

Pengaruh Penggunaan Elektroda E6013 Terhadap Sifat Mekanis Sambungan Las Plat Mild Steel Marine Pada Rekondisi Body Kapal

Irpansyah Siregar, Edi Sarman Hasibuan, M. Chandra, Supri Ramadhani, Octo Muhammad Yamin

Universitas Amir Hamzah, Sumatera Utara

Email: irpansyahsiregar@gmail.com

ABSTRAK

Rekondisi body kapal merupakan proses perbaikan untuk mengembalikan kekuatan dan kelayakan struktur kapal. Pada proses ini, kualitas sambungan las sangat penting karena memengaruhi kekuatan dan keamanan kapal. Elektroda E6013 merupakan salah satu elektroda yang banyak digunakan pada proses pengelasan Shielded Metal Arc Welding (SMAW) karena mudah digunakan, memiliki busur yang stabil, dan menghasilkan permukaan las yang baik. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis kualitas sambungan las pada plat mild steel marine menggunakan elektroda E6013 untuk pekerjaan rekondisi body kapal. Metode penelitian yang digunakan adalah metode eksperimen. Pengelasan dilakukan dengan proses SMAW menggunakan elektroda E6013 pada plat mild steel marine. Kualitas hasil pengelasan dievaluasi melalui inspeksi visual, pengujian tarik, pengujian kekerasan, dan pengamatan struktur makro. Hasil pengujian kemudian dianalisis dan dibandingkan dengan standar yang berlaku. Hasil penelitian menunjukkan bahwa penggunaan elektroda E6013 menghasilkan sambungan las dengan kualitas yang baik. Hal ini ditunjukkan oleh tidak ditemukannya cacat las yang signifikan, nilai kekuatan tarik yang memenuhi persyaratan, distribusi kekerasan yang baik pada logam induk, HAZ, dan logam las, serta penetrasi las yang memadai. Oleh karena itu, elektroda E6013 layak digunakan untuk proses rekondisi body kapal berbahan mild steel marine dan dapat menjadi referensi dalam pemilihan elektroda pada pekerjaan pengelasan di industri perkapalan.

Kata Kunci: *Elektroda E6013, Smaw, Mild Steel Marine, Kualitas Pengelasan, Rekondisi Body Kapal.*

1. PENDAHULUAN

Industri perkapalan memiliki peranan penting dalam mendukung kegiatan transportasi laut, distribusi logistik, dan pertumbuhan ekonomi, khususnya di negara kepulauan seperti Indonesia. Selama masa operasionalnya, struktur kapal akan mengalami penurunan kualitas akibat korosi, kelelahan material (fatigue), benturan, maupun beban dinamis yang terjadi secara terus-menerus. Kondisi tersebut menyebabkan beberapa bagian body kapal mengalami kerusakan sehingga memerlukan perbaikan atau rekondisi untuk mengembalikan kekuatan dan keamanan struktur kapal.

Salah satu metode yang paling banyak digunakan dalam proses rekondisi body kapal adalah pengelasan. Pada industri galangan kapal, proses pengelasan tidak hanya berfungsi sebagai metode penyambungan material, tetapi juga sebagai metode utama dalam penggantian plat yang mengalami kerusakan akibat korosi maupun deformasi.

Material yang umum digunakan pada konstruksi body kapal adalah mild steel marine karena memiliki kombinasi sifat mekanik yang baik, mudah dilas, memiliki ketangguhan yang cukup tinggi, serta biaya produksi yang relatif ekonomis. Namun demikian, keberhasilan penyambungan material tersebut sangat dipengaruhi oleh pemilihan elektroda, parameter pengelasan, keterampilan juru las, serta prosedur pengelasan yang diterapkan. Pemilihan elektroda yang tidak sesuai dapat menyebabkan munculnya cacat las, seperti porositas, retak, undercut, incomplete penetration, maupun

slag inclusion yang berpotensi menurunkan kekuatan sambungan dan memperpendek umur pakai struktur kapal.

Salah satu elektroda yang banyak digunakan pada proses Shielded Metal Arc Welding (SMAW) adalah elektroda E6013. Elektroda ini memiliki lapisan fluks tipe rutile yang menghasilkan busur listrik stabil, percikan las yang relatif sedikit, pembentukan terak yang mudah dibersihkan, serta menghasilkan tampilan manik las yang baik. Selain itu, elektroda E6013 dapat digunakan pada berbagai posisi pengelasan sehingga banyak diaplikasikan pada pekerjaan fabrikasi maupun perbaikan konstruksi baja, termasuk pada rekondisi body kapal.

Meskipun elektroda E6013 memiliki berbagai keunggulan, kualitas hasil pengelasan tetap dipengaruhi oleh interaksi antara karakteristik elektroda dengan kondisi material yang dilas. Pada proses rekondisi body kapal, kualitas sambungan las menjadi faktor yang sangat penting karena sambungan harus mampu menahan beban statis maupun dinamis selama kapal beroperasi. Oleh karena itu, diperlukan evaluasi terhadap kualitas hasil pengelasan melalui berbagai pengujian, seperti inspeksi visual, pengujian tarik, pengujian kekerasan, pengujian tekuk, maupun pengamatan struktur makro dan mikro untuk mengetahui karakteristik sambungan las yang dihasilkan.

Hasil penelitian diharapkan dapat memberikan informasi mengenai kualitas sambungan las yang dihasilkan serta menjadi referensi bagi industri galangan kapal dalam memilih elektroda yang mampu menghasilkan sambungan las berkualitas, aman, dan memenuhi persyaratan standar konstruksi kapal.

2. METODE

Penelitian ini menggunakan metode eksperimen yang didukung oleh studi pustaka untuk mengkaji pengaruh penggunaan elektroda AWS A5.1 E6013 terhadap kualitas sambungan las pada plat mild steel marine dalam rekondisi body kapal. Studi pustaka dilakukan untuk memperoleh landasan teori mengenai karakteristik material mild steel marine, proses pengelasan Shielded Metal Arc Welding (SMAW), sifat elektroda E6013, serta metode pengujian kualitas sambungan las.

Pengujian laboratorium dilakukan melalui proses pengelasan SMAW secara manual menggunakan elektroda AWS A5.1 E6013 sesuai dengan prosedur pengelasan yang telah ditetapkan. Sambungan las yang dihasilkan kemudian dievaluasi untuk mempelajari karakteristik dan kualitas sambungan, serta fenomena yang terjadi pada material akibat siklus termal selama proses pengelasan. Evaluasi dilakukan melalui serangkaian pengujian mekanik dan metalurgi sesuai dengan tujuan penelitian.

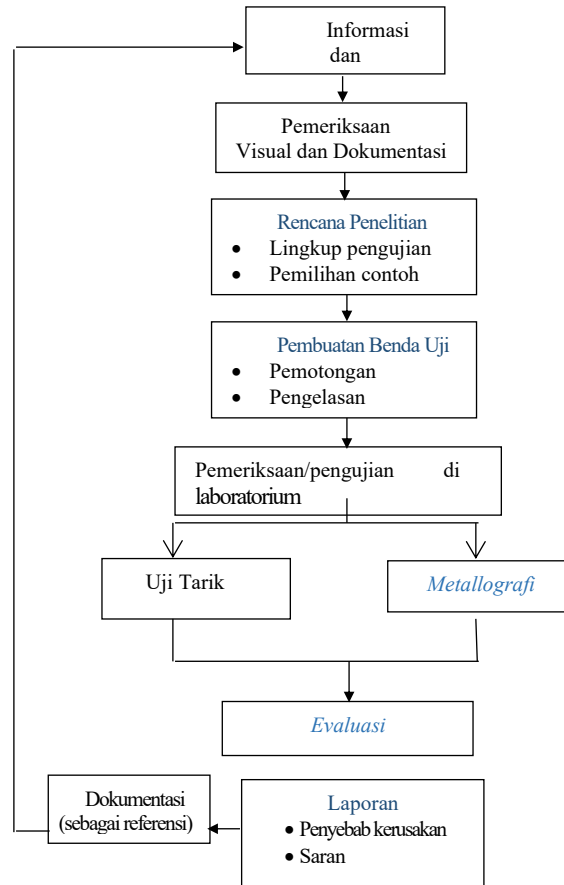
Tabel 3.1 % komposisi kimia kawat las

C	Si	Mn	P	S
0,08	0,30	0,37	0,012	0,010

Tabel 3.2 kekuatan kawat las RB-26

Tensile Strength N/mm ² (kgf/m ²)	Yield Point min, N/mm ² (kgf/mm ²)	Elongation Min. %
510 (52)	4506	25

Pelaksanaan penelitian laboratorium dilakukan di Laboratorium Metalurgi Fakultas Teknik Unimed Medan dan Laboratorium Metalurgi Fakultas Teknik Universitas Sumatera Utara. Metodologi penelitian yang digunakan dalam penelitian ini disusun secara sistematis dan digambarkan dalam diagram alir penelitian sebagai berikut.



Gambar 1. Diagram Penelitian.

2.1. Proses Pengelasan Body Kapal

Proses pengelasan body kapal dilaksanakan di dok kapal PT. Waruna Nusa Sentana Belawan, Medan. Tahapan pekerjaan diawali dengan inspeksi untuk mengidentifikasi bagian body kapal yang mengalami korosi dan penipisan. Selanjutnya, bagian plat yang mengalami kerusakan dipotong dan dilepas, kemudian diganti menggunakan plat mild steel marine dengan dimensi yang disesuaikan dengan area perbaikan. Plat pengganti kemudian disambungkan melalui proses pengelasan Shielded Metal Arc Welding (SMAW) secara manual menggunakan elektroda AWS A5.1 E6013. Seluruh proses pengelasan dilaksanakan sesuai Welding Procedure Specification (WPS) yang diterapkan oleh PT. Waruna Nusa Sentana Belawan, Medan, yang mengacu pada ketentuan American Welding Society (AWS).

Data parameter pengelasan yang digunakan pada proses rekondisi body kapal meliputi spesifikasi mesin las, jenis elektroda, dan kondisi pengelasan. Mesin las yang digunakan adalah mesin las listrik Telwin tipe Linear 250 dengan tegangan masukan (input) 380 V dan rentang arus pengelasan (current range) 70–250 A. Elektroda yang digunakan adalah elektroda AWS A5.1 E6013 yang dirancang untuk pengelasan baja

karbon rendah (mild steel) dan memiliki karakteristik busur listrik yang stabil, penetrasi sedang, serta menghasilkan manik las yang halus. Komposisi unsur kimia elektroda E6013 yang digunakan dalam penelitian ini disajikan pada tabel berikut.

2.2. Pemeriksaan Visual

Pemeriksaan visual merupakan tahap awal dalam evaluasi kualitas sambungan las sebelum dilakukan pengujian lebih lanjut. Pemeriksaan ini dilakukan secara langsung terhadap hasil pengelasan sambungan antara plat lama dan plat mild steel marine pengganti yang dilas menggunakan proses Shielded Metal Arc Welding (SMAW) secara manual. Tujuan pemeriksaan visual adalah untuk mengidentifikasi adanya cacat permukaan pada sambungan las yang berpotensi memengaruhi kualitas dan kekuatan sambungan.



Gambar 2. Sambungan Las.

Pemeriksaan visual dilakukan dengan mengamati kondisi permukaan las secara menyeluruh untuk mendeteksi adanya cacat, seperti retak (crack), porositas (porosity), undercut, overlap, slag inclusion, serta ketidaksempurnaan bentuk manik las (weld bead). Selain itu, dilakukan identifikasi terhadap indikasi awal kerusakan atau patahan pada daerah sambungan las, serta pendokumentasian menggunakan kamera dari berbagai sudut pengamatan. Dokumentasi tersebut bertujuan untuk merekam kondisi sambungan las secara detail dan mengekspos bagian-bagian penting yang dapat digunakan sebagai informasi dalam analisis kualitas hasil pengelasan dan identifikasi potensi kegagalan sambungan.

2.3. Persiapan dan Pembuatan Benda Uji

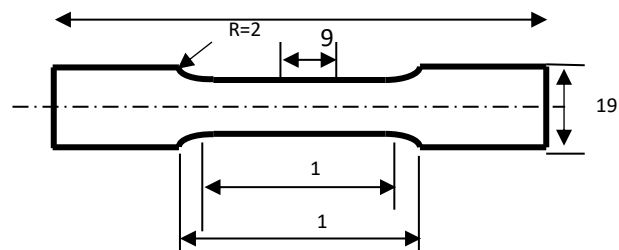
Benda uji yang digunakan dalam penelitian ini berasal dari potongan sambungan las yang dihasilkan selama proses rekondisi body kapal. Tahap persiapan diawali dengan pemotongan plat mild steel marine baru yang digunakan sebagai material pengganti pada bagian body kapal yang mengalami korosi dan penipisan. Selanjutnya, bagian plat lama yang telah mengalami kerusakan dipotong dan dilepas sesuai dengan area perbaikan.

Plat pengganti kemudian disambungkan dengan plat lama menggunakan proses Shielded Metal Arc Welding (SMAW) secara manual dengan elektroda AWS A5.1 E6013 sesuai dengan prosedur pengelasan yang telah ditetapkan. Setelah proses pengelasan selesai dan sambungan dinyatakan memenuhi persyaratan inspeksi visual, bagian sambungan las dipotong menjadi beberapa spesimen uji sesuai dengan dimensi dan standar pengujian yang digunakan. Spesimen tersebut selanjutnya dipersiapkan untuk berbagai pengujian, seperti uji tarik, uji kekerasan, uji tekuk, dan pengamatan struktur makro maupun mikro, sesuai dengan tujuan penelitian

2.4. Pengujian Tarik

Pengujian tarik dilakukan untuk mengetahui kekuatan mekanik sambungan las pada plat mild steel marine setelah proses pengelasan menggunakan elektroda AWS A5.1 E6013. Pengujian ini bertujuan untuk menentukan kemampuan sambungan las dalam menahan beban tarik, yang meliputi nilai beban maksimum (maximum load), kekuatan tarik (ultimate tensile strength), regangan (elongation), serta lokasi terjadinya patahan pada spesimen.

Spesimen uji tarik dibuat dari sambungan las sesuai dengan ketentuan ASME Boiler and Pressure Vessel Code (BPVC) Section IX mengenai kualifikasi prosedur pengelasan dan juru las. Dimensi spesimen disesuaikan dengan standar tersebut, yaitu memiliki panjang keseluruhan 254 mm dan lebar daerah uji 19 mm, dengan posisi sambungan las berada di tengah spesimen sehingga daerah las menjadi fokus utama selama pengujian. Bentuk dan dimensi spesimen uji tarik ditunjukkan pada Gambar 3.



Gambar 3. Specimen uji tarik.

Pengujian tarik dilakukan menggunakan Universal Testing Machine (UTM) dengan memberikan beban tarik secara kontinu hingga spesimen mengalami patah. Data yang diperoleh dari pengujian meliputi beban maksimum, tegangan tarik maksimum, regangan, serta lokasi patahan. Hasil pengujian selanjutnya dianalisis untuk mengevaluasi kualitas sambungan las dan mengetahui pengaruh penggunaan elektroda AWS A5.1 E6013 terhadap kekuatan tarik sambungan pada plat mild steel marine yang digunakan dalam rekondisi body kapal.

2.5. Pengujian Kekerasan

Pengujian kekerasan bertujuan untuk mengetahui ketahanan material terhadap penetrasi serta mengevaluasi perubahan sifat mekanik akibat proses pengelasan pada logam las (weld metal), daerah terpengaruh panas (Heat Affected Zone/HAZ), dan logam induk (base metal). Pengujian umumnya menggunakan metode Vickers sesuai ASTM E384 atau SNI ISO 6507, dengan hasil dinyatakan dalam satuan HV (Vickers Hardness). Pengukuran dilakukan pada beberapa titik yang melintasi sambungan las untuk mengetahui distribusi kekerasan. Secara umum, logam las memiliki nilai kekerasan lebih tinggi dibandingkan logam induk akibat pembentukan mikrostruktur baru selama pembekuan, sedangkan HAZ mengalami perubahan kekerasan karena pengaruh siklus panas pengelasan. Jika perbedaan nilai kekerasan antar daerah tidak signifikan, maka proses pengelasan dianggap menghasilkan distribusi sifat mekanik yang baik. Sebaliknya, peningkatan kekerasan yang berlebihan pada HAZ dapat meningkatkan risiko terjadinya retak.

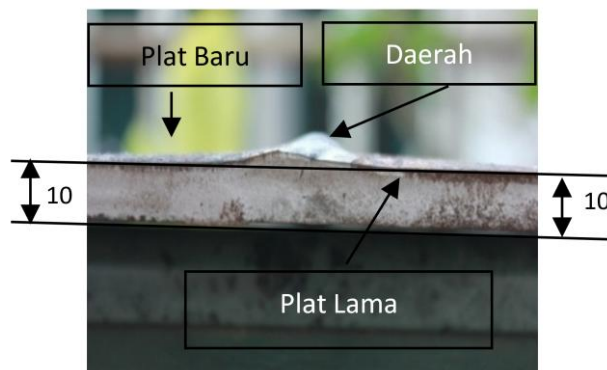
2.6. Pengujian Impact

Pengujian impact bertujuan untuk mengetahui ketangguhan (toughness) material, yaitu kemampuan material menyerap energi sebelum mengalami patah akibat beban kejut. Pada penelitian sambungan las antara plat lama dan plat baru, pengujian impact umumnya menggunakan metode Charpy V-Notch sesuai ASTM E23 atau ISO 148-1. Spesimen yang telah diberi takik (V-notch) dipatahkan menggunakan pendulum, kemudian energi yang diserap selama proses patah dinyatakan dalam satuan Joule (J). Pengujian dilakukan untuk mengevaluasi ketangguhan pada daerah sambungan las, terutama pengaruh logam las dan Heat Affected Zone (HAZ) terhadap kemampuan material menahan beban dinamis. Nilai energi impact yang tinggi menunjukkan bahwa sambungan las memiliki ketangguhan yang baik dan mampu menyerap energi lebih besar sebelum patah, sedangkan nilai yang rendah mengindikasikan material lebih getas dan lebih mudah mengalami kegagalan saat menerima beban kejut.

3. HASIL PENGUJIAN

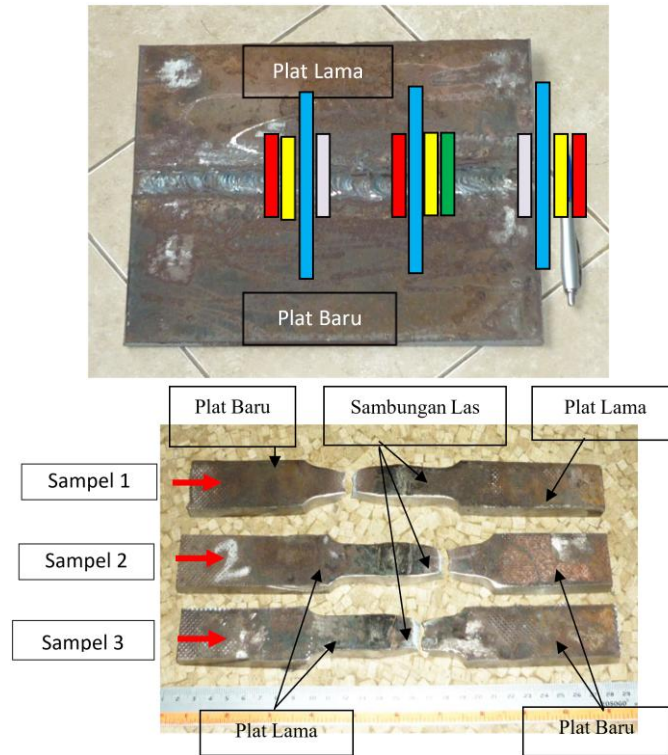
3.1. Hasil Pemeriksaan Visual

Berdasarkan hasil pengamatan visual terhadap sambungan las antara plat lama dan plat baru, sambungan menunjukkan kontinuitas yang baik dengan terbentuknya manik las pada daerah penyambungan.



Gambar 4. Ukuran tebal plat lama dan plat baru.

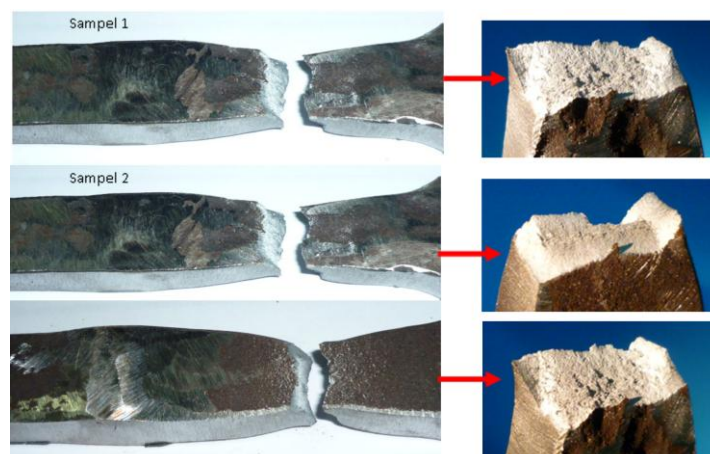
Profil manik las relatif seragam dan tidak memperlihatkan indikasi cacat permukaan yang nyata, seperti retak, porositas terbuka, maupun undercut yang signifikan. Akan tetapi, masih terlihat sedikit ketidakselarasan (misalignment) antara kedua plat yang ditandai dengan adanya tonjolan pada daerah sambungan. Kondisi tersebut mengindikasikan bahwa proses penyetelan (fit-up) sebelum pengelasan belum sepenuhnya optimal. Secara visual sambungan dinilai mampu menyatukan kedua material, namun untuk memastikan integritas sambungan diperlukan pengujian lebih lanjut menggunakan metode non-destruktif maupun pengujian mekanik sesuai standar yang berlaku.



Gambar 5. Benda uji setelah dilakukan uji tarik

3.2. Hasil Pengujian Tarik

Berdasarkan hasil pengujian tarik pada tiga spesimen sambungan las antara plat lama dan plat baru, seluruh spesimen mengalami patah pada daerah plat baru (base metal), sedangkan daerah sambungan las tetap utuh dan tidak mengalami kegagalan. Hal ini menunjukkan bahwa sambungan las memiliki kekuatan tarik yang lebih tinggi atau setidaknya sebanding dengan kekuatan logam induk plat baru. Dengan kata lain, sambungan hasil pengelasan mampu mentransfer beban tarik secara efektif tanpa mengalami kerusakan terlebih dahulu.



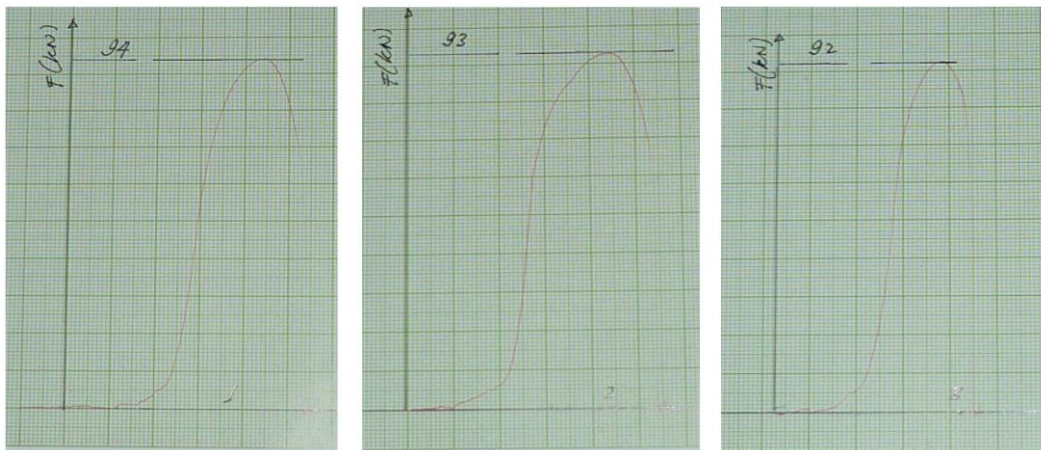
Gambar 6. Photo makro hasil uji tarik, menunjukkan sampel putus diluar daerah las.
Bentuk patahan pada material dasar berupa patah ulet/ductile.

Berdasarkan hasil pengamatan makro pada tiga spesimen hasil uji tarik, seluruh spesimen mengalami patah di luar daerah las (base metal). Permukaan patahan menunjukkan tekstur kasar dan berserat (fibrous) disertai adanya penyempitan penampang (necking), yang merupakan karakteristik patah ulet (ductile fracture). Hal ini menunjukkan bahwa material dasar mengalami deformasi plastis yang cukup besar sebelum patah, sehingga mampu menyerap energi selama pembebanan tarik. Tidak ditemukannya patah pada daerah logam las maupun heat affected zone (HAZ) mengindikasikan bahwa kekuatan sambungan las lebih tinggi atau setidaknya sebanding dengan kekuatan material dasar. Dengan demikian, proses pengelasan menghasilkan sambungan yang baik sehingga kegagalan terjadi pada material dasar sebagai bagian yang memiliki kekuatan relatif lebih rendah dibandingkan sambungan las. Nilai kekuatan tarik rata-rata dari nilai tertinggi sampai terendah adalah :

Tabel 1. Nilai kekuatan tarik.

No	Sampel	Gaya Maksimum	Tegangan Tarik
1.	1	94	492,22
2.	2	93	487,50
3.	3	92	486,93

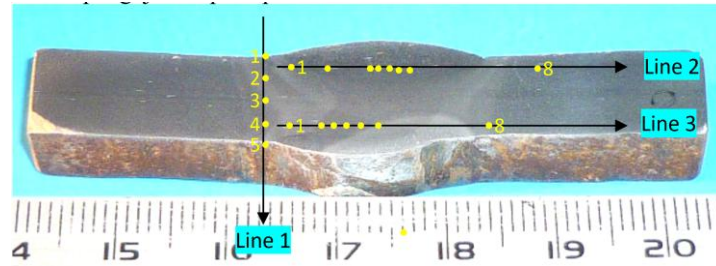
Selama penarikan setiap saat dicatat dengan grafik yang tersedia pada mesin tarik:



Gambar 7. Grafik hasil uji tarik.

3.3. Hasil Uji Kekerasan

Data pengujian kekerasan yang telah dilakukan didapat dari nilai kekerasan (HV) tertinggi sampai terendah pada setiap lokasi yang telah ditentukan pada benda uji. (Gambar 4.28) dengan hasil pengujian seperti pada tabel 4.



Gambar 8. Daerah dan line pengujian kekerasan

Tabel 2. Lokasi Uji Kekerasan Dan Nilai Kekerasan

Sampel 1:

No.	NILAI KEKERASAN, HV		
	Lokasi 1	Lokasi 2	Lokasi 3
1	188	188	182
2	178	181	181
3	181	190	152
4	190	161	152
5	178	154	151
6	-	151	148
7	-	150	148
8	-	148	137

Sampel 2:

No.	NILAI KEKERASAN, HV		
	Lokasi 1	Lokasi 2	Lokasi 3
1	188	181	172
2	181	175	170
3	159	178	178
4	197	167	166
5	201	166	166
6	-	166	162
7	-	161	162
8	-	142	158

Sampel 3:

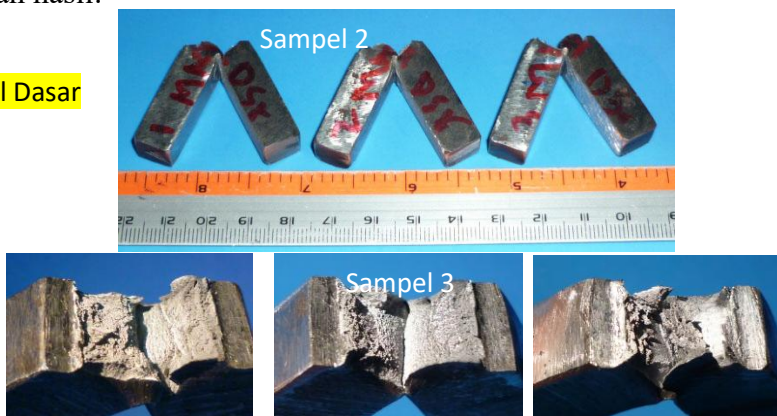
No.	NILAI KEKERASAN, HV		
	Lokasi 1	Lokasi 2	Lokasi 3
1	166	170	168
2	169	165	164
3	164	164	148
4	152	146	145
5	148	146	144
6	-	144	141
7	-	143	141
8	-	123	133

Data alat uji kekerasan Vickers (HV)
Temperatur Uji : 28 °C
Nama alat : Frank Finotest
Standar Uji : SNI 19-0409-1989
Metode Uji : Hardness Vickers (HV)
Beban (P) : 5 Kgf
Sudut Identor : 136°
Waktu Uji : 15 detik

3.4. Hasil Uji Impact

Pengujian impact dilakukan dengan metode Charpy juga dikenal dengan tes v-notch charpy, dengan hasil:

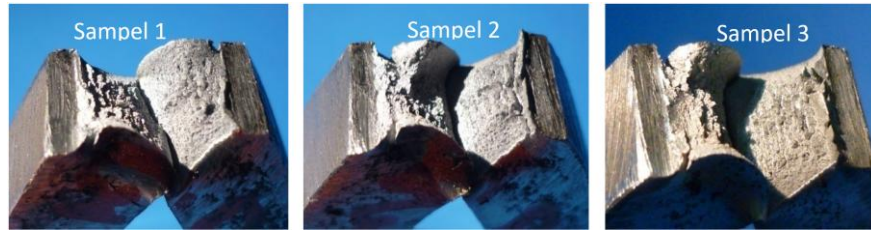
Material Dasar



Gambar 9. Phot makro hasil uji impact pada daerah takikan material dasar berupa patah ulet/ductile

Berdasarkan hasil pengamatan makro, takikan pada material dasar memiliki bentuk yang relatif simetris dan dikerjakan dengan baik sehingga mampu menghasilkan konsentrasi tegangan pada daerah sambungan. Selama pengujian tarik tidak ditemukan indikasi retak yang diawali dari akar takikan maupun deformasi berlebih pada material dasar. Seluruh spesimen mengalami patah pada daerah logam las, menunjukkan bahwa material dasar memiliki kekuatan yang lebih tinggi dibandingkan daerah sambungan las. Dengan demikian, fungsi takikan sebagai pengarah konsentrasi tegangan telah tercapai, sedangkan lokasi kegagalan menunjukkan bahwa kualitas sambungan las masih menjadi faktor yang menentukan kekuatan tarik keseluruhan spesimen



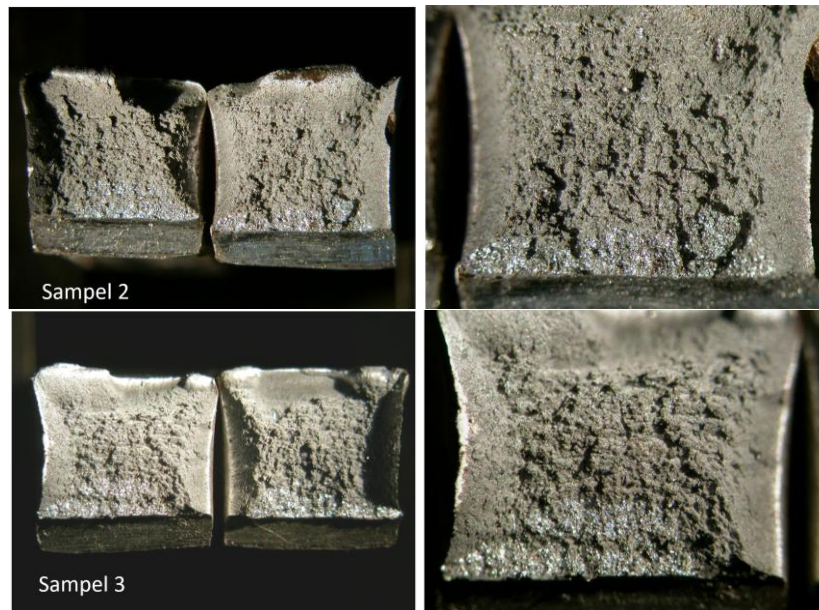


Gambar 10. Photo makro hasil uji impact pada takikan daerah HAZ berupa patah ulet/ductile.

Daerah Heat Affected Zone (HAZ) merupakan daerah yang mengalami perubahan mikrostruktur akibat panas pengelasan tanpa mengalami peleburan. Siklus pemanasan dan pendinginan menyebabkan ukuran butir, distribusi ferit-perlit, bahkan kemungkinan terbentuknya bainit atau martensit lokal berubah. Perubahan tersebut menyebabkan ketangguhan HAZ umumnya lebih rendah dibanding logam induk (base metal), sehingga retak impak lebih mudah diinisiasi pada daerah tersebut.

Dominasi permukaan patahan yang masih kasar menunjukkan bahwa elektroda E6013 masih menghasilkan sambungan dengan ketangguhan yang cukup baik. Namun adanya sebagian area patahan yang relatif datar menunjukkan bahwa HAZ tetap merupakan daerah kritis terhadap pembebanan impak karena mengalami perubahan mikrostruktur selama proses pengelasan.





Gambar 11. Photo makro hasil uji impact pada daerah takikan material las berupa patah rapuh/brittle.

Berdasarkan pengamatan makro, ketiga spesimen hasil uji impak Charpy dengan takikan pada logam las (weld metal) menunjukkan permukaan patahan yang kasar, granular, dan berserat (fibrous), yang mengindikasikan mekanisme patah ulet (ductile fracture). Retak berawal dari akar takikan dan merambat melalui logam las disertai deformasi plastis sebelum patah. Keberadaan rongga-rongga kecil (microvoids) menunjukkan terjadinya proses microvoid coalescence selama pembebanan. Spesimen pertama memiliki permukaan patahan yang relatif seragam, spesimen kedua menunjukkan tekstur lebih kasar dengan beberapa rongga kecil, sedangkan spesimen ketiga tampak sedikit lebih padat namun tetap didominasi tekstur fibrous. Secara keseluruhan, hasil ini menunjukkan bahwa logam las memiliki ketangguhan impact yang baik dengan mekanisme kegagalan yang didominasi oleh deformasi plastis.

3.5. Pengujian Tarik.

Hasil pengujian tarik pada sambungan las plat mild steel marine menggunakan elektroda E6013 menunjukkan bahwa ketiga spesimen memiliki luas penampang yang hampir sama, yaitu 188,94–190,97 mm². Keseragaman dimensi ini menunjukkan bahwa spesimen telah dipersiapkan dengan baik sehingga hasil pengujian lebih mencerminkan kualitas sambungan las.

Tabel 3. Hasil uji tarik.

Sampel	Penampang Benda uji (persegi)	Luas Penampaan Awal	Gaya Maksimum	Tegangan Tarik (N/mm ²)
1	19.29 x 9.90	190.97	94	492.22
2	19.29 x 9.89	190,77	93	487,50
3	19.28 x 9.80	188,94	92	486,93
Rata-rata		190,23	93	488,88

Beban maksimum yang mampu ditahan spesimen berkisar 92–94 kN, dengan nilai rata-rata 93 kN. Sementara itu, nilai tegangan tarik maksimum berada pada rentang 486,93–492,22 MPa, dengan rata-rata 488,88 MPa. Perbedaan hasil antarspesimen relatif kecil, sehingga menunjukkan bahwa proses pengelasan menghasilkan sambungan yang seragam dan konsisten.

Nilai kekuatan tarik rata-rata sebesar 488,88 MPa menunjukkan bahwa sambungan las memiliki kekuatan mekanik yang baik. Hal ini didukung oleh hasil pengamatan setelah pengujian tarik, di mana seluruh spesimen mengalami patah pada plat baru (base metal), bukan pada daerah sambungan las. Kondisi tersebut menunjukkan bahwa kekuatan sambungan las minimal setara atau lebih tinggi daripada kekuatan logam induk. Secara keseluruhan, hasil pengujian tarik menunjukkan bahwa penggunaan elektroda E6013 pada rekondisi body kapal mampu menghasilkan sambungan las dengan kekuatan tarik yang tinggi, kualitas yang baik, dan hasil yang konsisten pada setiap spesimen.

3.6. Pengujian Kekerasan

Pengujian kekerasan Vickers dilakukan untuk mengetahui distribusi nilai kekerasan pada sambungan las antara plat lama dan plat baru setelah proses pengelasan menggunakan elektroda E6013. Pengujian dilakukan pada tiga lokasi, yaitu daerah logam las (weld metal), daerah terpengaruh panas (Heat Affected Zone/HAZ), dan logam induk (base metal). Nilai kekerasan dinyatakan dalam satuan HV (Vickers Hardness).

Berdasarkan Tabel 4.2, Sampel 1 memiliki nilai kekerasan berkisar 137–190 HV, dengan nilai tertinggi 190 HV dan terendah 137 HV. Sampel 2 menunjukkan nilai kekerasan tertinggi dibandingkan sampel lainnya, yaitu berkisar 142–201 HV, dengan nilai maksimum 201 HV. Sementara itu, Sampel 3 memiliki nilai kekerasan yang lebih rendah, yaitu 123–170 HV, dengan nilai tertinggi 170 HV dan terendah 123 HV.

Secara umum, nilai kekerasan pada ketiga sampel cenderung lebih tinggi di daerah sambungan las dan menurun menuju logam induk. Hal ini menunjukkan bahwa proses pengelasan menyebabkan perubahan mikrostruktur akibat siklus pemanasan dan pendinginan, sehingga daerah logam las memiliki kekerasan lebih tinggi dibandingkan daerah HAZ dan logam induk.

Dari ketiga sampel, Sampel 2 memiliki nilai kekerasan tertinggi, diikuti Sampel 1 dan Sampel 3. Meskipun terdapat sedikit perbedaan nilai kekerasan antarspesimen, seluruh hasil masih berada pada kisaran normal untuk sambungan las baja karbon rendah (mild steel) menggunakan elektroda AWS E6013 dan tidak menunjukkan adanya pengerasan berlebihan yang berpotensi menyebabkan retak pada daerah HAZ.

Secara keseluruhan, hasil uji kekerasan Vickers menunjukkan bahwa penggunaan elektroda E6013 menghasilkan distribusi kekerasan yang baik dan relatif seragam. Hasil ini juga didukung oleh pengujian tarik, di mana patahan terjadi pada logam induk, sehingga menunjukkan bahwa sambungan las memiliki kualitas mekanik yang baik untuk proses rekondisi body kapal.

3.7. Pengujian Impact

Pengujian impak Charpy dilakukan untuk mengetahui ketangguhan sambungan las plat mild steel marine yang dilas menggunakan elektroda E6013. Pengujian dilakukan pada tiga daerah, yaitu logam induk (base metal), Heat Affected Zone (HAZ), dan

logam las (weld metal) pada suhu ruang (RT) dengan sudut takik 45°. Parameter yang dianalisis adalah energi yang diserap saat spesimen patah dan nilai impact strength.

Berdasarkan hasil pengujian, logam induk memiliki energi impak sebesar 154 J, 172 J, dan 156 J, dengan rata-rata 160,67 J, sedangkan nilai impact strength rata-rata sebesar 196,34 J/cm². Nilai ini merupakan yang tertinggi dibandingkan daerah lainnya, menunjukkan bahwa logam induk memiliki ketangguhan paling baik dan mampu menyerap energi paling besar sebelum mengalami patah.

Tabel 4. Hasil uji impact material dasar.

No.	Dimension (mm)			Angle (grad)	Temp. (°C)	Energi (J)	Impact Strength (J/cm ²)
	Thick	Width	Notch				
1	9,96	8,20	2,00	45,0	RT	154	188,49
2	9,95	8,21	2,00	45,0	RT	172	210,53
3	9,96	8,25	2,00	45,0	RT	156	190,01
Rata-rata						160,67	196,34

Daerah HAZ

No.	Dimension (mm)			Angle (grad)	Temp. (°C)	Energi (J)	Impact Strength (J/cm ²)
	Thick	Width	Notch				
1	9,60	8,10	2,00	45,0	RT	90	115,83
2	9,60	8,11	2,00	45,0	RT	82	105,40
3	9,62	8,10	2,00	45,0	RT	104	133,50
Rata-rata						92	118,24

Material Las

No.	Dimension (mm)			Angle (grad)	Temp. (°C)	Energi (J)	Impact Strength (J/cm ²)
	Thick	Width	Notch				
1	9,93	8,20	2,00	45,0	RT	46	56,51
2	9,80	8,19	2,00	45,0	RT	46	57,28
3	9,90	8,30	2,00	45,0	RT	48	58,39
Rata-rata						46,67	57,39

Pada daerah HAZ, energi impak yang diperoleh adalah 90 J, 82 J, dan 104 J, dengan rata-rata 92 J, sedangkan nilai impact strength rata-rata sebesar 118,24 J/cm². Nilai ini lebih rendah dibandingkan logam induk. Penurunan ketangguhan pada daerah HAZ disebabkan oleh perubahan mikrostruktur akibat siklus pemanasan dan pendinginan selama proses pengelasan yang memengaruhi sifat mekanik material.

Sementara itu, logam las (weld metal) menunjukkan energi impak sebesar 46 J, 46 J, dan 48 J, dengan rata-rata 46,67 J, serta nilai impact strength rata-rata 57,39 J/cm². Nilai ini merupakan yang paling rendah di antara ketiga daerah pengujian, menunjukkan bahwa logam las memiliki kemampuan menyerap energi paling kecil sebelum patah. Kondisi ini berkaitan dengan struktur hasil pembekuan logam las yang dapat mengandung ketidakhomogenan mikrostruktur atau tegangan sisa akibat proses pengelasan.

Jika dibandingkan, terjadi penurunan ketangguhan yang cukup signifikan dari logam induk menuju HAZ dan kemudian ke logam las. Energi impak rata-rata logam induk (160,67 J) sekitar 1,75 kali lebih tinggi dibandingkan HAZ (92 J) dan sekitar 3,4 kali

lebih tinggi dibandingkan logam las (46,67 J). Pola yang sama juga terlihat pada nilai impact strength, yaitu 196,34 J/cm² pada logam induk, 118,24 J/cm² pada HAZ, dan 57,39 J/cm² pada logam las.

Secara keseluruhan, hasil pengujian menunjukkan bahwa logam induk memiliki ketangguhan tertinggi, diikuti oleh HAZ, sedangkan logam las memiliki ketangguhan terendah. Meskipun demikian, sambungan las tetap mampu menahan beban kejut sesuai dengan karakteristik baja karbon rendah yang dilas menggunakan elektroda AWS E6013. Perbedaan nilai ketangguhan pada ketiga daerah merupakan konsekuensi dari perubahan mikrostruktur akibat siklus termal selama proses pengelasan.

4. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian mengenai pengaruh penggunaan elektroda E6013 terhadap kualitas pengelasan plat mild steel marine pada rekondisi body kapal melalui pengujian tarik, kekerasan Vickers, dan impak Charpy, dapat disimpulkan sebagai berikut:

Hasil pengujian tarik menunjukkan bahwa sambungan las memiliki kekuatan mekanik yang baik dengan nilai tegangan tarik rata-rata sebesar 488,88 MPa dan beban maksimum rata-rata 93 kN. Seluruh spesimen mengalami patah pada plat baru (base metal), bukan pada daerah sambungan las, sehingga menunjukkan bahwa kekuatan sambungan las minimal setara atau lebih tinggi dibandingkan kekuatan logam induk.

Hasil pengujian kekerasan Vickers menunjukkan bahwa distribusi nilai kekerasan pada sambungan las masih berada dalam kisaran normal untuk baja karbon rendah yang dilas menggunakan elektroda AWS E6013. Nilai kekerasan tertinggi diperoleh pada Sampel 2 sebesar 201 HV, diikuti Sampel 1 sebesar 190 HV, dan Sampel 3 sebesar 170 HV. Nilai kekerasan cenderung lebih tinggi pada daerah logam las dan menurun menuju daerah logam induk, yang menunjukkan adanya pengaruh siklus panas selama proses pengelasan tanpa menyebabkan pengerasan berlebihan pada daerah HAZ.

Hasil pengujian impak Charpy menunjukkan bahwa ketangguhan tertinggi terdapat pada logam induk dengan energi impak rata-rata 160,67 J dan impact strength 196,34 J/cm², diikuti oleh daerah HAZ dengan energi impak 92 J dan impact strength 118,24 J/cm², sedangkan logam las memiliki energi impak terendah yaitu 46,67 J dengan impact strength 57,39 J/cm². Penurunan ketangguhan dari logam induk menuju HAZ dan logam las disebabkan oleh perubahan mikrostruktur akibat siklus termal selama proses pengelasan.

Secara keseluruhan, penggunaan elektroda AWS E6013 pada proses rekondisi body kapal mampu menghasilkan sambungan las dengan kekuatan tarik yang tinggi, distribusi kekerasan yang baik, serta ketangguhan yang masih memadai. Hasil penelitian menunjukkan bahwa sambungan las memiliki kualitas mekanik yang baik dan layak digunakan pada pekerjaan rekondisi struktur kapal, meskipun ketangguhan pada daerah logam las masih lebih rendah dibandingkan logam induk sehingga optimasi parameter pengelasan dapat dilakukan untuk meningkatkan performa sambungan.

DAFTAR PUSTAKA

1. ASTM International. (2024). ASTM E8/E8M-24: Standard Test Methods for Tension Testing of Metallic Materials. West Conshohocken, PA: ASTM International.
2. ASTM International. (2024). ASTM E23-24: Standard Test Methods for Notched Bar Impact Testing of Metallic Materials. West Conshohocken, PA: ASTM International.

International.

3. ASTM International. (2023). ASTM E384-23: Standard Test Method for Microindentation Hardness of Materials. West Conshohocken, PA: ASTM International.
4. American Welding Society (AWS) Standards and Publications.
5. American Welding Society. (2025). AWS D1.1/D1.1M: Structural Welding Code—Steel. Miami, FL: American Welding Society.
6. American Welding Society. (2025). AWS A5.1/A5.1M: Specification for Carbon Steel Electrodes for Shielded Metal Arc Welding. Miami, FL: American Welding Society.
7. Cary, H. B., & Helzer, S. C. (2019). Modern Welding Technology (7th ed.). Pearson.
8. Kou, S. (2021). Welding Metallurgy (3rd ed.). John Wiley & Sons.
9. Messler, R. W. (2019). Principles of Welding: Processes, Physics, Chemistry, and Metallurgy. Wiley.
10. Lancaster, J. F. (2017). The Physics of Welding (2nd ed.). Elsevier.
11. AWS Welding Handbooks and Technical Guides.
12. Callister, W. D., & Rethwisch, D. G. (2020). Materials Science and Engineering: An Introduction (10th ed.). John Wiley & Sons.
13. Davis, J. R. (Ed.). (2001). ASM Specialty Handbook: Carbon and Alloy Steels. ASM International.
14. Totten, G. E. (Ed.). (2006). Steel Heat Treatment Handbook. CRC Press.
15. Syahroni, N., Rochani, I., & Nizar, H. (2020). Experimental Study of Electrode Selection Effects on Mechanical Properties of Underwater Wet Welded Joints. Institut Teknologi Sepuluh Nopember. Penelitian ini membandingkan elektroda E6013, E6019, dan E7018 terhadap sifat mekanik sambungan las.
16. American Welding Society. Guide for Steel Hull Welding (AWS D3 Series) sebagai referensi pengelasan konstruksi kapal.
17. Dieter, G. E., & Bacon, D. (2020). Mechanical Metallurgy. McGraw-Hill.
18. ASM International. (2018). ASM Handbook Volume 8: Mechanical Testing and Evaluation.
19. ASM International. (2018). ASM Handbook Volume 6: Welding, Brazing and Soldering.
20. Eyres, D. J., & Bruce, G. J. (2012). Ship Construction (7th ed.). Butterworth-Heinemann.
21. Rawson, K. J., & Tupper, E. C. (2001). Basic Ship Theory. Butterworth-Heinemann.