

Analisis Pengelasan SMAW pada Baja ASTM A36 dengan Variasi Elektroda Terhadap Sifat Mekanik dan Ketahanan Biokorosi di Lingkungan Laut

Muhammad Sultanul Azdkar, Herman Pratikno dan Harmin Sulistiyaning Titah

Departemen Teknik Kelautan, Fakultas Teknologi Kelautan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS)

e-mail: hermanp@oe.its.ac.id

Abstrak—Pembangunan atau rekayasa industri maritim khususnya pembuatan bangunan lepas pantai pada saat ini sebagian besar menggunakan teknik pengelasan logam. Sambungan las pada material baja tidak lepas dengan yang namanya korosi. Korosi dapat menyebabkan menurunnya kekuatan material dan kerusakan pada konstruksi. Korosi adalah penurunan mutu logam yang disebabkan oleh reaksi elektrokimia antara logam dengan lingkungan sekitarnya. Salah satu penyebab terjadinya korosi adalah bakteri. Bakteri hidup di lingkungan laut secara luas pada habitatnya dan membentuk koloni lalu menempel pada permukaan logam dalam bentuk lapisan tipis. Penelitian ini merupakan eksperimen laju korosi terhadap sambungan las tipe SMAW pada baja ASTM A36 dengan variasi elektroda. Variasi elektroda yang dipilih adalah AWS E6010, AWS E6013, dan AWS E6019. Material sambungan las dikorosi menggunakan metode *immersion corrosion test* yaitu di rendam dengan menggunakan air laut buatan dengan salinitas 3,5% yang telah ditambahkan bakteri dan tanpa penambahan bakteri. Metode yang digunakan untuk mengambil data laju korosi sambungan las menggunakan metode *weight loss*. Laju korosi paling tinggi yaitu pada material sambungan las AWS E6019 dengan penambahan bakteri *Thiobacillus ferrooxidans* sebesar 9,79757 mpy, sedangkan laju korosi terendah pada jenis elektroda E6013 tanpa penambahan bakteri sebesar 7,48178 mpy. Hal ini membuktikan bahwa penambahan bakteri dapat mempercepat laju korosi.

Kata Kunci—Bakteri, Pengelasan, Korosi, *weight loss*.

I. PENDAHULUAN

PEMBANGUNAN atau rekayasa industri maritim khususnya pembuatan bangunan lepas pantai pada saat ini sebagian besar menggunakan teknik pengelasan logam. Teknik pengelasan ini bukan merupakan hal baru tetapi merupakan sesuatu kebutuhan pokok. Oleh sebab itu proses pengelasan harus dilakukan dengan metode yang tepat untuk mendapatkan hasil yang maksimal serta memuaskan.

Pengelasan adalah suatu teknik penyambungan antar logam menjadi satu dan kuat. Berdasarkan definisi dari DIN (*Deutch Industrie Normen*) las adalah ikatan metalurgi pada sambungan logam paduan yang dilaksanakan dalam keadaan lumer atau cair. Pada saat ini ada 40 jenis pengelasan, salah satunya adalah *Shielded Metal Arc Welding* (SMAW) atau las elektroda terbungkus. Namun, sambungan las pada material baja tidak lepas dengan yang namanya

korosi. Korosi dapat menyebabkan menurunnya kekuatan material dan kerusakan pada konstruksi.

Korosi adalah penurunan mutu logam yang disebabkan oleh reaksi elektrokimia antara logam dengan lingkungan sekitarnya [1]. Korosi juga dapat diartikan sebagai peristiwa alamiah yang terjadi pada bahan dan merupakan proses kembalinya bahan ke kondisi semula saat bahan ditemukan dan diolah dari alam [2]. Cepat lambatnya suatu material terkorosi erat kaitannya dengan laju korosi sedangkan laju korosi sendiri pada lingkungan netral normalnya adalah sebesar 1 mpy atau kurang. Laju korosi dipengaruhi oleh beberapa faktor antara lain: air, kandungan gas dan padatan terlarut, temperatur, seleksi material, pH, bakteri pereduksi atau *Sulfat Reducing Bacteria* [3].

Pada lingkungan laut laju korosi lebih cepat mengalami peningkatan, hal tersebut dikarenakan air laut mengandung zat terlarut yang mampu melarutkan zat lain dalam jumlah yang lebih besar daripada zat cair lainnya. Zat-zat terlarut meliputi garam-garam anorganik, senyawa organik yang berasal dari organisme hidup (bakteri) dan gas-gas terlarut. Salah satu penyebab terjadinya korosi adalah bakteri. Bakteri hidup di lingkungan laut secara luas pada habitatnya dan membentuk koloni lalu menempel pada permukaan logam dalam bentuk lapisan tipis.

Bio-korosi adalah hasil interaksi sinergis dari permukaan logam, produk korosi abiotik, sel bakteri dan metabolit sel [4]. Mikroorganisme yang terlibat dalam biocorrosion logam seperti besi, tembaga dan aluminium dan paduannya secara fisiologis beragam. Jenis utama bakteri yang terkait dengan kegagalan korosi besi cor, struktur baja ringan dan stainless adalah bakteri pereduksi sulfat, bakteri sulfuroksidising, bakteri pengoksidasi / pereduksi besi, bakteri pengoksidasi mangan dan bakteri yang mensekresikan asam organik dan eksopolis / *extracellular polymeric substans* (EPS) [5]. Bakteri pengoksidasi sulfur, metanogen dan bakteri pengurang nitrat telah dilaporkan berperan dalam bio-korosi logam. Namun, bakteri pereduksi sulfat telah lama dilaporkan sebagai penyebab utama dalam bio-korosi permukaan logam. Korosi yang dipengaruhi mikroba atau bio-korosi diketahui mempengaruhi perusahaan pembangkit listrik tenaga nuklir dan bahan bakar, *pipeline*, persenjataan, ladang minyak dan industri lepas pantai [6]. Bio-korosi merupakan masalah besar bagi industri perminyakan. Sekitar 20-30 % dari deposit korosi terkait dengan aktivitas mikroorganisme.

Kegiatan mikroorganisme mempengaruhi integritas, keamanan dan realibilitas operasi pipa minyak bumi [7].

Pada eksperimen ini akan meneliti variasi elektroda sambungan las tipe Shielded Metal Arc Welding (SMAW) terhadap sifat mekanik dan ketahanan biokorosi pada lingkungan laut. Elektroda yang digunakan adalah AWS E6010, AWS E6013, dan AWS E6019 karena elektroda ini banyak terdapat dipasaran dan merupakan elektroda yang sering digunakan pada pengelasan SMAW untuk bangunan lepas pantai. Material yang digunakan dalam penelitian ini adalah baja ASTM A36. ASTM A36 adalah paduan baja karbon yang banyak digunakan dalam industri bangunan lepas pantai. Dalam penelitian ini menggunakan air laut buatan dengan salinitas 3,5 % dengan penambahan bakteri.

II. METODE PENELITIAN

A. Studi Literatur

Studi literatur dilakukan dengan mengumpulkan dan mempelajari buku-buku, jurnal nasional maupun internasional, dan laporan tugas akhir alumni ITS ataupun dari institusi lain yang berhubungan dengan rumusan masalah, dasar teori, dan ruang lingkup dari penelitian ini. Studi literatur berguna sebagai referensi dan acuan dalam pengerjaan tugas akhir ini.

B. Persiapan Pengelasan

1. Persiapan Material Baja ASTM A36

Material yang digunakan pada penelitian ini adalah material baja ASTM A36 *mild steel*. Spesimen uji dibuat berbentuk persegi panjang dengan dimensi ukuran sebagai berikut Panjang : 300 mm, Lebar : 150 mm dan Tebal : 6 mm dengan bentuk kampuh *Single V-Groove* 60°.

2. Persiapan WPS (*Welding Procedure Spesifications*)

WPS (*Welding Procedure Spesifications*) dipersiapkan sebagai panduan tertulis yang berisi prosedur pengelasan yang akan dilakukan sehingga dihasilkan hasil lasan yang sesuai dengan yang diinginkan. Pembuatan WPS mengacu pada Standard AWS D1.1. tentang prosedur pengelasan baja.

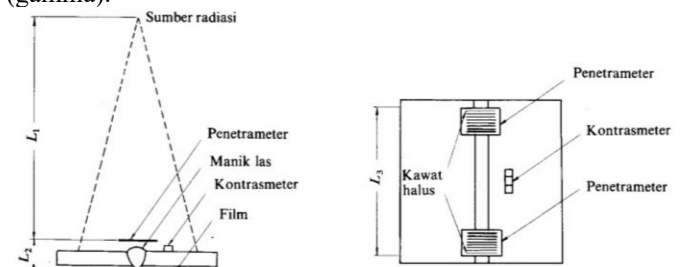
Pengelasan pada penelitian ini yang dilakukan di Laboratorium Welding Centre Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya yaitu dengan *Welding Procedure Specification* (WPS) sebagai berikut :

Spesifikasi Material	: ASTM A36
Dimensi	: 300 mm x 150 mm x 6 mm
Proses Pengelasan	: SMAW
Tipe Sambungan	: Butt Joint Single V- Groove
Posisi Pengelasan	: 1G
Elektroda	: AWS E6010, AWS E6013, & AWS E6019
Diameter Filler Metal	: Ø 2,6 mm
Arus Pengelasan	: DCSP
Jumlah Layer	: 4 Layer
Metode Pembersihan	: Gridding & Wire Brush
Shielding Gas	: N/A
Purge Gas	: N/A
Pre Heat & Post Heat	: N/A

Welder : Rahmat (Welder PPNS)

C. Pengujian Radiografi

Setelah proses pengelasan selesai dilakukan, selanjutnya dilakukan inspeksi terhadap hasil pengelasan tersebut untuk mengetahui cacat las yang terjadi. Inspeksi yang dilakukan adalah uji radiografi pada hasil pengelasan yang dilakukan di PT. Robutech Surabaya yang beralamat di Semolowaru Selatan V No.25, Sukolilo, Kota Surabaya, Jawa Timur. Hasil uji radiografi dilakukan untuk mengetahui cacat las yang terjadi pada hasil pengelasan secara menyeluruh baik yang terdapat di permukaan las dan di dalam hasil pengelasan. Pada uji proses pengujian sinar yang digunakan adalah sinar γ (gamma).



Gambar 1. Skema Pengujian Radiografi

D. Pengujian Kekuatan Tarik

Proses Pengujiannya ialah spesimen uji dipasang pada mesin tarik, setelah itu spesimen uji dijepit dengan pengekrum (grip) dari mesin tarik pada ujung-ujungnya dan ditarik kearah memanjang secara perlahan sampai putus. Selama penarikan setiap saat tercatat dengan grafik yang tersedia pada mesin tarik, besarnya gaya tarik yang bekerja sebagai akibat dari gaya tarik tersebut.



Gambar 2. Proses pengujian kekuatan tarik.

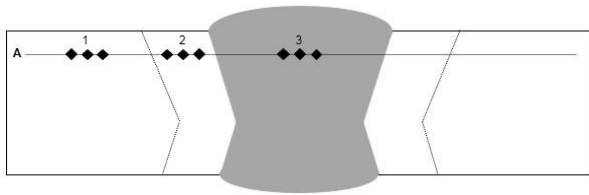
E. Pengamatan Makrostruktur

Pengujian makro dilakukan di Lab. Konstruksi dan Kekuatan Kapal Departemen Teknik Perkapalan FTK-ITS. Pengujian makro merupakan pengujian yang dilakukan untuk mengetahui daerah-daerah dari hasil proses pengelasan, seperti pada daerah HAZ (*Heat Affected Zone*), *Fusion Line*, dan *Weld Metal*. Dari hasil pengujian makro ini dapat diinterpretasi area - area yang terbentuk akibat proses pengelasannya, antara lain lebar HAZ dan luasan dari logam las. Pengujian makro ini dilakukan dengan teknik yaitu menghaluskan dengan cara dipoles (*polishing*) satu sisi dari potongan melintang untuk spesimen uji makro dengan menggunakan kertas gosok (*abrasive paper*) dari grade 80,

120, 240, 320, 400, 500, 600, 800, 1000, 1200, 1500, 2000. Apabila permukaan material sudah mengkilap, maka bisa dilanjutkan tahap etsa (*etching*). Fungsi etsa adalah untuk mengikis permukaan spesimen uji yang akan diamati sehingga daerah hasil pengelasan seperti HAZ (*Heat Affected Zone*), *Fusion Line*, dan *Weld Metal* dapat terlihat dan diamati.

F. Pengujian Kekerasan

Pada kasus ini digunakan jenis pengujian kekerasan Vickers. Dari pengujian Vickers ini sangat sering digunakan karena kepresisian dari indentor berlian piramidanya yang bisa digunakan untuk mengindentasi daerah yang sempit. Pengujian kekerasan ini digunakan untuk mencari tingkat kekerasan dari material sehingga dari harga-harga kekerasan tersebut kita dapat mengetahui apakah material ductile atau brittle. Semakin tinggi nilai kekerasan yang dimiliki oleh suatu material maka material tersebut Semakin brittle. Uji kekerasan yang dilakukan dapat mengetahui kekerasan pada daerah weld metal, base metal dan HAZ.

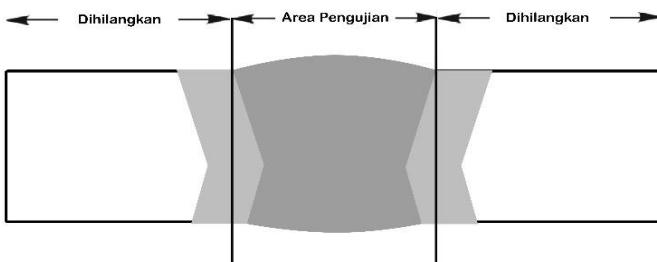


Gambar 3. Spesimen Pengujian kekerasan.

G. Persiapan Pengujian Korosi

Prosedur pengujian korosi adalah sebagai berikut:

1. Menyiapkan larutan uji pengganti air laut dengan salinitas 3,5 % mengacu pada (ASTM D1 141-90,2003) [8].
2. Menambahkan bakteri *Thiobacillus Ferooxidans* pada larutan uji dengan metode Turbidimetri.
3. Setelah larutan uji siap spesimen dimasukkan dalam larutan selama 7 hari, dengan pencatatan laju korosi setiap hari.
4. Spesimen uji kemudian ditimbang sebelum dan sesudah pengujian untuk menghitung *weight loss* atau berat yang hilang akibat korosi dengan ukuran spesimen 10x10x6 mm.



Gambar 4. Spesimen uji laju korosi.

H. Prediksi laju korosi (*weight loss*)

Prediksi laju korosi dilakukan dengan metode *weight loss* atau kehilangan berat. Perhitungan laju korosi dapat dilakukan setelah proses perendaman selesai dilakukan. Metode *weight loss* atau kehilangan berat mengacu pada ASTM G1-90 [9].

$$Laju\ korosi\ (mpy) = \frac{K \times W}{D \times A \times T} \tag{1}$$

Dimana :

- W = Kehilangan berat (g)
- K = Konstanta (mpy = 3,45 x 10⁶)
- D = kerapatan benda uji (g/cm³)
- A = Luas permukaan yang terkorosi (cm²)
- T = Waktu exposure (Jam)

I. Pengamatan mikrostruktur

Spesimen yang telah dilakukan pengujian korosi akan di ambil foto mikrostruktur pada permukaan lasannya. Spesimen yang difoto adalah spesimen yang dilakukan penambahan bakteri dan tidak menambahkan bakteri dengan tiap jenis elektroda. Spesimen yang difoto akan ditunjukkan dengan perbesaran 100x. Pelaksanaan foto mikrostruktur ini dilakukan di laboratorium SEM-Departemen Teknik Material dan Metalurgi FTI ITS. Hasil laju korosi dan foto mikrostruktur kemudian dianalisa sehingga dapat dihasilkan kesimpulan.

III. HASIL DAN DISKUSI

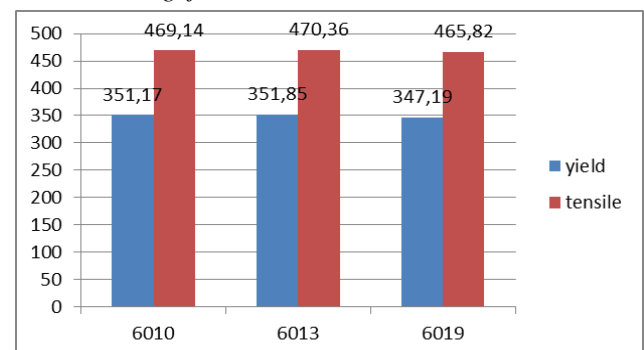
A. Hasil Pengujian Radiografi

Pada hasil pengelasan dengan elektroda AWS E6013 didapatkan jenis cacat porosity. Pada acceptance criteria berdasarkan ASME Section IX Non Destructive Testing in Welder Qualification, jenis cacat porosity termasuk kategori rounded indications. Diameter porosity yang terdapat dari hasil pengelasan tidak boleh lebih dari 1/5 t atau 1.2 mm untuk ketebalan 6 mm. Pada hasil yang diperoleh, didapatkan porosity sebesar 0.55 mm. Sehingga dapat disimpulkan bahwa hasil pengelasan ini memenuhi kriteria yang diberikan.



Gambar 5. Hasil Pengujian NDT elektroda E6013.

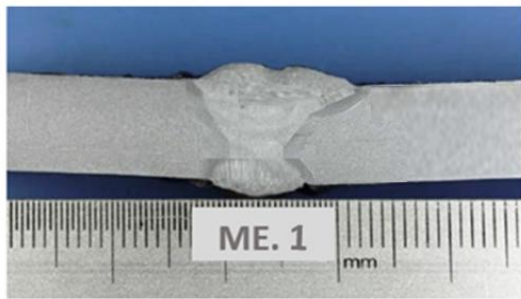
B. Hasil Pengujian Kekuatan Tarik



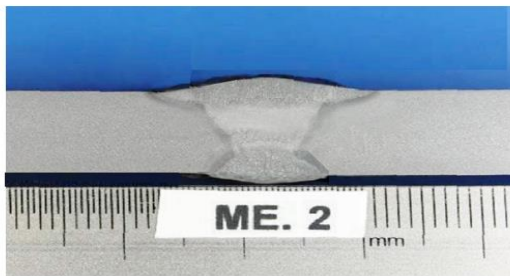
Gambar 6. Perbandingan Nilai Yield Strength dan Nilai Tensile Strength Pada Variasi Elektroda

Pengujian kekuatan tarik pada pengelasan menggunakan elektroda AWS E6010, AWS E6013, dan AWS E6019 berturut-turut mempunyai nilai *yield strength* 351.17 MPa, 351.85 Mpa, dan 347.19 MPa serta nilai *tensile strength* 469.14 Mpa, 470.36 Mpa, dan 465.82 Mpa. Dapat disimpulkan bahwa pengelasan tersebut memenuhi kriteria, ini dikarenakan kekuatan tarik yang dimilikinya lebih besar dari kekuatan tarik minimum material baja ASTM A36 sebesar 250 MPa untuk *yield strength* dan 400 MPa untuk *tensile strength*. Selain itu pengelasan menggunakan elektroda AWS E6010, AWS E6013, dan AWS 6019 seluruhnya mempunyai daerah breaking point pada base metal, ini berarti seluruhnya memenuhi kriteria yang diberikan, mengingat daerah breaking point yang diterima harus pada daerah base metal.

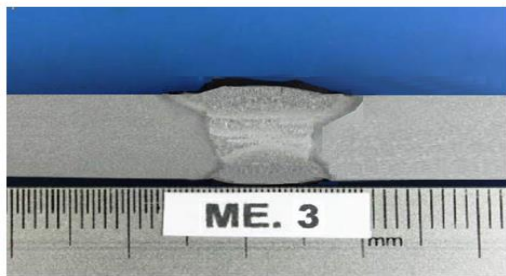
C. Hasil Pengujian Makrostruktur



Gambar 8. Foto Makro Elektroda E6010.



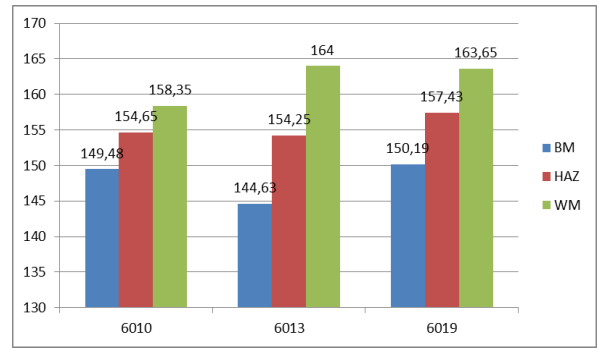
Gambar 9. Foto Makro Elektroda E6013.



Gambar 10. Foto Makro Elektroda E6019.

Setelah dilakukan foto makro pada spesimen uji diatas dapat kita ketahui daerah fusion line dan HAZ yang terbentuk dari perbesaran lensa. Pada ketiga spesimen semuanya memiliki ukuran yang berbeda. Untuk spesimen ME.1 sampai dengan ME.3 heat input nya memiliki nilai yang berbeda. Sehingga pada hasil foto makro dapat kita lihat spesimen yang memiliki luasan HAZ paling besar adalah spesimen ME.1 karena spesimen tersebut memiliki heat input paling besar dari keseluruhan spesimen yang ada.

D. Hasil Pengujian Kekerasan



Gambar 11. Perbandingan Nilai Kekerasan Pada Variasi Elektroda

Berdasarkan grafik tersebut dapat dilihat untuk nilai kekerasan tertinggi pada logam las (weld metal) terdapat pada variasi pengelasan dengan elektroda E6013 yaitu sebesar 164.00 VHN. Pada daerah pengaruh panas (Heat Affected Zone), nilai kekerasan tertinggi terjadi pada pengelasan dengan elektroda E6019 yaitu sebesar 157.43 VHN. Sedangkan pada daerah logam induk (base metal), nilai kekerasan tertinggi terjadi pada pengelasan dengan elektroda E6019 yaitu sebesar 150.19 VHN.

E. Hasil Pengujian Biokorosi

Pengujian Biokorosi ini dilakukan di Laboratorium Remediasi Departemen Teknik Lingkungan ITS Surabaya. Pengujian korosi dengan metode perendaman (*immersion corrosion test*) terhadap *weld metal* baja ASTM A36 dengan variasi elektroda dengan konsentrasi larutan 35% dimana pengujian dilakukan selama satu minggu (168 jam) dengan waktu pengamatan berat yang hilang atau *weight loss* setiap hari.

Data hasil pengujian *immersion corrosion test* terhadap *weld metal* baja ASTM A36 dengan variasi elektroda dan konsentrasi 35% dengan pengaruh penambahan bakteri dan tidak ada penambahan bakteri selama satu minggu dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Data Hasil *Weight Loss* Pengujian Korosi

No	Jenis Elektroda	Bakteri	Berat Spesimen (gr)							Weight Loss	
			Awal	1	2	3	4	5	6		7
1	E6010	Non Bakteri	5.8098	5.808	5.806	5.804	5.8019	5.7999	5.7979	5.796	0.0138
2	E6010	Thiobacillus Ferrooxidans	5.5862	5.5843	5.5822	5.5799	5.5773	5.5749	5.5727	5.5707	0.0155
3	E6013	Non Bakteri	6.0156	6.0139	6.012	6.0102	6.0083	6.0066	6.0048	6.003	0.0126
4	E6013	Thiobacillus Ferrooxidans	5.2966	5.2946	5.2905	5.2905	5.2882	5.286	5.284	5.282	0.0146
5	E6019	Non Bakteri	5.6751	5.6732	5.6711	5.669	5.6668	5.6648	5.6628	5.6608	0.0143
6	E6019	Thiobacillus Ferrooxidans	5.6603	5.6583	5.6562	5.6538	5.6508	5.6481	5.6459	5.6438	0.0165

F. Analisis Perhitungan Laju Korosi

Perhitungan laju korosi pada *immersion corrosion test* pada *weld metal* baja ASTM A36 menggunakan metode *weight loss*.

Untuk perhitungan keseluruhan material dapat dilihat pada Tabel 2:

Tabel 2.
Data Perhitungan Laju Korosi (*weight loss*)

no	Jenis elektroda	Bakteri	K	W (g)	D (g/cm ³)	A (cm ²)	T (jam)	Laju Korosi (mpy)
1	E6010	Non Bakteri	3450000	0.0138	7.86	4.4	168	8.19433
2	E6010	<i>Thiobacillus ferrooxidans</i>	3450000	0.0155	7.86	4.4	168	9.20378
3	E6013	Non Bakteri	3450000	0.0126	7.86	4.4	168	7.48178
4	E6013	<i>Thiobacillus ferrooxidans</i>	3450000	0.0146	7.86	4.4	168	8.66936
5	E6019	Non Bakteri	3450000	0.0143	7.86	4.4	168	8.49123
6	E6019	<i>Thiobacillus ferrooxidans</i>	3450000	0.0165	7.86	4.4	168	9.79757

Berdasarkan Tabel 2. seluruh perhitungan laju korosi dengan menggunakan metode *weight loss* dapat disimpulkan bahwa semua material termasuk dalam kategori *good* (baik) yaitu 5-20 mpy. sesuai dengan Tabel 3:

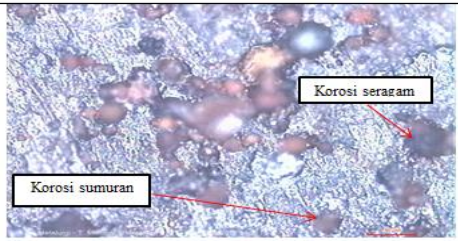
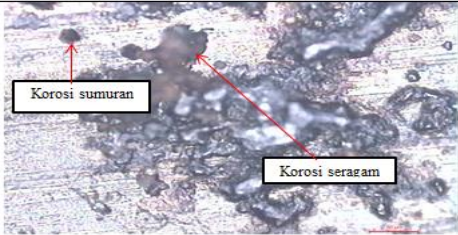
Tabel 3.
Tingkat Ketahanan Korosi Berdasarkan Laju Korosi [10]

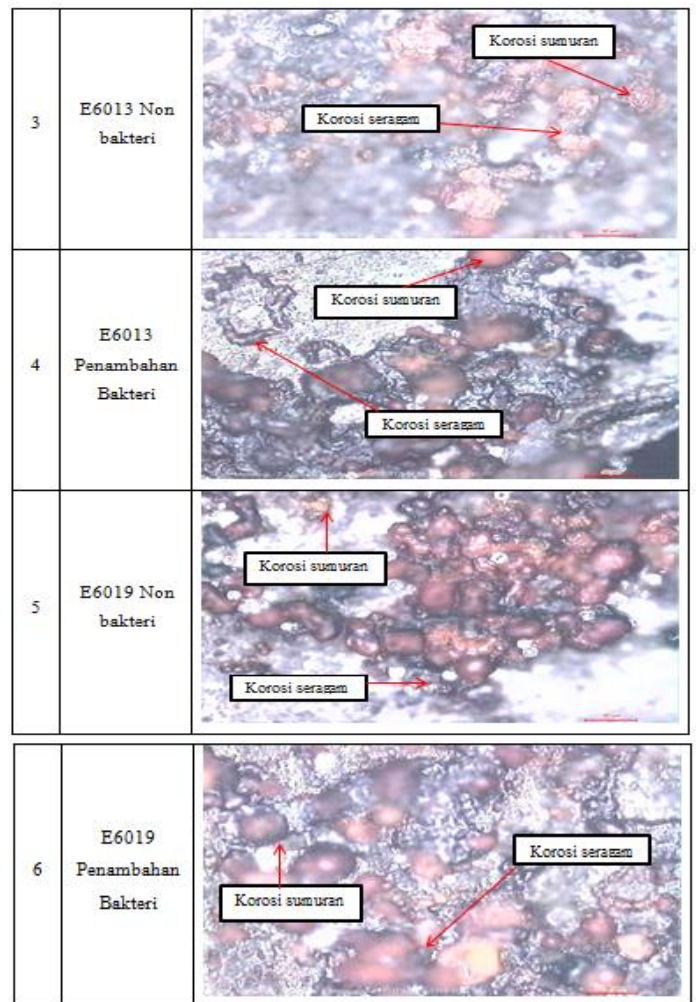
Relative Corrosion Resistance	Approximate Metric Equivalent				
	mpy	mm/year	µm/year	nm/year	pm/sec
Outstanding	<1	<0.02	<25	<2	<1
Excellent	1-5	0.02-0.1	25-100	2-10	1-5
Good	5-20	0.1-0.5	100-500	10-50	5-20
Fair	20-50	0.5-1	500-1000	50-100	20-50
Poor	50-200	1-5	1000-5000	150-500	50-200
Unacceptable	>200	>5	>5000	>500	>200

G. Hasil Pengujian Mikrostruktur

Pengamatan permukaan *weld metal* menggunakan mikroskop optik bertujuan untuk melihat adanya permukaan terkorosi yang tidak terlihat secara kasat mata. Pengamatan ini dilakukan di Laboratorium SEM Departemen Teknik Material dan Metalurgi FTI – ITS. Untuk hasil pengujiannya dapat dilihat pada Tabel 4:

Tabel 4.
Hasil Pengujian Foto Mikro

No	Jenis Elektroda	Struktur mikro setelah pengujian korosi (perbesaran 100x)
1	E6010 Non bakteri	
2	E6010 Penambahan Bakteri	



Berdasarkan tabel diatas dapat disimpulkan bahwa untuk material yang dilakukan penambahan bakteri maupun tidak melakukan penambahan bakteri terjadi korosi seragam dan korosi sumuran. Korosi ini disebabkan oleh air laut buatan dengan salinitas 3,5% dan bakteri *Thiobacillus ferrooxidans*. Pada material yang dilakukan penambahan bakteri memiliki korosi berjumlah lebih banyak dan memiliki ukuran yang lebih besar. Hal ini sesuai dengan teori bahwa bakteri pereduksi sulfat dapat memperbesar laju korosi.

IV. KESIMPULAN/RINGKASAN

Berdasarkan percobaan yang dilakukan dalam Tugas Akhir ini didapatkan kesimpulan sebagai berikut:

1. Dapat diketahui bahwa pada jenis elektroda E6019 dengan penambahan bakteri *Thiobacillus ferrooxidans* memiliki laju korosi tertinggi sebesar 9,79757 mpy, sedangkan laju korosi terendah pada jenis elektroda E6013 tanpa penambahan bakteri sebesar 7,48178 mpy.

2. Berdasarkan hasil pengujian foto mikro terlihat bahwa terjadi korosi *pitting* (sumuran) dan korosi *uniform* (seragam) akibat proses korosi yang terjadi pada air laut buatan yang ditambahkan bakteri maupun tidak akan tetapi korosi dengan penambahan bakteri memiliki jumlah yang banyak dan

ukuran yang besar daripada tidak dilakukan penambahan bakteri.

3. Berdasarkan seluruh perhitungan laju korosi dengan menggunakan metode *weight loss* dapat disimpulkan bahwa semua material termasuk dalam kategori *good* (baik).

DAFTAR PUSTAKA

- [1] J. Chamberlain and K. Trethewey, *KOROSI (Untuk Mahasiswa dan Rekayasawan)*. Jakarta: Gramedia Pustaka Utama, 1991.
- [2] Supriyanto, "Pengaruh Konsentrasi Larutan NaCl 2% dan 3,5% Terhadap Laju Korosi Pada Baja Karbon Rendah," Surakarta, 2007.
- [3] ASM Handbook, "Corrosion : Fundamental, Testing, and Protection," USA, 2003.
- [4] B. Maluckov, "Corrosion of Steels Induced by Microorganism," *J. Metall. Mater. Eng.*, vol. 1, pp. 223–231, 2012.
- [5] I. Beech, "Microbiololy Influenced Corrosion of Industrial Materials," 2000.
- [6] H. Videla, *Manual of Biocorrosion*, 1st ed. Boca Raton: CRC Press, 1996.
- [7] C. Ugochukwu, "Cow Urine Effectiveness in Control of Microbially Induced Corrosion on Oil Transmission Pipeline," *Int. J. Eng. Innov. Technol.*, vol. 3, pp. 192–196, 2014.
- [8] ASTM D1 141-90, "Chemical Composition of Artificial Seawater," United State of America, 2003.
- [9] ASTM G1-90, "Standard for Practice for Laboratory Immersion Corrosion Testing of Metals," USA, 1999.
- [10] M. Fontana, "Corrosion Engineering," New York, 1987.