

# Analisis Perbandingan Laju Korosi Pelat ASTM A36 antara Pengelasan di Udara Terbuka dan Pengelasan Basah Bawah Air dengan Variasi Tebal Pelat

Yanek Fathur Rahman, Heri Supomo

Jurusan Teknik Perkapalan, Fakultas Teknologi Kelautan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Jl. Arief Rahman Hakim, Surabaya 60111

*e-mail:* hsupomo@na.its.ac.id

**Abstrak**—Struktur konstruksi badan kapal lambat laun akan mengalami kerusakan. Ketika kapal mengalami kerusakan pada kondisi darurat, pekerjaan las bawah air menjadi hal yang penting. Melalui penelitian ini, dikaji perbandingan laju korosi pada sambungan las material baja karbon rendah yang diberi perlakuan pengelasan di udara terbuka dan pengelasan basah bawah air. Dari kedua media pengelasan tersebut diberikan variasi ketebalan pelat sebagai pembanding. Pekerjaan pengelasan basah bawah air dilakukan dengan menggunakan metode SMAW *Wet Welding* pada posisi 1G (datar) dengan elektroda AWS E-6013 yang dilapisi isolasi yang bersifat kedap air. Sedangkan untuk pengelasan di udara terbuka menggunakan elektroda AWS E-6013 tanpa pelapis tambahan. Dari data hasil pengujian korosi diketahui bahwa pengelasan basah bawah air menghasilkan nilai laju korosi yang lebih tinggi dibandingkan pengelasan di udara terbuka. Dan semakin tebal pelat, laju korosinya juga cenderung lebih tinggi, yaitu sebesar 0,38678 (mmpy) untuk pelat 8 mm, 0,41149 (mmpy) untuk pelat 10 mm, dan 0,44798 (mmpy) untuk pelat 12 mm pada pengelasan di udara terbuka. Sedangkan untuk pengelasan basah bawah air, nilai laju korosinya sebesar 0,57106 (mmpy) untuk pelat 8 mm, 0,61289 (mmpy) untuk pelat 10 mm, dan 0,68774 (mmpy) untuk pelat 12 mm.

**Kata kunci**— Laju Korosi, Pengelasan di Udara Terbuka, Pengelasan Basah Bawah Air, Tebal Pelat.

## I. PENDAHULUAN

Teknologi pengelasan saat ini banyak digunakan untuk membangun kapal dan memperbaiki kerusakan yang terjadi pada badan kapal. Kerusakan dapat berupa retakan bocoran atau korosi dimana dalam keadaan memaksa atau situasi darurat harus dilakukan perbaikan dengan menggunakan teknologi pengelasan bawah air. Metode yang lazim digunakan adalah SMAW (*Shielded Metal Arc Welding*) [1].

Pengelasan di udara terbuka masih merupakan prioritas utama, sedangkan pengelasan bawah air adalah alternatif yang dapat dipilih bilamana tidak memungkinkan untuk melakukan pengelasan di udara terbuka. Metode pengelasan SMAW adalah metode yang paling sering digunakan untuk pengelasan bawah air. Metode ini dipilih karena peralatan yang digunakan sederhana, murah, dan mudah untuk dipindahkan, karena pengelasan bawah air memiliki daerah akses yang terbatas dan metode ini paling sesuai untuk logam baja karbon rendah.

Pengelasan bawah air menciptakan kualitas lasan yang buruk karena selalu banyak menimbulkan cacat las. Selain itu, pengelasan bawah air memiliki kecepatan pendinginan yang tinggi dimana sangat mempengaruhi sifat mekanisnya, seperti lebih getasnya logam lasan, mengurangi keuletan, dan meningkatkan porositas. Ini merupakan beberapa perbedaan antara pengelasan bawah air dan pengelasan di udara terbuka. Perbedaan lainnya adalah pada pengelasan bawah air banyak kandungan hidrogen yang terdapat pada logam lasan sehingga menyebabkan *embrittlement*, retak, dan porositas. Dimana porositas dapat menyebabkan terjadinya korosi.

Ketika kapal beroperasi logam lasan akan mengalami korosi dalam waktu yang cepat atau lambat tergantung dari lingkungan pengoperasiannya. Air laut merupakan lingkungan yang sangat bersifat korosif. Korosi menimbulkan banyak kerugian karena mengurangi umur pakai barang.

## II. METODE

Setelah melakukan studi literatur yang berupa Tugas Akhir tahun lalu, Standart AWS, Teknologi Pengelasan Logam, dan *Corrosion Engineering*. Kemudian dilakukan *review* dan evaluasi terhadap data-data tersebut. Langkah selanjutnya adalah mempersiapkan alat, material, dan bahan. Peralatan yang perlu dipersiapkan dalam percobaan ini antara lain peralatan pengelasan SMAW, peralatan pemotong spesimen, sumber GGL sel tiga elektroda, peralatan uji tarik dan uji tekuk, dan peralatan foto mikro. Persiapan material meliputi persiapan pelat dengan ukuran (400x100x8), (400x100x10), dan (400x100x12). Sedangkan persiapan bahan meliputi persiapan larutan pengganti air laut sesuai standart ASTM D1141-90 sebagai media pada pengelasan basah bawah air dan NaCl dengan salinitas 33 % sebagai media elektrolit dalam pengujian korosi.

Langkah selanjutnya adalah melakukan pengelasan untuk menggabungkan setiap dua lembar pelat yang berukuran (400x100x8), (400x100x10), dan (400x100x12). Setiap variasi ketebalan pelat dibagi dalam dua media pengelasan, yaitu pengelasan di udara terbuka dan pengelasan basah bawah air. Kemudian melakukan pemotongan spesimen sebanyak dua buah untuk spesimen uji tarik dengan ukuran (200x35x10) dan pemotongan spesimen sebanyak empat buah untuk spesimen uji tekuk dengan ukuran (200x40x10). Spesimen uji tarik dan uji tekuk ini diambil dari pengelasan basah bawah air pelat 10 mm. Lalu melakukan pemotongan spesimen uji korosi berukuran (50x25x8 mm), (50x25x10 mm), dan (50x25x12 mm) sebanyak 4 buah (untuk masing-masing variasi tebal pelat dan media pengelasan). Sehingga jumlah total spesimen yang digunakan untuk uji korosi sebanyak 24 buah.

Setelah pembuatan spesimen, kemudian dilakukan pengujian tarik, pengujian tekuk, dan pengujian korosi. Setelah pengujian korosi, dilakukan pengamatan metalografi pada spesimen yang telah di uji korosi. Dari masing-masing variasi media pengelasan dan tebal pelat diambil satu spesimen untuk di foto mikro.

### III. HASIL DAN PEMBAHASAN

#### A. Analisis Pengaruh Media Pengelasan Terhadap Laju Korosi

Media pengelasan mempengaruhi laju korosi pada logam las. Dalam penelitian ini, media pengelasan yang digunakan adalah di udara terbuka dan di bawah air Berdasarkan hasil pengujian, didapatkan data laju korosi pada masing-masing media pengelasan yang diujikan. Berikut adalah hasil laju korosi berdasarkan media pengelasannya.

Tabel 1.  
Hasil Uji Korosi

Tebal Pelat	Laju Korosi Pengelasan di Udara Terbuka	Rata-rata Laju Korosi Pengelasan di Udara Terbuka	Laju Korosi Pengelasan Basah Bawah Air	Rata-rata Laju Korosi Pengelasan Basah Bawah Air (mm/year)
8	0.40358	0.38678	0.61393	0.57106
8	0.37049		0.57605	
8	0.36536		0.54451	
8	0.40768		0.54976	
10	0.47670	0.41149	0.62821	0.61289
10	0.40834		0.59439	
10	0.42365		0.61844	
10	0.33728		0.61052	
12	0.48537	0.44798	0.69683	0.68774
12	0.40950		0.68216	
12	0.43957		0.65412	
12	0.45748		0.71785	

Berdasarkan Tabel 1. di atas, diketahui bahwa pengelasan basah bawah air memiliki laju korosi yang lebih besar daripada pengelasan di udara terbuka. Hal ini disebabkan karena lingkungan dimana benda konstruksi akan dibuat juga merupakan salah satu faktor dalam kecepatan korosi. Korosi yang timbul akan dipengaruhi oleh media pengkorosif yang terkandung dalam lingkungan tersebut [2]. Selain hal tersebut di atas, pada pengelasan basah bawah air banyak terdapat cacat las (*discontinuitas*), baik cacat pada permukaan maupun cacat di dalam. Cacat ini terbentuk karena pengelasan basah bawah air mengalami kontak langsung dengan air, maka air di sekitar area pengelasan menjadi mendidih dan terionisasi menjadi gas oksigen dan hidrogen. Sebagian gas ini melebur ke area *weld metal* tapi sebagian besar lainnya akan mengalir ke udara. Mekanisme ini dimulai dengan atom hidrogen tunggal menyebar melalui logam. Pada suhu tinggi,

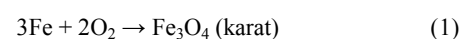
peningkatan kelarutan hidrogen memungkinkan hidrogen untuk berdifusi ke dalam logam (atau hidrogen dapat berdifusi di pada suhu rendah, dibantu oleh gradien konsentrasi). Kemudian atom hidrogen kembali bergabung dalam rongga kecil dari matriks logam untuk membentuk molekul hidrogen. Lingkungan yang kotor atau larutan yang mengendap di dalam celah adalah merupakan unsur *permiabale* dan *difusif* terhadap terjadinya media korosif yang terperangkap di dalam celah. Zat yang termasuk deposit ini diantaranya kotoran, karat, dan bentuk padat kecil lainnya.

#### B. Analisis Pengaruh Tebal Pelat Terhadap Laju Korosi

Dari data pengujian laju korosi di atas terlihat bahwa semakin tebal suatu pelat kecenderungan laju korosinya semakin naik walaupun tingkat kenaikannya relatif kecil. Hal ini diakibatkan karena semakin tebal pelat proses pengelasannya akan mengalami proses panas yang berubah-ubah. Karena dalam pengelasan pelat tebal terdiri dari beberapa layer. Oleh sebab itu, hal ini sangat erat kaitannya dengan difusi Hidrogen, dimana Hidrogen mempunyai tingkat kelarutan pada besi dalam keadaan cair lebih besar dibandingkan apabila besi dalam keadaan padat. Kelarutannya Hidrogen tersebut menurun seiring dengan turunnya temperatur. Semakin tinggi masukan panas (*Heat Input*) pada logam cair, maka difusi Hidrogen semakin besar dan akan terlepas dalam jumlah besar pula pada saat proses pendinginan. Komponen Hidrogen akan berubah selama proses pendinginan (pembekuan) logam las. Hal ini dapat terjadi karena atom H yang kecil mudah larut ke dalam besi. Akan tetapi, jika kecepatan pendinginan cukup tinggi, maka jumlah atom H yang terjebak pada besi akan tetap. Ion Hidrogen di dalam logam las dapat berevolusi membentuk  $H_{2(g)}$ , gelembung-gelembung gas yang terjebak di dalam logam las inilah yang akan membentuk pori-pori. Selain menyebabkan timbulnya cacat dalam, hal ini juga dapat menyebabkan cacat-cacat las yang lain seperti retak, inklusi, dan sejenisnya. Di samping itu atom H yang tersebar pada permukaan pelat akan bereaksi dengan atom Cl pada media cairan atau atmosfer, kemudian membentuk suatu molekul bebas di atmosfer. Hal ini yang menyebabkan korosi pada pelat lapisan las tersebut.

Inklusi gas yang lain adalah masuknya Oksigen yang terperangkap di dalam logam las akibat pengaruh lingkungan dan menyebabkan lubang-lubang halus karena gas tersebut tidak larut dalam logam padat. Hal ini dapat terjadi karena perbedaan batas kelarutan antara logam cair dan logam padat pada suhu pembekuan, gas yang terbentuk adalah gas Hidrogen dan gas Nitrogen. Yang kedua, terbentuknya gas karena adanya reaksi kimia di dalam logam las, gas tersebut adalah gas CO. Dan yang ketiga, penyusupan gas ke dalam atmosfer busur.

Proses deoksidasi dalam logam las juga harus dikurangi, karena gas Oksigen dapat bereaksi dengan logam, seperti yang terjadi pada persamaan kimia berikut ini :



Kadar Oksigen diusahakan diturunkan serendah-rendahnya, selain dapat menurunkan sifat ketangguhan logam juga dapat berpengaruh pada proses korosi, dimana oksigen tersebut akan bereaksi dengan udara dan air membentuk karat (*rust*).

C. Analisis Hasil Uji Tarik

Untuk mengetahui kualitas sambungan pengelasan basah bawah air, maka dilakukan pengujian tarik. Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui kuat tarik dan kuat luluh dari sambungan las tersebut. Hasil pengujian tarik adalah sebagai berikut.

Tabel 2. Hasil Uji Tarik

Tension Test								
No.	Code Material	Specification Sample				Tensile Test Result		
		Width (mm)	Thick (mm)	Dia. (mm)	C S A (mm <sup>2</sup> )	Yield Strength (MPa)	Ultimate Strength (MPa)	Breaking
1.	BA 1	20.2	8.45	-	170.69	363.231	483.332	Base Metal
2.	BA 2	20.12	8.68	-	174.64	332.117	483.852	Weld Metal
No.		F. Yield			F. Ultimate			
		KN		N		KN		N
1.		62		62000		82.5		82500
2.		58		58000		84.5		84500

Dari data pada Tabel 2. di atas dapat diketahui bahwa dari dua spesimen uji tarik tersebut, satu spesimen patah di daerah base metal dan satu spesimen yang lain patah di daerah weld metal. Kuat tarik spesimen yang patah di daerah base metal (483.332 MPa), sedangkan kuat tarik spesimen yang patah di daerah weld metal (483.852 MPa). Berdasarkan data pengujian tersebut, hasil pengelasan basah bawah air dapat diterima karena kuat tarik spesimen yang patah di daerah weld metal lebih tinggi daripada kuat tarik minimum material base metal ASTM A36.

D. Analisis Hasil Uji Tekuk

Untuk mengetahui kualitas sambungan las dari material, maka dilakukan pengujian tekuk. Jenis pengujian yang dilakukan adalah *Root Bend* dan *Face Bend*. Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui keliatan dan mendeteksi cacat pada bagian logam las tersebut. Hasil pengujian adalah sebagai berikut.

Tabel 3. Hasil Uji Tekuk

BENDING TEST, ANGLE OF BEND : 180°, DIA MANDREL : 50 mm					
No.	Test Piece Code	Lebar (mm)	Tebal (mm)	Open defect (mm)	Crack (mm)
1	RB 1	38.78	8.71	-	-
2	FB 1	38.53	8.42	-	-
3	RB 2	38.48	8.37	0,95	-
4	FB 2	38.59	8.52	-	-

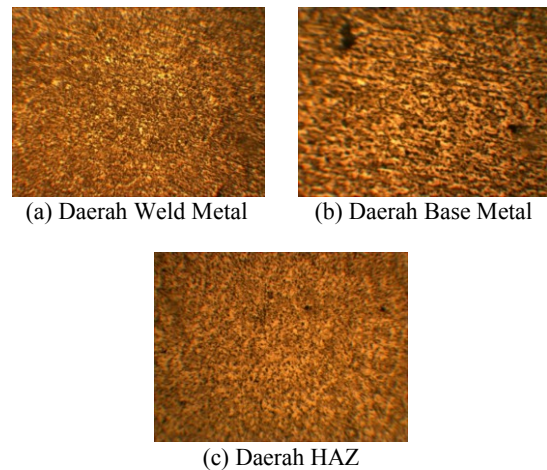
Dari Tabel 3. di atas dapat diketahui bahwa hanya 1 (satu) spesimen pengelasan yang mengalami cacat las berupa *open defect*. Cacat las ini dapat terjadi karena pada pengelasan basah bawah air, busur las mengalami kontak langsung dengan air sehingga menyebabkan air di sekitar area pengelasan menjadi mendidih dan terionisasi menjadi gas oksigen dan hidrogen. Sebagian gas ini melebur ke area *weld metal* dan menimbulkan celah-celah kecil. Sehingga, ketika dilakukan uji tekuk akan mengalami *open defect*. Ketika sudut tekuk belum mencapai 180°, indikasi cacat belum terlihat. Namun ketika mencapai sudut tekuk 180°, tampak keretakan-keretakan pada logam lasnya.

Berdasarkan data hasil pengujian tekuk, hasil pengelasan basah bawah air tersebut dapat diterima karena cacat yang ada masih diizinkan yaitu kurang dari  $\frac{1}{4}$  inchi (6,375 mm) untuk *open defect (edge)* dan kurang dari  $\frac{1}{8}$  inchi (3,125 mm) untuk *open defect* [3].

E. Analisis Struktur Mikro

Setelah dilakukan pengamatan struktur mikro, maka didapatkan gambar struktur mikro untuk masing-masing specimen, dimana pengambilan foto untuk setiap specimen diambil pada bagian *Weld Metal*, *Base Metal*, dan HAZ. Berikut ini adalah foto mikro dari pengelasan di udara terbuka dan Pengelasan Basah bawah Air.

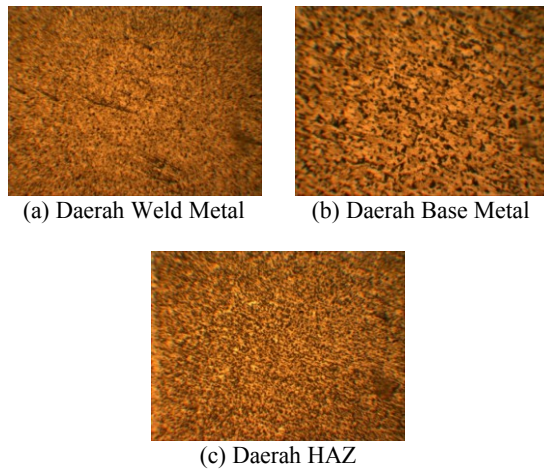
• Untuk Pengelasan di Udara terbuka Pelat 8 mm



Gambar 1. Foto Struktur Mikro pada Pengelasan di Udara Terbuka Pelat 8 mm

Dari Gambar 1. di atas, tampak bahwa pada daerah *weld metal*, *base metal*, dan HAZ tidak terjadi perbedaan yang mencolok. Hal ini dikarenakan karena pada daerah *weld metal*, *base metal*, dan HAZ mengalami pencairan dan pendinginan normal. Secara keseluruhan dari masing-masing foto mikro terlihat bahwa untuk daerah *weld metal*, *base metal*, dan HAZ hasil pengelasan di udara terbuka adalah sama, yaitu ferrit dan perlit. Untuk ferrit berwarna putih (terang), sedangkan perlit berwarna hitam (gelap).

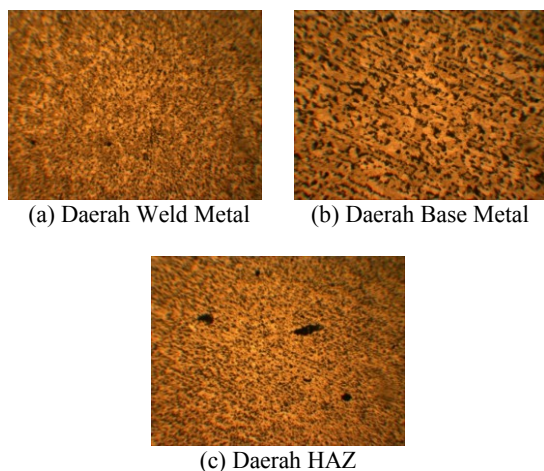
• Untuk Pengelasan di Udara terbuka Pelat 10 mm



Gambar 2. Foto Struktur Mikro pada Pengelasan di Udara Terbuka Pelat 10 mm

Sama halnya dengan Gambar 1. Dari Gambar 2. di atas tampak bahwa pada daerah *weld metal*, *base metal*, dan HAZ tidak terjadi perbedaan yang mencolok. Secara keseluruhan dari masing-masing foto mikro terlihat bahwa untuk daerah *weld metal*, *base metal*, dan HAZ hasil pengelasan di udara terbuka adalah sama, yaitu ferrit dan perlit.

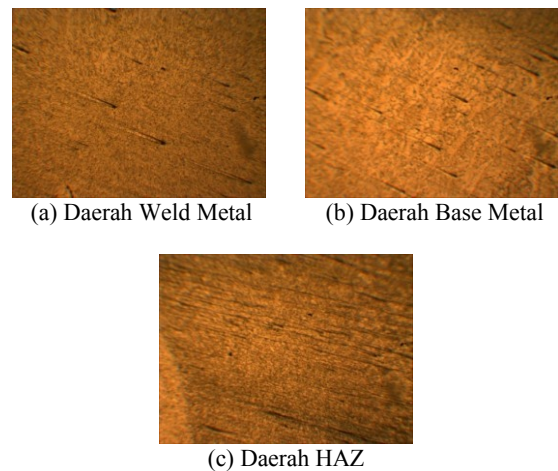
• Untuk Pengelasan di Udara terbuka Pelat 12 mm



Gambar 3. Foto Struktur Mikro pada Pengelasan di Udara Terbuka Pelat 12 mm

Tidak berbeda dengan Gambar 1. dan 2. Dari Gambar 3. di atas tampak bahwa pada daerah *weld metal*, *base metal*, dan HAZ tidak terjadi perbedaan yang mencolok. Secara keseluruhan dari masing-masing foto mikro terlihat bahwa untuk daerah *weld metal*, *base metal*, dan HAZ hasil pengelasan di udara terbuka adalah sama, yaitu ferrit dan perlit.

• Untuk Pengelasan Basah Bawah Air Pelat 8 mm

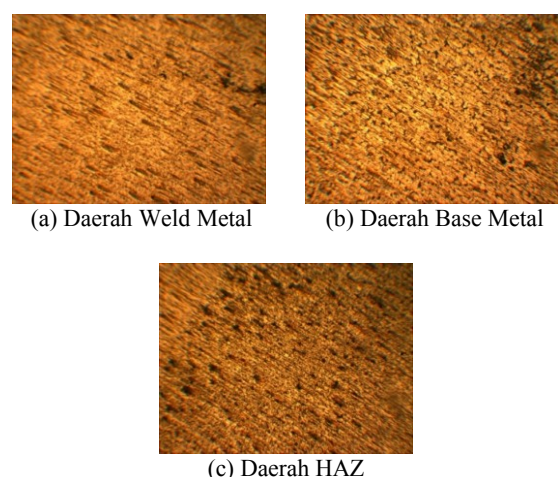


Gambar 4. Foto Struktur Mikro pada Pengelasan Basah Bawah Air Pelat 8 mm

Pada Gambar 4. di atas, dapat dilihat bahwa pada daerah *weld metal*, *base metal*, dan HAZ, struktur mikro pengelasan basah bawah air lebih kecil, lebih halus, dan lebih rapat dibandingkan pengelasan di udara terbuka. Perbedaan ukuran butir ini disebabkan karena adanya perbedaan laju pendinginan, dimana laju pendinginan pengelasan basah bawah air lebih cepat daripada laju pendinginan pengelasan di udara terbuka.

Pengelasan pada media bawah air mengalami pemanasan sampai temperatur yang tinggi dan kemudian mengalami proses pendinginan yang sangat cepat. Hal ini menyebabkan ferrit dan perlit yang terbentuk dari austenit tidak sempat bertransformasi secara sempurna. Oleh karena itu, struktur mikro yang terbentuk dari pengelasan basah bawah air lebih kecil dan lebih rapat.

• Untuk Pengelasan Basah Bawah Air Pelat 10 mm



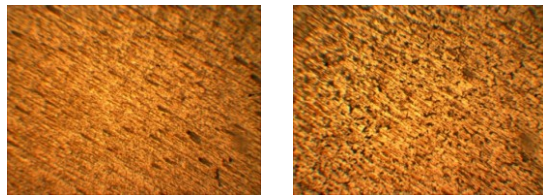
Gambar 5. Foto Struktur Mikro pada Pengelasan Basah Bawah Air Pelat 10 mm

Sama seperti pada Gambar 4. Pada Gambar 5. di atas dapat dilihat bahwa pada daerah *weld metal*, *base metal*, dan HAZ, struktur mikro pengelasan basah bawah air lebih kecil, lebih



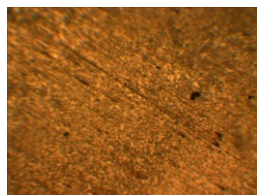
halus, dan lebih rapat dibandingkan pengelasan di udara terbuka.

• Untuk Pengelasan Basah Bawah Air Pelat 12 mm



(a) Daerah Weld Metal

(b) Daerah Base Metal



(c) Daerah HAZ

Gambar 6. Foto Struktur Mikro pada Pengelasan Basah Bawah Air Pelat 12 mm

Tidak berbeda dengan Gambar 4. dan 5. Pada Gambar 6. di atas dapat dilihat bahwa pada daerah *weld metal*, *base metal*, dan HAZ, struktur mikro pengelasan basah bawah air lebih kecil, lebih halus, dan lebih rapat dibandingkan pengelasan di udara terbuka.

#### IV. KESIMPULAN

Kesimpulan yang dapat diambil dari penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Pengelasan basah bawah air memiliki laju korosi yang lebih tinggi daripada pengelasan di udara terbuka. Untuk pengelasan basah bawah air, nilai laju korosi berturut-turut pada pelat 8 mm, 10 mm, dan 12 mm adalah sebesar 0,57106 mmpy, 0,61289 mmpy, dan 0,68774 mmpy. Sedangkan untuk pengelasan di udara terbuka, nilai laju korosi berturut-turut pada pelat 8 mm, 10 mm, dan 12 mm adalah sebesar 0,38678 mmpy, 0,41149 mmpy, dan 0,44789 mmpy. Pengelasan basah bawah air memiliki nilai laju korosi yang lebih tinggi diakibatkan karena pada hasil pengelasan tersebut banyak terdapat cacat dan celah-celah yang dapat berpotensi untuk menimbulkan korosi.
2. Ketebalan pelat tidak mempengaruhi secara signifikan terhadap besarnya laju korosi. Meskipun demikian, tetap ada perbedaan meskipun nilainya relatif kecil. Untuk pelat 8 mm, nilai laju korosi pada pengelasan di udara terbuka sebesar 0,38678 mmpy, sedangkan untuk pengelasan basah bawah air nilai laju korosinya sebesar 0,57106 mmpy. Untuk pelat 10 mm, nilai laju korosi pada pengelasan di udara terbuka sebesar 0,41149 mmpy, sedangkan untuk pengelasan basah bawah air nilai laju korosinya sebesar 0,61289 mmpy. Untuk pelat 12 mm, nilai laju korosi pada pengelasan di udara terbuka sebesar 0,44789 mmpy, sedangkan untuk pengelasan basah bawah air nilai laju korosinya sebesar

0,68774 mmpy. Dari kedua kesimpulan tersebut, maka hasil pengujian dari penelitian ini mendukung hipotesis.

#### UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih Laboratorium Teknologi Produksi dan Manajemen Perkapalan atas segala fasilitas yang telah diberikan kepada penulis sehingga penulis dapat menyelesaikan penelitian ini.

#### DAFTAR PUSTAKA

- [1] A. Pradityana, *Tugas Akhir "Komparasi Hasil Pengelasan SMAW dalam Air Tawar, Air Laut, dan Udara"*. Surabaya: Jurusan Teknik Material dan Metalurgi, FTI, ITS (2007) 1.
- [2] H. Supomo, *Buku Ajar Korosi*. Surabaya: ITS (2003) Modul 3.
- [3] American Welding Society, *Structural Welding Code—Steel, AWS D1.1/D1.1M*. Miami, Florida: ANSI (2010) 128.