**ANALISIS PENGARUH PENGGUNAAN ELEKTRODA SMAW E316L-16 PADA PENGELASAN GTAW PLAT *STAINLESS STELL* 316L TERHADAP KUAT TARIK, NILAI KEKERASAN, KOMPOSISI KIMIA BESERTA *METALLOGRAPHY***

Fahmi Ludfinanda Zulfan Akbari1, Moh. Thoriq Wahyudi2, Dika Anggara3

Program Studi Teknik Pengelasan, Jurusan Teknik Bangunan Kapal, Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya, Surabaya 601111\*

Email: fahmiakbar112@gmail.com1

*Abstract* – *The fabrication and manufacturing industries will always be related to construction, all steel construction is inseparable from the metal joining process, the method most often found in steel construction is welding. However,due to limited time for repairs by the company, the welder uses the SMAW E316L-16 electrode which has the flux removed on the hotpass as a substitute for GTAW ER316L filler metal to maximize time efficiency. Tests carried out in this study were hardness test, tensile test, chemical composition test and microstructure test. From the test results obtained, it was shown that the microstructure obtained from both specimens A and B did not have too significant a phase difference, both of them formed ferrite and austenite phases. The highest hardness values for base metal, fusion line and weld metal were found in specimen A which was welded using E316L-16 electrodes without flux with hardness values of 214.4 HVN, 233.4 HVN and 236.4 HVN. In the tensile test, the highest tensile strength was found in specimen A with a tensile strength of 607.55 MPa. In the results of the chemical composition there are several changes in the chemical composition due to the mixing of the weld metal and base metal.*

*Keyword: 316L stainless steel, GTAW, ER316L filler, E316L-16 electrode, hardness test, tensile strength, chemical composition, metallography.*

(

# 1. PENDAHULUAN

Dalam industri fabrikasi maupun manufaktur, akan selalu berhubungan dengan konstruksi, khususnya konstruksi baja (*steel construction*) dan semua konstruksi baja tidaklah terlepas dari proses penyambungan logam, berbagai macam metode penyambungan logam diantaranya proses pengelasan (*welding*), *brazing* maupun *soldering*, namun metode yang paling sering dijumpai pada konstruksi baja adalah pengelasan (*welding*). Mengacu pada definisi dari *American Welding Society* (AWS) pengelasan adalah proses penyambungan logam maupun logam paduan dengan cara pemberian panas pada material yang akan disambung. Selama proses pengelasan berlangsung akan terjadi ikatan metalurgi pada sambungan logam maupun logam paduan yang terjadi dalam keadaan cair atau lumer, proses pengelasan juga mengakibatan siklus termal pada daerah pengelasan, siklus termal adalah proses pemanasan dan pendinginan yang terjadi secara cepat sehingga terjadi proses metalurgi dan deformasi yang mempengaruhi kualitas hasil pengelasan yang dihasilkan[1]. Pada tahun 2022, salah satu fabrikator di Indonesia tengah

mengerjakan proyek untuk *client* yang bergerak di bidang penambangan minyak bumi di Indonesia, proyek ini berupa bejana tekan *stainless steel horizontal* sepanjang 5 Meter dengan tinggi 3 Meter, terdapat *repair* pada salah satu penyambungan *shell to shell*, namun dikarenakan keterlambatan datangnya suplai *filler metal* GTAW, padatnya proses produksi, dan terbatasnya pemberian waktu repair oleh perusahaan maka maka juru las menggunakan elektroda SMAW E316L-16 yang dihilangkan fluks nya pada hotpass sebagai pengganti *filler metal* GTAW ER316L untuk memaksimalkan efisiensi waktu. Mengacu pada latar belakang diatas, pada penelitian ini terdapat suatu permasalahan yang harus diselesaikan. Yakni mengetahui beberapa nilai pengujian mekanik berupa uji kekerasan dan tarik. Dan juga struktur mikro dan komposisi kimia material induk maupun logam las yang dilas menggunakan elektroda SMAW yang dihilangkan fluks nya.

# 2. METODOLOGI .

Material yang dipakai pada penelitian ini adalah *stainless steel* SA 240 *type* 316L yang memiliki ukuran dimensi 300x300x10 mm. Proses pengelasan yang digunakan adalah pada penelitian ini GTAW, tes kupon yang digunakan pada setiap variasi adalah 1 *joint* untuk 2 variasi elektroda. Variasi yang digunakan adalah penggunaan elektroda SMAW E316L-16 yang dihilangkan fluks nya dan elektroda GTAW ER316L sebagai pembanding. Elektroda SMAW E316L-16 digunakan pada saat pengelasan *hotpass* dan *capping*, untuk elektroda GTAW ER316L digunakan pada saat *root* hingga *capping*. Kampuh pengelasan yang digunakan adalah *single-V groove* dengan sudut 60° dengan *root opening* sebesar 3mm, pada bagian *root* setiap variasi dilakukan *backweld*. Parameter pengelasan dianggap konstan dengan arus pengelasan berkisar 135 sampai 190 *ampere*. Setelah proses las telah selesai, maka tes kupon akan dipotong dan dibentuk menjadi spesimen pengujian. Pengujian dilakukan untuk mengetahui sifat mekanik material yang sudah di las, pengujian yang dilakukan adalah pengujian kekerasan, kuat tarik, struktur mikro beserta komposisi kimia.

##

## 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

**3.1 Hasil Pengujian Visual**

Hasil pengujian visual pada setiap variasi elektroda yang digunakan pada penelitian ini dapat dilihat pada gambar berikut berikut:

 

 (*backweld spesimen* A) (*capping spesimen* A)

* *

 (*backweld* spesimen B) (*capping spesimen* B)

Gambar 1. Hasil pengujian visual

Dari hasil uji visual diatas, tidak ditemukan adanya slag, porositas ataupun indikasi cacat visual lainnya, sehingga pengujian selanjutnya dapat dilaksanakan.

**3.2 Hasil Pengujian *Metallography (Macro* dan *Microstucture)***

Hasil dari pengujian makro pada setiap variabel yang digunakan dapat dilihat pada gambar di bawah ini:





Gambar 2. Hasil pengujian *macro*

Pemeriksaan dilakukan secara visual terhadap penampang logam las, pada spesimen A dilakukan pengelasan GTAW dengan penggunaan elektroda SMAW E316L-16 yang dihilangkan fluks nya dan didapat bentuk fusi seperti pada gambar 2 diatas, dapat dilihat bahwa pendepositan pada spesimen A memiliki bentuk fusi yang menyatu antara *backweld*, *fill* hingga *capping* dan terbebas dari cacat retak. Sedangkan pada spesimen B dilakukan pengelasan GTAW dengan penggunaan filler metal ER316L dan didapat bentuk fusi seperti gambar 2 diatas. Dapat dilihat bahwa pendepositan pada spesimen B bentuk fusi yang dihasilkan tidak jauh berbeda dengan spesimen A. Dengan demikian proses pengelasan GTAW pada material austenit stainless steel 316L menggunakan elektroda SMAW E316L-16 yang dihilangkan fluks nya dapat diaplikasikan selama *standard* dan kriteria dari pengujian terhadap sifat mekanik dapat diterima.

**3.3 Hasil Pengujian Micro Etsa**

Hasil pemotretan pengujian struktur mikro dapat dilihat pada gambar berikut:

**Austenite**

**Ferrite**

**Ferrite**

**Austenite**

 (a) (b)

 Gambar 3.

Gambar 3. Hasil foto mikro pembesaran 500x (a) spesimen A (b) spesimen B

Hasil pemotretan foto mikro dengan pembesaran 500x pada spesimen A yang dilas menggunakan elektroda SMAW E316L-16 dan spesimen B yang dilas menggunakan elektroda GTAW ER316L dapat dilihat bahwa fasa yang dihasilkan pada kedua spesimen adalah fasa *ferrite* dan *austenite*. Yang ditunjukkan dengan warna hitam adalah *ferrite* dan warna putih adalah *austenite.*

**3.4 Hasil Pengujian Kekerasan**

Hasil pengujian kekerasan pada setiap spesimen dengan variasi perbedaan elektroda yang digunakan dapat dilihat pada tabel di bawah ini:

Tabel 1 Hasil pengujian kekerasan spesimen A

|  |
| --- |
| Spesimen AE316L-16(*fill-capp)* |
| Daerah | Lokasi | HV(kgf/mm²) | Rata rata(kgf/mm²) | Rata rata keseluruhan(kgf/mm²) |
| *Base metal* | Atas | 204,8 | 202 | 202 |
| Tengah | 200,3 |
| Bawah | 201 |
| *Fusion line* | Atas | 200,5 | 203,7 | 202,1 | 203,8 |
| Tengah | 207,8 | 201,6 | 204,7 |
| Bawah | 208,9 | 200,8 | 204,8 |
| *Weld metal* | *Capping* | 211,9 | 217,9 | 214,9 | 214,9 | 215 |
| *Fill* | 214,3 | 217,8 | 216,2 | 216,1 |
| *Back weld* | 217,6 | 219,3 | 208,9 | 215,2 |

Tabel 2 Hasil pengujian kekerasan spesimen B

|  |
| --- |
| Spesimen BER316L*(full root – capping)* |
| Daerah | Lokasi | HV(kgf/mm²) | Rata rata(kgf/mm²) | Rata rata keseluruhan(kgf/mm²) |
| *Base metal* | Atas | 203,4 | 199,3 | 199,3 |
| Tengah | 195,8 |
| Bawah | 198,8 |
| *Fusion line* | Atas | 201,3 | 200,5 | 200,9 | 199 |
| Tengah | 202 | 196,3 | 199,1 |
| Bawah | 199,8 | 194,2 | 197 |
| *Weld metal* | *Capping* | 201,3 | 202 | 201,9 | 201,7 | 203,1 |
| *Fill* | 204,5 | 203,1 | 205,6 | 204,4 |
| *Back weld* | 202,7 | 205 | 201,9 | 203,2 |

Dari data hasil uji kekerasan diatas dapat dapat disimpulkan bahwa nilai pada spesimen A memiliki rata-rata nilai kekerasan pada daerah *base metal, fusion line,* dan *weld metal* sebesar 202kgf/mm², 203,8 kgf/mm²,dan215 kgf/mm². Untuk spesimen B nilai kekerasan pada daerah *base metal, fusion line* dan *weld metal* yang didapat adalah 199,3kgf/mm², 199 kgf/mm²,dan203,1 kgf/mm².

**3.5 Hasil pengujian tarik**

 Hasil pengujian tarik pada setiap spesimen A dan B dapat dilihat pada tabel berikut :

Tabel 3 Hasil pengujian tarik spesimen A

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Sample Stamp | Dimension | Yield Force (kN) | Yield Stress (MPa) | Max Force (kN) | Max Stress (MPa) |
| Width (mm) | Thickness (mm) |
| A1 | 19,00 | 10,00 | 80,56 | 424,01 | 115,43 | 607,55 |
| A2 | 19,00 | 10,00 | 80,09 | 421,54 | 111,76 | 588,24 |

Tabel 4 hasil uji tarik spesimen B (ER316L)

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Sample Stamp | Dimension | Yield Force (kN) | Yield Stress (MPa) | Max Force (kN) | Max Stress (MPa) |
| Width (mm) | Thickness (mm) |
| B1 | 19,00 | 10,00 | 80,19 | 422,05 | 113,58 | 597,79 |
| B2 | 19,00 | 10,00 | 80,39 | 423,12 | 109,77 | 577,76 |

Dari hasil pengujian diatas didapatkan hasil pengujian tarik pada tiap-tiap spesimen dapat di simpulkan bahwa pada semua spesimen A (E316L-16) patah pada daerah *weld metal* dengan kuat tarik maksimum 607,55 Mpa dan 588, 24 Mpa, dan pada semua spesimen B (ER316L) didapat kuat tarik maksimum 597,79 MPa dan 577 MPa.

Mengacu pada ASME sec IX pada material SA 240 TP 316L memiliki kuat tarik minimum sebesar 485 MPa sehingga dapat disimpulkan dari semua spesimen pengujian tarik dinyatakan memenuhi syarat keberterimaan.

**3.6 Hasil Pengujian Komposisi Kimia**

Hasil pengujian komposisi kimia pada kedua spesimen A dan B dapat dilihat pada tabel berikut :

Tabel 5 Komposisi kimia elektroda E316L-16

|  |
| --- |
| Sebelum proses pengelasan |
| Elektroda E316L-16 |
| *Typical Composition (%)* |
| Cr | Ni | C | Mn | Si | P | S | Mo | N |
| 17-20 | 11-14 | 0,04 | 0,5-2,5 | 1 | 0,04 | 0,03 | 2-3 | --- |

Tabel 6 Hasil pengujian komposisi kimia spesimen A

|  |
| --- |
| Sesudah proses pengelasan |
| Spesimen A (*weld metal*)E316L-16 |
| *Actual Composition (%)* |
| Cr | Ni | C | Mn | Si | P | S | Mo | N |
| 23,4 | 12,2 | 0,0177 | 1,76 | 0,387 | 0,0207 | 0,005 | 0,402 | --- |

Tabel 7 Komposisi kimia *filler metal* ER316L

|  |
| --- |
| Sebelum proses pengelasan |
| *Filler metal* ER316L |
| *Typical Composition (%)* |
| Cr | Ni | C | Mn | Si | P | S | Mo | N |
| 18-20 | 11-14 | 0,08 | 0,5-2,5 | 1 | 0,04 | 0,03 | 2-3 | --- |

Tabel 8 Hasil pengujian komposisi kimia spesimen B

|  |
| --- |
| Sesudah proses pengelasan |
| Spesimen B (*weld metal*)ER316L |
| *Actual Composition (%)* |
| Cr | Ni | C | Mn | Si | P | S | Mo | N |
| 19,4 | 11,8 | 0,0026 | 1,89 | 0,531 | 0,0085 | 0,023 | 2,31 | --- |

Dari hasil pengujian hasil komposisi kimia pada weld metal specimen A (E316L-16) didapat kandungan Cr 23,4%, Ni 12,2%, C 0,0177%, Mn 1,76%, Si 0,387%, dan Mo 0,402%. Sedangkan untuk weld metal specimen B (ER316L) didapat kandungan Cr 19,4%, Ni 11,8%, C 0,0026%, Mn 1,89%, Si 0,531% dan Mo 2,31%.

# 4. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitan dan analisa yang telah dilakukan pada material *austenite stainless steel* 316L yang dilas menggunakan proses pengelasan GTAW dengan variasi penggunaan elektroda SMAW E316L-16 yang dihilangkan fluks nya (spesimen A) dan penggunaan *filler metal* ER316L sebagai pembanding (spesimen B) dapat disimpulkan sebagai berikut:

1. Hasil pengujian visual pada kedua variasi logam pengisi menunjukkan tidak ada cacat porositas, retak, slag, *undercut* maupun cacat visual lainnya pada spesimen A (E316L-16) dan B (ER316L)
2. Pada hasil pengujian mikro terlihat struktur dari masing-masing variasi logam pengisi tidak terlalu signifikan untuk perbedaan antara spesimen A (E316L-16) dan spesimen B (ER316L). Pada hasil pengujian makro dengan pengecekan secara visual menunjukkan bahwa pendepositan pada kedua spesmen A dan B memiliki bentuk yang relatif sama *backweld, fill*, dan *capping* menyatu dengan baik dan bebas dari cacat maupun retak, sehingga pengelasan GTAW stainless steel 316L dengan menggunakan elektroda SMAW E316L yang dihilangkan fluks nya dapat diaplikasikan selama memenuhi *standard* dan kriteria dari pengujian terhadap sifat mekanik dapat diterima.
3. Hasil pengujian kekerasan dilakukan pada *base metal, fusion line,* dan *weld metal* spesimen A (E316L-16) dan B (ER316L) didapat nilai kekerasan tertinggi pada spesimen A (E316L-16) dengan rata-rata kekerasan pada *base metal* sebesar 202 kgf/mm², pada *fusion line* sebesar 203,8 kgf/mm², dan pada *weld metal* sebesar 215 kgf/mm². Sedangkan pada spesimen B (ER316L) rata-rata nilai kekerasan yang didapat pada *base metal* sebesar 199,3 kgf/mm², pada *fusion line* sebesar 199 kgf/mm², dan *weld metal* sebesar 203,1 kgf/mm².

# Hasil pengujian tarik pada spesimen A (E316L-16) dan B (ER316L) semua patah pada weld metal dan pada spesimen A (E316L-16) didapatkan kuat tarik tertinggi sebesar 607,55 MPa sedangkan untuk spesimen B (ER316L) didapatkan kuat tarik tertinggi sebesar 597,79 Mpa. Material *stainless steel* SA 240 TP 316 L memiliki kuat tarik minimum sebesar 485 MPa sehingga semua pengujian tarik yang dilakukan dinyatakan *accepted* dikarenakan jika spesimen uji tarik patah pada *weld metal* maka kekuatan tariknya tidak boleh kurang dari kuat tarik minimum *base metal* yakni 485 MPa.

# Pada pengujian komposisi kimia terdapat perbedaan komposisi kimia aktual pada spesimen A (E316L-16) dengan perkiraan komposisi kimia elektroda SMAW E316L-16, komposisi Cr yang diperkirakan hanya 17-20% namun pada data aktual spesimen A (E316L-16) didapat unsur Cr sebesar 23,4 %, begitu juga pada unsur Mo yang diperkirakan hanya 2-3% namun pada data aktual unsur Mo hanya mencapai 0,402%, diperkirakan karena pada saat pengelasan spesimen A (E316L-16), filler metal yang digunakan adalah elektroda SMAW E316L yang dihilangkan flux nya sehingga diperkirakan mempengaruhi komposisi kimia pada *weld metal* spesimen A (E316L-16). Sedangkan pada komposisi kimia spesimen B (ER316L) tidak ada perubahan komposisi kimia yang signifikan dikarenakan pada saat proses pengelasan spesimen B (ER316L) menggunakan *filler metal* ER316L, *filler metal* yang sewajarnya digunakan.

# 5. PUSTAKA

#  [1] Wiyono Teguh (2012) PENENTUAN PENGELASANDISSIMILIAR ALLUMUNIUM DAN PELAT BAJA KARBON RENDAH DENGAN VARIASI WAKTU PENGELASAN DAN ARUS LISTRIK

 [2] SECTION II ASME Boiler and Pressure Vessel Code An International Code.

 [3] SECTION II MATERIAL Part C Specification for Welding Rods, Electrodes, and Filler Metals ASME Boiler and Pressure Vessel Code An International Code.

 [4] D.H. Zhang. (2021) Study of the corrosion characteristic of 304 and 316L stainless steel in the static liquid lithium.

 [5] Hari Prasadaro Pydi., Ajay Prakash Pasupulla., S. Vijayakumar., Habtamu Abebe Agisho (2021) Study on microstructure, behavior and AloO3 content flux tig weldment

 [6] Mirshekari, G. R., Tavakoli, E., Atapour, M., & Sadeghian, B. (2014). Microstructure and corrosion behavior of multipass gas tungsten arc welded 304L stainless steel. Materials and Design.

 [7] M.M. Munir, ST.,MT., M Thoriq Wahyudi, ST.,MM., Hendri Budi Kurniyanto, S.ST.,MT., Dika Anggara, S.ST.,MT. (2019) MODUL PRAKTIK DT NDT PPNS.

 [8] Moteshakker, A., Danaee, I., Moeinifar, S., & Ashrafi, A. (2016). Hardness and

 tensile properties of dissimilar welds joints between SAF 2205 and AISI 316L. Science and Technology of Welding and Joining.

 [9] Okonkwo, B. O., Ming H., Wang, J., Meng F., Xu, X., & Han, E. H. (2021). Microstructural characterization of low alloy steel A508 – 309/308L stainless steel dissimilar weld metals.

[10] ASME. (2021). Section IX Qualifiacation

Standard for Welding, Brazing, and Fusing Procedures, Welders, Brazers; an Welding, Brazing, and Fusing Operators. Two Park Avenue, New York, 10016 USA: American Welding Society. QW – 194