

Simulasi: Laju Korosi Baja Pelampung Di Media Air Laut Berombak

Dody Prayitno ^{1,a}, Annas Yuniar Konsinyawan ^{2,b}

^{1,2} Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknologi Industri, Universitas Trisakti, Jl Kyai Tapa no 1
Jakarta, 11440, Indonesia

^a dodyprayitno@trisakti.ac.id

Abstrak.

Baja dapat diaplikasikan sebagai material pelampung contoh pelampung pada Pembangkit Listrik Tenaga Gelombang Laut (PLTGL). Pelampung akan kontak langsung dengan air laut sehingga dapat terkorosi. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui karakteristik laju korosi baja sebagai pelampung dalam media air laut yang berombak. Metode: sampel baja adalah S45C, SS 400 dan SPAH 3125. Sampel baja dilekatkan pada tepi (sisi) styrofoam dan bawah styrofoam. Styrofoam lalu diapungkan diatas media air laut pada sebuah mesin simulasi ombak. Sampel pada tepi (sisi) styrofoam akan mendapat deburan ombak. Sampel yang berlokasi di bawah Styrofoam tidak mendapat deburan ombak. Pengukuran korosi menggunakan metode kehilangan berat. Kesimpulan. Sampel yang diletakkan pada tepi pelampung memiliki laju korosi yang berbeda. Pada zona atmosfer laju korosi hampir dikatakan tidak ada. Pada zona terpercik, laju korosi tertinggi. Laju korosi kemudian menurun di zona pasang surut (tidal zone). Sampel berada dibawah pelampung laju korosinya paling rendah. Pemakaian anoda korban menurunkan laju korosi untuk sampel yang diletakkan ditepi pelampung maupun dibawah pelampung.

Kata kunci: *Baja, Korosi, Ombak, Pelampung, Anoda Korban*

Abstract.

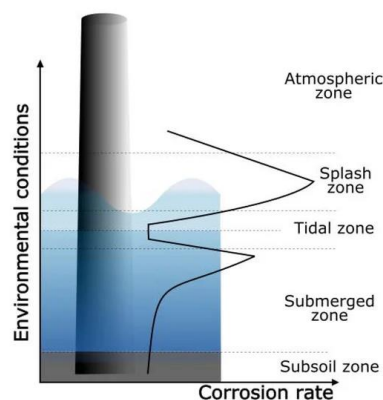
Steel can be applied as a buoy material, for example buoys in Pusat Listrik tenaga gelombang laut (PLTGL). The buoy will be in direct contact with sea water so it can corrode. The aim of research was to determine the characteristics of the corrosion rate of steel as a buoy in wave sea. Method: steel samples were S45C, SS 400 and SPAH 3125. Steel samples were attached to the edge (side) of the styrofoam and the bottom of the styrofoam. The Styrofoam is then floated on the wave sea simulation machine. Samples located on the edges (sides) of the Styrofoam will receive crashing waves. Samples located in bottom the Styrofoam did not receive any waves. The corrosion test used the weight loss method. Conclusions. Samples located on the edge of the float have different corrosion rates. In the atmospheric zone, the rate of corrosion is almost non-existent. In the splash zone, the corrosion rate is highest. The corrosion rate then decreases in the tidal zone. The samples located on the bottom is the lowest corrosion rate. The sacrificial anode reduces the corrosion rate for samples placed on the edge of the float or on the bottom the float

Keywords: *Steel, Corrosion, Waves, Floats, Sacrificial Anodes*

Pendahuluan

Latar Belakang

Pada sebuah struktur baja (seperti tiang pancang) yang berada di laut dibagi menjadi empat zona. Empat zona itu adalah zona atmosfer, zona percikan (splash zone), zona pasang surut (tidal zone) dan zona terendam (submerged zone) seperti terlihat pada Gambar 1.[1]. Zona yang berada diatas air laut adalah zona atmosfer. Suatu zona yang merupakan daerah berselang-seling antara di atas dan di bawah garis air akibat aksi gelombang disebut zona percikan. Zona pasang surut adalah zona yang berada diantara rata-rata air surut dan rata-rata air pasang. Zona terendam merupakan daerah yang berada di bawah zona pasang surut termasuk air laut, dasar laut . Baja dapat digunakan sebagai material pelampung Pembangkit Listrik Tenaga Gelombang Laut (Gambar 2). Berbeda dengan tiang pancang dalam aplikasinya pelampung bergerak naik dan turun mengikuti gerakan ombak. Oleh karena itu menarik untuk meneliti korosi baja pelampung.



Gambar 1. Zona Lingkungan Pada Sebuah Tiang Pancang. [3]



Gambar 2. Pelampung Baja Pada Pembangkit Listrik Tenaga Gelombang Laut [2]

Tujuan Penelitian

Objektif penelitian adalah mengetahui karakteristik laju korosi baja SPAH 3125, baja S45C dan baja SS 400 sebagai baja pelampung dalam media air laut yang berombak. Air laut berasal dari Pantai Kapuk Jakarta.

Studi Pustaka

Komposisi Kimia

Komposisi kimia baja SPAH 3125 , SS 400 dan S45C diperlihatkan pada Tabel 1.

Tabel 1 Komposisi Kimia Baja

Material	Unsur (%)					
	C	Si	Mn	S	P	Cr
S45C	0,30 - 0,50	0,15 – 0,35	0,50 – 0,80	0,035	0,035	-

SPAH 3125	0,12	0,75	0,60	0,035	0,015	1,25
SS 400	0,04	0,016	0,18	0,014	0,018	0,042

Korosi Air Laut

Pada umumnya sifat korosif air laut berkaitan kandungan garamnya (terutama NaCl). Namun, pada penelitian berikutnya ternyata unsur lainnya – terutama oksigen terlarut (DO) dan polutan seperti sulfida juga mengambil peran penting. [4]

Kandungan garam total biasanya dinyatakan dalam salinitas dan/atau klorinitas. Salinitas adalah total bahan padat (gram) dalam satu kilogram air laut Kandungan garam 'rata-rata' air laut sekitar $\pm 3,5\%$ larutan NaCl. Pada dasarnya jika dilihat dari sudut pandang korosi, seluruh perairan laut dapat dianggap cukup korosif terhadap baja karbon.

Oksigen terlarut (DO) merupakan bagian penting dalam mengontrol perilaku korosi pada banyak material di air laut. Oksigen larut dalam air laut baik dari atmosfer dan/atau dari fotosintesis tanaman, yang paling banyak terjadi pada kedalaman ± 100 m. Dengan demikian, air permukaan pada tekanan atmosfer normal cenderung jenuh atau jenuh oksigen, termasuk lingkungan cair tipis di zona percikan. Reaksi utama dalam air laut yang mengendalikan korosi adalah reduksi oksigen. Kandungan oksigen berkurang seiring dengan bertambahnya ke dalam udara laut. Nilai DO (miligram/liter) pada suhu 25 °C dan 30 °C masing masing adalah 6,5 mg/l dan 6 mg/l (pada kondisi 35% salinity dan 1 atm). [4].

Laju korosi pada struktur baja yang berada dilaut nilainya berbeda-beda tergantung pada lokasinya terhadap permukaan laut. Perhatikan Gambar 2. Laju korosi tertinggi pada zona percikan (*splash zone*) karena terjadinya pembasahan konstan yang menghasilkan lapisan tipis air laut sehingga oksigen mudah berdifusi. Tingginya Laju korosi juga disebabkan oleh efek mekanis dari percikan menghalangi pengembangan produk pelindung korosi.

Di zona pasang surut (*tidal zone*), struktur mengalami perendaman secara bergantian. Rendahnya laju korosi umum pada zona ini disebabkan oleh pelindung/ terhalangnya oksigen oleh makrofouling. *Fouling* adalah akumulasi bahan yang tidak diinginkan pada permukaan padat. Bahan pengotoran dapat terdiri dari organisme hidup atau zat tidak hidup. [5]

Laju korosi baja, berdasarkan kehilangan massa, dalam air laut yang tenang biasanya berada pada urutan 0,13 (mm/tahun) setelah beberapa tahun terpapar. [1]

Berdasarkan laju korosi, ketahanan material dikategorikan dalam Tabel 2 di bawah ini. [6];

Tabel 2 Korelasi Antara Ketahanan Korosi Dan Laju Korosi [6]

Relative To Corrosion Resistance	Corrosion Rate	
	(mpy)	(mm/year)
Outstanding	< 1	< 0,025
Excellent	1 – 5	0,025 – 0,1
Good	5 – 20	0,1 – 0,5
Fair	20 – 50	0,5 – 1,27
Poor	50 – 200	1,27 – 5,08
Unacceptable	200 ++	5,08 ++

Metode

Mekanisme pembuatan ombak buatan (Gambar 3a) sebagai berikut. Perputaran motor wiper akan dikonversikan menjadi gerakan linear maju mundur bagi tuas penghubung antara motor wiper dengan plat akrilik. Plat akrilik kemudian bergerak maju dan mundur. Gerak maju mundurnya plat akan menghasilkan gerakan ombak pada air laut dalam box.

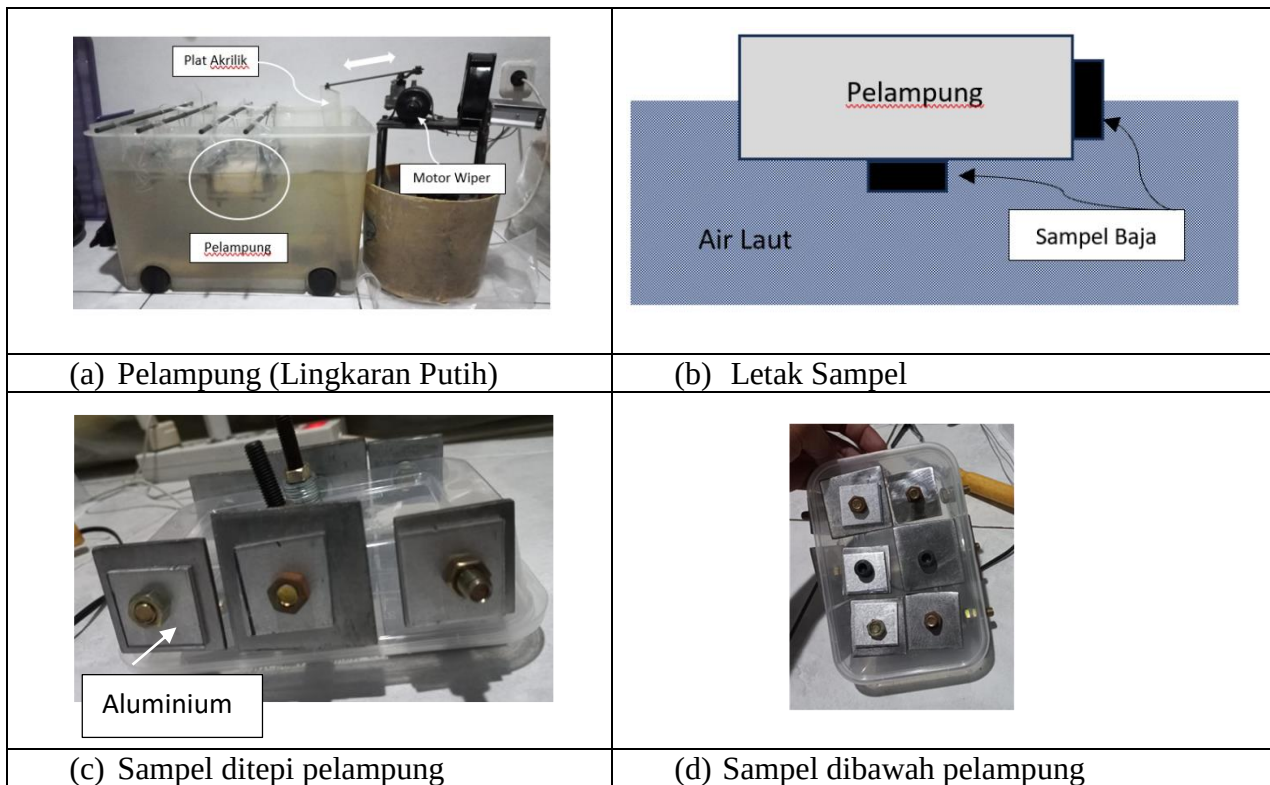
Penelitian ini menggunakan Baja S45C, Plat baja SPAH 3125, dan Baja SS 400. Setiap plat baja lalu dipotong menjadi beberapa sampel. Ukuran sampel adalah 40 mm x 40 mm x 2 mm. Sampel lalu dikelompokkan menjadi 2 grup untuk masing-masing baja. Grup pertama dilekatkan di bawah pelampung dan grup kedua dilekatkan ditepi pelampung (Gambar 3b). Anoda korban (Aluminium

2024 -T3) dikontakkan dengan sampel baja dengan cara dibaut. (Gambar 3c dan Gambar 3d). Pelampung dapat bergerak naik turun akibat ombak.

Komposisi Aluminium 2024 -T3 diperlihatkan pada Tabel 3.

Tabel 3. Komposisi Aluminium 2024-T3

Unsur	Al	Cu	Mg	Si	Fe	Mn	Zn	Ti	Cr	lainnya
Kandungan (%)	Remainder	3,8-4,9	1,2-1,8	0,5	,05	0,3-0,9	0,25	0,15	0,1	1,05



Gambar 3. *Experimental set up*

Waktu rendam adalah 24 jam; 1 minggu; 2 minggu; 3 minggu; dan 4 minggu. Uji korosi menggunakan metode kehilangan berat. Laju korosi dihitung dengan persamaan (1).

$$\text{Laju Korosi (mm/tahun)} = ((K \cdot w) / ((A \cdot t \cdot D))) \quad (1)$$

K = Konstanta ($8,76 \times 10^4$)

w = penurunan massa (g)

A = Luas penampang (cm^2)

t = Waktu pengujian (jam)

D = Massa jenis sampel (g/cm^3)

Hasil Dan Pembahasan

Laju Korosi Sampel Yang Dilekatkan Dibawah Pelampung

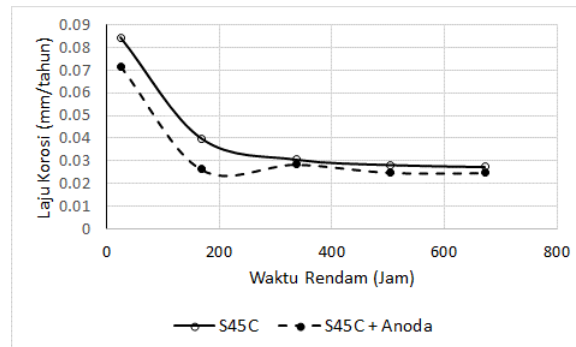
Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan didapatkan data rata-rata laju korosi sebagaimana terlihat pada Gambar 4.

Pada Gambar 4 terlihat bahwa laju korosi tertinggi terjadi ada pada waktu perendaman 24 jam. Laju korosi kemudian menurun dengan bertambahnya waktu perendaman menjadi 336 jam. Laju korosi selanjutnya tidak berkurang tetapi landai bila waktu perendaman bertambah.

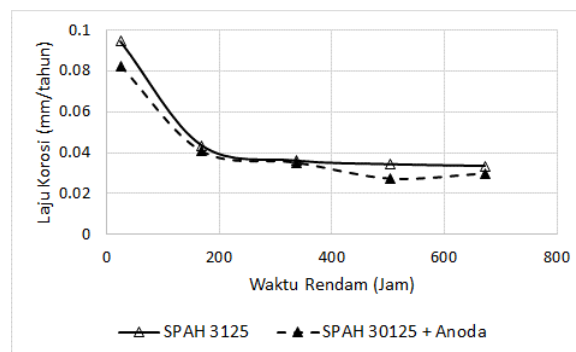
Pada waktu perendaman 24 jam, laju korosi SS 400, SPAH 3125 dan S45C berturut – turut adalah 0,12 mm/tahun, 0,09 mm/tahun dan 0,08 mm/tahun. Nilai laju korosi masing – masing logam turun dengan tajam ketika waktu perendaman bertambah menjadi 336 jam. Nilai laju korosi SS 400,

SPAH 3125 dan S45C masing-masing menjadi 0.04 mm/tahun; 0.04 mm/tahun (SPAH 3125); 0,03 mm/tahun (S45C). Nilai Laju korosi kemudian landai setelah waktu rendam lebih 336 jam.

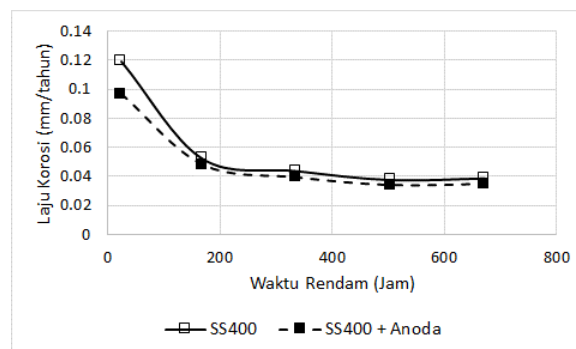
Gambar 4 membuktikan bahwa dengan waktu rendam 672 jam, nilai laju korosi yang paling besar dimiliki oleh baja SS 400 0,04 mm/tahun, lalu baja SPAH 3125 yang laju korosinya adalah 0,03 mm/tahun , baja S45C yang memiliki nilai laju korosi sebesar 0,03 mm/tahun.



(a) Baja S45C



(b) Baja SPAH 3125



(c) baja SS 400

Gambar 4. Laju Korosi Baja S45C (a), SPAH 3125 (b), SS 400 (c)

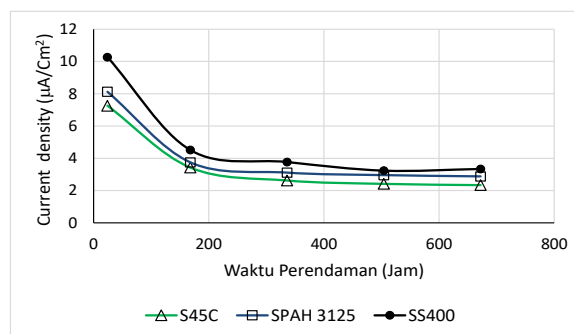
Fenomena turunnya laju korosi secara tajam dan kemudian bergerak landai dengan bertambahnya waktu rendam juga terjadi pada penelitian lain [7,8,9,10]. Fenomena itu disebabkan oleh adanya pasivasi. Namun sebelumnya akan dipaparkan kaitan laju korosi dengan *current density* sebagai mana tertulis dalam persamaan

$$\text{Laju korosi} = \frac{K.a.i}{n.D} \quad (2)$$

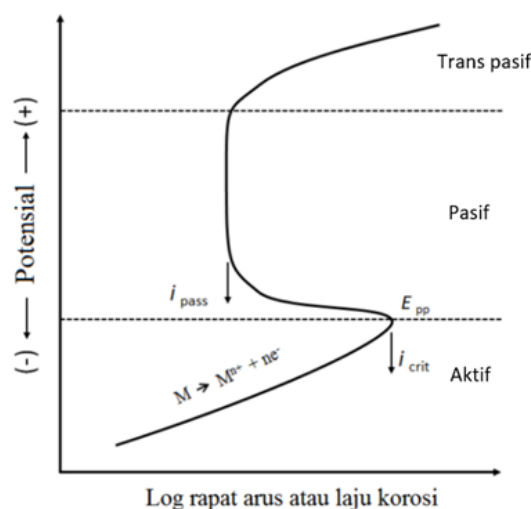
K	: 0.0032	i	: <i>Current density</i> (mA/cm ²)
a Fe (berat atom)	: 55,847	n Fe	: 2 (electron)
D (density)	: 7,86 (gram/cm ³)	Laju Korosi	: Millimeter/year

Penurunan laju korosi yang tajam dari waktu perendaman 24 jam ke 336 jam, selalu ikuti oleh penurunan *current density* pada masing masing baja, sebagaimana terlihat pada Gambar 5. Pada awal perendaman terjadi pelepasan ion logam ke media korosif yang tinggi (nilai *current density* tinggi). Namun kemudian pelepasan ion logam menurun seiring dengan penambahan waktu perendaman (nilai *current density* menurun tajam). Pada tahapan berikutnya, pada permukaan baja terbentuk lapisan oksida tipis yang membuat permukaan logam menjadi pasif. Fenomena ini dikenal dengan pasivasi pada logam (Gambar 6).

Perhatikan Gambar 6. Pada zona aktif (dearah terjadinya korosi, logam memiliki nilai *current density* yang tinggi. Pada zona pasif, permukaan logam menjadi pasif karena terbentuknya lapisan oksida tipis pada permukaan. Lapisan ini menyebabkan laju korosi rendah.



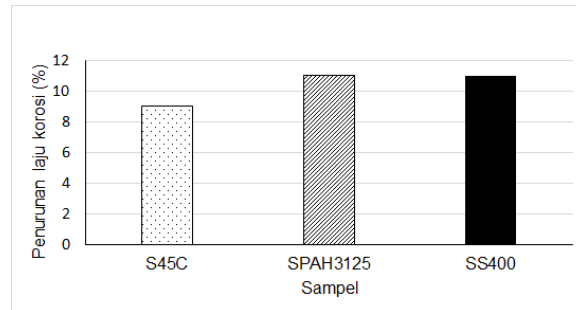
Gambar 5. Laju korosi sampel terhadap waktu rendam



Gambar 6. Ilustrasi Kurva Polarisasi pada Reaksi Anodik.

Pengaruh Anoda Korban Pada Laju Korosi Sampel Yang Dilekatkan Dibawah Pelampung

Anoda Korban mampu menurunkan laju korosi baja S45C, SPAH 3125 dan SS 400 (Gambar 4, 5 dan 6). Besar penurunannya diperlihatkan pada Gambar 7. Pemakaian anoda korban aluminium pada baja S45C, SPAH 3125 dan SS 400 masing masing sebesar 9%, 11 % dan 11 %.



Gambar 7 persentase penurunan laju korosi akibat pemakaian anoda, waktu rendam 672 jam

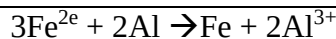
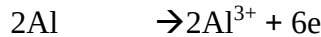
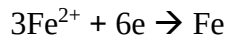
Reaksi elektrokimia yang terjadi pada perlindungan baja dengan anoda korban aluminium, secara teori tertulis sebagai berikut:

Jenis Reaksi

Reduksi/(katodik)

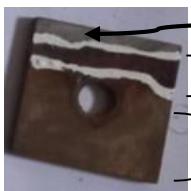
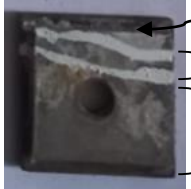
Oksidasi/(anodik)

Reaksi kimia



Laju Korosi Sampel Yang dilekatkan Ditepi Pelampung

Foto hasil pengujian korosi bagi sampel baja yang dilekatkan pada tepi pelampung diperlihatkan pada Gambar 8. Pada gambar 8 terlihat ada dua grup sampel yaitu grup tanpa anoda dan dengan anoda untuk masing masing baja. Pada setiap sampel terlihat tiga zona yaitu zona atmosfer, zona terpercik (*splash zone*) dan zona pasang surut (*tidal zone*). Zona atmosfer berada diatas zona terpercik. Zona terpercik memiliki lebar rata-rata sebesar 10 mm. Zona pasang surut berada dibawah zona terpercik. Pada sampel tidak terliha zona terendam (*submerged zone*) karena terbatasnya ukuran sampel.

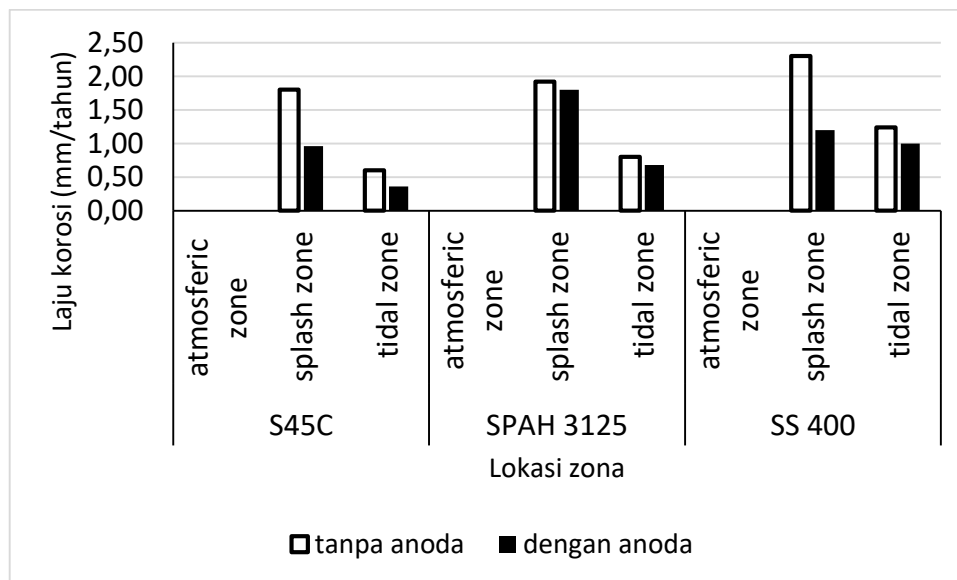
Kondisi	Sampel			Keterangan
	SS 400	SPAH 3125	S45C	
Tanpa Anoda				zona atmosfer Zona terpercik zona pasang surut
Dengan anoda				zona atmosfer zona terpercik zona pasang surut

Gambar 8. Penampakan permukaan sampel yang diletakan ditepi pelampung

Penghitungan laju korosi dilakukan dengan membagi selisih ketebalan (sebelum dan sesudah perendaman) dengan nilai waktu rendam. Pada penelitian ini waktu rendamnya adalah 672 jam. Hasil penghitungan laju korosi diperlihatkan pada Tabel 3 dan Gambar 8.

Tabel 3. Selisih Ketebalan Sampel Dengan Waktu Perendaman 672 Jam.

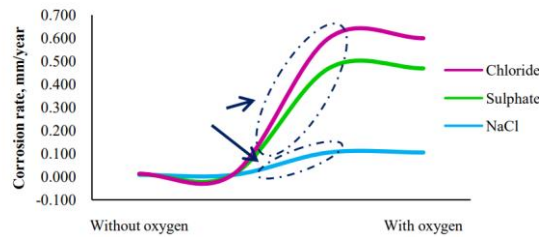
Sampel	Lokasi	Selisih tebal (mm)	Laju korosi (mm/tahun)	Relative corrosion resistance
S45C	Zona atmosfer (atmospheric zone)	0	0	<i>Outstanding</i>
	Zona terpercik (<i>splash zone</i>)	0,15	1,8	<i>Poor</i>
	Zona pasang surut (<i>tidal zone</i>)	0,05	0,6	<i>Fair</i>
S45C + Anoda	Zona atmosfer (<i>atmospheric zone</i>)	0	0	<i>Outstanding</i>
	Zona terpercik (<i>splash zone</i>)	0,08	0,96	<i>Fair</i>
	Zona pasang surut (<i>tidal zone</i>)	0,03	0,36	<i>good</i>
SPAH 3125	Zona atmosfer (<i>atmospheric zone</i>)	0	0	<i>Outstanding</i>
	Zona terpercik (<i>splash zone</i>)	0,16	1,92	<i>Poor</i>
	Zona pasang surut (<i>tidal zone</i>)	0,07	0,8	<i>Fair</i>
SPAH 3125 + Anoda	Zona atmosfer (<i>atmospheric zone</i>)	0	0	<i>Outstanding</i>
	Zona terpercik (<i>splash zone</i>)	0,15	1,8	<i>poor</i>
	Zona pasang surut (<i>tidal zone</i>)	0,05	0,6	<i>fair</i>
SS 400	Zona atmosfer (<i>atmospheric zone</i>)	0	0	<i>Outstanding</i>
	Zona terpercik (<i>splash zone</i>)	0,19	2,3	<i>Poor</i>
	Zona pasang surut (<i>tidal zone</i>)	0,1	1,2	<i>Poor</i>
SS 400 + Anoda	Zona atmosfer (<i>atmospheric zone</i>)	0	0	<i>Outstanding</i>
	Zona terpercik (<i>splash zone</i>)	0,1	0,12	<i>fair</i>
	Zona pasang surut (<i>tidal zone</i>)	0,04	1,0	<i>good</i>



Gambar 8. Laju Korosi Sesuai Zona

Gambar 8 memperlihatkan bahwa laju korosi pada zona terpercik (*splash zone*) adalah tertinggi untuk semua sampel baja. Laju korosi kemudian menurun ketika masuk kedalam zona pasang surut (*tidal zone*). Laju korosi pada zona terendam (*submerged zone*) adalah terkecil. Tingginya laju korosi pada zona percikan (*splash zone*) disebabkan adanya deburan ombak yang membasahi zona tersebut dan menghasilkan lapisan tipis air laut. Lapisan ini memudahkan oksigen

untuk berdifusi [4]. Pengaruh oksigen terhadap laju korosi baja karbon diperlihatkan pada Gambar 9. Peningkatan kadar oksigen akan meningkatkan laju korosi baja karbon.



Gambar 9. Pengaruh Oksigen Terhadap Laju Korosi Baja Karbon (3,5%C) [11]

Pengaruh Anoda Korban Pada Laju Korosi Sampel Yang Dilekatkan Ditepi Pelampung

Anoda Korban mampu menurunkan laju korosi baja S45C, SPAH 3125 dan SS 400 (Gambar 8). Reaksi kimia perlitngunan baja dari korosi sudah diperlihatkan pada bagaian terdahulu.

Kesimpulan

Kesimpulan berisi sebagai berikut:

1. Lokasi sampel mempengaruhi laju korosi. pada sampel yang diletakkan pada tepi pelampung terdapat laju korosi yang berbeda. Pada zona atmosfer laju korosi hampir dikatakan tidak ada. Selanjutnya Laju korosi dari yang tertinggi terjadi di zona terpercik (*splash zone*). Laju korosi kemudian menurun di zona pasang surut (*tidal zone*). Sampel yang terletak dibawah pelampung laju korosinya rendah. dan zona terendam.
2. Pemakaian anoda korban menurunkan laju korosi baik yang diletakkan ditepi pelampung maupun dibawah pelampung.
3. Tanpa pemakaian anoda, Laju korosi pada *splash zone* untuk masing masing sampel adalah 2,3 (mm/tahun) untuk SS 400; 1,92 (mm/tahun) untuk SPAH 1325 dan 1,8 (mm/tahun) untuk S45C. Laju korosi pada lokasi *tidal zone* sebagai berikut 1,2 (mm/tahun) untuk SS 400; 0,8 (mm/tahun) untuk SPAH 3125 dan 0,6 (mm/tahun) untuk S45C. Pada zona terendam, dengan waktu perendaman 672 jam. Baja SS 400 memiliki nilai laju korosi tertinggi yaitu 0,04 (mm/tahun). Baja SPAH 3125 memiliki nilai laju korosi sebesar 0,03 (mm/tahun). Baja S45C memiliki nilai laju korosi 0,03 (mm/tahun).
4. Pemakaian anoda korban mampu menurunkan laju korosi 9 – 10 %.

Daftar Pustaka

- [1] Nur Amira Binti Mohd Ruba'ai, 2015, "A Study On The Performance Of Splash Zone Coating System, Mechanical Engineering Universiti Teknologi Petronas August 2015.
- [2] Builder Indonesia, 2022, Keunggulan dan Kelemahan Pembangkit Listrik Tenaga Gelombang, Photo of Builder Indonesia' February 1, 2022, <https://www.builder.id/pembangkit-listrik-tenaga-gelombang-laut/> diunduh 11 desember 2023
- [3] Ainara López-Ortega, Raquel Bayón, José Luís Arana, 2019, "Evaluation Of Protective Coatings For High-Corrosivity Category Atmospheres In Offshore Applications", Materials 2019, 12, 1325; Doi:10.3390/Ma12081325 Online <https://www.mdpi.com/1996-1944/12/8/1325> Diunduh 11/12 /2023
- [4] Phull B., and Abdullahi A.A., Marine Corrosion. In: Saleem Hashmi (editor-in-chief)," Reference Module in Materials", Science and Materials Engineering. Oxford: Elsevier; 2017. pp. 1-39. ISBN: 978-0-12-803581-8
- [5] Wikipedia,2023, Online (<https://en.wikipedia.org/wiki/Fouling>)
- [6] Mars G, Fontana (1987) Mars Fontana-Corrosion Engineering. McGraw-Hill.

- [7] Dody Prayitno, Joko Riyono, Daisman Pb Aji, 2020, “Effect Of Heat Treatment On The Corrosion Rate Of S45c Steel”, *Metrik Serial Teknologi Dan Sains (E)* Issn: 2774-2989, Vol 1 No 1 Pp 23-30
- [8] Mp Pratama, Dody Prayitno , 2023, “Studi Monosodium Glutamat (Msg) Sebagai Inhibitor Pada Baja Karbon Rendah, *Metrik Serial Teknologi Dan Sains (E)* Issn 2774-2989 , Vol. 4 No 2, 2023, Pp 11- 19
- [9] Dody Prayitno, Aji Dwi Prasetyo, 2023, “Proteksi Katodik: Pengaruh Bentuk Bangun Ruang Terhadap Laju Korosi Anoda”, *Metrik Serial Humaniora Dan Sains (E)* Issn: 2774-2377 Vol 4 No 1, Pp 18-25
- [10] Dody Prayitno, Joko Riyono, Chandra Budiyo, Pengaruh Monosodium Glutamat (Msg) Terhadap Laju Korosi Baja Karbon Yang Direndam Dalam Air Bersirkulasi, *Metrik Serial Teknologi Dan Sains (E)* Issn: 2774-2989, Vol 4 No 1, Pp 24 -29
- [11] A.Ismail , N.H. Adan, 2014, “Effect of Oxygen Concentration on Corrosion Rate of Carbon Steel in Seawater ,” *American Journal of Engineering Research (AJER)* e-ISSN : 2320-0847 p-ISSN : 2320-0936 Volume-03, Issue-01, pp-64-67 online : [https://www.ajer.org/papers/v3\(1\)/J0316467.pdf](https://www.ajer.org/papers/v3(1)/J0316467.pdf) diunduh 11 desember 2023
- [12] P. R. Roberge (2008). *Corrosion Engineering: Principle and Practice* Retrieved on March 23 from <http://www.corrosion-doctors.org>
- [13] H. Uhlig, D. Triadis and M. Stern (1955). Uhlig’s Corrosion Handbook. *Journal of The Electrochemical Society*, 102, 59
- [14] Dody Prayitno, Hadi Pranoto, 2012, ‘Studi Korosi: Pengaruh Biosolar Terhadap Umur Pakai Cylinder Liner, *POLITEKNOLOGI* VOL. 11 NO. 3, SEPTEMBER 2012, pp 241 -246