



Jurnal Teknologi Maritim Volume 7 No. 2 Tahun 2024
12 September 2024 / 14 Oktober 2024 / 14 Oktober 2024

Jurnal Teknologi Maritim

<http://jtm.ppns.ac.id>

Analisis Perbandingan Kombinasi Elektroda, *Preheat*, dan *Interpass* Pada Pengelasan GMAW *Dissimilar* Baja Bisalloy 400 Dengan Material SM 490 YA Terhadap Tekuk dan Makro

Nadhifatul Kamilah¹, M. Miftachul Munir¹, Imah Luluk Kusminah¹

¹D4 Teknik Pengelasan, Teknik Bangunan Kapal, Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya, Jl. Teknik Kimia, Kampus ITS, Keputih Sukolilo, Surabaya, 60111, Indonesia

Abstrak. Sebuah perusahaan konstruksi memproduksi *side dump trailer* yang digunakan untuk mengangkut batu bara. Trailer ini mengalami kegagalan berupa retakan pada sambungan las di bagian lantainya. Sambungan las tersebut menggunakan material berbeda, yaitu baja Bisalloy 400 dan SM490YA. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis kegagalan tersebut dan memperbaikinya dengan mengkombinasikan elektroda, *preheat*, dan *interpass* guna meningkatkan sifat mekanis dan metalografi pada material baja Bisalloy 400 dan SM490YA. Pengujian tekuk dan makro dilakukan untuk mengetahui sifat mekanis dan metalografinya. Hasil pengujian tekuk menunjukkan bahwa hanya dua dari enam spesimen yang memenuhi kriteria keberterimaan, sementara empat lainnya memiliki diskontinuitas terbuka yang melebihi batas 3 mm. Analisis Makro menunjukkan kualitas hasil las pada setiap spesimen yang diuji. Penampang logam las pada variasi arus 80A menunjukkan adanya *slag*, namun semua hasil pengelasan tidak menunjukkan *incomplete fusion*.

Katakunci: Bisalloy 400, Buffer Layer, Interpass, Preheat, SM490YA

Abstract. A construction company produces *side dump trailers* used to transport coal. The trailer experienced a failure in the form of cracks in the welded joints on its floor. The welded joints used different materials, namely Bisalloy 400 and SM490YA steel. This study aims to analyze the failure and repair it by combining electrodes, *preheat*, and *interpass* temperatures to improve the mechanical and metallographic properties of Bisalloy 400 and SM490YA steel materials. Bending and macro tests were carried out to determine their mechanical and metallographic properties. The results of the bending test showed that only two of the six specimens met the acceptance criteria, while the other four had open discontinuities exceeding the 3 mm limit. Macro test analysis showed the quality of the weld results on each specimen tested. The cross-section of the weld metal at a current variation of 80A showed the presence of *slag*, but all welding results did not show *incomplete fusion*.

Keywords: Bisalloy 400, Buffer Layer, Interpass, Preheat, SM490YA

Email Korespondensi: m.munir@ppns.ac.id
doi: 10.35991/jtm.v7i2.38

1. Pendahuluan

Masalah yang terjadi adalah adanya cacat pada sambungan las berupa retak dingin (*cold crack*) pada bagian lantai *side dump trailer* yang merupakan sambungan *dissimilar material* antara baja Bisalloy 400 dan SM490YA (Rowe et al., 1999). Penelitian ini mengeksplorasi variasi *preheat*, *interpass*, dan kombinasi elektroda yang digunakan pada pengelasan material yang berbeda tersebut serta menentukan parameter pengelasan untuk mengatasi masalah yang muncul. Selain itu, terdapat kendala karena tidak adanya kualifikasi pengelasan dan metode persiapan yang dijadikan acuan dalam proses konstruksi *side dump trailer*.

Pada kasus sebelumnya, proses pengelasan yang digunakan adalah GMAW dengan *filler metal* ER70S-6. Namun, karena kekuatan tarik *filler metal* tersebut lebih rendah dari *base metal*, *filler metal* tersebut diganti dengan ER80S-G. Pemilihan *filler metal* ER80S-G didasarkan pada kekuatannya yang lebih tinggi dibandingkan *base metal* (*OK AristoRod 13.16*, 2023). Baja Bisalloy 400 memiliki kandungan *carbon equivalent* (CE) sebesar 0,499%, lebih tinggi dari 0,4%, sehingga memerlukan perlakuan khusus untuk meningkatkan *weldability*. Sebaliknya, SM490YA memiliki kandungan CE lebih rendah, yaitu 0,37% (Sadek, 2015). Perbedaan signifikan dalam CE ini memerlukan penggunaan *buffer layer* sebagai lapisan pelindung yang ditempatkan antara dua material yang berbeda. *Buffer layer* membantu menyerap dan mendistribusikan tegangan akibat perbedaan sifat termal, seperti laju pendinginan dan pengembangan termal, yang dapat menyebabkan tegangan sisa.

Penggunaan *buffer layer* juga membantu mengurangi perbedaan komposisi kimia secara bertahap antara dua material, menciptakan sambungan las yang lebih homogen, dan mengurangi risiko retak dan *incomplete fusion*. Dengan memahami struktur komposisi kimia, dapat diketahui pengaruh pemilihan kombinasi elektroda ER80S-G dan E309L serta perubahan sifat mekanis dan metalografi yang disebabkan oleh *preheat* dan *interpass*.

2. Tinjauan Pustaka

2.1 Material SM490YA

Material SM490YA termasuk dalam kategori baja *High Strength Low Alloy* (HSLA), yang memiliki tingkat kekuatan dan kekerasan lebih tinggi daripada baja karbon, tetapi tetap memiliki kemampuan las (*weldability*) yang baik. Secara umum, SM490YA lebih fokus pada sifat mekanik daripada komposisi kimianya. Baja ini diproduksi dalam keadaan *as-hot rolled*, dengan kekuatan luluh berkisar antara 290-550 MPa dan kekuatan tarik berkisar antara 415-700 Mpa (*JIS-G-3106.Pdf*, 1995). Berikut merupakan batasan sifat mekanik, *mechanical properties* dan *chemical composition* dari SM490YA yang dapat dilihat pada Tabel 2.1 hingga 2.3 sebagai berikut.

Tabel 2. 1 Batasan Sifat Mekanik

Designation	Yield P. (N/mm ²)				Tensile S. (N/mm ²)	Elongation (%)
	Thickness of steel product (mm)					
	16 or under	16-40	40-75	75-100	100 or under	
SM 490 YA	365 Min.	355 Min.	335 Min.	325 Min.	490 to 610	19-21

Sumber : (JIS-G-3106.Pdf, 1995)

Tabel 2. 2 Sifat Mekanik SM490YA

Yield Point (MPa)	Tensile Strength (MPa)	Elongation (%)
413	543	27

Sumber : (Posco, 2021)

Tabel 2. 3 Komposisi Kimia SM490YA

C (%)	Si (%)	Mn (%)	P (%)
0.1593	0.321	1.39	0.0098

Sumber : (Posco, 2021)

2.2 Baja Bisalloy 400

Baja Bisalloy 400 harus memiliki tingkat kekerasan yang tinggi dan daya tahan terhadap abrasi yang baik agar sesuai untuk proses *quenching & tempering* (Q&T) dalam aplikasi kendaraan alat berat. Untuk memastikan sifat-sifat tersebut, komposisi kimia dan proses perlakuan panas harus diatur dengan hati-hati. Baja ini dirancang untuk memberikan kinerja *impact* optimal sambil mempertahankan sifat fabrikasi dan kemampuan las yang lebih baik. Dengan kandungan unsur paduan yang rendah, Bisalloy 400 dapat dilas dengan mudah menggunakan proses pengelasan konvensional dan kawat las dengan kadar hidrogen rendah. Meskipun pembentukan dingin bisa dilakukan pada semua ketebalan, perlu diperhatikan bahwa ini dapat menyebabkan peningkatan kekuatan, dan kemampuan mesin tekuk harus diperhitungkan. Harus dihindari pemanasan di atas 250°C, karena dapat mempengaruhi sifat mekaniknya (Gooch et al., 2007). Rekomendasi *preheat* dan *interpass temperature* yang dapat dilihat pada Tabel 2.4 berikut.

Tabel 2. 4 Rekomendasi *Preheat* dan *Interpass Temperature*

<i>Bisalloy Abrasion Resistant Grades</i>	<i>Maximum Thickness in Joint (mm)</i>			
	<i>Minimum Preheat</i>	<13	≥13<25	≥25<25
320	50	75	125	150
400	50	75	125	150
450	Nil***			
500	100	150	150	**
<i>Maximum Interpass (All Grades)</i>	150	175	200	220

Sumber : (Bissaloy 400.Pdf, 2013)

2.3 Filler Metal ER80S-G

ER80S-G adalah jenis kawat las yang digunakan dalam *Gas Metal Arc Welding* (GMAW) atau lebih dikenal sebagai pengelasan MIG. Kawat las ER80S-G digunakan untuk pengelasan baja paduan rendah dan material serupa lainnya. ER80S-G digunakan dalam berbagai aplikasi industri yang memerlukan kekuatan tarik tinggi dan ketahanan terhadap kondisi lingkungan yang keras. Kawat las ER80S-G biasanya digunakan dengan gas pelindung argon atau campuran argon dan karbon dioksida (*OK AristoRod 13.16*, 2023). Pengaturan gas pelindung dan parameter pengelasan lainnya harus disesuaikan untuk memastikan kualitas sambungan las yang baik didukung oleh sifat mekanik yang dapat dilihat pada Tabel 2.5 berikut.

Tabel 2. 5 Sifat Mekanik *Filler Metal* ER80S-G

<i>Spesification AWS</i>	<i>Mechanical Properties of Deposited Metals</i>			
	<i>Tensile Strength (MPa)</i>	<i>Yield Strength (MPa)</i>	<i>Elongation %</i>	<i>Impact Value J (°C)</i>
ER80S-G	625	540	26	142 (0)

Sumber : (Si, 2023)

2.4 Buffer Layer

Lapisan *buffer* merujuk pada tambahan lapisan atau zona pada sambungan las. Tujuan dari penambahan lapisan ini adalah untuk mengurangi risiko cacat atau ketidakcocokan antara logam dasar dan logam pengelas, juga membantu mengatur kondisi termal selama proses pengelasan. Fungsinya sebagai pemisah (*buffer*) menghasilkan dua fasa keras antara logam dasar.

2.5 Interpass temperature

Interpass temperature merujuk pada suhu material tepat sebelum lapisan atau langkah berikutnya dalam pengelasan dengan beberapa langkah. Secara umum, suhu *interpass*

Analisis Perbandingan Kombinasi Elektroda, *Preheat*, dan *Interpass* Pada Pengelasan GMAW *Dissimilar* Baja Bisalloy 400 Dengan Material SM 490 YA Terhadap Tekuk dan Makro

minimal yang ditetapkan seringkali sejalan dengan suhu *preheat*, tetapi hal ini tidak dianggap atau diperlukan sesuai dengan definisi (Funderburk, 1998).

Efek dari *interpass temperature* pada *multiple pass welding* dengan material HSLA memberikan hasil penjelasan antara lain :

1. Kenaikan suhu antar *pass* menyebabkan berkurangnya kekuatan dan kekerasan di wilayah logam las serta memperbesar ukuran butir (*grain size*).
2. Dalam eksperimen yang dilakukan, *interpass temperature* menghasilkan rentang sekitar 130°C. Variasi kenaikan dan penurunan *interpass temperature* dapat menyebabkan penurunan ketangguhan (*impact toughness*).
3. Penggunaan *welding multiple pass* dalam siklus termal dapat meningkatkan dekomposisi struktur M-A yang terbentuk, dengan diharapkan memberikan dampak positif pada sifat ketangguhan.

2.6 *Preheat*

Menurut *American Welding Society* (AWS), *preheat* didefinisikan sebagai pemberian panas pada logam yang akan dilas dengan tujuan mencapai dan menjaga suhu *preheat*. *Preheat temperature* adalah suhu dari logam dasar di sekitar area yang akan dilas sebelum proses pengelasan dimulai. Pada pengelasan *multipass*, yang juga dikenal sebagai *interpass temperature* (suhu antar *pass* atau celah), *preheat* merujuk pada suhu yang diterapkan sesaat sebelum memulai pengelasan pada *pass* (celah) berikutnya. Media yang digunakan untuk *preheating* dapat berupa gas burner, nyala *oxy-gas*, selimut listrik, pemanasan induksi, atau pemanasan di dalam *furnace* (*American Welding Society*, 2020).

Tujuan dari *preheating* :

- a. Memperlambat laju pendinginan pada logam las dan logam dasar sehingga menghasilkan struktur logam lebih ulet yang memiliki ketahanan terhadap retak yang lebih besar.
- b. Memungkinkan hidrogen dapat terdifusi keluar sehingga mengurangi potensi retak.
- c. Mengurangi tegangan sisa dalam logam las dan pada daerah *HAZ*.
- d. Mengurangi resiko patah getas dan meningkatkan ketangguhan logam las.

Kecepatan proses pendinginan setelah melakukan pengelasan dipengaruhi oleh suhu pemanasan awal, di mana semakin tinggi suhu tersebut akan mengakibatkan waktu pendinginan yang lebih lama dan mengurangi kekerasan mikrostruktur.

3. Metode

Dalam penelitian ini, proses pengelasan dilakukan pada material baja Bisalloy 400 yang disambung dengan baja HSLA SM490YA berukuran 400x250x20 mm. Pengelasan dilakukan menggunakan metode *Gas Metal Arc Welding* (GMAW) dengan variasi parameter suhu *preheat* dan *interpass* serta kombinasi elektroda yang berbeda. Total spesimen uji yang dihasilkan adalah sebanyak 6 spesimen. Berikut adalah spesimen beserta pembagian parameter pada Tabel 3.1 berikut.

Tabel 3. 1 Parameter Pengelasan

No.	Filler Metal	<i>Preheat</i>	<i>Interpass</i>	Posisi
1.	ER80S-G	30°C	250°C	1G
2.		75°C	175°C	
3.		75°C	250°C	
4.	ER80S-G + E309L	30°C	250°C	
5.		75°C	175°C	
6.		75°C	250°C	

Material disambung menggunakan tipe sambungan *single V groove* dengan sudut 60°. *Filler metal* yang digunakan adalah ER80S-G, sedangkan untuk *buffer layer* digunakan *filler metal* E309L. Setelah proses pengelasan selesai, *coupon test* dipotong sesuai dengan *code*

Analisis Perbandingan Kombinasi Elektroda, *Preheat*, dan *Interpass* Pada Pengelasan GMAW *Dissimilar* Baja Bisalloy 400 Dengan Material SM 490 YA Terhadap Tekuk dan Makro AWS D1.1 dan dijadikan spesimen untuk pengujian. Pengujian yang dilakukan meliputi pengujian tekuk dan pengujian makro.

4. Hasil dan Pembahasan

4.1 Hasil dan Pembahasan Pengujian Tekuk

Uji tekuk dilakukan untuk menilai kualitas material secara visual. Dalam pengujian ini, terdapat 4 spesimen uji tarik yang dibentuk *side bend* untuk setiap variasi. Setelah spesimen ditekuk, permukaan cembunginya harus diperiksa untuk memastikan tidak ada retak atau cacat permukaan lainnya. Jika spesimen mengalami patah (*fracture*) saat ditekuk, maka dianggap gagal (*rejected*). Namun, jika tidak patah, maka kriteria keberterimaan didasarkan pada jumlah, ukuran retak, atau cacat permukaan lain yang terlihat, yang harus sesuai dengan standar yang berlaku.

4.1.1 Pengujian tekuk pada spesimen variasi 80A

Hasil pengamatan dan pemeriksaan uji tekuk pada spesimen yang mengalami *open discontinuity* untuk proses pengelasan GMAW dengan variasi arus 80A, *preheat* 30°C, dan *interpass* 250°C menunjukkan adanya indikasi seperti yang ditampilkan pada Gambar 4.1 dan Tabel 4.1 di bawah ini.



Gambar 4. 1 Hasil Pengamatan Uji Tekuk 80A

Tabel 4. 1 Hasil Uji Tekuk 80A

<i>Specimen Stamp</i>	<i>Result</i>		<i>Remark</i>
	<i>Type of Discontinuity</i>	<i>Size of Discontinuity (mm)</i>	
B1	<i>Open Discontinuity</i>	2,65	<i>Accepted</i>
B2	-	-	<i>Accepted</i>
B3	-	-	<i>Accepted</i>
B4	-	-	<i>Accepted</i>

Hasil uji tekuk pada variasi 80A memenuhi kriteria keberterimaan. Pada spesimen 80A, ditemukan diskontinuitas terbuka sepanjang 2,65 mm pada spesimen dengan tanda B1. Diskontinuitas terbuka ini masih berada di bawah batas yang ditetapkan oleh *code*, yaitu 3 mm.

4.1.2 Pengujian tekuk pada spesimen variasi 80B

Hasil pengamatan dan pemeriksaan uji tekuk pada spesimen yang mengalami *open discontinuity* untuk proses pengelasan GMAW pada variasi spesimen 80B, dengan *preheat* 75°C dan *interpass* 175°C, menunjukkan adanya indikasi yang ditampilkan pada Gambar 4.2 dan Tabel 4.2 di bawah ini.

Analisis Perbandingan Kombinasi Elektroda, *Preheat*, dan *Interpass* Pada Pengelasan GMAW *Dissimilar* Baja Bisalloy 400 Dengan Material SM 490 YA Terhadap Tekuk dan Makro



Gambar 4. 2 Hasil Pengamatan Uji Tekuk 80B

Tabel 4. 2 Hasil Uji Tekuk 80B

<i>Specimen Stamp</i>	<i>Result</i>		<i>Remark</i>
	<i>Type of Discontinuity</i>	<i>Size of Discontinuity (mm)</i>	
B1	<i>Open Discontinuity</i>	3,35	<i>Reject</i>
B2	<i>Open Discontinuity</i>	0,6	<i>Accepted</i>
B3	<i>Open Discontinuity</i>	3,5	<i>Reject</i>
B4	<i>Open Discontinuity</i>	1,8	<i>Accepted</i>

Hasil uji tekuk pada variasi 80B tidak memenuhi kriteria keberterimaan. Semua spesimen dengan *code* 80B menunjukkan adanya diskontinuitas terbuka. Pada spesimen dengan *code* B1, terdapat diskontinuitas terbuka sebesar 3,35 mm, dan pada spesimen dengan *code* B4 sebesar 3,5 mm, keduanya melebihi batas yang ditetapkan oleh standar, yaitu 3 mm.

4.1.3 Pengujian tekuk pada spesimen variasi 80C

Berdasarkan pengamatan dan pemeriksaan hasil uji tekuk, serta spesimen yang mengalami *open discontinuity* pada proses pengelasan GMAW dengan variasi *preheat* 75°C dan *interpass* 250°C pada spesimen 80C, ditemukan beberapa indikasi yang ditunjukkan pada Gambar 4.3 dan Tabel 4.3 berikut ini.



Gambar 4. 3 Hasil Pengamatan Uji Tekuk 80C

Analisis Perbandingan Kombinasi Elektroda, *Preheat*, dan *Interpass* Pada Pengelasan GMAW *Dissimilar* Baja Bisalloy 400 Dengan Material SM 490 YA Terhadap Tekuk dan Makro

Tabel 4. 3 Hasil Uji Tekuk 80C

Specimen Stamp	Result		Remark
	Type of Discontinuity	Size of Discontinuity (mm)	
B1	<i>Open Discontinuity</i>	1,3	<i>Accepted</i>
B2	<i>Open Discontinuity</i>	6,75	<i>Reject</i>
B3	<i>Open Discontinuity</i>	0,9	<i>Accepted</i>
B4	<i>Open Discontinuity</i>	2,9	<i>Accepted</i>

Hasil uji tekuk pada variasi 80C tidak memenuhi kriteria keberterimaan. Semua spesimen dengan label 80C menunjukkan adanya diskontinuitas terbuka. Pada spesimen berlabel B2, ditemukan diskontinuitas terbuka sebesar 6,75 mm, yang melebihi batas yang ditetapkan oleh standar yaitu 3 mm.

4.1.4 Pengujian tekuk pada spesimen variasi BFA

Hasil pengamatan dan pemeriksaan terhadap uji tekuk serta spesimen yang mengalami diskontinuitas terbuka pada proses pengelasan GMAW + SMAW dengan variasi spesimen BFA, yaitu *preheat* 30°C dan *interpass* 250°C, menunjukkan adanya indikasi yang ditampilkan pada Gambar 4.4 dan Tabel 4.4 di bawah ini.



Gambar 4. 4 Hasil Pengamatan Uji Tekuk BFA

Tabel 4. 4 Hasil Uji Tekuk BFA

Specimen Stamp	Result		Remark
	Type of Discontinuity	Size of Discontinuity (mm)	
B1	<i>Open Discontinuity</i>	6,75	<i>Reject</i>
B2	<i>Open Discontinuity</i>	8,15	<i>Reject</i>
B3	<i>Open Discontinuity</i>	19,55	<i>Reject</i>
B4	<i>Open Discontinuity</i>	11,75	<i>Reject</i>

Hasil uji tekuk dari variasi BFA tidak memenuhi kriteria keberterimaan. Semua spesimen dari kelompok BFA menunjukkan adanya diskontinuitas terbuka. Pada spesimen B1, ditemukan diskontinuitas terbuka sebesar 6,75 mm; pada spesimen B2 sebesar 8,15 mm; spesimen B3 memiliki diskontinuitas terbuka sebesar 19,55 mm; dan spesimen B4 sebesar 11,75 mm. Seluruh nilai ini melebihi batas yang ditetapkan oleh *code*, yaitu 3 mm.

4.1.5 Pengujian tekuk pada spesimen variasi BFB

Hasil pengamatan dan pemeriksaan dari uji tekuk serta spesimen yang mengalami *open discontinuity* pada proses pengelasan GMAW + SMAW dengan variasi spesimen BFB yaitu *preheat* 75°C dan *interpass* 175°C menunjukkan adanya indikasi seperti yang ditampilkan pada Gambar 4.5 dan Tabel 4.5 di bawah ini.

Analisis Perbandingan Kombinasi Elektroda, *Preheat*, dan *Interpass* Pada Pengelasan GMAW *Dissimilar* Baja Bisalloy 400 Dengan Material SM 490 YA Terhadap Tekuk dan Makro



Gambar 4. 5 Hasil Pengamatan Uji Tekuk BFB

Tabel 4. 5 Hasil Uji Tekuk BFB

Specimen Stamp	Result		Remark
	Type of Discontinuity	Size of Discontinuity (mm)	
B1	Open Discontinuity	15,8	Reject
B2	Open Discontinuity	5,25	Reject
B3	Open Discontinuity	12,9	Reject
B4	Open Discontinuity	13	Reject

Hasil pengujian tekuk untuk variasi BFB tidak memenuhi kriteria keberterimaan. Semua spesimen dari stamp BFA menunjukkan adanya diskontinuitas terbuka. Pada spesimen stamp B1 ditemukan diskontinuitas terbuka sebesar 15,8 mm, pada spesimen stamp B2 sebesar 5,25 mm, pada spesimen stamp B3 sebesar 12,9 mm, dan pada spesimen stamp B4 sebesar 13 mm, semuanya melebihi batas maksimum yang ditetapkan dalam *code*, yaitu 3 mm.

4.1.6 Pengujian tekuk pada spesimen variasi BFC

Hasil pengamatan dan pemeriksaan dari pengujian tekuk serta spesimen yang menunjukkan *open discontinuity* pada proses pengelasan GMAW + SMAW dengan variasi spesimen BFC, yaitu *preheat* 75°C dan *interpass* 250°C, menunjukkan indikasi yang dapat dilihat pada Gambar 4.6 dan Tabel 4.6 di bawah ini.



Gambar 4. 6 Hasil Pengamatan Uji Tekuk BFC

Tabel 4. 6 Hasil Uji Tekuk BFC

Specimen Stamp	Result		Remark
	Type of Discontinuity	Size of Discontinuity (mm)	
B1	-	-	Accepted
B2	Open Discontinuity	2,55	Accepted
B3	-	-	Accepted
B4	-	-	Accepted

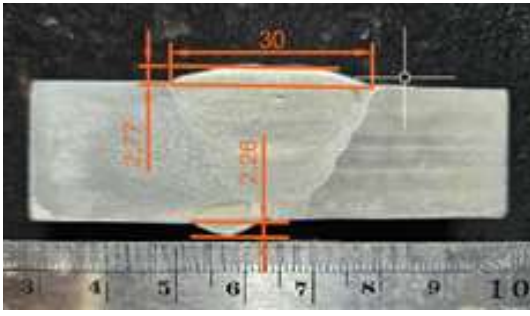
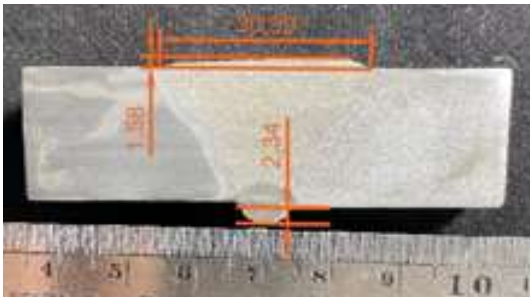
Hasil pengujian tekuk pada variasi BFC memenuhi kriteria keberterimaan. Pada spesimen BFC, terdapat diskontinuitas terbuka sepanjang 2,55 mm pada spesimen stamp B2, yang tidak melebihi batas maksimum yang ditetapkan oleh *code*, yaitu 3 mm.

Hasil uji tekuk pada 6 spesimen variasi menunjukkan bahwa hanya 2 spesimen yang memenuhi kriteria keberterimaan, yaitu spesimen 80A dan BFC. Spesimen 80A memiliki *open discontinuity* sepanjang 2,65 mm, sementara spesimen BFC memiliki *open discontinuity* sepanjang 2,55 mm. Empat spesimen lainnya, yaitu 80B, 80C, BFA, dan BFB, mengalami kegagalan karena *open discontinuity* yang melebihi batas yang ditetapkan oleh *code*. Dengan demikian, dari 6 spesimen yang diuji, hanya 2 spesimen yang memenuhi kriteria keberterimaan.

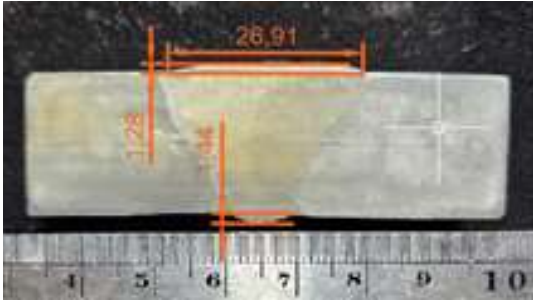


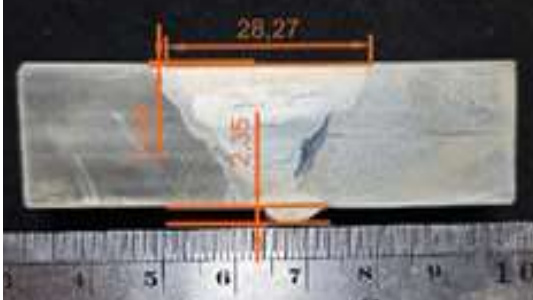
4.2 Hasil dan Pembahasan Pengujian Makro

Pengujian makro etsa bertujuan untuk mengevaluasi kualitas hasil las pada setiap spesimen yang diteliti. Pengujian ini dilakukan untuk memeriksa kondisi deposit setiap lapisan, sejauh mana logam las bercampur dengan *base metal*, dan tingkat fusi antara setiap lapisan. Setelah spesimen diolesi dengan cairan etsa, foto makro diambil dengan fokus pada area *weld metal*, *HAZ*, dan *fusion line*. Berikut adalah hasil dari pengujian makro etsa untuk setiap spesimen.

Tabel 4. 7 Hasil Pengujian Makro

Specimen Marking	Hasil Pengamatan	Weld Metal Dimension
ER80S-G <i>Preheat</i> 30°C <i>Interpass</i> 250°C		W = 30 mm C = 2,77 mm R = 2,26 mm
ER80S-G <i>Preheat</i> 75°C <i>Interpass</i> 175°C		W = 30,39 mm C = 1,58 mm R = 2,34 mm

Analisis Perbandingan Kombinasi Elektroda, *Preheat*, dan *Interpass* Pada Pengelasan GMAW Dissimilar Baja Bisalloy 400 Dengan Material SM 490 YA Terhadap Tekuk dan Makro

Specimen Marking	Hasil Pengamatan	Weld Metal Dimension
ER80S-G <i>Preheat</i> 75°C <i>Interpass</i> 250°C		W = 26,91 mm C = 1,28 mm R = 1,44 mm
ER80S-G + E309L <i>Preheat</i> 30°C <i>Interpass</i> 250°C		W = 31,97 mm C = 1,89 mm R = 1,72 mm
ER80S-G + E309L <i>Preheat</i> 75°C <i>Interpass</i> 175°C		W = 27,76 mm C = 1,4 mm R = 1,76 mm
ER80S-G + E309L <i>Preheat</i> 75°C <i>Interpass</i> 250°C		W = 28,27 mm C = 0,49 mm R = 2,35 mm

Tabel 4.7 di atas memperlihatkan potongan melintang yang menunjukkan penampang logam las pada variasi 80A, di mana terdapat *slag*. Selain itu, foto makro yang ditampilkan menunjukkan bahwa semua hasil pengelasan tidak mengalami *incomplete fusion*.

5. Kesimpulan

Analisis perbandingan kombinasi elektroda, *preheat*, dan *interpass* berdasarkan uji tekuk menunjukkan bahwa dari 6 variasi spesimen yang diuji, hanya 2 spesimen yang memenuhi kriteria keberterimaan, yaitu spesimen dengan variasi 80A dan BFC. Sedangkan 4 spesimen lainnya, yaitu 80B, 80C, BFA, dan BFB, tidak memenuhi kriteria keberterimaan karena terdapat diskontinuitas terbuka yang melebihi batas kode yang ditetapkan, dengan panjang lebih dari 3 mm. Selanjutnya, analisis perbandingan kombinasi elektroda, *preheat*, dan *interpass* terhadap uji metalografi menunjukkan bahwa hasil pengujian makro memperlihatkan perbedaan dalam kedalaman penetrasi pada setiap spesimen. Selain itu, pada variasi arus 80A, ditemukan adanya *slag*.

6. Ucapan terima kasih

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

7. Daftar Pustaka

- American Welding Society. (2020). *Structural Welding Code- Steel ANSI/AWS D1.1-2020*.
https://www.academia.edu/42330911/AWS_D1.1_Ed.2020_bissalloy_400.pdf (pp. 1–3). (2013). Bisalloy Steels.
- Funderburk, R. S. (1998). The Importance of *Interpass* Temperature. *Key Concepts in Welding Engineering, XV*, 2.
- Gooch, W. A., Showalter, D. D., Burkins, M. S., Thorn, V., Cimpoeru, S. J., & Barnett, R. (2007). Ballistic Testing of Australian Bisalloy Steel for Armor Applications. *23rd International Symposium on Ballistics, September 2000*, 1181–1188.
http://ciar.org/ttk/mbt/papers/isb2007/paper.x.isb2007.TB17.ballistic_testing_of_australian_bisalloy_steel_for_armor_applications.gooch_showalter_burkins_thorn_cimpoeru_barnett_2007.pdf
- JIS-G-3106.pdf* (Patent No. 2). (1995).
- OK AristoRod 13.16*. (2023).
- Posco, K. (2021). *Mill Test Certificate Sertifikat Pengujian Pabrik Mill Test Certificate Sertifikat Pengujian Pabrik*.
- Rowe, M. D., Nelson, T. W., & Lippold, J. C. (1999). Hydrogen-induced cracking along the fusion boundary of dissimilar metal welds. *Welding Journal (Miami, Fla)*, 78(2).
- Sadek, A. (2015). *Dissimilar Materials Weldability Concepts*. EWI.
- Si, C. (2023). Product Data Sheet Product Data Sheet DEPMPO. In *Radiation Curing*.