3992
- [6] Y AL-Qenai, A.A. (2016). Fusion Welding Techniques, Journal of Engineering Research and Application