

ANALISIS KOMBINASI ELEKTRODA PADA PENGELASAN DISSIMILAR MATERIAL SA 516 GR70 DENGAN SA 240 TYPE 316L DENGAN BUTTERING LAYER PROSES PENGELASAN FCAW TERHADAP SIFAT MEKANIK DAN STRUKTUR MIKRO

Fiqi Aliffiansyah^{1*}, Muhammad Ari¹, Moh. Syaiful Amri¹

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

Email: fiqialiffiansyah85@gmail.com¹

Abstract – Dissimilar welding is a technique used to joint two different metal materials. In this research using SA 516 GR70 material with SA 240 type 316L with FCAW welding process. This research was carried out a welding process with a buttering layer using a combination of E309 electrodes with filler metal using E71T and E316L with a comparison of a combination of E312 electrodes with filler metal using E71T and E316L. The combination variations were tested visually, tensile, bending, hardness, and metallography. In visual testing, no defect were found in the test specimens. In tensile testing the buttering layer E309-E71T has the highest tensile strength of all other test specimens which is 639.16 Mpa. In the bending test of all test specimens, only buttering layer E309-E316L passed thye acceptance requirements. In the hardness test, the highest average in the weld metal is found in buttering layer E312-E71T with an average value 302.35 kgf/mm². In macro testing the HAZ width of the E312 buttering electrode is wider than E309. In micro testing in each specimen there are ferrite, pearlite, delta-ferrite, and austenite structures.

Keyword: dissimilar welding, buttering layer, tensile test, bending test, hardness test

1. PENDAHULUAN

Didalam dunia industri kontruksi, fabrikasi, dan manufaktur teknologi yang digunakan terus berkembang seiring dengan berjalannya waktu. Dalam era modern saat ini teknologi yang digunakan sangatlah berkembang pesat, salah satunya yaitu teknologi pengelasan. Teknologi pengelasan merupakan teknologi yang tidak bisa dipisahkan dari dunia industri kontruksi, fabrikasi, dan manufaktur. Pada saat ini, proses pengelasan diaplikasikan secara luas dalam proses penyambungan material, mulai dari pelat sampai pipa. Dalam proses penyambungan ini, terkadang muncullah sebuah masalah teknis seperti, penyambungan dua jenis logam yang berbeda.

Dalam hal ini, *flange* berbahan *stainless steel* SA 240 type 316L yang kemudian di sambung dengan shell yang berbahan baja karbon SA 516 gr70 dengan menggunakan proses pengelasan FCAW, dimana hal ini terjadi perbedaan struktur mikro sambungan dan sifat mekanik. Mengontrol struktur mikro las, terutama selama *root pass* sangat penting, karena campuran *austenite*, *ferrit*, *martensite* yang biasanya terbentuk pada saat itu. Oleh karena itu, pengelasan antara dua logam yang berbeda

adalah proses pengelasan logam dengan sifat fisik, mekanik, termal dan metalurgi yang berbeda, sehingga sifat sambungan las antara dua logam tersebut perlu diselidiki [1].

Permasalahan yang sering terjadi pada penyambungan dua logam berbeda adalah adanya perbedaan titik lebur, koefisien muai, sifat fisis, dan mekanis dari kedua logam tersebut. Pengenceran *filler* (logam pengisi) dan pembentukan senyawa intermetalik pada antar muka dari material tersebut yang menyebabkan terjadinya perpatahan. Dengan adanya perbedaan tersebut maka pengelasan dua logam yang berbeda ini harus ada suatu prosedur pengelasan yang baik agar didapatkan hasil pengelasan yang maksimal [2]. Maka dari itu, penulis ingin mengetahui hasil pengelasan dari dua logam yang berbeda yaitu antara material baja karbon SA 516 gr70 dengan material *stainless steel* SA 240 type 316L dengan variasi kombinasi elektroda dengan *buttering layer* pada pengelasan *dissimilar* terhadap sifat mekanik dan struktur mikro.

2. METODOLOGI

Material yang digunakan pada penelitian ini adalah *low carbon steel* SA 516 grade 70

dengan *stainless steel* SA 240 type 316L dengan ukuran 300x300x12 mm. Pengelasan *dissimilar* adalah teknologi pengelasan yang dikembangkan akibat dari kebutuhan akan penyambungan logam yang memiliki jenis yang berbeda [3]. Kelemahan dari pengelasan *dissimilar* adalah timbulnya lonjakan tegangan yang besar disebabkan oleh perubahan struktur mikro pada daerah las yang menyebabkan turunnya kekuatan material dan akibat adanya tegangan sisa dan adanya cacat dan retak akibat proses pengelasan [4]. Disambung dengan metode *buttering layer*. Pada pengelasan dengan metode *butter* struktur mikro dari baja karbon dan baja tahan karat lebih homogen, hal ini terjadi karena dengan cara *butter* ada pencampuran awal antara baja karbon dan baja tahan karat dengan perbandingan dilusi *butter* antara elektroda dengan baja karbon 50:50 [5]. Elektroda yang digunakan dalam *buttering layer* adalah E309 dan E312 dan *filler metal* yang digunakan adalah E71T dan E316L. Terdapat 4 kombinasi elektroda pada penelitian kali ini yaitu, BL E309-E316L, BL E309-E71T, BL E312-E316L, dan BL E312-E71T. Proses pengelasan yang digunakan adalah proses pengelasan FCAW posisi 1G dengan sambungan V *groove* dengan sudut 60°. Setelah proses pengelasan selesai dilakukan pemotongan spesimen uji. Pengujian yang dilakukan untuk mengetahui sifat mekanik adalah uji tarik, uji tekuk, dan uji kekerasan. Untuk mengetahui struktur mikro dilakukan pengujian metalografi.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Hasil Pengujian Tarik

Hasil pengujian tarik pada semua kombinasi elektroda pada penelitian kali ini terdapat pada tabel berikut:

Tabel 1. Hasil Pengujian Tarik

Spesimen	Tensile Strength (MPa)	Failure Location
BL E309-E316L A1.1	534,11	Weld Metal
BL E309-E316L A1.2	549,59	Base Metal
BL E309-E71T A2.1	560,31	Base Metal
BL E309-E71T A2.2	589,56	Base Metal
BL E312-E316L A3.1	501,15	Base Metal
BL E312-E316L A3.2	473,18	Weld Metal
BL E312-E71T A4.1	639,16	Weld Metal
BL E312-E71T A4.2	621,77	Base Metal

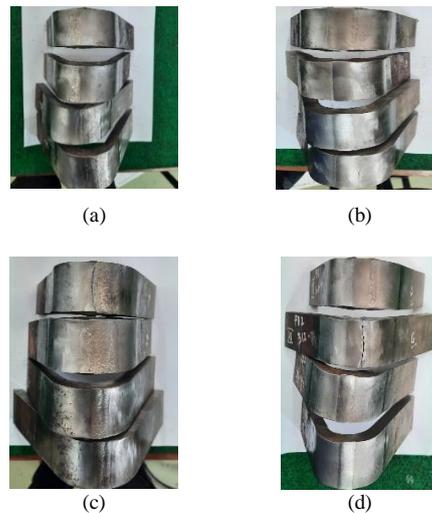
Berdasarkan tabel di atas dari pengujian tarik terdapat 5 spesimen yang patah di daerah *base metal* dan 3 spesimen yang patah di daerah *weld metal*. 2 spesimen yang patah di daerah *weld metal* mempunyai nilai kekuatan tarik diatas nilai minimum kekuatan tarik material dan 1 spesimen mempunyai nilai kuat tarik 95% dari nilai minimum kekuatan tarik material. Sehingga

semua spesimen dapat memenuhi syarat keberterimaan pada QW-153.[6]

Dalam pengujian tarik yang telah dilakukan pada material *dissimilar stainless steel* SA 240 type 316L dengan *low carbon steel* SA 516 grade 70 dapat dilihat, untuk hasil uji tarik yang putus di base metal semuanya patah di daerah *base metal low carbon* SA 516 grade 70. Dimana kekuatan *austenite stainless steel* lebih kuat daripada *low carbon steel* dari segi kekuatan material maupun kuat lasannya [6]. Nilai uji tarik juga berhubungan dengan nilai kekerasan dan struktur mikro, dimana pada daerah *weld metal* BL E312-E71T didominasi *pearlite* yang berwarna gelap serta rata-rata nilai kekerasan BL E312-E71T lebih tinggi daripada kombinasi elektroda lainnya sehingga hal ini membuat hasil uji tarik berbanding lurus dengan hasil uji kekerasan.

3.2 Hasil Pengujian Tekuk

Pengujian tekuk dilakukan pada masing-masing kombinasi elektroda yaitu BL E309-E316L, BL E309-E71T, BL E312-E316L, dan BL E312-E71T dengan jumlah masing-masing 2 *face bend* dan 2 *root bend*. Hasil pengujian tekuk dapat dilihat pada gambar berikut:



Gambar 1. Hasil Pengujian Tekuk (a) BL E309-E316L; (b) BL E309-E71T; (c) BL E312-E316L; dan (d) BL E312-E71T

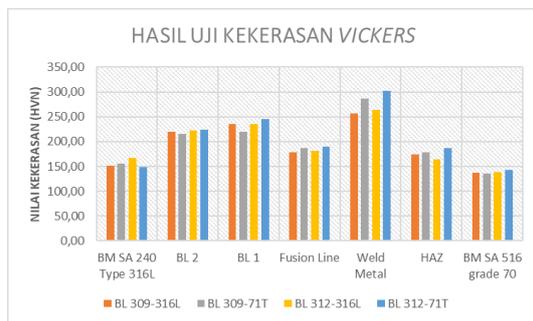
Dari hasil pengujian tekuk diatas, BL E309-E316L terdapat crack 2 mm sehingga dapat memenuhi syarat keberterimaan ASME section IX QW-163 karena batas maksimal crack yaitu 3 mm . Untuk BL E309-E71T terdapat cacat terbuka pada kedua spesimen *face bend* yang melebihi syarat keberterimaan. Untuk BL E312-E316L juga terdapat cacat terbuka pada *face bend* 2 sampai patah sehingga tidak memenuhi syarat keberterimaan. Untuk BL E312-E71T juga terdapat cacat terbuka pada kedua

spesimen *face bend* hingga patah sehingga tidak memenuhi syarat keberterimaan.

Cacat terbuka pada spesimen yang gagal yaitu *lack of fusion*. *Lack of fusion* bisa terjadi karena penggunaan ampere yang rendah yang mengakibatkan logam pengisi tidak fusi secara sempurna terhadap base metal. Pada hasil pengujian, *lack of fusion* terletak pada sambungan antara *buttering layer* dengan *base metal*.

3.3 Hasil Pengujian Kekerasan

Berikut adalah nilai rata-rata dari pengujian kekerasan pada masing-masing kombinasi elektroda.



Gambar 2. Grafik rata-rata hasil pengujian kekerasan

Dari data serta grafik hasil uji kekerasan diatas dapat dilihat nilai kekerasan rata-rata dari BL E312-E71T dominan lebih tinggi daripada kombinasi elektroda *buttering layer* yang lain. Hal itu disebabkan karena perbedaan *heat input* saat proses pengelasan dan juga dari segi komposisi kimia yang ada pada *filler metal* E71T memiliki kandungan karbon lebih tinggi daripada *filler metal* E316L. Unsur karbon dapat membuat baja keras dan rapuh [7]. Hal tersebut berpengaruh pada sifat mekanis dimana pada pengujian tarik BL E312-E71T mempunyai nilai tarik yang tinggi daripada kombinasi *buttering layer* yang lain. Peningkatan kekerasannya dikarenakan arus yang besar dapat meningkatkan penguatan mekanis [8].

3.4 Hasil Pengujian Metalografi (Makro dan Struktur Mikro)

Pengujian makro dilakukan untuk melihat hasil lasan bagian melintang yang terbatas dari retak maupun cacat yang lain juga guna melihat penetrasi dan fusi lasan pada *weld metal* pengelasan *dissimilar* sambungan SA 240 type 316L dengan SA 516 grade 70. Hasil pengamatan pengujian makro pada setiap tes *piece* dapat dilihat pada Tabel 2 berikut.

Tabel 2. Hasil pengamatan pengujian makro

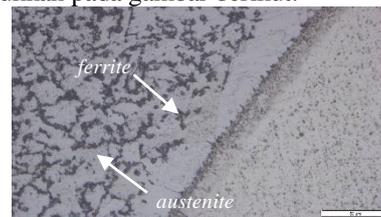
Spesimen	Hasil pengamatan	Panjang HAZ
BL E309-E316L	[Image of BL E309-E316L specimen]	3 mm
BL E309-E71T	[Image of BL E309-E71T specimen]	5 mm
BL E312-E316L	[Image of BL E312-E316L specimen]	4 mm
BL E312-E71T	[Image of BL E312-E71T specimen]	5 mm

BL E309-E316L		3 mm
BL E309-E71T		5 mm
BL E312-E316L		4 mm
BL E312-E71T		5 mm

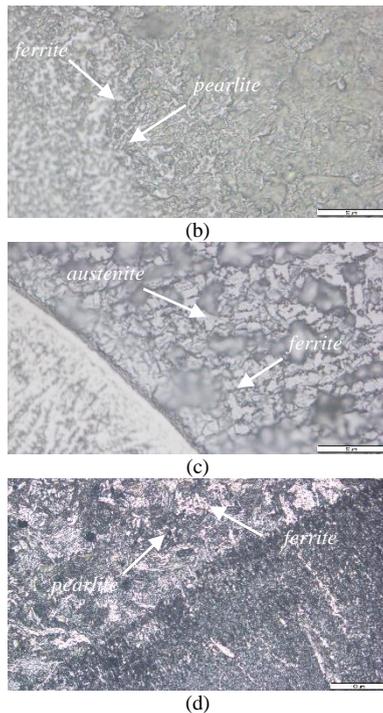
Dari hasil foto makro pada gambar diatas terlihat bahwa pada BL E309-E316L dan E309-E71T terlihat penetrasi yang bagus dan tidak terdapat cacat las sehingga sesuai dengan syarat keberterimaan ASME section IX QW-194. Sedangkan pada BL E312-E316 terlihat penetrasi bagus tetapi terlihat ada cacat slag inclusion ditengah-tengah *weld metal* dan pada BL E312-E71T terlihat penetrasi bagus tetapi ada pencampuran antara *filler metal buttering* dengan *weld metal*. Sehingga tidak sesuai dengan syarat keberterimaan ASME section IX QW-194.

Pada perhitungan panjang daerah HAZ low carbon steel dapat dilihat bahwa daerah luasan HAZ dengan *buttering* menggunakan elektroda E312 lebih Panjang daripada elektroda E309. Hal ini juga dipengaruhi oleh masukan panas saat dilakukan proses pengelasan, dimana arus pengelasan memberikan pengaruh terhadap panas dalam hal untuk memperpanjang daerah HAZ selama proses pengelasan berlangsung.

Hasil pengujian struktur mikro pada daerah HAZ kombinasi elektroda E309-E316L, E309-E71T, E312-E316L, dan E312-E71T ditunjukkan pada gambar berikut:



(a)

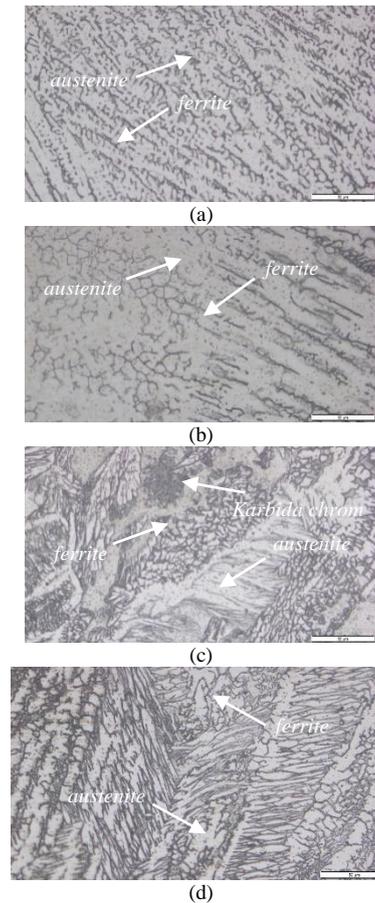


Gambar 3. Hasil pengujian struktur mikro pada daerah HAZ (a) BL E309-E316L; (b) BL E309-E71T; (c) BL E312-E71T; dan (d) BL E312-E71T

Pada daerah HAZ *low carbon steel* terlihat dimana warna terang menunjukkan fasa *ferrite* dan warna gelap menunjukkan fasa *pearlite*. Struktur mikro pada HAZ terlihat lebih kasar dan tidak beraturan dibandingkan dengan *base metal* dengan ukuran butiran *pearlite* lebih besar dan lebih mendominasi. Hal tersebut terjadi karena pengaruh panas dari proses pengelasan yang mempengaruhi perubahan ukuran butir.

Struktur mikro pada daerah HAZ *austenitic stainless steel* dapat dilihat bahwa pertumbuhan butir semakin tinggi. Bahwa setiap penambahan temperatur membuat struktur logamnya semakin kasar dan semakin tinggi temperatur juga akan memperbesar butir. Pada daerah HAZ *stainless steel* terjadi pertumbuhan *dendritic ferrite* yang berasal dari *weld metal*. Terlihat hanya mengalami pertumbuhan butir tidak terjadi perubahan unsur. Pertumbuhan butir yang mengalami pengasaran atau pembesaran berpengaruh terhadap kekerasan. Semakin kasar butiran tersebut menunjukkan tingkat kekerasannya naik.

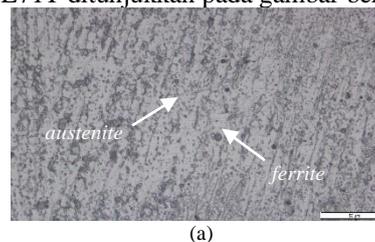
Hasil pengujian struktur mikro pada daerah *buttering layer* kombinasi elektroda E309-E316L, E309-E71T, E312-E316L, dan E312-E71T ditunjukkan pada gambar berikut:



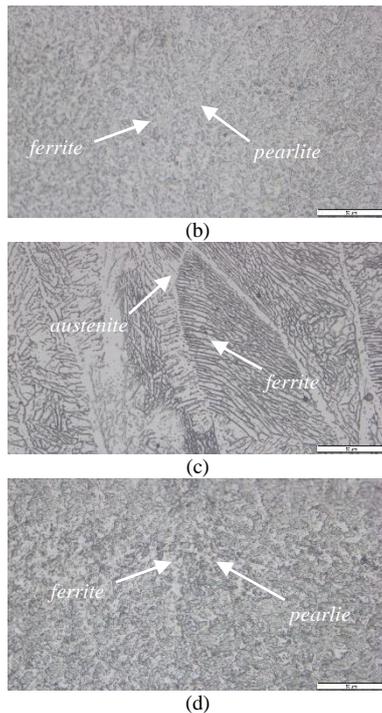
Gambar 4. Hasil pengujian struktur mikro pada daerah *buttering layer* (a) BL E309-E316L; (b) BL E309-E71T; (c) BL E312-E71T; dan (d) BL E312-E71T

Dari hasil pengujian struktur mikro pada daerah *buttering layer* 1 dan *layer 2* dengan elektroda E309 dan E312 pada semua spesimen terlihat fasa *vermicular ferrite* dan *austenite*. Fasa *ferrite* berwarna gelap dengan bentuk *dendritic* dan *austenite* berwarna terang dengan didominasi oleh *ferrite* dimana kekerasannya semakin tinggi. *Vermicular ferrite* dihasilkan dengan meningkatnya arus pengelasan yang digunakan menyebabkan ukuran *dendrite* membesar dan jarak antara *dendrite* bertambah. Pada *buttering layer* E312 juga terlihat struktur karbida *chrom*.

Hasil pengujian struktur mikro pada daerah *buttering layer* kombinasi elektroda E309-E316L, E309-E71T, E312-E316L, dan E312-E71T ditunjukkan pada gambar berikut:



(a)



Gambar 5. Hasil pengujian struktur mikro pada daerah *weld metal* (a) BL E309-E316L; (b) BL E309-E71T; (c) BL E312-E71T; dan (d) BL E312-E71T

Pada daerah *weld metal* E71T ditandai dengan *ferrite* terlihat berwarna terang dan *pearlite* terlihat berwarna gelap. Hal tersebut berpengaruh pada nilai kekerasan dimana semakin keras suatu daerah didominasi oleh *pearlite*. Pada daerah *weld metal* E316L struktur yang dominan lebih banyak struktur *pearlite* sehingga daerah *weld metal* lebih gelap dari daerah lainnya bisa terlihat butirannya lebih halus dan lebih tajam pada batas butirnya. Hal tersebut mempengaruhi pada nilai kekerasan karena fasa *pearlite* lebih keras dari pada fasa *ferrite*. Sifat *pearlite* lebih keras dan lebih kuat dari *ferrite* tetapi kurang ulet dan tidak magnetis [2].

4. KESIMPULAN

Dari data dan hasil analisis dari pengujian yang dilakukan dapat ditarik kesimpulan antara lain:

1. Kombinasi elektroda pada *buttering layer* E309 dan E312 sambungan *dissimilar SA 240 type 316L* dengan SA 516 *grade 70* adanya perbedaan hasil perbandingan nilai *tensile strength* dimana BL E312-E71T terlihat lebih tinggi daripada spesimen kombinasi elektroda lainnya.
2. Kombinasi elektroda pada *buttering layer* E309 dan E312 sambungan *dissimilar SA 240 type 316L* dengan SA 516 *grade 70* adanya perbedaan hasil perbandingan *bending test* dimana BL E309-E316L tidak terdapat cacat terbuka atau *failure* dibandingkan

dengan kombinasi lainnya yang terdapat cacat terbuka atau *failure*.

3. Kombinasi elektroda pada *buttering layer* E309 dan E312 sambungan *dissimilar SA 240 type 316L* dengan SA 516 *grade 70* adanya perbedaan hasil nilai kekerasan dimana BL E312-E71T terlihat lebih tinggi daripada spesimen kombinasi elektroda lainnya.
4. Kombinasi elektroda pada *buttering layer* E309 dan E312 sambungan *dissimilar SA 240 type 316L* dengan SA 516 *grade 70* adanya perbedaan perbandingan hasil pengujian makro dimana area HAZ *buttering* dengan *filler metal* E71T lebih luas dibandingkan dengan *buttering* yang menggunakan *filler metal* E316L. Pada pengujian mikro struktur pada seluruh spesimen yang terbentuk yaitu *ferrite*, *pearlite*, *delta-ferrite* dan *austenite*.

5. PUSTAKA

- [1] Lippoid Kotecki. (2005). *Welding Metallurgy and Weldability of Stainless Steel*, Canada: Wiley Inter Science.
- [2] Wirjosumarto dan Okumura. 2000. *Teknologi Pengelasan Logam*, Jakarta: Pradnya Paramita.
- [3] Sugestian, M Rizsaldy. 2019. *Analisa kekuatan sambungan las smaw horizontal down hand pada plate baja jis 3131sphc dan stainless steel 201 dengan aplikasi piles transfer di mesin thermorforming (stacking unit)*. Institut Teknologi Negeri Malang
- [4] Jamasri dan Subarmono. 1999. *Pengaruh Pemanasan Lokal terhadap Ketangguhan dan Laju Perambatan Retak Plat Baja Grade B*. Media Teknik. UGM, Yogyakarta.
- [5] Baja, B., Aisi, L., Baja, D., & Karat, T. (2006) *PENGARUH BUTTERING PADA KUALITAS HASIL PENGELASAN*. 11, 30-35.
- [6] ASME SEC IX Boiler & Pressure Vessel Code 2021 Qualification Standard for Welding, Brazing and Fusing Procedures; Welder; Brazers; and Welding, Brazing, and Fusing Operators.
- [7] Aravinthan, A and Nachimani, C. (2011). *Analysis of Spot Weld Growth on Mild and Stainless steel*. Supplement To the Welding Journal, vol.90, (August 2011). p. 143-147
- [8] Rusmardi, & Feidihal. (2006). *Analisa persentase kandungan karbon pada logam baja*. Teknik Mesin, 1(3).
- [9] Simon Parekke, dkk. 2014. *Pengaruh Pengelasan Logam Berbeda (AISI 1045) Dengan (AISI 316L) Terhadap Sifat Mekanis dan Struktur Mikro*.
- [10] Istianto Budhi Rahardja et al. (2021) 'Analisis Pengaruh Radius Bending Pada

Proses Bending Menggunakan Pelat Spcc-
Sd Terhadap Perubahan Struktur Mikro