

QA: KOROSI

Dody Prayitno



Haura Utama

KATA PENGANTAR

Alhamdulillah.

Atas berkat Allah SWT, buku ini dapat diselesaikan. Buku ini berjudul QA: KOROSI yang merupakan hasil dari penelitian yang dilakukan selama beberapa tahun terakhir. Latar belakang penulisan ini berawal dari kebutuhan untuk memahami aplikasi bidang korosi pada penelitian dan lapangan.

Tujuan penulisan buku adalah untuk memberikan bimbingan kepada mahasiswa yang sedang melakukan penelitian dan penulisan makalah ilmiah tentang korosi. Penyajian materi buku ini terasa unik karena disusun dengan bentuk tanya jawab (*Question and Answer*) seputar korosi. Hal ini untuk mempermudah pemahaman materi buku.

Terima kasih disampaikan kepada Universitas Trisakti, atas pendanaan penulisan buku. Akhir kata, diharapkan buku ini dapat menjadi referensi bermanfaat bagi para mahasiswa, dosen dan peneliti atau siapa saja yang tertarik dengan bidang korosi.

Bekasi, 20 September 2024
[Dr. Ir Dody Prayitno M. Eng]

QA : *Korosi*,
karya Dr. Ir. Dody Prayitno M. Eng,
diterbitkan pertama kali oleh Penerbit Haura Utama, 2025

14 x 20 cm, viii + 175 hlm

Hak cipta dilindungi undang-undang
Dilarang mereproduksi atau memperbanyak seluruh
maupun sebagian dari buku ini dalam bentuk dan
cara apapun tanpa izin tertulis dari penerbit

Editor dan Penata isi: Salsa
Perancang sampul: Nita



CV. Haura Utama

Anggota IKAPI Nomor 375/JBA/2020
Nagrak, Benteng, Warudoyong, Sukabumi
+62877-8193-0045 haurautama@gmail.com

Cetakan I, April 2025

ISBN: 978-634-208-182-2



DAFTAR ISI

KATA PENGANTAR.....	iii
PERSEMBAHAN	iv
DAFTAR ISI	v
BAB 1 PENGERTIAN KOROSI PADA LOGAM	1
Apa itu korosi?	1
Apakah benar korosi merupakan reaksi elektrokimia?	1
Apa perbedaan reaksi oksidasi (anodik) dan reaksi reduksi (katodik),.....	2
Menghitung potensial Listrik sel elektrokimia.	8
Apa suhu berpengaruh pada potensial listrik sel elektrokimia?	11
Apa manfaat "The Galvanic Series"?	12
Apa gas yang terbentuk ketika zinc (Zn) berada dalam larutan asam?	14
Bagaimana karat pada besi (<i>iron</i>) terbentuk?.....	16
Apa yang dimaksud dengan laju korosi?	18
Berikan contoh teknis pelaksanaan penelitian korosi?	20
Apa bagaimana menentukan tingkat ketahanan korosi?	26

PERSEMBAHAN

Buku ini dipersembahkan untuk:

Istri, anak, mantu dan cucu tercinta

Bagaimana menentukan laju korosi (CR) berdasarkan <i>corrosion current density</i> ($\cdot A/cm^2$) atau (kepadatan arus korosi ($\cdot A/cm^2$))?	27
Bagaimana teknis pelaksanaan untuk mendapatkan nilai <i>corrosion current density</i> ($\cdot A/cm^2$) (i cor) sebuah logam?	30
Daftar Pustaka	39

BAB 2 JENIS JENIS KOROSI 41

Sebutkan jenis korosi?	41
Apa itu korosi sumuran (<i>pitting corrosion</i>) ?	41
Apa itu korosi merata (<i>Uniform Attack</i>)?	46
Apa itu korosi galvanik (<i>Galvanic Corrosion</i>)?	47
Faktor – faktor apa yang mendukung terjadinya korosi galvanik?	50
Bagaimana mencegah terjadinya korosi galvanik?....	51
Apa itu korosi celah (<i>Crevice Corrosion</i>)?	53
Daftar Pustaka	55

BAB 3 PENCEGAHAN KOROSI..... 57

Sebutkan metode pencegahan korosi?	57
Bagaimana perlindungan korosi dengan cara <i>coating</i> dilakukan ?	57
Apa itu metode anoda korban?	59
Menghitung berat anoda korban yang dibutuhkan.	61
Apa itu metode arus tanding (<i>impressed current</i>) ? ..	65
Apa bahan alam asli Indonesia yang berpotensi menjadi <i>corrosion green inhibitor</i> ?	78

Apa faktor-faktor yang turut mempengaruhi keefektifan <i>corrosion green inhibitor</i> ?	81
Daftar Pustaka	87

BAB 4 PERAWATAN SISTEM PROTEKSI KATOTIK 94

Apa pengaruh waktu rendam terhadap laju korosi baja S45C?	94
Apa pengaruh kadar karbon terhadap laju korosi baja karbon?	99
Apa yang dimaksud dengan MIC (<i>microbiology influenced corrosion</i>) atau dikenal sebagai korosi yang dipengaruhi oleh mikrobiologi?	100
Apa pengaruh oksigen pada laju korosi?	102
Apa manfaat diagram pourbaix ferrous untuk pencegahan korosi baja?	104
Bagaimana perawatan sistem proteksi katodik (anoda korban) pada tiang pancang baja di dermaga?	107
Bagaimana peran oksigen sehingga dapat mempercepat laju korosi?	117
Menghitung sisa umur pakai pipa.	121
Bagaimana menulis sebuah makalah ilmiah dengan tema korosi?	125
Berikan contoh sebuah makalah ilmiah bertemakan korosi?	127
Daftar Pustaka	139

BAB 5 METAL FOAM SEBAGAI ANODA KORBAN.... 146

Apa alasan <i>metal foam</i> dapat digunakan sebagai anoda korban?	146
Bagaimana meningkatkan luas permukaan?	149
Bagaimana menghitung Porositas <i>metal foam</i> (contoh <i>aluminium foam</i>)	153
Bagaimana menghitung luas permukaan <i>metal foam</i> (contoh <i>aluminium foam</i>)?	154
Apakah <i>Aluminium Foam</i> Dapat Bertindak Sebagai Anoda Korban?	160
Apa Pengaruh Porositas Pada Anoda Terhadap Laju Korosi anoda sendiri?,	164
Apa Pengaruh Porositas Pada Anoda Terhadap Laju Korosi Katoda?,	165
Daftar Pustaka	166
Glosarium	170
Riwayat Hidup Penulis.	175

BAB 1 PENGERTIAN KOROSI PADA LOGAM

Apa itu korosi?

Korosi adalah perusakan material (biasanya logam) akibat bereaksi kimia atau elektrokimia dengan lingkungan disekitarnya. Pada umumnya korosi terjadi bila logam bereaksi dengan oksigen dan air lalu membentuk senyawa seperti oksida atau hidroksida.

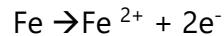
Contoh korosi yang sering kita lihat adalah karat pada besi. Karat terbentuk Ketika besi terkena air dan oksigen. Karat dapat menyebabkan kerusakan struktural material besi.

Apakah benar korosi merupakan reaksi elektrokimia?

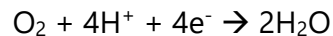
Benar. Korosi merupakan reaksi elektrokimia. Reaksi elektrokimia adalah reaksi kimia yang menghasilkan potensial listrik. Reaksi elektrokimia terdiri dari reaksi oksidasi dan reaksi reduksi.

Reaksi oksidasi. Pada reaksi oksidasi logam kehilangan elektron dan teroksidasi. Besi (Fe) berubah menjadi ion

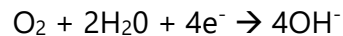
besi (Fe^{2+}) atau (Fe^{3+}) dengan kehilangan dua elektron. Reaksi oksidanya sebagai berikut:



Reaksi Reduksi. Elektron yang hilang dalam reaksi oksidasi digunakan dalam reaksi reduksi di daerah lain. Reaksi reduksi ini acapkali melibatkan oksigen dan air. Dalam reaksi reduksi ini, oksigen bereaksi dengan ion hidrogen (H^{+}) dalam air untuk membentuk air atau ion hidroksida.



Namun pada pH yang tinggi



Proses korosi menciptakan sel elektrokimia, dimana satu area logam mengalami oksidasi dan area lainnya mengalami reduksi. Hasil akhirnya adalah pembentukan senyawa seperti oksida atau hidroksida yang menyebabkan kerusakan pada logam.

Apa perbedaan reaksi oksidasi (anodik) dan reaksi reduksi (katodik), pada sebuah metal (M) dengan valensi n? Penjelasan reaksi oksidasi dan reduksi diperlihatkan pada Tabel 1.1. Lokasi dimana terjadi reaksi reduksi (katodik) dinamakan katoda. Sementara tempat/lokasi terjadinya reaksi oksidasi/anodik dikenal sebagai anoda.

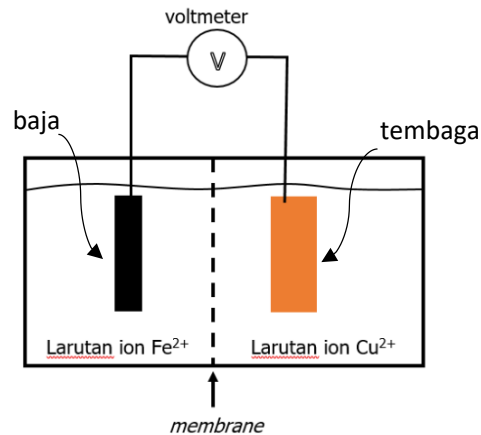
Pada reaksi katodik akan terjadi dimana ion positif metal mengikat sejumlah n valensi elektron sehingga berubah menjadi Metal. Sementara pada reaksi anodik: metal berubah menjadi ion positif metal dengan melepas sejumlah n valensi elektron

Tabel 1.1. Perbedaan reaksi oksidasi dan reduksi

Penyebutan lokasi terjadinya reaksi	Jenis Reaksi	Reaksi kimia	Keterangan
Katoda	Reduksi/katodik	$\text{M}^{n+} + ne^{-} \rightarrow \text{M}$	Ion positif Metal mengikat sejumlah n valensi elektron sehingga berubah menjadi Metal.
Anoda	Oksidasi/anodik	$\text{M} \rightarrow \text{M}^{n+} + ne^{-}$	Metal berubah menjadi ion positif Metal dengan melepas sejumlah n valensi elektron.

e^{-} adalah simbol elektron.

Berapa besar potensial listrik yang dihasilkan, bila logam baja (Fe) dan tembaga (Cu) dihubungkan dengan sebuah kawat konduktor lalu direndam didalam larutannya ion logamnya masing – masing 1,0 M. Diantara larutan tersebut terdapat sebuah *membrane* (Gambar 1.1)?



Gambar 1.1 Sel elektrokimia

Sebuah batang baja dan tembaga yang terhubung dengan sebuah kawat konduktor dan terendam dalam larutan ion logamnya masing-masing akan membentuk sel elektrokimia, sebagaimana terlihat pada Gambar 1.1. Reaksi oksidasi (anodik) dan reduksi (katodik), dan besar energi listrik yang dihasilkan terlihat pada Tabel 1.2.

Tabel 1.2 Reaksi kimia pada sel elektrokimia

Jenis Reaksi	Reaksi kimia	Emf (V)
Reduksi/(katodik)	$\text{Cu}^{2+} + 2\text{e} \rightarrow \text{Cu}$	+0,340 V
Oksidasi/(anodik)	$\text{Fe} \rightarrow \text{Fe}^{2+} + 2\text{e}$	- 0,440 V
	$\text{Cu}^{2+} + \text{Fe} \rightarrow \text{Cu} + \text{Fe}^{2+}$	+0,780 V

Tabel 1.2 memperlihatkan bahwa potensial listrik yang dihasilkan oleh sel elektrokimia dari sebatang baja dan tembaga dengan konsentersasi media eletrolitik 1.0 M adalah +0,780 Volt. Baja mengalami korosi sehingga dimensinya akan berkurang.

Tahapan penyelesaian perhitungan yang diperlihatkan pada Tabel 1.2 adalah sebagai berikut:

- Lakukan identifikasi reaksi kimia (katodik atau anodik) untuk logam Fe dan Cu. Tabel 1.3 memperlihatkan nilai potensial listrik setengah sel masing-masing metal. Jika diurut dari bawah ke atas, maka metal akan semakin mudah melakukan reaksi reduksi dengan kata lain logam makin keatas makin bersifat katodik. Berdasarkan Tabel 1.3 diketahui bahwa logam baja (Fe) adalah anodik sementara tembaga (Cu) adalah

katodik. Hal ini disebabkan posisi tembaga (Cu) di atas baja (Fe) pada Tabel 1.3.

- b. Tentukan nilai potensial masing masing logam.

Nilai potensial listrik (Volt) bagi tembaga yaitu +0,340 Volt. (karena reduksi/katodik)

Nilai potensial listrik (Volt) bagi baja adalah -0,440 Volt. (reaksi oksidasi/anodik)

- c. Hitung nilai potensial Listrik

Nilai potensial listrik atau energi listrik sebuah sel elektrokimia (V_{sel}) adalah Nilai potensial katodik ($V_{katodik}$) dikurangi nilai potensial anodik (V_{anodik}).

$$V_{sel} = V_{katodik} - V_{anodik}$$

potensial listrik sel elektrokimia Fe-Cu = $V_{katodik} - V_{anodik}$

$$V_{sel \text{ Fe-Cu}} = (+0,340 \text{ volt}) - (-0,440 \text{ Volt})$$

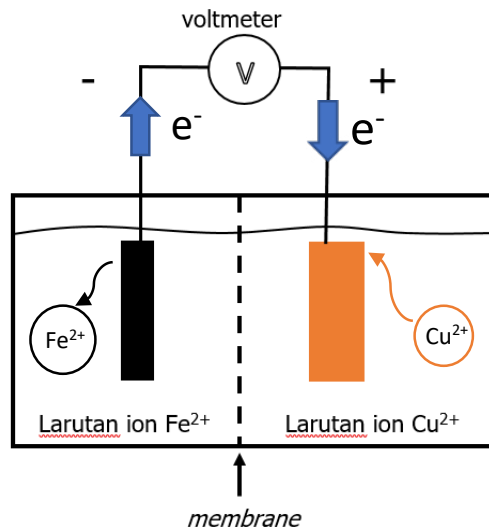
$$V_{sel \text{ Fe-Cu}} = +0,780 \text{ volt.}$$

Tabel 1.3 The Standard emf Series

	Electrode Reaction	Standard Electrode Potential, V° (V)
Increasingly inert (cathodic) 	$\text{Au}^{3+} + 3e^{-} \longrightarrow \text{Au}$	+1.420
	$\text{O}_2 + 4\text{H}^{+} + 4e^{-} \longrightarrow 2\text{H}_2\text{O}$	+1.229
	$\text{Pt}^{2+} + 2e^{-} \longrightarrow \text{Pt}$	$\sim +1.2$
	$\text{Ag}^{+} + e^{-} \longrightarrow \text{Ag}$	+0.800
	$\text{Fe}^{3+} + e^{-} \longrightarrow \text{Fe}^{2+}$	+0.771
	$\text{O}_2 + 2\text{H}_2\text{O} + 4e^{-} \longrightarrow 4(\text{OH}^{-})$	+0.401
	$\text{Cu}^{2+} + 2e^{-} \longrightarrow \text{Cu}$	+0.340
	$2\text{H}^{+} + 2e^{-} \longrightarrow \text{H}_2$	0.000
	$\text{Pb}^{2+} + 2e^{-} \longrightarrow \text{Pb}$	-0.126
	$\text{Sn}^{2+} + 2e^{-} \longrightarrow \text{Sn}$	-0.136
Increasingly active (anodic) 	$\text{Ni}^{2+} + 2e^{-} \longrightarrow \text{Ni}$	-0.250
	$\text{Co}^{2+} + 2e^{-} \longrightarrow \text{Co}$	-0.277
	$\text{Cd}^{2+} + 2e^{-} \longrightarrow \text{Cd}$	-0.403
	$\text{Fe}^{2+} + 2e^{-} \longrightarrow \text{Fe}$	-0.440
	$\text{Cr}^{3+} + 3e^{-} \longrightarrow \text{Cr}$	-0.744
	$\text{Zn}^{2+} + 2e^{-} \longrightarrow \text{Zn}$	-0.763
	$\text{Al}^{3+} + 3e^{-} \longrightarrow \text{Al}$	-1.662
	$\text{Mg}^{2+} + 2e^{-} \longrightarrow \text{Mg}$	-2.363
	$\text{Na}^{+} + e^{-} \longrightarrow \text{Na}$	-2.714
	$\text{K}^{+} + e^{-} \longrightarrow \text{K}$	-2.924

Pada sel elektrokimia Baja (Fe) – Tembaga (Cu), batang baja mengalami reaksi oksidasi (reaksi anodik) sehingga Fe logam berubah menjadi ion Fe^{2+} dengan melepas 2 elektron. Ion Fe^{2+} akan masuk kedalam larutan sementara elektronnya bergerak melewati kawat konduktor menuju batang tembaga. Masuknya ion Fe^{2+} kelarutan mengindikasikan bahwa baja mengalami korosi sehingga dimensinya menipis. Sementara itu datangnya elektron-elektron pada batang tembaga menyebabkan terjadinya reaksi reduksi dimana ion tembaga dari larutan berubah menjadi logam tembaga yang melekat pada batang tembaga sehingga dimensi tembaga bertambah. Adanya

aliran elektron menyebabkan timbulnya potensial listrik. Gambar 1.4 memperlihatkan pergerakan elektron dan ion logam pada katoda dan anoda.



Gambar 1.4 Arah pergerakan atom dan ion logam pada sebuah sel elektrokimia

Menghitung potensial Listrik sel elektrokimia.

Berapa potensial listrik sel elektrokimia pada sebatang logam Baja (Fe) kontak dengan sebatang logam Aluminium (Al) direndam dalam larutan ion masing-masing logam 1,0 M. Diantara larutan terdapat membrane? Langkah menghitung atau menentukan

potensial listrik sel elektrokimia yang melibatkan logam besi (Fe) dan logam aluminium (Al) dalam larutan ion masing-masing dengan konsentrasi 1,0 M adalah sebagai berikut.

Berdasarkan Tabel 1.3 dapat diketahui bahwa

- Logam baja (Fe) berada di atas logam Aluminium (Al). Sehingga Fe akan mengalami reaksi reduksi dan Al akan mengalami reaksi oksidasi
- potensial listrik Fe = -0,440V Volt, potensial listrik Al = -1,662 Volt
- potensial listrik sel elektrokimia Fe-Al adalah + 1,222 V (Tabel 1.4).

Tabel 1.4 Sel elektrokimia Fe-Al

Jenis Reaksi	Reaksi kimia	Emf (V)
Reduksi/(katodik)	$3\text{Fe}^{2+} + 6e \rightarrow 3\text{Fe}$	-0,440 V
Oksidasi/(anodik)	$2\text{Al} \rightarrow 2\text{Al}^{3+} + 6e$	-1,662 V
		(-)
Potensial listrik sel	$3\text{Fe}^{2+} + 2\text{Al} \rightarrow 3\text{Fe} + 2\text{Al}^{3+}$	+1,222 V

Berapa potensial listrik pada suhu 25 °C dari sel elektrokimia yang terdiri kadmium murni yang direndam dalam larutan ion Cd^{2+} , 2×10^{-3} M dan besi murni dalam larutan ion Fe^{2+} , 0,4 M?

Persamaan di bawah ini untuk menghitung potensial listrik sebuah sel elektrokimia (V_{sel}) pada suhu 25 °C, bila konsentrasi larutan ion masing masing logam bervariasi. Konsentrasi larutan mempengaruhi nilai potensial listrik (V_{sel}) yang akan dihasilkan.

$$V_{sel} = (V_{katodik} - V_{anodik}) - \frac{0,0592}{n} \log \frac{M_{oksidasi}^{n+}}{M_{reduksi}^{n+}}$$

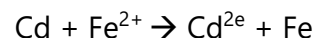
Tabel 1.5 Potensial listrik sel elektrokimia dengan konsentrasi larutan ion logam yang berbeda

Jenis Reaksi	Reaksi kimia	Emf (V)	Konsentrasi (M)
Reduksi/(katodik)	$Cd^{2+} + 2e \rightarrow Cd$	-0,403 V	2×10^{-3}
Oksidasi/(anodik)	$Fe \rightarrow Fe^{2+} + 2e$	-0,440 V	0,4
$Cd^{2e} + Fe \rightarrow Cd + Fe^{2+}$			

$$V_{sel} = (-0,403_{katodik} - (-0,440)_{anodik}) - \frac{0,0592}{2} \log \frac{0,4}{0,002}$$

$$V_{sel} = -0,0281 \text{ Volt}$$

Catatan Nilai negative pada ΔV menunjukan bahwa reaksi spontannya adalah berlawanan dengan yang tertulis pada Tabel 1.5 atau



Apa suhu berpengaruh pada potensial listrik sel elektrokimia?

Ya. Suhu mempengaruhi laju reaksi elektrokimia. Reaksi biasanya berjalan lebih cepat pada suhu yang lebih tinggi sebab terjadi peningkatan energi kinetik partikel. Hal tersebut berdampak pada kecepatan pertukaran muatan pada permukaan elektroda, sehingga mempengaruhi potensial sel.

V_{sel} atau potensial listrik sel elektrokimia juga tergantung pada suhu

$$V_{sel} = (V_{katodik} - V_{anodik}) - \frac{R.T}{n.F} \ln \frac{M_{oksidasi}^{n+}}{M_{reduksi}^{n+}}$$

Dimana

R = konstanta gas ($8,3145 \text{ J K}^{-1} \text{ mol}^{-1}$)

n = jumlah elektron yang ada pada setiap reaksi setengah sel

T = suhu

F = konstanta faraday (96.500 C/mol), merupakan besaran muatan listrik per mol ($6,022 \times 10^{23}$) elektron, pada suhu 25 °C

Apa manfaat “The Galvanic Series”?

Pada sebuah pasangan logam (misalnya A-B), dimana sebuah logam (A) kontak dengan logam lain (B) dan pasangan tersebut terendam dalam larutan korosif, maka Tabel 1.3 The Standard emf Series dapat dimanfaatkan untuk menentukan logam mana yang akan melakukan reaksi reduksi (katodik) dan logam mana yang beroksidasi (anodik). Namun pemanfaatannya terbatas pada logam murni saja.

The galvanic series (Tabel 1.6) berisikan metal yang sering digunakan secara real, namun tetap diurut berdasarkan sifat katodik atau anodiknya. Dimana jika diurut dari bawah ke atas, maka metal akan semakin bersifat katodik (reaksi reduksi) atau semakin mulia. Contoh, pada pasangan metal silver dan aluminium, maka silver akan menjadi katodik.

Beberapa manfaat tabel *galvanic series* adalah sebagai berikut:

- a. Pemilihan Material terutama logam: Dalam desain sistem dan struktur yang melibatkan berbagai logam. Tabel ini digunakan untuk memilih logam yang sesuai dengan lingkungan sehingga terhindar dari masalah korosi.
- b. Menganalisis Reaksi Elektrokimia: Tabel ini dapat digunakan untuk memprediksi reaksi elektrokimia yang dapat terjadi antara dua logam dalam suatu larutan.
- c. Perancangan Sistem Pelindung Korosi: Tabel *galvanic series* biasa dipakai dalam perancangan sistem pelindung korosi seperti katodik proteksi. Contoh pemilihan material anoda korban dalam melindungi sebuah struktur loga dari korosi.

Tabel 1.6 The Galvanic Series

	Platinum
	Gold
	Graphite
	Titanium
	Silver
	[316 Stainless steel (passive)
	[304 Stainless steel (passive)
	[Inconel (80Ni–13Cr–7Fe) (passive)
	[Nickel (passive)
	[Monel (70Ni–30Cu)
	Copper–nickel alloys
	Bronzes (Cu–Sn alloys)
	Copper
	Brasses (Cu–Zn alloys)
	[Inconel (active)
	[Nickel (active)
	Tin
	Lead
	[316 Stainless steel (active)
	[304 Stainless steel (active)
	[Cast iron
	Iron and steel
	Aluminum alloys
	Cadmium
	Commercially pure aluminum
	Zinc
	Magnesium and magnesium alloys

Increasingly inert (cathodic) ↑

↓ Increasingly active (anodic)

Source: M. G. Fontana, *Corrosion Engineering*, 3rd edition. Copyright 1986 by McGraw-Hill Book Company. Reprinted with permission.

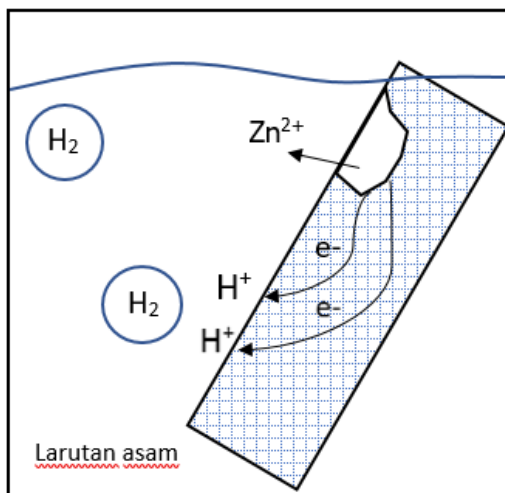
Apa gas yang terbentuk ketika zinc (Zn) berada dalam larutan asam?.

Ketika sebatang plat zinc (Zn) direndam dalam larutan asam, gas yang terbentuk adalah hidrogen (H₂). Reaksi yang terjadi adalah reaksi reduksi dan oksida antara zinc dan larutan asam.

Ketika Zinc bereaksi kimia dengan larutan asam maka akan terbentuk reaksi oksidasi (anodik) dan reaksi reduksi (katodik) pada plat zinc tersebut. Pada reaksi oksidasi (anodik), logam Zn berubah menjadi ion Zn²⁺ dan elektron. Ion Zn²⁺ masuk kedalam larutan asam sehingga menyebabkan terbentuknya lubang pada plat Zn. Sementara itu elektron bergerak menuju katoda dan mereduksi ion hydrogen (H⁺) menjadi gas hydrogen (H₂). Reaksi reduksi dan oksidasi diperlihatkan pada Tabel 1.7 sementara ilustrasi pergerakan elektron diperlihatkan pada Gambar 1.5.

Tabel.1.7

Lokasi	Jenis Reaksi	Reaksi kimia
Katoda	Reduksi/(katodik)	$2\text{H}^+ + 2\text{e} \rightarrow \text{H}_2$
Anoda	Oksidasi/(anodik)	$\text{Zn} \rightarrow \text{Zn}^{2+} + 2\text{e}$
		$2\text{H}^+ + \text{Zn} \rightarrow \text{H}_2 + \text{Zn}^{2+}$



Gambar 1.5. Korosi pada zinc dalam larutan asam

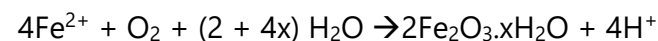
Bagaimana karat pada besi (*iron*) terbentuk?

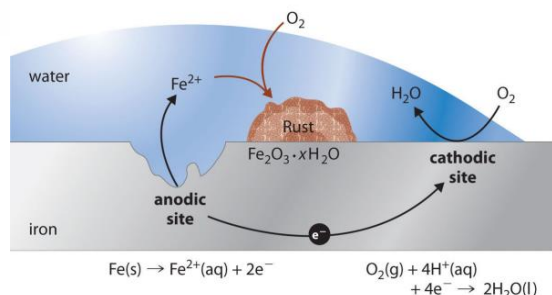
Diasumsikan sebuah permukaan besi (Fe) tergenang air seperti Gambar 1.6. Besi mengalami reaksi oksidasi/anodik dimana besi kehilangan elektron dan berubah menjadi ion besi. Sementara pada bagian lain terjadi reaksi reduksi dimana oksigen dan ion hydrogen berreaksi menjadi air. (Reaksi reduksi dan oksidanya terlihat pada Tabel 1.8).

Tabel 1.8

Jenis Reaksi	Reaksi kimia	Potensial (Volt)
Reduksi/(katodik)	$O_2 + 4H^+ + 4e^- \rightarrow 2H_2O$	+1,23 V
Oksidasi/(anodik)	$Fe \rightarrow Fe^{2+} + 2e^-$	-0,45 V
		(-)
$2Fe + O_2 + 4H^+ \rightarrow 2H_2O + 2Fe^{2+}$		+1,68 V

Selanjutnya ion Fe^{2+} hasil reaksi oksidasi awal tersebut kemudian bereaksi kembali dengan oksigen yang larut dalam air. Reaksi ini membentuk Fe^{3+} yang kemudian bereaksi dengan ion hidroksida (yang ada dalam larutan) membentuk hidroksida besi. Selanjutnya hidroksida besi mengalami kehilangan air untuk membentuk oksida besi yang stabil ($Fe_2O_3 \cdot xH_2O$) atau karat.





Gambar 1.6 Permukaan baja yang digenangi air
(<https://brainly.co.id/tugas/2089944>)

Apa yang dimaksud dengan laju korosi?

Laju korosi merupakan ukuran seberapa cepat korosi terjadi. Ini memperlihatkan ukuran seberapa cepat logam hilang sebagai akibat bereaksi kimia dengan lingkungannya. Laju korosi dinyatakan sebagai kecepatan kehilangan material per unit waktu. Contoh mpy (mil per tahun); mmy (millimeter per tahun) atau gram per persegi per tahun (g/m²).

Laju korosi dapat dihitung dengan menggunakan metode ketebalan. Pada metode ini diukur perubahan ketebalan selama waktu tertentu.

Laju korosi = (perubahan ketebalan) / (luas permukaan x waktu)

Persamaan ini digunakan untuk menghitung laju korosi (CR) dengan menggunakan metode kehilangan berat.

$$CR = \frac{KW}{\rho \cdot A \cdot t}$$

Keterangan symbol dari persamaan diperlihatkan pada Tabel 1.9

Tabel 1.9 Keterangan untuk persamaan laju korosi

	Keterangan	CR (unit)	
		mpy (Mil/year)	mmy (mm/year)
K	Konstanta	534	87,6
W	berat (berat sampel yang hilang atau selisih Berat sampel sebelum dan sesudah direndam)	miligram	miligram
•	Massa jenis	Gram/cm ³	Gram/cm ³
A	Luas permukaan yang terpapar	(Inch) ²	(Cm) ²
t	Waktu terpapar	Jam	Jam
Catatan 1 mil = 0,001 in CR < 20 mpy (0,50 mm/tahun) adalah diterima (<i>acceptable</i>)			

Berikan contoh teknis pelaksanaan penelitian korosi?

Berikut adalah contoh teknis pelaksanaan penelitian untuk mengetahui laju korosi pada metal menggunakan metode kehilangan berat:

1. Tujuan Penelitian

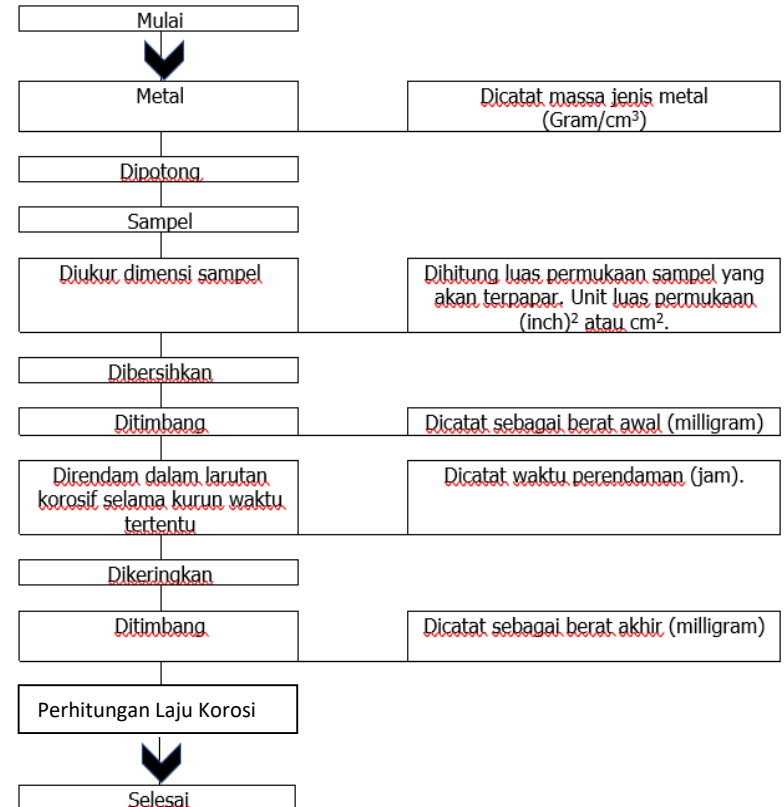
Mengetahui laju korosi logam (contoh baja S45C) dengan menerapkan metode kehilangan berat.

2. Material dan peralatan yang digunakan

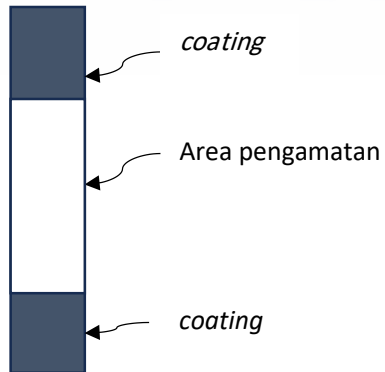
- Material Logam: baja S45C.
- Media elektrolit: larutan garam (NaCl 3,5 %)
- Alat Ukur: Timbangan analitik dengan kemampuan menimbang benda 0,1 mg,
- Peralatan Pembersih: Amplas dari grade 200 sampai 600. Air deionisasi, larutan pembersih (misal etanol)
- Peralatan Pengering: *hair dryer*.

3. Metode

Diagram alir pelaksanaan penelitian dapat dilihat pada Gambar 1.7 a.



(a)



(b)

Gambar 1.7 Diagram alir penelitian (a). Ilustrasi sampel silinder(b)

3.1 Persiapan Sampel

1. Catat massa jenis sampel (contoh 7,85 gram/cm³ untuk baja S45C)
2. Pemotongan Sampel: Sebuah sampel berbentuk selinder diuji korosi. Area yang tidak diamati dilapis dengan cat. Area pengamatan memiliki panjang L_0 (cm) dengan diameter D_0 (cm). (Gambar 1.7.b).
3. Ukur dan catat dimensi sampel: panjang, lebar dan tinggi sampel.

4. Pembersihan: amplas sampel dengan amplas dari grade 200 hingga grade 600. Lalu bersihkan dengan etanol dan akhirnya dibilas dengan air deionisasi. Terakhir sampel dikeringkan dengan *hair dryer*.

3.2 Pengukuran Berat Awal

Lakukan penimbangan setiap sampel dengan timbangan analitik dan catat beratnya. Berat ini dikenal sebagai berat awal (W_0).

3.3 Perendaman

1. Penyiapan Larutan Korosi: Siapkan larutan korosi (contoh larutan garam NaCl 3,5% berat).
2. Perendaman Sampel: Celupkan potongan logam (baja S45C) ke dalam larutan korosi (NaCl 3,5% berat). Sampel dalam kondisi tergantung dalam larutan korosi. Sampel dibiarkan terendam dalam periode waktu tertentu (variasi waktu misalnya 1 hari, 7 hari, 30 hari dst), pada suhu tertentu (misalnya suhu kamar).

3.4 Pengukuran Berat Akhir

1. Bila waktu perendaman selesai, ambil setiap sampel dan bersihkan dengan acetone atau bilas dengan air deionisasi.
2. Keringkan sampel dengan hair dryer.
3. Setelah kering lakukan penimbangan pada setiap sampel. Berat pada tahap ini dikenal sebagai berat akhir (W1).

3.5 Analisis Data

1. Kehilangan Berat: Hitung kehilangan berat (ΔW). Kehilangan berat merupakan selisih berat awal dengan berat akhir atau $\Delta W = W_0 - W_1$
2. Menghitung Laju Korosi dengan menggunakan persamaan

$$CR = \frac{KW}{\rho \cdot A \cdot t}$$

4. Laporan penelitian.

Pembuatan laporan adalah kegiatan terakhir dari sebuah penelitian. Laporan penelitian merupakan sebuah dokumen yang berisi hasil dari suatu penelitian yang telah dilakukan. Laporan ini menyajikan informasi mengenai tujuan penelitian, metode, data penelitian

yang diperoleh, analisis, dan terakhir adalah kesimpulan penelitian.

Sebuah sampel baja lebar 2 cm, panjang 4 cm dan tebal (diabaikan). Sampel lalu direndam dalam asam cuka selama 2 bulan. laju korosi adalah 0,09 mmy. Berapa selisih berat awal dengan berat akhir sampel?

Menjawab pertanyaan tersebut, data penelitian terlebih dulu ditulis dalam sebuah seperti terlihat pada Tabel 1.10. Penghitungan untuk mendapatkan selisih beratnya memakai persamaan [1.4]. Berdasarkan hasil perhitungan, terjawablah bahwa selisih berat awal dengan berat akhir (W) adalah 186 mg.

Tabel 1.10

CR	Laju korosi	0,09	(mm/year)
K	Konstanta	87,6	87,6
W	berat (berat sampel yang hilang atau selisih Berat sampel sebelum dan sesudah direndam)	?	miligram
▪	Massa jenis	7,85	Gram/cm ³

A	Luas permukaan yang terpapar	2 (2 x 4) = 16	(cm) ²
t	Waktu terpapar	2 x 30 x 24 = 1440	Jam

$$CR = \frac{KW}{\rho \cdot A \cdot t}$$

$$0,09 = \frac{87,6 \times W}{7,85 \times 16 \times 1440}$$

$$W = 185,8 \text{ miligram}$$

Apa bagaimana menentukan tingkat ketahanan korosi?

Tingkat ketahanan korosi diklasifikasikan berdasarkan rentang laju korosi. Untuk penilaian mendapatkan tingkat ketahanan korosi secara praktis, nilai laju korosi yang ada (*existing*) dibandingkan dengan nilai standar industri (Tabel 1.11) Berdasarkan Tabel 1.11 ketahanan korosi bagi baja dengan laju korosi 0,09 mmy adalah *excellent*.

Tingkat ketahanan korosi akan lebih dimengerti dengan mengkonversi laju korosi menjadi nilai yang memberikan indikasi seberapa baik material tersebut bertahan terhadap korosi. Contoh. Pada sebuah logam tebal 5 mm yang memiliki laju korosi 0,09 mmy. Maka

logam itu akan bertahan sekitar 55,56 tahun sebelum ketebalannya habis terkorosi. Hal ini didapat dari perhitungan tebal logam dibagi dengan laju korosi (atau 5 mm/0,09 (mm/tahun) = 55,56 tahun)

Tabel 1.11 Tingkat ketahanan korosi berdasarkan laju korosi

Relative Corrosion Resistance	Approximate Metric Equivalent	
	mpy	mm/year
<i>outstanding</i>	< 1	< 0,02
<i>excellent</i>	1 – 5	0,02 – 0,1
<i>Good</i>	5- 20	0,1 – 0,5
<i>Fair</i>	20 - 50	0,5 – 1
<i>Poor</i>	50 - 200	1 - 5
<i>Unacceptable</i>	200 +	5 +

(M.G, Fontana, 1986)

Bagaimana menentukan laju korosi (CR) berdasarkan *corrosion current density* ($\mu\text{A}/\text{cm}^2$) atau (kepadatan arus korosi ($\mu\text{A}/\text{cm}^2$))?

Berdasarkan ASTM G102, *corrosion current density* (i_{cor}) dapat digunakan untuk menghitung laju korosi (CR)

dengan menerapkan hukum faraday seperti di bawah ini. Nilai konstanta (K) diperlihatkan pada Tabel 1.12. Sementara Nilai Equivalent Weight (EW) beberapa logam diperlihatkan pada Tabel 1.13.

$$CR = K \cdot \frac{i_{cor}}{\rho} \cdot EW$$

$$EW = \frac{\text{Berat Atom Logam}}{\text{valensi logam}}$$

Tabel 1.12 Nilai konstanta pada persamaan

Kode	Item	Nilai Satuan	
CR	Laju korosi	Mpy (mil/year)	mm/y (mm/year)
K	Konstanta	0,1288 (mpy. g/• A. cm)	0,00327 (mm g/• A y)
i_{cor}	Current density	• A/cm ²	• A/cm ²
ρ	Massa jenis	Gram/cm ³	Gram/cm ³
EW	Equivalent Weight	Dimensionless in this calculation	

Tabel 1.13 Nilai EW [ASTM G 102] dan massa jenis beberapa logam

Logam	EW	Massa jenis (gram/cm ³)
Aluminium alloy	8,99 – 9,71	2,7
Copper alloys	46,38 – 63,55	~8,8
Stainless steel	23,98 – 25,94	~7,86
Carbon steel	27,92	~7,86
Nickel alloy	25,10 – 35,82	~8,8
Mg	12,15	1,7
Zn	32,68	7,1
Pb	103,59	11,3
Catatan : nilai EW dikutip dari ASTM G102, namun yang diambil hanya nilai minium dan maksimumnya saja dari suatu logam paduan		

Contoh soal persamaan [1.6]. Berapa laju korosi (CR) sebuah plat ASTM A36 dengan *corrosion current density* 27,91 $\mu\text{A}/\text{cm}^2$?

Jawab. Plat ASTM A36 adalah baja karbon. Laju korosi ASTM A36 dengan $i_{cor} = 27,91 \mu\text{A}/\text{cm}^2$ dapat dihitung dimana nilai EW dan massa jenis plat baja karbon dapat

diketahui dari Tabel 1.13. Laju korosi ASTM A36 yaitu 0,31 mm/year.

$$CR = K \cdot \frac{i_{cor}}{\rho} \cdot EW$$

$$CR = 0,00327 \times \frac{27,91}{7,86} \times 27,92$$

$$CR = 0,31 \text{ mm/year}$$

Laju korosi (CR) dapat juga diperoleh dengan

$$CR = K \cdot \frac{i_{cor}}{\rho} \cdot \frac{a}{n}$$

Dimana a = berat atom logam dan n = valensi

Laju korosi plat ASTM A36 dapat hitung sebagai berikut:

Berat atom plat ASTM A36 = 55,85 gram/mol; valensi = 2

$$CR = 0,00327 \times \frac{27,92}{7,86} \times \frac{55,85}{2}$$

$$CR = 0,32 \text{ mm/year}$$

(Amri Royan Hidayat, Imam Rochani dan Heri Supomo, 2013)

Bagaimana teknis pelaksanaan untuk mendapatkan nilai *corrosion current density* ($\cdot \text{A/cm}^2$) (i_{cor}) sebuah logam?

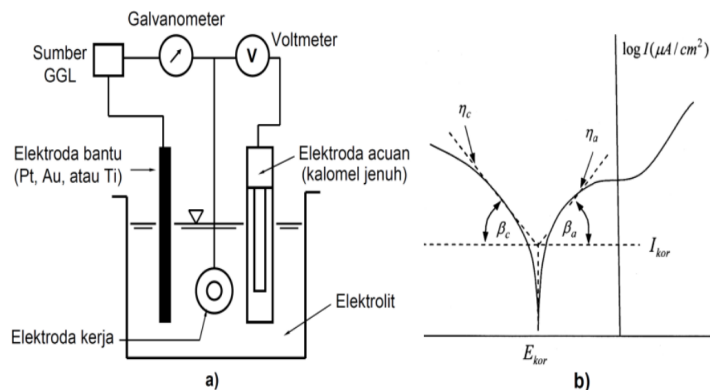
Sekarang laboratorium menggunakan peralatan canggih untuk mengetahui *corrosion current density* dan bahkan dengan bantuan *software* telah dapat menentukan laju korosi. Berikut adalah paparan ringkas tentang teknis pemakaian alat uji korosi tipe tiga sel. (Yudha Kurniawan Afandi, Irfan Syarif Arief, dan Amiadji, 2015)

Alat uji korosi tipe sel tiga elektroda (Gambar 1.8 a) digunakan untuk mengetahui *corrosion current density* (i_{cor}) suatu logam. Ketiga elektroda tersebut adalah elektroda kerja; elektroda bantu dan elektroda acuan.

Elektroda kerja merupakan sebatang logam yang ingin diketahui *corrosion current density* (i_{cor}) nya.

Elektroda bantu berfungsi untuk mengangkut arus dalam rangkaian yang terbentuk dalam percobaan. Elektroda bantu tidak digunakan untuk mengukur potensial. Logam yang biasa dipakai sebagai elektroda bantu yaitu Platina; emas atau titanium.

Elektroda acuan adalah elektroda yang digunakan sebagai titik dasar yang sangat mantap untuk menjadi acuan pengukuran-pengukuran potensial elektroda kerja. Arus yang mengalir melalui elektroda acuan kecil sekali sehingga dapat diabaikan. Contoh Elektroda acuan ialah elektroda kalomel jenuh.



Gambar 1.8 (a) Ilustrasi sel tiga elektroda (b) Hasil pengujian untuk menentukan i_{cor} (Viktor Malau dan Nelson Seleman Luppa, 2011)

Prosedur pengoperasian sel tiga elektroda sebagai berikut.

- Setiap elektroda dipasang pada selnya masing-masing dan kemudian dicelupkan kedalam larutan elektrolit dalam tabung elektrokimia.
- Sel-sel kemudian dihubungkan dengan potensiostat/galvanostat.
- Elektroda kerja diberi potensial negatif mulai (misalnya) dari -2000 mV sampai 0 mV. Pada saat elektroda kerja diberi potensial negatif (polarisasi katodik) senilai -2000 mV maka elektroda kerja mulai melakukan reaksi reduksi. Reaksi reduksi (catodic) terus terjadi hingga potensial yang diberikan bernilai 0

mV. Besar potensial (E) dan *current density* (i) dari reaksi reduksi (*catodic*) terlihat grafik sebelah kiri pada Gambar 1.8. Reaksi reduksi ditampilkan dengan gradient negatif. Nilai potensial korosi (E_{cor}) terlihat pd grafik ketika nilai arus 0 mV

- Elektroda kerja kembali diberi potensial positif mulai 0 mV sampai (misalnya) 2000 mV. Pemberian potensial positif (polarisasi anodik) akan menyebabkan elektroda kerja akan mengalami reaksi oksidasi (anodik). Reaksi oksidasi berlangsung dari 0 mV sampai 2000 mV. Besar potensial (E) dan Current density (i) dari reaksi oksidasi (anodik) ditampilkan pada grafik sebelah kanan pada Gambar 1.8. b. Reaksi oksidasi tunjukkan dengan gradien positif.
- Pada kurva Potensial VS Current density (Gambar 1.8), dilakukan ekstrapolasi Tafel pada masing masing kurva reduksi dan kurva oksidas.
- Nilai *corrosion current density* (i_{cor}) adalah titik pertemuan antara garis Tafel reaksi reduksi (η_c) dengan garis Tafel reaksi oksidasi (η_a). Persamaan untuk (η_c) dan (η_a) (M.G, fontana, 1986)

$$\eta_c = \beta_c \log \frac{i_c}{i_0}$$

$$\eta_a = \beta_a \log \frac{i_a}{i_0}$$

Dimana :

η_c = Tafel reaksi reduksi,

η_a = Tafel reaksi oksidasi,

i_c = arus pada reaksi katoda,

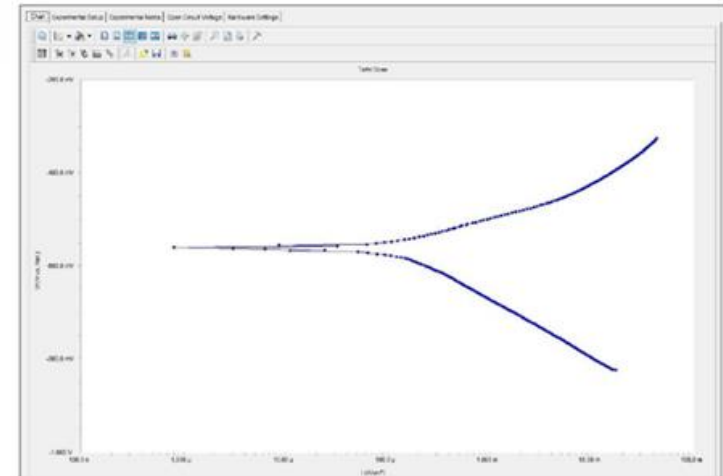
i_a = arus pada reaksi anoda,

$i_o = i_a = -i_c = i_{cor}$ = arus saat perubahan reaksi reduksi menuju reaksi oksidasi,

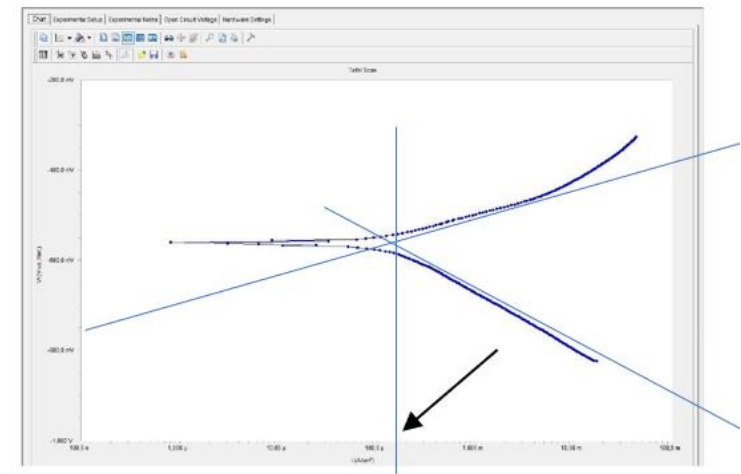
β_c = gradien ekstrapolasi Tafel reaksi katoda,

β_a = gradien Tafel reaksi anoda.

Gambar 1.9 merupakan hasil Alat uji korosi tipe sel tiga elektroda atau dikenal juga sebagai Pengujian Polarisasi Potensiodinamik uji korosi Tentukan nilai I_{corr} pada Gambar 1.9 secara "manual". Ini dimaksudkan untuk memahami bagaimana I_{corr} diperoleh.



(a)



(b)

Gambar 1.9 I_{cor} terlihat pada sumbu axis horizontal (tanda panah)

Bagaimana menghitung Laju Korosi Berdasarkan Diameter Sampel?

Sebuah sampel berbentuk selinder diuji korosi. Area yang tidak diamati di tutup dengan cat. Area pengamatan memiliki panjang L_0 (cm) dengan diameter D_0 (cm). Sampel direndam di dalam larutan elektrolit. Setelah direndam selama t (jam), diameter sampel berubah menjadi D_1 (cm) (Gambar 1.7b). Diasumsikan panjang tidak mengalami perubahan. Berapa laju korosi sampel tersebut (dalam mmy (milimeter per year))?

Tahapan menjawab pertanyaan sebagai berikut:

- 1 Menghitung volume yang hilang akibat korosi

$$V = (V_0) - (V_1)$$

$$V = \left(\pi \times \left(\frac{D_0}{2} \right)^2 \times L_0 \right) - \left(\pi \times \left(\frac{D_1}{2} \right)^2 \times L_0 \right) [cm^3]$$

$$V = \left(\left(\frac{D_0}{2} \right)^2 - \left(\frac{D_1}{2} \right)^2 \right) \times \pi \times L_0 [cm^3]$$

- 2 Menghitung berat yang hilang akibat korosi

$$W = \rho [gram/cm^3] \times V [cm^3]$$

$$W = \rho \times \left(\left(\frac{D_0}{2} \right)^2 - \left(\frac{D_1}{2} \right)^2 \right) \times \pi \times L_0 [gram]$$

$$W = \rho \times 1000 \times \left(\left(\frac{D_0}{2} \right)^2 - \left(\frac{D_1}{2} \right)^2 \right) \times \pi \times L_0 [miligram]$$

- 3 Menghitung laju korosi.

$$CR = \frac{W [miligram] \times K}{\rho [gram/cm^3] \times A_0 [cm^2] \times t [jam]}$$

$$CR = \frac{\left(\rho \times 1000 \times \left(\left(\frac{D_0}{2} \right)^2 - \left(\frac{D_1}{2} \right)^2 \right) \times \pi \times L_0 \right) \times K}{\rho \times (\pi \times D_0 \times L_0) \times t}$$

$$CR = \frac{\left(1000 \times \left(\left(\frac{D_0}{2} \right)^2 - \left(\frac{D_1}{2} \right)^2 \right) \times K \right)}{(D_0) \times t}$$

Note; persamaan CR diatas hanya berlaku bila unit atau satuan dari masing masing nomenclature sesuai ketentuan sebagai berikut

CR : Laju korosi (*corrosion rate*) (mmy)

K : Konstanta 87,6

W : berat (berat sampel yang hilang atau selisih berat sampel sebelum dan sesudah direndam) miligram

• : Massa jenis logam (gram/cm³)

A : Luas permukaan yang terpapar (Cm)²

D : Diameter sampel (Cm)

t : Waktu terpapar (Jam)

Lo : Tinggi daerah terpapar (Cm)

Contoh soal

Sebuah sampel berbentuk selinder diuji korosi. Area yang tidak diamati di tutup dengan cat. Area pengamatan memiliki panjang 10 cm dengan diameter 1 cm. Sampel direndam di dalam larutan elektrolit. Setelah direndam selama 10080 (**jam**), diameter sampel berubah menjadi 0,3 cm. Diasumsikan panjang tidak mengalami perubahan. Berapa laju korosi sampel tersebut (dalam mmy (milimeter per year))?

Jawab

$$CR = \frac{\left(1000 \times \left(\left(\frac{D_0}{2} \right)^2 - \left(\frac{D_1}{2} \right)^2 \right) \times K \right)}{(D_0) \times t}$$

$$CR = \frac{\left(1000 \times \left(\left(\frac{1}{2} \right)^2 - \left(\frac{0,3}{2} \right)^2 \right) \times 87,6 \right)}{(0,5) \times 10080}$$

$$CR = 1,98 \text{ mmy}$$

Daftar Pustaka

M. G Fontana, "Corrosion Engineering, 3rd", Copyright 1986 by McGraw-Hill Book Company.

<https://brainly.co.id/tugas/2089944>

Cheesa, 2018, "Pemanfaatan Ekstrak Daun Tembakau sebagai Inhibitor Korosi pada Logam Baja Karbon dan Aluminium ", Vol. 1 No. 2 Hal 82-91, 2018, <http://e-journal.unipma.ac.id/index.php/cheesa> Copyright © 2018 | 82]

Amri Royan Hidayat, Imam Rochani dan Heri Supomo, 2013, "Studi Eksperimen Perbandingan Laju Korosi pada Plat ASTM (American Society for Testing and Material) A36 Dengan Menggunakan Variasi Sudut Bending, Jurnal Teknik POMITS Vol. 2, No. 1, (2013) ISSN: 2337-3539 (2301-9271 Print)

Yudha Kurniawan Afandi, Irfan Syarif Arief, dan Amiadji, 2015, "Analisa Laju Korosi pada Pelat Baja Karbon dengan Variasi Ketebalan Coating, Jurnal Teknik ITS Vol. 4, No. 1, (2015) ISSN 2337-3539 (2301-9271 Printed)]

Viktor Malau, Nelson Seleman Luppia, 2011, "Pengaruh Variasi Waktu Dan Konsentrasi Larutan NaCl Terhadap Kekerasan Dan Laju Korosi Dari Lapisan Nikel Elektroplating Pada Permukaan Baja Karbon Sedang," Prosiding Seminar Nasional Sains dan Teknologi ke-2 Tahun 2011 Fakultas Teknik Universitas Wahid Hasyim Semarang, ISBN 9786029933406, http://eprints.undip.ac.id/45839/1/Djaeni%2C_mixed_drying_Seminar_UNWAHAS.pdf

BAB 2

JENIS JENIS KOROSI

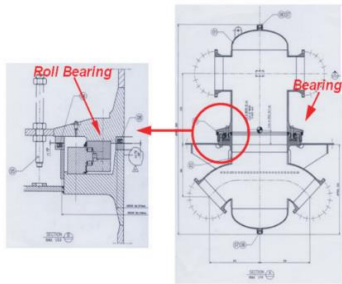
Sebutkan jenis korosi?

Korosi merupakan proses kerusakan material, akibat berreaksi kimia dengan lingkungan sekitarnya. Pada bab ini akan dibahas beberapa jenis korosi logam seperti:

- a. Korosi sumuran (*Pitting corrosion*),
- b. korosi merata (*Uniform Attack*),
- c. korosi galvanik (*Galvanic Corrosion*),
- d. korosi celah (*Crevice Corrosion*),

Apa itu korosi sumuran (*pitting corrosion*) ?

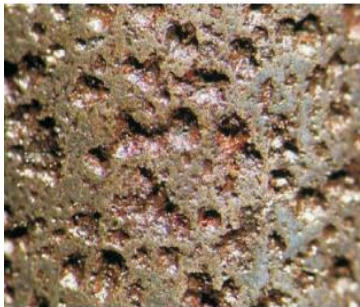
Korosi sumuran merupakan serangan korosi yang terlokalisasi dan bentuknya berupa lubang-lubang kecil. Korosi sumuran menembus dari atas permukaan horizontal ke bawah dengan arah yang hampir vertikal. (Gambar 2.1)



(a) Ilustrasi posisi posisi
Roll Bearing



(b) Roll bearing



(c) Korosi Sumuran
Tampak Atas
(Pembesaran 12 X)



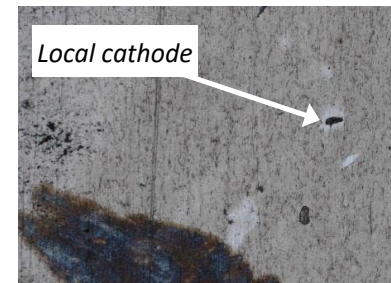
(d) Korosi Sumuran.
Potongan Melintang
(Pembesaran 200x, Etsa
:Nital 2%)

Gambar 2.1 Korosi Sumuran Pada Roll Bearing Pada Instalasi
Explorasi Minyak

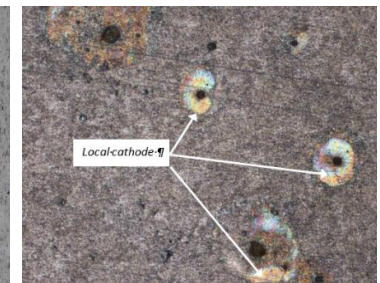
[Hadi Sunandrio dan Laili Novita Sari, 2011]

Gambar 2.2 juga memperlihatkan korosi sumuran pada permukaan sampel baja S45C yang telah direndam dalam larutan NaCl selama 624 jam. Pada Gambar 2.2 terlihat adanya beberapa noda hitam dikelilingi oleh warna putih. Ini merupakan ciri korosi sumuran. Warna putih merupakan *local cathode* (K.V Akpanyung and R.T Loto 2019), atau daerah yang mampu bertahan dari serangan korosi. Noda hitam adalah gambar tampak atas dari korosi sumuran. Korosi sumuran juga ditemukan pada baja yang terendam dilaut (Munasir dan Yulie, 2009) .

Gambar 2.3 mengilustrasikan adanya *local cathode* disekitar korosi sumuran

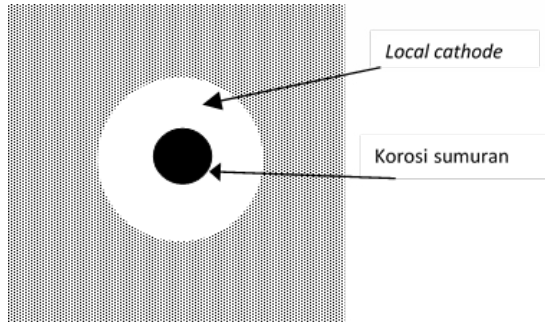


(a). Sampel S45C (hardening
dan annealing
(800 0C). (Pembesaran 10x)



(b). Sampel S45C
(hardening dan
annealing (900 0C).
(Pembesaran 10x

Gambar 2.2. Korosi sumuran pada baja S45C. Terlihat adanya daerah *local cathode* (warna putih) disekeliling sumuran (warna hitam).



Gambar 2.3. Local cathode mengelilingi korosi sumuran

Mekanisme korosi sumuran diilustrasikan pada Gambar 2.4. Korosi sumuran diawali dengan rusaknya lapisan pasif pada permukaan logam, sehingga terbentuk tempat yang bersifat anodik dan katodik. Pada daerah anodik akan terjadi reaksi oksidasi dimana Metal (M) berubah menjadi ion Metal (M^+). Sementara pada daerah katodik terjadi reaksi reduksi dimana oksigen (O_2) berubah menjadi anion hidroksida (OH^-), sebagaimana terlihat pada Tabel 2.1.

Tabel 2.1

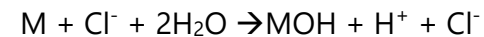
Elektroda	Jenis Reaksi	Reaksi kimia
Katoda	Reduksi/(katodik)	$O_2 + 2H_2O + 4e^- \rightarrow 4OH^-$
Anoda	Oksidasi/(anodik)	$M \rightarrow M^{n+} + ne^-$

Reaksi oksidasi (anodik) terjadi terus menerus selama sampel metal terpapar di dalam larutan korosif seperti NaCl (5%) sehingga membentuk sumuran dan ion metal (M^{n+}) pun terakumulasi didaerah anodik tersebut.

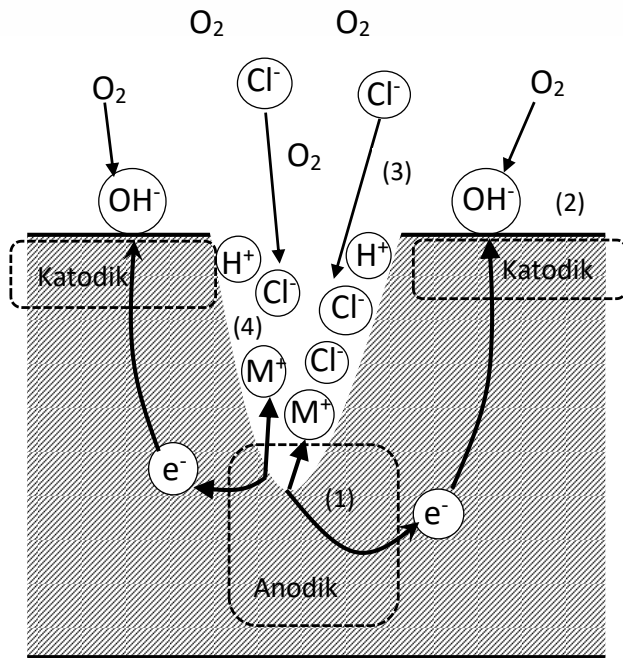
Elektron yang dilepas sebagai akibat dari reaksi oksidasi bergerak kepermukaan metal dan kemudian terjadilah reaksi reduksi (katodik) seperti terlihat pada Tabel 2.1.

Jumlah ion metal (M^{n+}) di dalam sumuran terus meningkat dan kondisi ini memberikan kesempatan pada ion-ion klorida (Cl^-) bermigrasi kedalam sumuran untuk menstabilkan elektron.

Ion-ion klorida (Cl^-) kemudian bereaksi dengan ion metal (M^+) dan menyebabkan terjadinya reaksi hidrolisis. Reaksi hidrolisis tersebut akan menghasilkan kation hidrogen (H^+) yang berlebihan sehingga daerah rongga menjadi asam. Reaksi hidrolisis sebagai berikut :



Kehadiran kation hidrogen (H^+) dan ion (Cl^-) akan mempercepat terjadinya korosi yang dikenal sebagai autokatalitik dimana korosi terus menerus terjadi dan mengakibatkan sumuran semakin dalam.

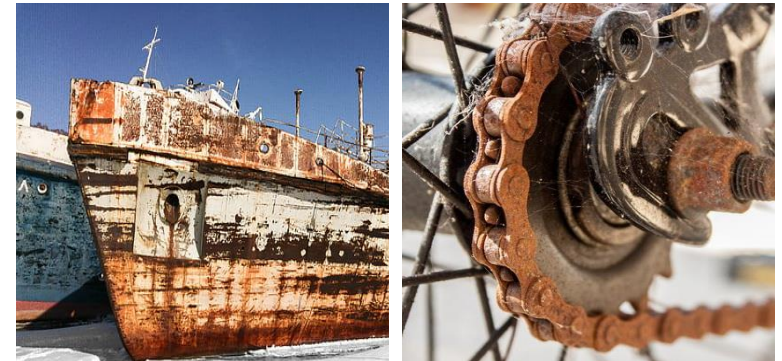


Gambar 2.4. Ilustrasi mekanisme korosi sumuran. (1) Daerah anodik, (2) Daerah katodik, (3) Migrasi ion-ion klorida masuk ke dalam sumuran, (4) Reaksi hidrolisis.

Apa itu korosi merata (*Uniform Attack*)?

Korosi merata merupakan bentuk korosi elektrokimia yang terjadi dengan intensitas yang setara di seluruh permukaan yang terbuka. Korosi merata juga sering ditandai dengan adanya karat sebagai hasil reaksi

elektrokimia tersebut. Gambar 2.5 memperlihatkan korosi merata pada beberapa produk baja.



Gambar 2.5 Korosi merata

[<https://www.piqsels.com>] [<https://www.sepeda.me>]

Apa itu korosi galvanik (*Galvanic Corrosion*)?

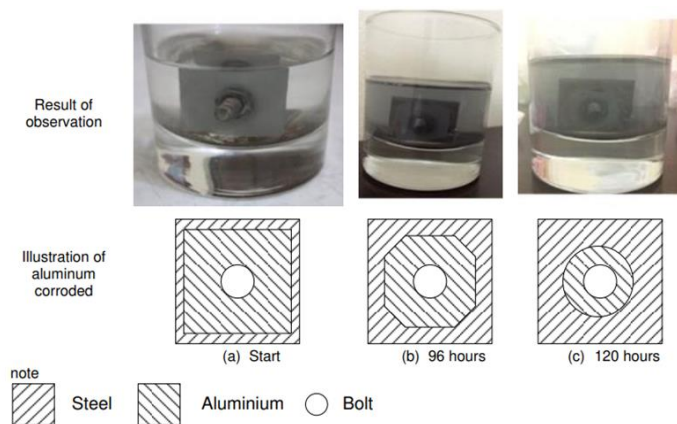
Korosi galvanik terjadi ketika dua logam (paduan) dengan memiliki komposisi yang berbeda dipasangkan/kontak secara elektrik saat berada dalam larutan elektrolit. Sehingga kedua logam tersebut dapat bereaksi secara elektrokimia.

Tabel 1.3 "*The Standard emf Series*" dapat digunakan untuk menentukan jenis reaksi yang ada pada masing –

masing logam pasangan. Contoh pasangan baja kontak dengan aluminium dan terendam dalam air laut.

Pada pasangan baja - aluminium yang terendam dalam air laut. Berdasarkan Tabel 1.3 "*The Standard emf Series*" dapat diketahui bahwa baja akan melakukan reaksi reduksi dan aluminium bereaksi oksidasi. Baja bersifat katodik dan aluminium bersifat anodik oleh karena itu aluminium terkorosi.

Gambar 2.6 memperlihatkan pasangan plat aluminium yang kontakkan dengan baut pada baja dan terendam dalam larutan NaCl 10%. Pada pasangan galvanik ini, plat aluminium terkorosi.



Gambar 2.6 Korosi galvanik pada pasangan aluminium-baja. Aluminium terkorosi.

[Dody Prayitno, M. Irsyad 2018]

Korosi galvanik dipengaruhi oleh rasio (luas area katodik/luas area anodik) seperti terlihat pada Tabel 2.2. Hubungan rasio (area katodik/area anodik) dengan laju korosi anodik (CRa).

$$C_{Ra} = 1,875 (A_c/A_a) + 1,388$$

Dimana

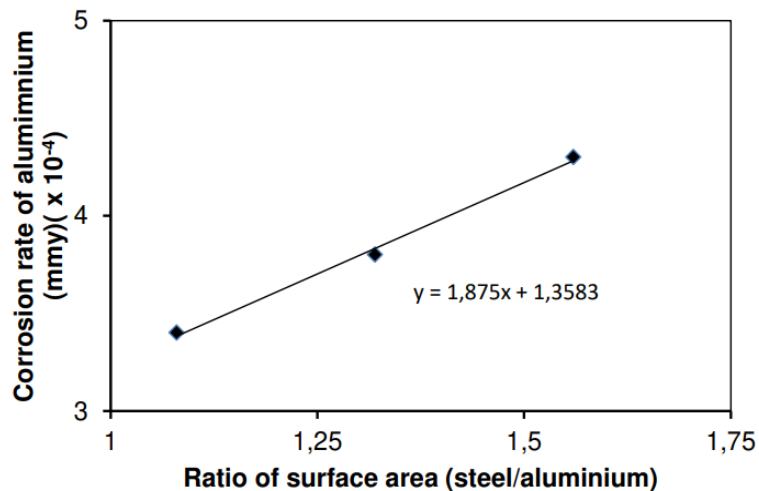
C_{Ra} = laju korosi anodik

A_c = luas area katodik

A_a = Luas area anodik

Tabel 2.2 Pengaruh rasio luas area (katodik/anodik) terhadap laju korosi anodik

Rasio (area katodik/area anodik)	Laju korosi anodik (mmy)
1,08	0,00034
1,32	0,00038
1,56	0,00043
Catatan steel = katodik; aluminium= anodik	



Gambar 2.7. Hubungan rasio (A_c/A_a) dengan laju korosi anodik (CR_a)

Faktor – faktor apa yang mendukung terjadinya korosi galvanik?

Korosi galvanik terjadi ketika dua logam yang berbeda bersentuhan dan terpapar di lingkungan yang korosif. Terdapat beberapa faktor yang mendukung terjadi korosi galvanik diantaranya adalah:

1. Perbedaan potensial elektroda. Seperti diketahui bahwa korosi galvanik terjadi karena adanya perbedaan potensial elektroda antara dua logam. Logam yang tidak mulia (anoda) akan terkorosi lebih

cepat dibandingkan dengan logam yang mulia (katoda). Perhatikan Tabel 1.3 dan 1.6

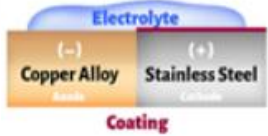
2. Kualitas kontak fisik. Kualitas kontak fisik antara dua logam yang berbeda sangat mempengaruhi kecepatan korosi. Semakin baik dan semakin luas kontakannya akan memungkinkan terjadinya korosi galvanik.
3. Ukuran dan bentuk logam. Perbedaan ukuran dan bentuk logam akan berpengaruh pada distribusi arus listrik dan intensitas korosi logam yang lebih besar dapat meningkatkan efek korosi galvanik.
4. Kondisi lingkungan sangat berpengaruh pada laju korosi galvanik. Lingkungan yang mengandung asam akan meningkatkan laju korosi.

Bagaimana mencegah terjadinya korosi galvanik?

Korosi galvanik terjadi saat dua logam berbeda bersentuhan dalam lingkungan elektrolit seperti air laut. Hal ini menyebabkan salah satu logam (anodik) terkorosi lebih cepat. Metode pencegahan korosi galvanik diperlihatkan pada Tabel 2.3. Pada Tabel 2.3 logam stainless steel adalah anodik sementara tembaga (*copper alloy*) adalah katodik.

Tabel 2.3 Pencegahan korosi galvanik [Poma Metals,2018]

Ilustrasi	Keterangan
	Gunakan insulator diantara copper alloy dan stainless steel. Insulator akan memutuskan kontak antara anoda dan katoda dimana anoda dan katoda terhubung oleh elektrolit.
	Gunakan dua metal yang memiliki perbedaan potensial galvanik yang kecil. Contoh copper dipasangkan dengan bronze. Anoda dan katoda terhubung oleh elektrolit.
	Usahakan agar yang terendam oleh elektrolit hanya salah satu logam saja (contoh copper). Sementara logam lainnya (contoh stainless steel) tidak terendam. Dengan demikian kedua logam tidak terhubung oleh elektrolit

	Gunakan <i>coating</i> (pelapis) pada salah satu logam (stainless steel), sehingga stainless steel tidak terhubung dengan tembaga oleh elektrolit.
---	--

Apa itu korosi celah (*Crevice Corrosion*)?

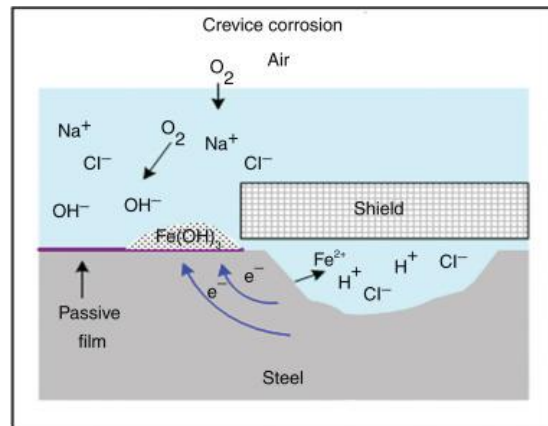
Korosi celah merupakan jenis korosi yang terjadi di dalam celah-celah sempit seperti celah diantara sambungan antara dua permukaan logam. Daerah sempit tersebut terlindungi dari aliran udara atau aliran elektrolit yang cukup. (Gambar 2.8)



Gambar 2.8 Korosi celah. (ORAPI)

Mekanisme korosi celah. Pada awalnya terjadi reaksi anodik di dalam celah. Pada reaksi anodik terjadi pelepasan ion logam (M^+). Reaksi anodik tersebut diimbangi dengan reaksi katodik terdekat. Reaksi katodik

mengonsumsi oksigen dari lingkungannya sehingga terjadi penipisan kadar oksifen di dalam celah. Karena didalam celah kondisinya adalah *stagnan* maka terjadi penghambatan pengisian oksigen dari luar celah. Pada kondisi ini, kandungan oksigen didalam celah sedikit sementara diluar celah kandungan oksigennya banyak. Reaksi katodik yang terjadi diluar celah mendukung terjadinya korosi. Reaksi anodik yang melepaskan ion logam di dalam celah menyebabkan konsentrasi ion logam bermuatan positif meningkat. Peningkatan ion positif metal menyebabkan ion negative klorida masuk kedalam celah dan ini menyebabkan korosi semakin berkembang.



Gambar 2.9. Ilustrasi mekanisme korosi celah (sciencedirect.com)

Daftar Pustaka

- Hadi Sunandrio Dan Laili Novita Sari, 2011, "Serangan Korosi Sumuran Pada Pipa Distribusi", M.I. Mat. Kons. Vol. 11 No. 2 Desember 2011: 123 – 130. <https://doi.org/10.29122/mkk.v11i2.556>
- K.V Akpanyung And R.T Loto, 2019," Pitting Corrosion Evaluation: A Review", J. Phys.: Conf. Ser. 1378 022088
- M. Munasirm. Munasiryulie Indriarti, 2009, "Studi Perilaku Korosi Baja SPHT Pada Medium Air Laut", Conference: Seminar Nasional Penelitian, Pendidikan Dan Penerapan Mipa: Uny Yogyakarta <http://eprints.uny.ac.id/eprint/12241>]Volume: 01(2009)
- <https://www.piqsels.com/id/public-domain-photo-smlqf>
- <https://www.sepeda.me/others/karat-pada-sepeda.html>
- Dody Prayitno, M. Irsyad," Effect of Ratio of Surface Area on The Corrosion Rate," Sinergi Vol. 22, No.1, February 2018: 7-12 Doaj: [Doaj.Org/Toc/2460-1217](https://doi.org/10.22441/sinergi.2018.1.002) [Doi.Org/10.22441/Sinergi.2018.1.002](https://doi.org/10.22441/sinergi.2018.1.002)
- Poma Metals ,2018," Galvanic Corrosion: A Guide for Architecture", <https://pomametals.com/how-to-prevent-galvanic-corrosion/>

ORAPI, Maintenance. Crevice Corrosion: An In-Depth Analysis, <https://orapiasia.com/crevice-corrosion-an-in-depth-analysis/>

sciencedirect.com,

<https://www.sciencedirect.com/topics/materials-science/crevice-corrosion>

BAB 3

PENCEGAHAN KOROSI

Sebutkan metode pencegahan korosi?

Pada bidang korosi sering terjadi pemakaian istilah “mencegah korosi” dan “melindungi korosi”. Terdapat perbedaan pada kedua istilah tersebut. “Mencegah korosi” merupakan tindakan untuk menghindari korosi sebelum terjadi. “Melindungi korosi” menitik beratkan pada tindakan untuk melindungi logam yang sudah terkorosi agar tidak semakin parah,

Ada beberapa metode untuk mencegah terjadinya korosi pada logam, diantaranya adalah:

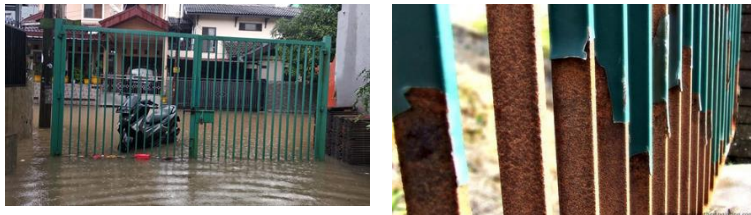
- Pelapisan permukaan (*coating*)
- anoda korban
- arus tanding (*impressed current*)
- inhibitor

Bagaimana perlindungan korosi dengan cara *coating* dilakukan?

Pelapisan permukaan atau *coating* dalam upaya untuk mencegah korosi dengan menerapkan lapisan bahan

pelindung (seperti cat) di permukaan logam. Tujuan utamanya adalah untuk mencegah kontak langsung antara logam dan lingkungan eksternal seperti oksigen, dan bahan kimia korosif.

Permukaan baja yang tidak dicat akan bersentuhan langsung dengan oksigen atau air sehingga mudah berkarat, sementara baja yang dicat akan terhindar dari karat. Pengecatan merupakan salah satu metode pelapisan (*coating*). Pelapisan (*coating*) akan memutuskan kontak langsung antara permukaan besi dengan oksigen. (Dody, dkk, 2021)



(a) Pintu gerbang terendam banjir

(b) Karat pada pintu gerbang

*Gambar 3.1 Karat akibat terendam dalam air banjir.
(Rafiqa, 2020)*

Kemampuan cat untuk melindungi baja dari korosi berbeda-beda. Berikut contoh dari laju korosi beberapa jenis cat. Nilai Laju korosi pada spesimen dengan

perlindungan cat epoxy primer yaitu 9,96 mpy; cat urethane primer yaitu 16,02 mpy sementara cat lacquer primer yaitu 24,87 mpy (Muh. Ifan, 2019).

Pelapisan permukaan baja dapat dilakukan juga dengan bahan lain seperti oli, dan plastik. (Rabia Edra, 2017)

Apa itu metode anoda korban?

Prinsip dari perlindungan anoda korban adalah menjadikan logam akan dilindungi sebagai katoda dan logam yang melindungi sebagai anoda. Pada metode ini logam anoda akan rusak terkorosi karena melindungi logam katoda. Nama reaksi kimia untuk anoda dan katoda masing-masing adalah oksidasi/anodik dan reduksi/katodik sebagaimana terlihat pada Tabel 3.1. Katoda akan menjalankan reaksi katodik/reduksi sementara anoda menjalankan reaksi anodik/oksidasi.

Logam yang melindungi (anoda) akan rusak/hancur karena melakukan reaksi anodik/oksidasi. Reaksi anodik menyebabkan logam berubah menjadi ion metal (M^{n+}) dan elektron. Elektron akan bergerak ke katoda. Anoda menyuplai elektron ke katoda.

Elektron dari anoda akan menyebabkan "logam yang dilindungi" (katoda) tidak rusak. Katoda tidak hancur.

Tabel 3.1. Reaksi kimia anoda korban

Contoh	Logam	Posisi sebagai	Nama Reaksi
Baja	Yang dilindungi	Katoda	Reduksi/katodik
Aluminium	Yang melindungi	Anoda	Oksidasi/anodik

Pemilihan logam yang tepat sebagai anoda untuk melindungi katoda diperlihatkan dalam Tabel 1.3 The Standard Emf Series dan Tabel 1.6 The Galvanic Series. Sebagaimana sudah dijelaskan bahwa pada the galvanic series bila diurutkan dari bawah ke atas logam akan semakin bersifat mulia (katodik) atau semakin mudah bereduksi. Jadi logam yang baik untuk menjadi anoda korban adalah yang diurutkan paling bawah.

Salah satu contoh aplikasi anoda korban diperlihatkan pada badan kapal laut yang terendam. (Gambar 3.2)



Gambar 3.2 Anoda korban pada kapal
(Indonesia Marine Equipment, 2019)

Berdasarkan Tabel 1.3 *the standard EMF series* dan Tabel 1.6 *galvanic series*, logam baja (katoda) dapat dicegah dari korosi dengan menggunakan anoda korban seperti logam Zinc atau Aluminium atau Magnesium.

Menghitung berat anoda korban yang dibutuhkan.

Berapa berat total Anoda korban (aluminium) yang diperlukan untuk melindungi badan kapal yang terendam air dari korosi adapun data lengkapnya ada Tabel 3.2? Berapa jumlah anoda yang diperlukan bila sebuah anoda beratnya nettoanya 2,6 kg? (Eko Julianto Sasono ,2010).

Tabel 3.2. Anoda untuk kapal.

	Definisi	Unit	
M	Berat anoda korban	kg	?
I _c	Kebutuhan arus proteksi	Ampere	?
T	Umur proteksi	Tahun	3
μ	Faktor guna anoda korban	%	85%
ε	<i>Electrochemical effeiciency</i>	Ampere.hours/kg,	2000
A _c	Luas plat lambung kapal yang dilindungi	m ²	786
f _c	Factor kerusakan lapisan	Ampere	0,0425
i _c	<i>Corrosion density current</i>	Ampere/m ²	0,100

Untuk menghitung berat total anoda aluminium yang diperlukan serta jumlah anoda yang diperlukan untuk melindungi badan kapal sebagaimana tertera Tabel 3.2, dilakukan tahapan perhitungan sebagai berikut

- a. Berat anoda yang diperlukan untuk melindungi plat baja kapal yang terendam dalam air laut dapat diketahui dengan persamaan berikut:

$$I_c = A_c \times f_c \times i_c$$

$$I_c = 786 \times 0,0425 \times 0,100$$

$$I_c = 3,34 \text{ ampere}$$

$$M = \frac{I_c \cdot T \cdot 8760}{\mu \cdot \varepsilon}$$

$$M = \frac{3,34 \times 3 \times 8760}{85\% \times 2000} = 51,6 \text{ kg}$$

Berat total anoda yang diperlukan adalah 51,6 kg

- b. Jumlah anoda (dengan berat @ 2,6 kg sebuah) yang diperlukan adalah 51,6 kg/2,6 kg = 19,8 buah ~ 20 buah.

Tabel 3.3 memperlihatkan pengaruh anoda korban terhadap laju korosi plat baja sebuah kapal. Dari Tabel tersebut terlihat bahwa anoda korban mampu menurunkan laju korosi plat baja AISI E2512 dari 0,139 mmy menjadi 0,065-0,095 mmy. Penurunan laju korosi tergantung tipe dari anoda.

Tabel 3.3 Pengaruh anoda pada laju korosi baja
(Eko Julianto Sasono, 2010)

Jenis baja	CR plat baja (mmy)	CR anoda (mmy)	Tipe anoda	Keterangan
Tidak ada catatan	0,304 - 0,327	Pakai anoda	Tidak ada catatan	Pengukuran langsung pada kapal setelah beroperasi sekian tahun
Baja AISI E 2512,	0,095	0,860	Tipe A	Laboratorium
Baja AISI E 2512,	0,096	0,868	Tipe B	Laboratorium
Baja AISI E 2512,	0,065	1,586	Tipe C	Laboratorium
Baja AISI E 2512,	0,139	Tidak pakai anoda korban	-	Laboratorium

Komposisi kimia anoda tipe A, anoda tipe B dan anoda tipe C diperlihatkan pada Tabel 3.4. Komposisi anoda tipe C memiliki kandungan Aluminium tertinggi dibandingkan tipe lainnya.

Tabel 3.4 Komposisi anoda korban
(Eko Julianto Sasono, 2010)

Anoda Korban	Persentasi Unsur (%)					
	Al	Zn	Mg	Si	Fe	In
Paduan Al-A	86,116	0,562	0,0115	0,298	1,655	0,000
Paduan Al-B	85,047	4,195	0,0115	0,255	1,786	0,000
Paduan Al-C	97,165	2,000	0,0000	0,100	0,100	0,030

perhitungan anoda korban dapat dilihat pada artikel.
(Sukanto Jatmiko, 2009)

Apa itu metode arus tanding (*impressed current*)?

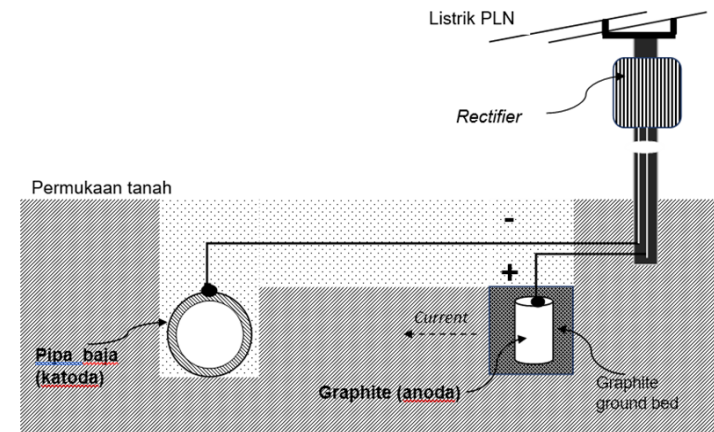
Perlindungan korosi dengan metode arus tanding (*impressed current*) merupakan teknik mencegah dan melindungi korosi pada struktur logam yang terendam didalam tanah dengan menerapkan arus listrik eksternal.

Perlindungan logam (seperti baja) dari korosi dapat dilakukan dengan salah satu dari 2 metode katodik yaitu anoda korban atau metode arus tanding (*impressed*

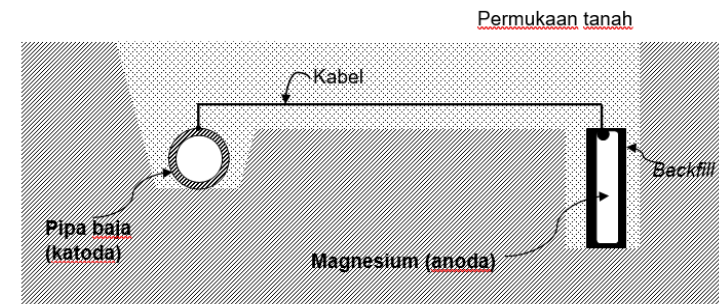
current). Pada metode arus tanding, arus listrik dari jalur listrik luar seperti PLN dipakai untuk menandingi (mengalahkan) arus korosi dari logam yang mengalami korosi (Prof Dr Eng. Ali Sabea Hammod). Prinsip *impressed current* adalah pemberian elektron (dari sumber eksternal) ke logam yang akan dilindungi (seperti pipa baja) sehingga reaksi elektrokimianya menjadi reduksi atau katodik.

Gambar 3.3 memperlihatkan perbedaan metode anoda korban dengan metode arus tanding. Pada metode arus tanding (Gambar 3.3a), arus listrik bolak balik (AC) dari jaringan listrik PLN diubah menjadi arus searah (DC) oleh *rectifier*. Kemudian dari *rectifier* Arus mengalir ke anoda (graphite) kemudian melalui tanah (elektrolit) menuju pipa baja (katoda).

Metode anoda korban (Gambar 3.3.b) tidak menggunakan *rectifier*, tetapi menggunakan listrik yang berasal dari logam yang bersifat lebih anodik dibandingkan baja. Nilai potensial Listrik adalah $-0,440$ Volt. Maka logam yang dipilih untuk menjadi anoda korban adalah logam yang potensial listriknya lebih rendah dari potensial listrik baja. Logam tersebut dapat dilihat pada Tabel 1.3



(a) Metode Arus Tanding



(b) Metode Anoda Korban

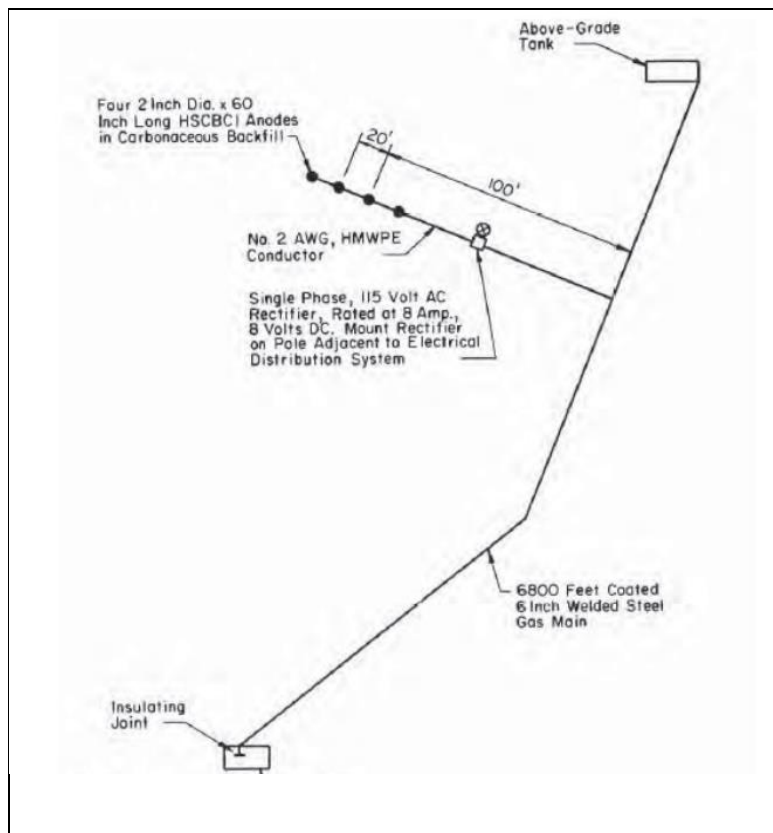
Gambar 3.3 Proteksi korosi dengan metode katodik

Sebagai catatan. Bagian penting dari perhitungan desain untuk sistem proteksi katodik pada struktur yang ada adalah jumlah arus yang dibutuhkan per kaki persegi (disebut kerapatan arus) untuk mengubah potensial struktur menjadi - 0,85 volt. Kerapatan arus yang diperlukan untuk menggeser potensial menunjukkan kondisi permukaan struktur. Struktur yang dilapisi dengan baik (misalnya, saluran pipa yang dilapisi dengan epoksi tar batubara) akan membutuhkan kerapatan arus yang sangat rendah (sekitar 0,05 miliampere per feet (kaki) persegi); struktur yang tidak dilapisi akan membutuhkan kerapatan arus yang tinggi (sekitar 10 miliampere per (feet) kaki persegi). Kerapatan arus rata-rata yang diperlukan untuk proteksi katodik adalah 2 miliampere per kaki persegi area terbuka.

Steel gas main. Impressed current cathodic protection is designed for the 6-inch welded gas main shown in Figure 3.4. This pipeline is not yet constructed, so measurements cannot be taken.

A. DESIGN DATA.
1. <i>Average soil resistivity is 2000 ohm-centimeters.</i>
2. <i>Effective coating resistance at 15 years is estimated at 2500 ohms per square foot.</i>
3. <i>Pipe has a 6-inch outside diameter.</i>
4. <i>Pipe length is 6800 feet.</i>
5. <i>Design for 15-year life.</i>
6. <i>Design for 2 milliamperes per square foot of bare pipe.</i>
7. <i>Design for 90 percent coating efficiency based on experience.</i>
8. <i>The pipeline must be isolated from the pumphouse with an insulating joint on the main line inside the pumphouse.</i>
9. <i>HSCBCI anodes must be used with carbonaceous backfill.</i>
10. <i>The pipe will be coated with hot-applied coal-tar enamel and will be holidaychecked before installation.</i>
11. <i>Anode bed must not exceed 2 ohms.</i>
12. <i>Electric power is available at 120/240 volts a.c. single phase from a nearby overhead distribution system.</i>

13. Current requirement test indicates that 2.36 amperes are needed for adequate cathodic protection



Gambar 3.4

B. COMPUTATIONS.			
N0	Item	Rumus	Result
1	Find the gas main's outside area	Pipe size - 6 in = (6/12) feet. Pipe length - 6800 ft Pipe area (A) = Diameter x 3,14 x Panjang $A = (6800)(3,14)(6/12)$ $A = 10,681 \text{ sq ft.}$	10,681 sq ft
2	Check the current requirement:	$I = (A)(I) (1,0 - CE)$ $I = 10681 \text{ sq ft } (2 \text{ mA/sq ft})(1,0 - 0,9)$ $I = 2136 \text{ mA,}$ which agrees with the current requirement test indicated in (13) above. (sesuai dengan design data no 13. I = 2360 mA) Note $I = 2 \text{ mA/sq ft}$ (lihat design data no 6) $CE = 0,9$ (lihat design data no 7)	2136 mA

3	Select an anode from manufacturer's literature [high-silicon chromium-bearing cast iron anodes).	Choose a 60-pound anode with a 2,8-square-foot surface area (arbitrary selection).	60-pound anode with a 2,8-square-foot surface
4	[4] Calculate the number of anodes needed to meet the anode supplier's current density limitations:	$N = I/(A1)(I1)$ $N = 2360 \text{ mA}/(28 \text{ sf/anode})(1000 \text{ mA/sf})$ $N = 0,84 \text{ anode}$ Note (Recommended maximum current density output for high-silicon chromium-bearing cast iron anodes is 1000 mA/sf.)	0.84 anode
5	Calculate the number of anodes required to meet the design life requirements:	$N = (L)(I)/(1000)(W)$ $N = (15 \text{ yrs})(2360 \text{ mA})/(1000)(60 \text{ lb/anode})$ $N = 0,59 \text{ anode}$	0,59 anode

6	Calculate the number of anodes required to meet maximum anode groundbed resistance requirements:	$Ra = [\rho K/LN) + [\rho P/S)$ $N = \rho K/[L[Ra - [\rho P/S))]$ $N = 2,75$ $N = 3 \text{ anodes [dibulatkan menjadi 3)}$ where Ra = the anodes' resistance, ρ = soil resistivity in ohm-centimeters, K = the anode shape factor from (Tabel 3.5), N = the number of anodes, L is length of the anode backfill column in feet, P = the paralleling factor from (Tabel 3.6), S = the center-to center spacing between anode backfill columns in feet.	3 anodes
7	Select the number of anodes to be used	Since the last calculation resulted in the largest number of anodes, it will be used. The groundbed resistance, Ra , using three	

		(3) anodes, would equal 1,86 ohms; to insure compliance with the manufacturer's limitations, four anodes will be used.	
8	Select an area for anode bed placement.	The area of lowest resistivity will be used, which is 100 feet from the pipeline.	
9	Determine the total circuit resistance.	[a] Calculate the anode groundbed resistance: $R_a = [\rho K / LN] + [\rho P / S]$ $R_a = 1,46 \text{ ohms}$ [b] Calculate the groundbed resistance for a 50-foot header cable. The resistance specified by the manufacturer is 0,0159 ohm per 100 ft of No.2 AWG cable: $R_w = (\text{ohms/ft})(L)$	1,75 ohms

		$R_w = (0,0159 \text{ ohm/100 ft})(500 \text{ ft}) = R_w = 0,0795 \text{ ohm}$ [c] Calculate the structure-to-electrolyte resistance: $R_c = R \times N$ $R_c = [2500 \text{ ohms/sf}] \times [11,800 \text{ sf}] = R_c = 0,212 \text{ ohm}$ [d] Calculate the total resistance: $R_T = R_a + R_w + R_c$ $R_T = 1,46 \text{ ohm} + 0,0795 \text{ ohm} + 0,212 \text{ ohm}$ $R_T = 1,75 \text{ ohms}$	
10	Calculate the rectifier voltage:	$V_{rec} = (I)[R_T](150\%)$ $V_{rec} = (2,36 \text{ A})(150\%)$ $V_{rec} = 6,2 \text{ V rec}$	
C. Select rectifier			

Select rectifier.:	Based on the design requirement of 6,2 volts and 2,36 amperes, a rectifier can be chosen from those marketed.	6,2 Volt 2,36 Amperes
--------------------	---	------------------------------

Tabel 3.5 Shape functions [K] for impressed current cathodic protection anodes where L is effective anode length and d is anode/backfill diameter.

L/d	K	L/d	K
5	0.0140	20	0.0213
6	0.0150	25	0.0224
7	0.0158	30	0.0234
8	0.0165	35	0.0242
9	0.0171	40	0.0249
10	0.0177	45	0.0255
12	0.0186	50	0.0261
14	0.0194	55	0.0266
16	0.0201	60	0.0270
28	0.0207		

Tabel 3.6 Anode paralleling factors (F) for various numbers of anodes (N) installed in parallel

N	P	N	P
2	0.00261	14	0.00168
3	0.00289	16	0.00155
4	0.00283	18	0.00145
5	0.00268	20	0.00135
6	0.00252	22	0.00128
7	0.00237	24	0.00121
8	0.00224	26	0.00114
9	0.00212	28	0.00109
10	0.00201	30	0.00104
12	0.00182		

Apa itu perlindungan korosi dengan inhibitor?

Perlindungan korosi dengan metode inhibitor adalah teknik untuk mencegah dan melindungi pada logam dari korosi dengan menggunakan bahan kimia yang disebut inhibitor. Inhibitor bekerja dengan menghambat reaksi elektrokimia yang menyebabkan korosi pada permukaan logam.

Beberapa contoh inhibitor anorganik adalah zinc chromate dan phosphate. Inhibitor membentuk lapisan pasif pada permukaan logam.

Kebutuhan baja Indonesia semakin tahun mengalami peningkatan, contoh pada tahun 2021 kebutuhannya

mencapai 15 juta ton. (Media Indonesia, 2021). Peningkatan kebutuhan baja ini harus diikuti dengan kemampuan untuk mencegah terjadinya korosi baja tersebut. Salah satu metode untuk mencegah terjadi korosi adalah pemakaian inhibitor yang berasal dari bahan alam seperti tumbuh-tumbuhan atau lebih dikenal dengan istilah *corrosion green inhibitor*.

Green inhibitors adalah jenis inhibitor korosi yang fungsi utama untuk memberikan perlindungan korosi. *Green inhibitor* dirancang untuk meminimalkan dampak lingkungan dan kesehatan. Konsep "*green*" atau ramah lingkungan dalam konteks ini merujuk pada bahan kimia dan teknologi yang lebih aman dan berkelanjutan bila dibandingkan dengan inhibitor konvensional.

Mekanisme pencegahan korosi oleh inhibitor organik pada logam (seperti baja) adalah dengan membentuk lapisan tipis/film pada permukaan logam. Lapisan tipis ini memisahkan permukaan logam dengan lingkungan (media) korosif. Keefektifan inhibitor organik bergantung pada susunan kimia, struktur molekul dan afinitasnya terhadap permukaan logam/paduan logam. (P Yatiman, 2009). Berbeda dengan inhibitor jenis lainnya, *corrosion green inhibitor* tidak mencemari lingkungan.

Apa bahan alam asli Indonesia yang berpotensi menjadi *corrosion green inhibitor*?

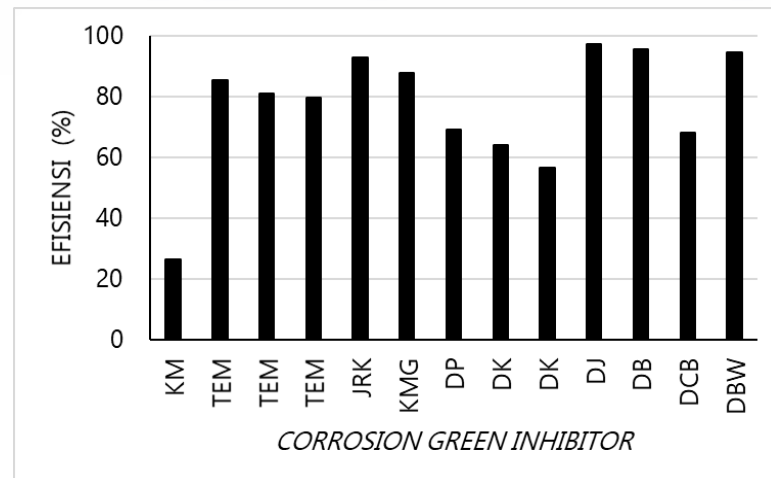
Di Indonesia, terdapat beberapa bahan alam yang berpotensi menjadi inhibitor korosi hijau (*corrosion green inhibitor*). Inhibitor korosi hijau adalah bahan alami atau organik yang dapat mencegah atau mengurangi laju korosi logam tanpa merusak lingkungan. Beberapa bahan alam tersebut diantaranya adalah kulit manggis, kulit jeruk, tembakau, daun pepaya, daun kakao, daun jambu, daun cocor bebek, dan daun blimbing wuluh sebagaimana terlihat pada Tabel 3.4.

Tabel 3.4 memperlihatkan bahan alam dari Indonesia yang berpotensi sebagai bahan green inhibitor. Pada Tabel 3.4 diperlihatkan juga nilai konsentrasi, bahan uji, laju korosi yang dihasilkan serta media korosif yang dipakai pada penelitiannya.

Nilai efisiensi *corrosion green inhibitor* berbahan alam Indonesia diperlihatkan pada Gambar 3.5 Green inhibitor yang diteliti dalam laboratorium diketahui kebanyakan berada diatas 60 % bahkan ada beberapa yang mendekati 90%. Namun kulit manggis mencapai 26,5 %. Gambar 3.5.

Tabel 3.4. Corrosion Green Inhibitor berbahan alam asli Indonesia

Bahan alam Inhibitor	Konsentrasi	Laju Korosi	Bahan uji	Media Korosif	Ref.
Kulit Manggis (KM)	2%	1,1211 mpy	St 37	NaCl 3%	Lusiana, 2015
Tembakau (TEM)	700 mg/liter	2,04 mmy	Baja karbon	HCl 0,5 M	Adhi Setiawan, 2018
Tembakau (TEM)	60 ppm	9,87 mpy	Pipa API 5L X-52	NaCl 2% + NaHCO ₃ 0,2 g/L + gas CO ₂	Rapli, 2016
Tembakau (TEM)	60 ppm	8,95 mpy	Pipa API 5L X-52	NaCl 1% + NaHCO ₃ 0,1 g/L + gas CO ₂	Rapli, 2016
Kulit Jeruk (JRK)	400 ppm	0,58 mpy	API 5L Gr.B	NaCl 3,5 %	Tubagus, 2015
Kulit Mangga (KMG)	600 ppm	1 mpy	API 5L Gr.B	NaCl 3,5 %	Tubagus, 2015
Daun Pepaya (DP)	15 %	22,75 mmy	ST 37	NaCl 3%	Ramon, 2018
Daun Kakao (DK)	10 %	0,0015 gr/cm ² /day	Hardox 450	H ₂ SO ₄ 3%.	(Anike, 2014)
Daun Kakao (DK)	10 %	0,00025 gr/cm ² /day	baja Hardox 450	Na ₂ SO ₄ 3%	(Anike, 2014)
Daun Jambu (DJ)	9%	0,066 mpy	Rantai kapal	Air Laut pantai Parangtritis	Nani, 2019
Daun Bawang (DB)	300 ppm	0,00148 mm/year	API 5L	NaCl 3,5%	Yunita,
Daun Cocor Bebek (DCB)	500 ppm	0,963 mpy	Baja karbon	NaCl 3,5%	Tri Reksa, 2017
Daun Belimbing Wuluh (DBW)	6000 ppm	29.84 mpy	Baja karbon	HCl 0,1 M	Gadang, 2016



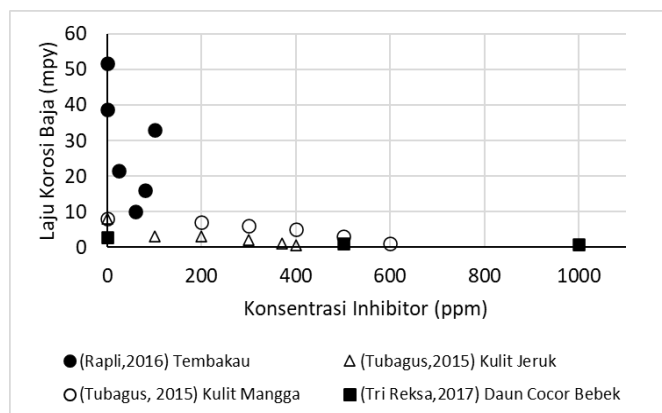
Gambar 3.5. Efisiensi corrosion green inhibitor berbahan alam Indonesia

Apa faktor-faktor yang turut mempengaruhi keefektifan corrosion green inhibitor?

Mekanisme pencegahan korosi oleh inhibitor organik pada logam (contoh baja) adalah adanya pembentukan lapisan tipis/film pada permukaan logam. Lapisan tipis ini memisahkan permukaan logam dengan lingkungan (media) korosif. Keefektifan *corrosion green inhibitor* dipengaruhi oleh berbagai faktor:

a. Konsentrasi Inhibitor.

Peningkatan konsentrasi inhibitor pada media korosif pada awalnya akan menyebabkan laju korosi baja menurun dan kemudian landai (Gambar 3.6)



Gambar 3.6 Pengaruh konsentrasi inhibitor terhadap laju korosi baja

Perlindungan korosi baja karbon oleh inhibitor ekstrak daun tembakau dapat dijelaskan berdasarkan mekanisme adsorpsi. Secara umum proses adsorpsi inhibitor pada permukaan logam disebabkan oleh gaya elektrostatik atau ikatan kovalen antara permukaan logam dengan adsorbat. Senyawa organik yang teradsorpsi pada permukaan logam mampu

menggeser molekul air pada permukaan logam sehingga terbentuk lapisan *barrier*. (Adhi Setiawan 2018).

Penurunan laju korosi baja akibat penambahan inhibitor tembakau, tidak terlepas dari peran zat nikotin pada tembakau. Nikotin bereaksi dengan ion besi membentuk ion heksamina besi (II). Pada reaksi kimia tersebut ion Fe^{2+} akan diikat oleh atom N dengan ikatan rangkap (senyawa kompleks). Senyawa kompleks ini bersifat stabil, tidak mudah dioksidasi dan menyelubungi seluruh permukaan baja sehingga baja terlindungi dari korosi [Rapli, 2016]

Pada beberapa inhibitor tertentu seperti kulit manggis atau teh atau kopi memiliki keunikan tersendiri dimana penambahan inhibitor awalnya akan menurunkan laju korosi baja hingga mencapai laju korosi terendah namun kemudian laju korosi naik hingga mencapai laju korosi baja itu sendiri (tanpa inhibitor). [Lusiana, 2015; Roni Septiari, 2013].

Peningkatan konsentrasi inhibitor kulit manggis dari 0 % ke 2 % dalam media NACL akan menurunkan laju korosi baja. Namun penambahan inhibitor lebih dari 2 % akan menaikkan laju korosi baja hingga mendekati laju korosi baja tanpa inhibitor. Kenaikan laju korosi ini diakibatkan karena lapisan Fe-tanin ekstrak tidak bisa

menutupi seluruh permukaan baja, sehingga pada bagian yang tidak tertutupi akan terkorosi. [Lusiana, 2015],

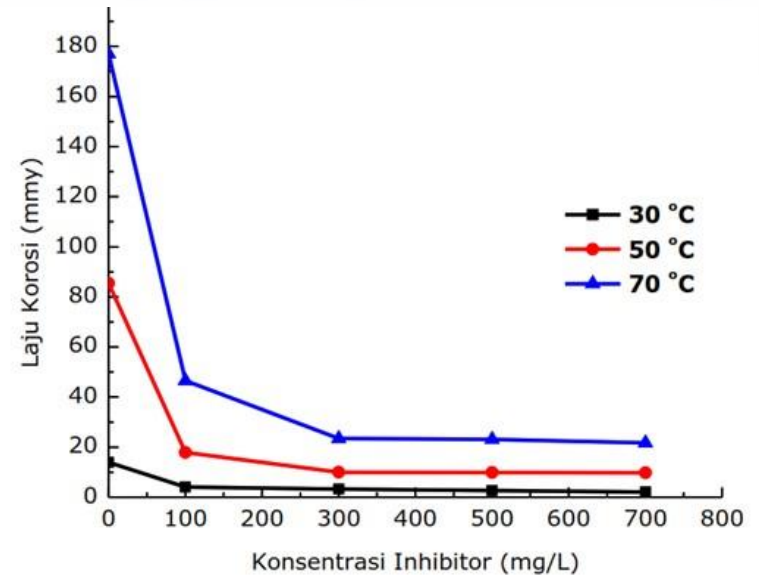
Penambahan *green inhibitor* (teh atau kopi) hingga mencapai 2% akan menurunkan laju korosi baja. Tetapi bila konsentrasi > 2 %, laju korosi baja akan naik [Roni Septiari, dkk, 2013]

b. Suhu Media Korosif (Lingkungan)

Peningkatan temperatur media korosif akan menaikkan laju korosi baja karena menyebabkan inhibitor terdesorpsi dari permukaan logam. (Gambar 3.7). [Adhi Setiawan, 2018]. Korosi adalah peristiwa reaksi oksidasi, oleh karena itu peningkatan suhu akan meningkatkan laju reaksi oksidasi [Gogot, 2010]

c. Kandungan Unsur Media Korosif

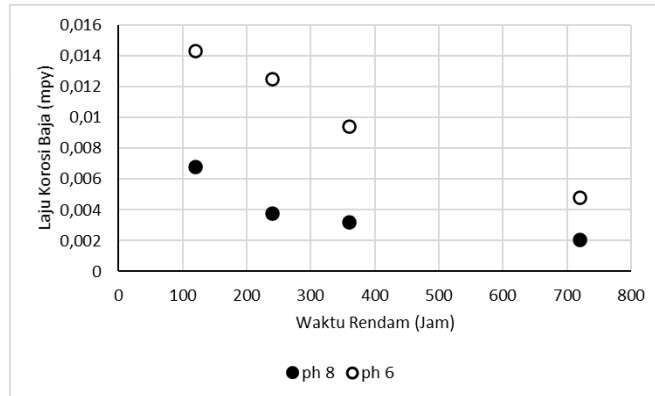
Adanya kandungan unsur lain seperti NaHCO_3 NaCl dan hembusan gas CO_2 pada media korosif akan menaikkan laju korosi baja. [Rapli, 2016]



Gambar 3.7 Pengaruh suhu media korosif terhadap laju korosi baja
[Adhi Setiawan, 2018]

d. pH Media Korosi

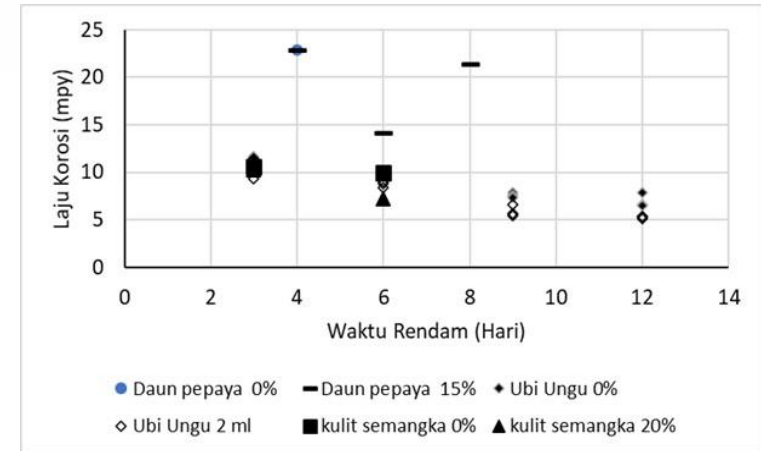
Laju korosi baja akan lebih tinggi bila berada di media asam dibandingkan di lingkungan basa (Gambar 3.8). Laju korosi di media korosif asam lebih tinggi disebabkan media asam memiliki banyaknya ion H^+ yang memicu terjadinya reaksi reduksi sehingga pembentukan hidrogen semakin besar dan akhirnya akan lebih banyak logam besi yang teroksidasi [Anike, 2014].



Gambar 3.8- Pengaruh PH Media Korosif dengan Inhibitor Ekstrak Eceng Gondok (0,2 M) terhadap Laju Korosi Baja SS400. [Novi,2016]

e. Waktu Rendam Logam.

Waktu rendam berarti sebagai pengertian berapa jam atau hari logam (seperti baja) terendam atau terpapar dalam media korosif. Laju korosi baja akan turun tajam hingga mencapai waktu rendaman tertentu dan kemudian landai pada hari berikutnya. [M Idham, 2011; Farida dkk, 2014]. (Gambar 3.9)



Gambar 3.9 Pengaruh waktu rendam terhadap laju korosi

Daftar Pustaka

- Media Indonesia, 2021, "Produksi Baja Indonesia Capai 13 Juta Ton, Kebutuhan 15 Juta Ton ", Kamis 04 November 2021, 20:49 Wib. Sumber: <https://mediaindonesia.com/ekonomi/444745/Produksi-Baja-Indonesia-Capai-13-Juta-Ton-Kebutuhan-15-Juta-Ton>
- Roni Septiari, Heri Supomo, 2013, "Studi Penggunaan Ekstrak Bahan Alami Sebagai Inhibitor Korosi Pada Cat Utuk Pelat Kapal A36", Jurnal Teknik Pomits Vol. 2, No. 1, Halaman, 1-5, Issn: 2337-3539 (2301-9271 Print)

Lusiana Br Turnip, Sri Handani, Sri Mulyadi, 2015" Pengaruh Penambahan Inhibitor Ekstrak Kulit Buah Manggis Terhadap Penurunan Laju Korosi Baja ST-37, Jurnal Fisika Unand Vol. 4, No. 2, April 2015, ISSN: 2302-8491 Halaman: 144-149

Adhi Setiawan, Agung Nugroho, Novi Eka Mayangsari, Widiyastuti, 2018," Karakteristik Inhibisi Korosi Baja Karbon Di Dalam Larutan Asam Klorida Menggunakan Ekstrak Daun Tembakau", Jurnal Rekayasa Kimia Dan Lingkungan, Vol. 13, No. 2, Hlm. 144 - 153, 2018, Issn 1412-5064, E-Issn 2356-1661, <https://doi.org/10.23955/Rkl.V13i2.11182>,

Rapli Nur Ahmadi, Soesaptri Oediyani, Gadang Priyotomo, 2016, "Pengaruh Penambahan Inhibitor Ekstrak Tembakau Terhadap Laju Korosi Internal Pipa Baja Api 5I X-52 Pada Artificial Brine Water Dengan Injeksi Gas CO₂," Metalurgi, Vol 31, No 3 (2016),

Tubagus Noor R., Sari Kusuma W., Agung Purniawan, Budiagung K. Sulistijono, 2015," Pengaruh Penambahan Ekstrak Kulit Buah Jeruk Dan Kulit Buah Mangga Sebagai Inhibitor Korosi Pada Baja Karbon Dalam Media NaCl 3,5%", Jurnal Sains Materi Indonesia Vol. 17, No. 1, Oktober 2015, Hal. 29-33, Issn: 1411-1098,

Novi Laura Indrayani, 2016," Studi Pengaruh Ekstrak Eceng Gondok Sebagai Inhibitor Korosi Untuk Pipa Baja Ss400 Pada Lingkungan Air", Jurnal Imiah Teknik Mesin, Vol. 4, No.2 Agustus 2016 Universitas Islam 45 Bekasi

Ramon Sanjaya, Ediman Ginting, Dan Agus Riyanto, 2018, "Efektivitas Ekstrak Daun Pepaya (Carica Papaya L) Sebagai Inhibitor Pada Baja St37 Dalam Medium Korosif NaCl 3% Dengan Variasi Waktu Perendaman ", Jurnal Teori Dan Aplikasi Fisika Vol. 06, No. 02, Juli 2018, 167-174

Anike Malfinora, Sri Handani, Yuli Yetri, 2014," Pengaruh Konsentrasi Inhibitor Ekstrak Daun Kakao (Theobroma Cacao) Terhadap Laju Korosi Baja Hardox 450", Jurnal Fisika Unand Vol. 3, No. 4, Oktober 2014, ISSN 2302-8491, Halaman 222-228

Nani Mulyaningsih, Sigit Mujiarto, Gyani, 2019," Pengaruh Daun Jambu Biji Sebagai Inhibitor Korosi Alami Rantai Kapal", Journal Of Mechanical Engineering, Vol. 3, No. 1, Maret 2019 P-Issn: 2598-7380 E-Issn: 2613-9847, Halam 36-42

Yunita Triana, Sari Shaimah Rinda, Awali Jatmoko, Sulistijono, 2018," Studi Penambahan Inhibitor Organik Ekstrak Daun Bawang Tiwai (Eleutherine Americana Merr.) Pada Baja Api 5I Dalam Lingkungan

3,5% NaCl", SPECTA Journal of Technology, Vol. 2 No. 3 (2018)

Tri Rekso Saputra, Agustinus Ngatin, 2017, "Extract Of Cocor Bebek (Kalanchoe Pinnata) As A Corrosion Inhibitor ", Jurnal Bahan Alam Terbarukan, vol 6 no 2, 2017, halaman 112-116, E ISSN 2407-2370, DOI 10.15294/jbat.v6i2.7949

Gadang Priyotomo, Lutviasari Nuraini, 2016, "Studi Awal Potensi Daun Belimbing Wuluh Sebagai Inhibitor Korosi Pada Baja Karbon Di Larutan Asam Klorida", prosiding Seminar Nasional Sains dan Teknologi 2016 1 Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Jakarta, 8 November 2016, p-ISSN: 2407 – 1846, e-ISSN: 2460 – 8416, halaman 1-8

Gogot Haryono, Bambang Sugiarto, Hanima Farid dan Yudi Tanoto, 2010, "Ekstrak Bahan Alam Sebagai Inhibitor Korosi", Prosiding Seminar Nasional Teknik Kimia "Kejuangan" Pengembangan Teknologi Kimia untuk Pengolahan Sumber Daya Alam Indonesia Yogyakarta, 26 Januari 2010, ISSN 1693 – 4393, halaman D09.1-D09.6

M Idham Akbar, 2011, "Studi Pengaruh Waktu Rendam Ekstrak Ubi Ungu Sebagai Green Corrosion Inhibitor Untuk Material Baja Karbon Rendah (SPCC) Pada Lingkungan Air Demineralisasi Yang Diinjeksikan

Karbon Dioksida (CO₂)", Skripsi, Program Studi Metalurgi dan Material, Fakultas Teknik, Universitas Indonesia, 2011

P. Yatiman, 2009, "Penggunaan Inhibitor Organik Untuk Pengendalian Korosi Logam Dan Paduan Logam (*Application of Organic Inhibitors for Corrosion Control of Metals and Alloys*)", Prosiding Seminar Nasional Penelitian, Pendidikan dan Penerapan MIPA, Fakultas MIPA, Universitas Negeri Yogyakarta, 16 Mei 2009. Halaman K134- K142

Farida Ali, Desy Saputri, Raka Fajar Nugroho, 2014," Pengaruh Waktu Perendaman Dan Konsentrasi Ekstrak Daun Jambu Biji (Psidium Guajava, Linn) Sebagai Inhibitor Terhadap Laju Korosi Baja Ss 304 Dalam Larutan Garam Dan Asam", Teknik Kimia No. 1, Vol. 20, Januari 2014, halaman 28 – 37.

Anwar Syukri Harahap, 2019, "Pengaruh Inhibitor Ekstrak Kulit Semangka Terhadap Laju Korosi Dan Sifat Mekanik Logam Dalam Medium Air Laut ", Skripsi, Fakultas Matematik dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Sumatera Utara,

Dody Prayitno, Joko Riyono , C. Eni Pujiastuti , E. Shintadewi J , "Korosi: Mekanisme Dan Pencegahannya", Kocenin Jurnal Pengabdian Kepada Masyarakat, Volume:1 Nomor:1 (2021),

<https://publikasi.kocenin.com/index.php/pkm/article/view/193/162>).

Rafiq Nurhidayah Hasibuan, Mengenal Penyebab dan Proses Korosi Pada Pagar Rumah, October 1, 2020, <https://analisa.id/mengenal-penyebab-dan-proses-korosi-pada-pagar-rumah/01/10/2020/>, diunduh 19 november (2021)

Muh. Ifan Failasuf, 2019, " Pengaruh Variasi Jenis Cat Primer Terhadap Laju Korosi", Skripsi Pendidikan Teknik Otomotif Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Negeri Semarang, 2019 diunduh dari http://lib.unnes.ac.id/36368/1/5202415048_Optimize.d.pdf, diunduh pada tanggal 6 febuari 2021)

Rabia Edra, 2017, "3 Cara Mencegah Korosi pada Logam | Kimia Kelas 12" Nov 29, 2017, <https://www.ruangguru.com/blog/cara-pencegahan-korosi>, diunduh tanggal 18 november 2021

Indonesia Marine Equipment, 2019, "Sistem sacrificial anode", March 22, 2019, <https://inameq.com/hull-and-outfitting/painting/sistem-sacrificial-anode/>

Eko Julianto Sasono, 2010, " Efektivitas Penggunaan Anoda Korban Paduan Aluminium Pada Pelat Baja Kapal Aisi E 2512 Terhadap Laju Korosi Di Dalam Media Air Laut

", tesis, Program Studi Magister Teknik Mesin, Program Pascasarjana, Universitas Diponegoro Semarang 2010

Sukanto Jatmiko, 2009, "Studi Komparasi Proteksi Kathodik Antara Anoda Zink Dengan Anoda Aluminium Setelah Diaplikasikan Pada Tug Boat Universal Dan Tug Boat Mariner", http://eprints.undip.ac.id/5511/1/9JURNAL_TA_JAT_o ke.pdf

Prof Dr Eng. Ali Sabea Hammoud, Corrosion Prevention" Lecture, Departement of Material Engineering, Faculty of Engineering, University of Kufa, Najaf, Iraq, <https://www.researchgate.net/publication/342693714>

Introduction to Electrical Design for Cathodic Protection Systems", Course# EE410, url: EZ-pdh.com, Ezekiel Enterprises, LLC, 301 Mission Dr. Unit 571, New Smyrna Beach, FL 32128, 386-882-EZCE (3923)

BAB 4

PERAWATAN SISTEM PROTEKSI KATOTIK

Apa pengaruh waktu rendam terhadap laju korosi baja S45C?

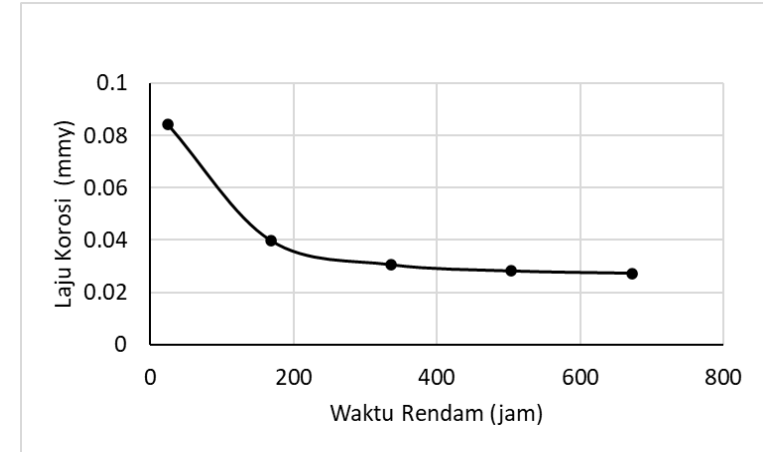
Sebuah baja S45C terendam dalam air laut dengan variasi waktu rendam untuk diketahui laju korosinya. Data waktu rendam dan laju korosi baja S45C tertera di Tabel 4.1.

Tabel 4.1. Data penelitian S45C terendam dalam air laut

Waktu rendam (jam)	Laju korosi. mmy (<i>millimeter per year</i>)
24	0,084295
168	0,039793
336	0,030497
504	0,028114
672	0,027229

Data-data tersebut jika dirangkum dalam sebuah grafik akan terlihat seperti Gambar 4.1. Laju korosi baja

S45C tertinggi bila waktu rendaman 24 jam yaitu 0,08 mmy. Penambahan waktu rendam dari 24 jam sampai dengan 336 jam mengakibatkan laju korosi menurun tajam. Bila penambahan waktu melebihi 336 jam maka laju korosi terlihat landai.



Gambar 4.1. Laju korosi vs waktu rendam, baja S45C dalam air laut

Mekanisme penurunan laju korosi akibat penambahan waktu rendam menjadi menarik untuk dipelajari. Laju korosi (CR) selalu terkait dengan *current density* dengan bentuk persamaan berikut ini.

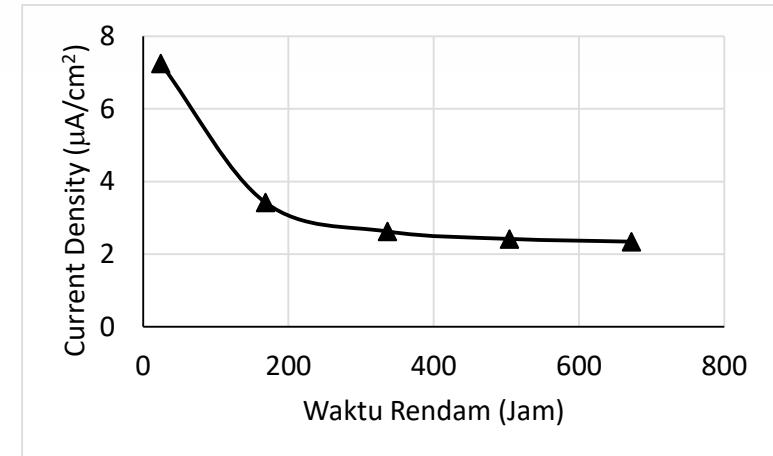
$$CR = K \frac{ai}{nD}$$

CR = corrosion rate; K = konstanta; a = berat atom; i – current density; n = number of elektron lost; D = density

Pemakaian persamaan di atas dan data untuk baja S45C seperti : Massa atom Fe, $a = 55,847$; Masaa jenis Fe, $D = 7,86 \text{ g/cm}^3$; $n_{\text{Fe}} = 2$, dan $K = 0,00327$ maka akan diperoleh current density sebagaimana terlihat pada Tabel 4.2. dan Gambar 4.2

Tabel 4.2. Tabel laju korosi dan current density

Waktu rendam (jam)	Laju korosi (mmy)	i ($\cdot \text{A/cm}^2$)
24	0,084295	7,256158
168	0,039793	3,425403
336	0,030497	2,625198
504	0,028114	2,420068
672	0,027229	2,343887



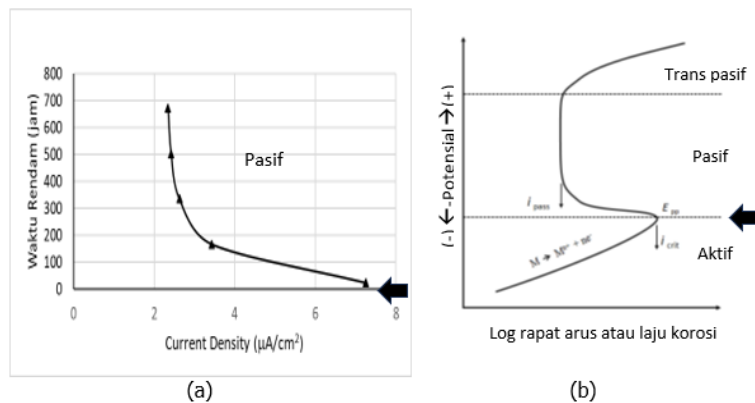
Gambar 4.2. Efek waktu rendam terhadap current density

Gambar 4.2 memperlihatkan bahwa dengan bertambahnya waktu rendam dari 24 jam sampai 336 jam akan menyebabkan *current density* menurun dengan curam dari $7,256 \cdot \text{A/cm}^2$ ke $2,625 \cdot \text{A/cm}^2$. Perubahan *current density* inilah yang menyebabkan laju korosi baja S45C menurun dengan curam.

Gambar 4.2 juga memperlihatkan bahwa penambahan waktu rendam lebih dari 336 jam tidak menyebabkan terjadinya perubahan *current density*. Nilai *current density* "tetap" atau steady pada $2,420 \cdot \text{A/cm}^2$ sehingga menyebabkan nilai laju korosi baja S45C tidak mengalami perubahan yang signifikan. Pada tahap ini logam baja S45C, mengalami apa yang dikenal dengan pasivasi.

Terbentuknya lapisan pasif di permukaan baja yang menyebabkan sulitnya kontak antar permukaan baja dengan media air laut.

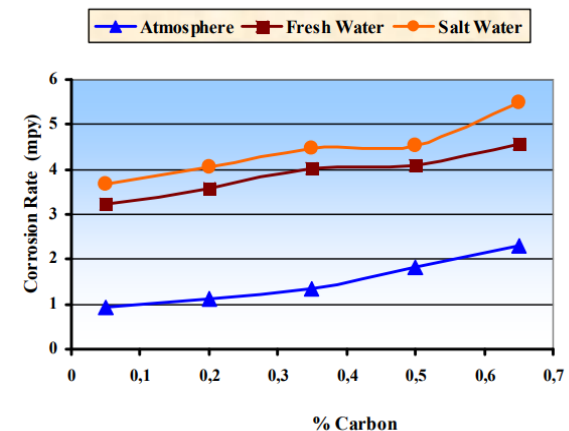
Gambar 4.3 a. merupakan grafik yang memperlihatkan perubahan nilai *current density* akibat peningkatan waktu rendam. Fenomena pasivasi diilustrasikan dalam kurva polarisasi (Gambar 4.3b). Pada potensial rendah, laju korosi meningkat sejalan dengan kenaikan potensial. Namun setelah mencapai potensial pasivasi primer (EPP), laju korosi menurun drastis hingga rapat arus pasivasi (I_{pass}) karena terbentuk lapisan pasif yang menghalangi reaksi korosi.



Gambar 4.3. Fenomena berkurangnya *current density* pada baja S45C sebagai akibat peningkatan waktu rendam (a). Ilustrasi Kurva Polarisasi pada Reaksi Anodik.

Apa pengaruh kadar karbon terhadap laju korosi baja karbon?

Kadar karbon dalam baja karbon mempengaruhi laju korosi baja tersebut secara signifikan. Ketahanan korosi menurun dengan meningkatnya kadar karbon. [Haitham, 2010]m atau dengan kata lain Peningkatan kandungan karbon pada baja meningkatkan laju korosi (pleshivtsev, 2009) sebagaimana terlihat pada Gambar 4.4. Baja karbon tinggi memiliki kerentanan lebih tinggi terhadap karat dan bentuk korosi lainnya. Selain itu, baja karbon tinggi lebih rapuh dibandingkan baja karbon rendah dan mungkin lebih rentan terhadap retak dan kerusakan lainnya.



Gambar 4.4 Pengaruh karbon terhadap laju korosi baja [Haitham,2010]

Apa yang dimaksud dengan MIC (*microbiology influenced corrosion*) atau dikenal sebagai korosi yang dipengaruhi oleh mikrobiologi?

MIC, atau *Microbiologically Influenced Corrosion* (Korosi yang dipengaruhi oleh Mikrobiologi), adalah fenomena korosi logam yang dipercepat atau dipengaruhi oleh aktivitas mikroorganisme seperti bakteri, alga, dan jamur. Contoh korosi yang dipengaruhi oleh Mikrobiologi terlihat pada Gambar 4.5.

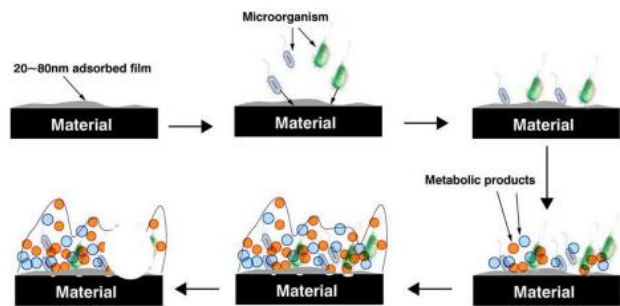


Gambar 4.5. Pipa transmisi gas ini tertanam di tanah rawa. Pipa terlihat terbungkus oleh lapisan aspal (a). bentuk korosi akibat MIC (b). bentuk korosi akibat MIC dengan pembesaran yang lebih tinggi (c). [Ahmad royania, dkk, 2021]

Teori mekanisme korosi akibat MIC ada beberapa ragam sebagai berikut:

- Setelah lama tertanam dalam lingkungan berair (seperti rawa) maka pada permukaan baja akan terbentuk lapisan tipis. Lapisan ini akibat pengendapan ion anorganik dan senyawa organik dengan massa molekul yang relative tinggi. Lapisan tipis awal kemudian mengubah muatan elektrostatis dan keterbasahan permukaan logam. Lapisan tipis juga memfasilitasi kolonisasi lebih lanjut oleh bakteri. Selanjutnya terjadi pertumbuhan mikroba dan produksi EPS (exopolysaccharides polymeric substrate) yang menghasilkan pengembangan biofilm [T Gu et al, 2021]
- Kolonisasi mikroba pada permukaan logam akan mengubah lingkungan sekitarnya dan akhirnya berdampak pada sifat permukaan logam. Perubahan pada lingkungan seperti perubahan nilai pH, potensial oksidasi-reduksi, substrat logam dan produk korosinya, serta variabel elektrokimia yang dapat mempengaruhi laju korosi [M. Wasim et al, 2018]
- Secara umum, proses pembentukan biofilm terdiri dari 6 tahap yaitu (1) Proses adsorpsi ke permukaan material dan pembentukan film; (2) Proses migrasi mikroorganisme (planktonik) ke permukaan material

karena tertatik oleh film; (3) Penempelan mikroorganisme pada permukaan material dan terjadi perubahan dari planktonik menjadi sesil; (4) Pertumbuhan mikroorganisme sesil dan menghasilkan metabolit serta pembentukan biofilm; (5) Stabilisasi biofilm dan terbentuknya korosi; (6) Stabilitas menurun seiring lamanya waktu, Sebagian biofilm jatuh dan membuat biofilm heterogen [Li and C Ning, 2019]

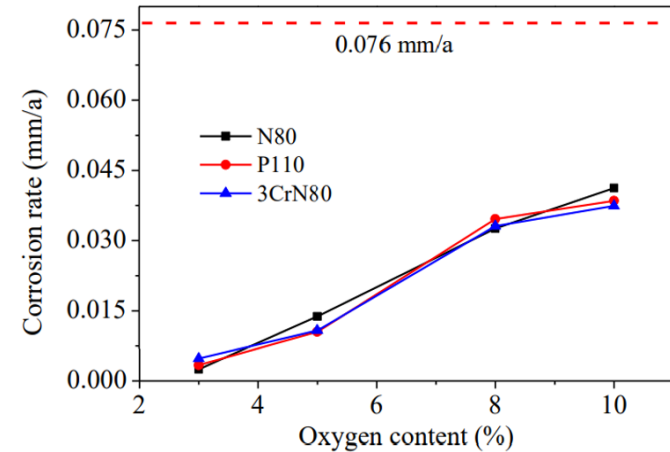


Gambar 4.6 Tahapan singkat pembentukan dan perkembangan biofilm [Li and C Ning, 2019]

Apa pengaruh oksigen pada laju korosi?

Sebuah penelitian simulasi memperlihatkan bahwa diladang minyak yang memiliki banyak kandungan udara, akan menyebabkan korosi pada baja N80, P110 dan

3CrN80 di 120°C, 35MPa. Variabel kandungan oksigen 3-10%. Hasil percobaan ditunjukkan pada Gambar 4.7.



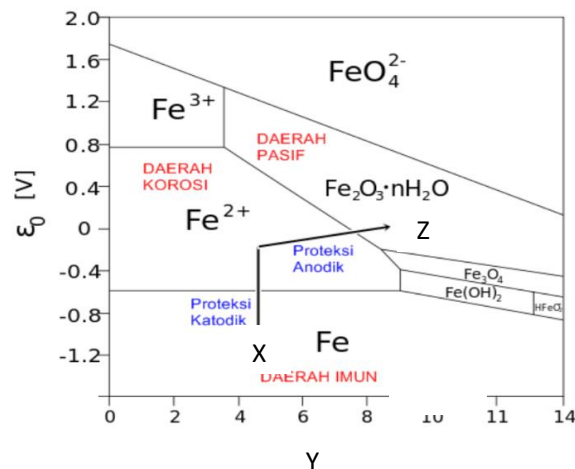
Gambar 4.7 Pengaruh oksigen pada laju korosi

Dapat dilihat bahwa laju korosi ketiga logam meningkat secara bertahap dengan meningkatnya kadar oksigen dan tidak ada perbedaan yang signifikan pada laju korosi pada ketiganya. Tingkat korosi logam dalam kandungan oksigen sebesar 10% adalah sekitar 0,04 mm/A. Ini menunjukkan bahwa tiga logam tidak mengalami korosi oksigen lingkungan yang benar-benar kering. Namun semakin banyak kandungan oksigen terlarut dilaut maka menyebabkan semakin tingginya

potensial elektroda logam sehingga semakin tinggi laju korosi logam tersebut.

Apa manfaat diagram pourbaix ferrous untuk pencegahan korosi baja?

Diagram Pourbaix untuk ferrous diperlihatkan pada Gambar 4.8. Diagram Pourbaix dikenal juga sebagai Diagram E-pH. Diagram Pourbaix memetakan kesetimbangan termodinamika fasa stabil logam dan senyawanya sebagai fungsi dari potensial elektroda (E) dan pH larutan. Diagram ini dimanfaatkan untuk mengetahui apakah suatu baja terkorosi atau tidak terhadap lingkungannya.



Gambar 4.8. Diagram Pourbaix bagi ferrous

Pada diagram E - pH (diagram Pourbaix) untuk logam ferrous (Gambar 4.8) terdapat tiga zona yaitu daerah terjadi korosi (*Corrosion*), daerah tidak terjadi korosi (*Immunity*) dan daerah tidak sedang terkorosi (*Passivity*).

Untuk lebih jauh mengetahui manfaat diagram Pourbaix (Gambar 4.8) berikut sebuah contoh. Terdapat baja X memiliki potensial elektroda - 0, 2 Volt. Baja X tersebut berada dalam lingkungan asam ber pH 4. Berdasarkan diagram Pourbaix, baja X berada pada **daerah terjadinya korosi (*corrosion*)**. Berdasarkan posisi baja X didalam diagram Pourbaix, maka dapat dipastikan baja X akan terkorosi.

Contoh lain. Baja Y yang memiliki potensial elektroda **-0,6 Volt**. Baja Y terendam dalam lingkungan asam dengan pH 4. Berdasarkan diagram Pourbaix, potensial elektroda baja Y - 0,6 V dan pH 4 adalah berada dalam daerah imun (*Immunity*), sehingga dapat dipastikan baja Y tidak akan mengalami korosi.

Contoh lain. Baja Z mempunyai potensial elektroda 0,4 Volt dan berada dalam lingkungan dengan pH 8. Posisi 0,4 V dan pH 8 berada pada daerah pasif di dalam diagram Pourbaix. Karena baja Z berada pada daerah pasif, maka dapat dipastikan diatas permukaan baja akan mengalami pasivasi dimana pada permukaan baja terbentuk lapisan oksida tipis. Baja tidak sedang terkorosi.

Diagram Pourbaix juga dapat diaplikasikan untuk mencegah terjadinya korosi pada baja. Berdasarkan diagram Pourbaix terdapat 3 cara untuk menghindari baja dari serangan korosi. Ketiga cara tersebut adalah:

- a. Proteksi Katodik. Cara yang dilakukan adalah menurunkan potensial system dengan menggunakan sumber arus searah (DC). Cara ini akan menggeser potensial system dari daerah *corrosion* ke daerah imun (*immunity*).
- b. Proteksi anodik. Cara yang dilakukan adalah meningkatkan potensial system dengan sumber arus searah. Cara ini akan menggesaer potensial system dari daerah *corrosion* ke daerah pasif (*passivity*).
- c. Proteksi alkalisasi. Caranya adalah meningkatkan nilai pH larutan dengan menambahkan inhibitor yang bersifat basa.

Bagaimana perawatan sistem proteksi katodik (anoda korban) pada tiang pancang baja di dermaga?



Gambar 4.9. Ilustrasi dermaga dengan tiang pancang baja.
[Rico, 2023]

Perawatan sistem proteksi korosi tiang pancang pada bangunan dermaga sangat penting untuk memastikan keawetan dan kestabilan struktur dermaga. Sistem proteksi ini biasanya dirancang untuk melindungi tiang pancang dari kerusakan akibat korosi, serangan organisme laut, dan faktor lingkungan lainnya.

Sistem proteksi katoda (*cathodic protection*) biasanya diterapkan pada tiang pancang yang terendam dalam air (Gambar 4.9) agar terhindar dari korosi. Sistem proteksi katoda yang setelah sekian tahun beroperasi harus dirawat untuk memastikan atau menentukan kondisi tiang pancangnya. Langkah perawatan adalah pengecekan langsung dengan beberapa metode berikut:

- a. Pemeriksaan secara visual.
- b. Pengukuran ketebalan baja.
- c. Pengukuran potensial.

a. Pemeriksaan Secara Visual

Pemeriksaan secara visual dilakukan pada tiang pancang dan lapisan (wrapping HDPE). System proteksi katoda pada tiang pancang diterapkan mulai dari bagian bawah sampai dimulainya daerah terciprat (*splash zone*). Pada daerah terciprat (*splash zone*) dan daerah di atasnya, dilindungi dengan pelapisan (*wrap*) dari material khusus (seperti HDPE Gambar 4.10).



Gambar 4.10 Lapisan (*wrap*) HDPE pada tiang pancang.
[<https://www.perintis-proteksi.com/Products/HDPE-JACKET-WRAPPING.html>]

Pemeriksaan visual pada bagian dibawah permukaan air dilakukan oleh seorang penyelam. Inspektor menyelam dengan peralatan SCUBA untuk melakukan pemotretan/pengamatan pada kondisi anoda korban (sistem proteksi katoda) dan lapisan. Contoh hasil pemotretan tiang pancang diperlihatkan pada Gambar 4.11 adapun deskripsi pengamatan tersebut sebagai berikut. Tiang pancang ditumbuhi oleh oleh *marine growth*. Tiang pancang tidak mengalami kerusakan. Terdapat anoda korban yang masih melekat kuat. Ukuran anoda 96 cm, panjang 26 cm dan lebar 23 cm.

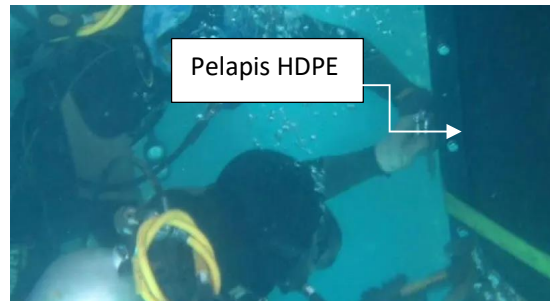


(a) Kedalaman 3 meter

(b) Kedalam 9.3 meter

Gambar 4.11. Contoh hasil inspeksi tiang pancang dibawah permukaan air. Pada pengamatan ini, anoda korban tidak terlihat digambar namun diukur secara langsung. [Guntur,2021]

Contoh hasil inspeksi visual pada lapisan HDPE pada tiang pancang diperlihatkan Gambar 4.12. Hasil inspeksi membuktikan bahwa Lapisan (*wrap*) pada tiang pancang masih ada (*exist*) tetapi lapisannya terbuka pada bagian bawah. Selain itu tidak diketemukan kerusakan.

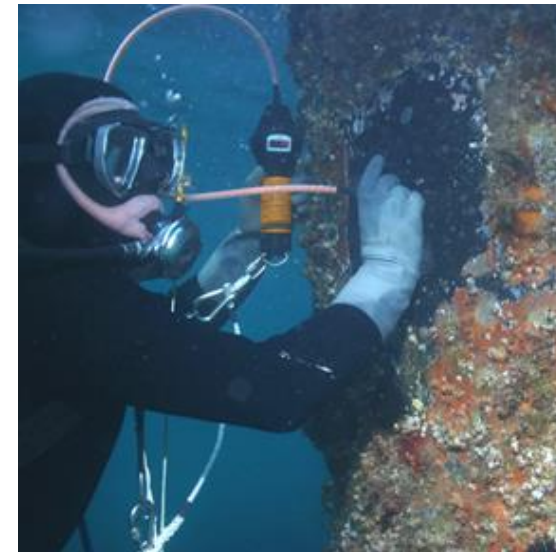


Gambar 4.12. Tiang pancang yang telah dilapisi (*wrapping*)
[Perintis-proteksi.com, 2023]

b. Pengukuran Ketebalan Baja

Menginspeksi ketebalan pipa tiang pancang secara rutin adalah langkah penting dalam perawatan dan pemeliharaan struktur baja bangunan dermaga. Dengan melakukan inspeksi ketebalan secara rutin akan menjaga kondisi tiang pancang baja tetap prima, memastikan keselamatan struktur, dan menghindari biaya besar akibat kerusakan yang tidak terdeteksi.

Pengukuran ketebalan baja aktual digunakan untuk menghitung laju korosi baja tiang pancang. Pengukuran ketebalan dilakukan dengan menggunakan metode Ultrasonic. Metode ini memanfaatkan kemampuan gelombang ultrasonik yang dapat ditransmisikan dan dipantulkan oleh permukaan lain. Gambar 4.13 merupakan ilustrasi pengukuran ketebalan yang dilakukan didalam air dengan hasil pengukuran yang tertera pada Tabel 4.3.



Gambar 4.13 Penyelam mengukur ketebalan dengan metode ultrasonic

[us.cygnum-instruments.com, 2023]

Tabel 4.3. Contoh rekapitulasi hasil pengukuran ketebalan tiang pancang.

Kode tiang pancang	Umur Pakai (Tp) (tahun)	Ketebalan (mm)			
		Awal (to)	Tebal Aktual (ta)		
			Minimal	Maksimal	Rerata
A	9	19	17,4	18,8	18,34
B	9	19	17,7	18,8	18,39

Berdasarkan Tabel 4.3, maka dapat dihitung laju korosi. Laju korosi tiang pancang hasil perhitungan kemudian dibandingkan dengan laju korosi standar (Tabel 4.4).

$$\text{laju korosi} = \frac{t_o - t_a}{T_p}$$

$$\text{laju korosi} = \frac{(19 - 17,4) \text{ mm}}{9 \text{ tahun}} = 0,18 \text{ mm/tahun}$$

Hasil perhitungan laju korosi tiang pancang baja adalah 0,18 mm/tahun. Sementara laju korosi pada "continuous immersion zone" [Tabel 4.4) memiliki batas atas yaitu 0,13 – 0,20 mm/tahun. Berdasarkan perbandingan antara hasil perhitungan dengan standar yang ada dapat disimpulkan bahwa nilai laju

korosi baja tiang pancang baja berada laju korosi batas atas atau termasuk dalam laju korosi tinggi.

Tabel 4.4. Laju korosi baja pada air laut [Guntur, 2021]

Lokasi	Laju Korosi (mm/side/year)	
	Range Rata-rata	Range Batas atas
Atmospheric zone (in the dry)	0,02 – 0,04	0,10 – 0,41
Spalsh zone (above WHWS)	0,08 – 0,12	0,17 – 0,30
Tidal zone (MLWS dan MHWS)	0,04 – 0,10	0,10 – 0,18
Intertidal low water zone (0,5 m below LAT to MLWS)	0,08 – 0,20	0,17 – 0,34
Continuous immersion zone	0,04 – 0,13	0,13 – 0,20
Embedded zone (below seabed)	0,03 – 0,08	0,02 – 0,10

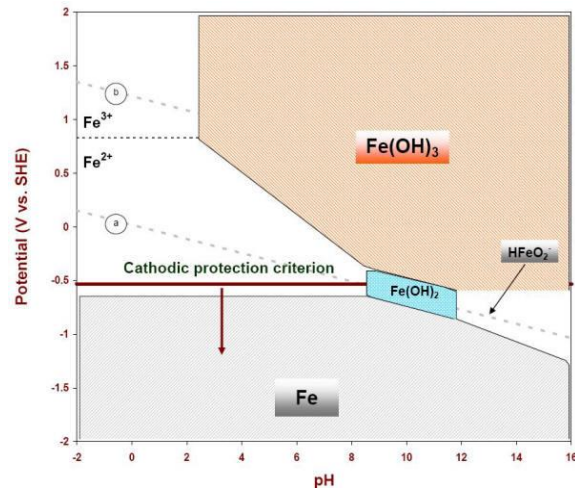
(BS 6349-1, 2000).

c. Pemeriksaan Potensial

Pemeriksaan potensial tiang pancang dimaksudkan untuk mengetahui apakah sistem proteksi katodik masih berfungsi dengan baik. Nilai potensial yang tepat akan memberikan poteksi yang baik bagi tiang pancang. Nilai potensial ini diketahui berdasarkan diagram Pourbaix.

Diagram Pourbaix (Gambar 4.14) memperlihatkan bahwa bila potensial (V Vs SHE) dibuat cukup negatif di bawah -0,6 V vs. SHE, maka akan masuk dalam zone imun. Ini berarti baja akan mengalami imun (immunity) atau tidak terkorosi. Namun secara umum

kriteria proteksi katodik, nilai potensialnya dibawah - 0,85 (V vs SHE) digunakan untuk mengatakan bahwa proteksi katodik berfungsi dengan baik (baja dalam kondisi imun).

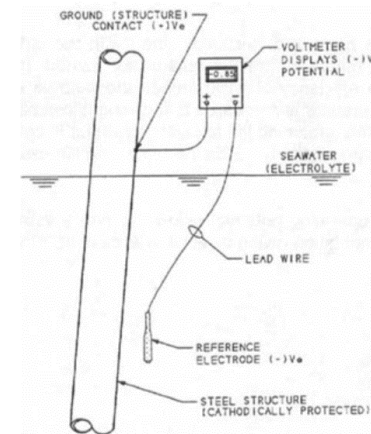


Note: elektrode hidrogen standar (SHE)

Gambar 4.14. Iron E-PH (pourbaix) Diagram.
[Doctors corrosion, 2023]

Pengukuran potensial tiang pancang (diilustrasikan pada Gambar 4.15.a) menggunakan alat khusus (4.15 b). Pengukuran potensial diawali dengan melakukan pembersihan tiang pancang dari biota laut. Selanjutnya, ujung probe pengukur potensial ditempelkan kestruktur tiang pancang baja dan

standart elektodenya menggantung di dalam laut. Contoh hasil pengukuran terukur diperlihatkan pada LED voltmeter (Tabel 4.5 dan Tabel 4.6).



(a)



(b)

Gambar 4.14. Ilustrasi Pengukuran Potensial Konvensional Dengan Menggunakan Typical Silver/Silver Chloride Drop Cell
(a). CP-Gun (b) [Stoprust.Com]

Tabel 4.5 Gambar hasil pengukuran potensial pada tiang pancang ke elektrolit

Kode tiang pancang	Potensial struktur-ke-elektrolit (-mV)		
	Top	Middle	Bottom
A			

Tabel 4.5 Rekapitulasi hasil pengukuran.

Kode tiang pancang	Potensial struktur-ke-elektrolit (-mV)		
	Top	Middle	Bottom
A	-1004	-1013	-1016
	-1002	-1011	-1014

Untuk mengetahui apakah system proteksi masih berfungsi dengan baik atau tidak, maka hasil pengukuran di Tabel 4.5 kemudian dibandingkan dengan Tabel standar (Tabel 4.6). Hasil pengukuran potensial pancang (Tabel 4.5) masuk dalam rentang (-800 hingga -1049) mv pada Tabel 4.6 yang berarti

“dilindungi secara katodik”. “Dilindungi dengan baik” berarti system proteksi katodik anoda korban yang ada pada tiang pancang masih berfungsi dengan baik untuk melindungi tiang pancang dari korosi.

Tabel 4.6 Rentang perlindungan normal katodik

NO	Nilai Potensial (mV)	Keterangan
1	-500 atau lebih negatif	Terjadi kesalahan Buat kembali kontak dan verifikasi
2	-501 hingga -649	Terisolasi dari perlindungan katodik Buat kembali kontak dan verifikasi
3	-650 hingga -799	Tidak dilindungi secara katodik
4	-800 hingga -1049	Dilindungi secara katodik
5	-1050 hingga -1149	Potensi anoda untuk Al dan Zn
6	-1150 atau lebih negatif	Kesalahan (kecuali anoda Mg) Buat kembali kontak dan verifikasi

(Polatrak, 2013)

Bagaimana peran oksigen sehingga dapat mempercepat laju korosi?

Laju korosi baja dipengaruhi oleh oksigen. Peningkatan kadar oksigen akan memperbesar laju korosi baja.

Pengertian *dissolved oxygen*. Volume oksigen yang larut dalam air dikenal sebagai kelarutan oksigen (*Dissolved Oksigen* (DO)). DO di catat sebagai jumlah bebas dari oksigen (O_2) yang larut didalam air. Air (H_2O) memiliki

ikatan oksigen, namun oksigen tersebut tidak dapat berkontribusi dalam "kelarutan oksigen.

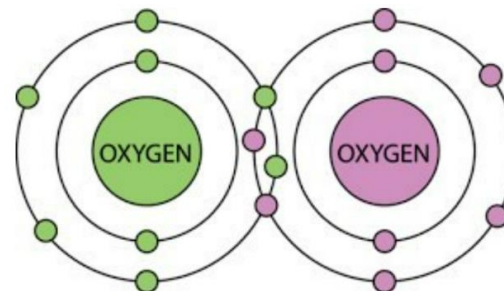
Source of dissolved oxygen. Oksigen yang masuk kedalam air dapat melalui proses fotosintesis di dalam lingkungan biologi dalam air (akuatik). Oksigen dapat juga merupakan hasil difusi oksigen pada antarmuka udara-air. Pada daerah terpercik (*splash zone*) kandungan oksigennya tinggi. Pada *splash zone* terdapat lapisan tipis air yang konstan (sebagai hasil deburan ombak). Lapisan tipis ini merupakan antarmuka (interface) bagi tempat terjadi kelarutan oksigen.

Cara O_2 menyerang logam. Pada bagian awal ini akan diuraikan dasar – dasar sifat kimia O_2 . O_2 merupakan dua molekul atom. Pada Tabel Periodik (Gambar 4.15) jumlah atom dari oksigen adalah 8 yang terdiri dari 8 proton dan 8 elektron. (Gambar 4.16).

1 H Hydrogen Nonmetal	2 He Helium Noble Gas		1 H Hydrogen Nonmetal										Atomic Number										13 Al Aluminum Metal										14 Si Silicon Metalloid										15 P Phosphorus Nonmetal										16 S Sulfur Nonmetal										17 Cl Chlorine Halogen										18 Ar Argon Noble Gas										2 He Helium Noble Gas																																																												
3 Li Lithium Alkali Metal		4 Be Beryllium Alkaline Earth												Symbol																																																																						5 B Boron Metalloid										6 C Carbon Nonmetal										7 N Nitrogen Nonmetal										8 O Oxygen Nonmetal										9 F Fluorine Halogen										10 Ne Neon Noble Gas									
11 Na Sodium Alkali Metal		12 Mg Magnesium Alkaline Earth		3 Li		4 Be		5 B		6 C		7 N		8 O		9 F		10 Ne		11 Na		12 Mg		13 Al		14 Si		15 P		16 S		17 Cl		18 Ar		19 K		20 Ca		21 Sc		22 Ti		23 V		24 Cr		25 Mn		26 Fe		27 Co		28 Ni		29 Cu		30 Zn		31 Ga		32 Ge		33 As		34 Se		35 Br		36 Kr																																																																									
19 K Potassium Alkali Metal		20 Ca Calcium Alkaline Earth		39 Y Yttrium Transition Metal		40 Zr Zirconium Transition Metal		41 Nb Niobium Transition Metal		42 Mo Molybdenum Transition Metal		43 Tc Technetium Transition Metal		44 Ru Ruthenium Transition Metal		45 Rh Rhodium Transition Metal		46 Pd Palladium Transition Metal		47 Ag Silver Transition Metal		48 Cd Cadmium Transition Metal		49 In Indium Metal		50 Sn Tin Metal		51 Sb Antimony Metalloid		52 Te Tellurium Metalloid		53 I Iodine Halogen		54 Xe Xenon Noble Gas		55 Cs Cesium Alkali Metal		56 Ba Barium Alkaline Earth		57 La Lanthanum Lanthanide		58 Ce Cerium Lanthanide		59 Pr Praseodymium Lanthanide		60 Nd Neodymium Lanthanide		61 Pm Promethium Lanthanide		62 Sm Samarium Lanthanide		63 Eu Europium Lanthanide		64 Gd Gadolinium Lanthanide		65 Tb Terbium Lanthanide		66 Dy Dysprosium Lanthanide		67 Ho Holmium Lanthanide		68 Er Erbium Lanthanide		69 Tm Thulium Lanthanide		70 Yb Ytterbium Lanthanide		71 Lu Lutetium Lanthanide		72 Hf Hafnium Transition Metal		73 Ta Tantalum Transition Metal		74 W Tungsten Transition Metal		75 Re Rhenium Transition Metal		76 Os Osmium Transition Metal		77 Ir Iridium Transition Metal		78 Pt Platinum Transition Metal		79 Au Gold Transition Metal		80 Hg Mercury Transition Metal		81 Tl Thallium Metal		82 Pb Lead Metal		83 Bi Bismuth Metalloid		84 Po Polonium Metalloid		85 At Astatine Metalloid		86 Rn Radon Noble Gas		87 Fr Francium Alkali Metal		88 Ra Radium Alkaline Earth		89 Ac Actinium Actinide		90 Th Thorium Actinide		91 Pa Protactinium Actinide		92 U Uranium Actinide		93 Np Neptunium Actinide		94 Pu Plutonium Actinide		95 Am Americium Actinide		96 Cm Curium Actinide		97 Bk Berkelium Actinide		98 Cf Californium Actinide		99 Es Einsteinium Actinide		100 Fm Fermium Actinide		101 Md Mendelevium Actinide		102 No Nobelium Actinide		103 Lr Lawrencium Actinide		104 Og Oganesson Noble Gas									

Gambar 4.15. Tabel periodik (sumber: Silmi, 2023))

Setiap kulit valensi atom O memiliki enam elektron. Pada kulit valensi, setiap O membagi dua elektron untuk digunakan bersama membentuk ikatan kovalen sehingga membentuk dua atom oksigen. Sehingga pada kulit valensi menyisakan empat elektron bebas tidak terikat per atom oksigen atau delapan elektron bebas tidak terikat per molekul O_2 . Elektron-elektron bebas ini membuat oksigen menjadi sangat reaktif. Namun karena elektron-elektron bebas ini sangat dekat dengan proton, menyebabkan elektron-elektron tersebut tidak dapat pergi. (Gambar 4.16)

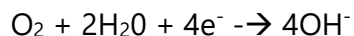
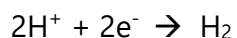
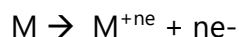


Gambar 4.16 Elektron-elektron pada oksigen.

Satu-satunya pilihan bagi molekul O_2 adalah menemukan pasangan yang dapat berbagi elektronnya dengan oksigen dan memberikan stabilitas. Target terbaik bagi oksigen adalah logam. Logam berukuran jauh lebih besar dan memiliki elektron di kulit terluar yang jauh dari

proton sehingga membuat logam menjadi elektro-positif dan rentan terhadap kehilangan elektron. Itulah penjelasan mengapa oksigen memiliki afinitas yang besar terhadap logam

Oxygen corrosion reaction. Korosi bahan logam merupakan reaksi elektrokimia. Pada reaksi elektrokimia terdiri dari reaksi oksidasi (reaksi anodik) dan reaksi reduksi (reaksi katodik). Dalam kasus korosi, logam mengalami reaksi oksidasi. Reaksi oksidasi logam digabungkan dengan reaksi reduksi dari element / unsur di lingkungan/elektrolit. Biasanya reaksi reduksi tersebut tergantung pada pH lingkungan. Reduksi yang paling umum terjadi di lingkungan berair adalah reduksi proton atau reduksi oksigen terlarut dalam air tergantung pada pH.



How does O₂ attack metal?. Selama korosi elektrokimia, oksigen bereaksi dan menghilangkan lapisan ion hidrogen dari permukaan katoda, sehingga serangan korosi terus berlanjut.

Menghitung sisa umur pakai pipa.

Telah dilakukan pengukuran tebal aktual pada pipa kondensasi di daerah Subang dengan menggunakan alat Long Range Ultrasonic Thickness (LRUT). Hasil pengukuran diperlihatkan pada Tabel 4.7. Berapa sisa umur pakai pipa jalur pipa kondensasi tersebut?

Tabel 4.7. Hasil uji ketebalan pipa

Code Lokasi	Jarak (meter)	Tebal (mm)			Umur Pakai (Tahun)
		Awal	Aktual	Required	
1	0	5,5	5,11	1,2	7
2	20	5,5	5,25	1,2	7
3	40	5,5	5,26	1,2	7
4	60	5,5	5,13	1,2	7
5	80	5,5	5,11	1,2	7
6	100	5,5	5,22	1,2	7
7	120	5,5	5,25	1,2	7
8	140	5,5	4,68	1,2	7
9	160	5,5	5,18	1,2	7
10	200	5,5	5,14	1,2	7

Catatan :

Tebal awal : merupakan tebal pipa saat pertama kali di install atau dipasang (to)

Tebal aktual : adalah tebal pipa saat pengecekan dengan LRUT dilakukan (ta)

Tebal : adalah tebal pipa yang diperlukan agar required (tr) pipa mampu menahan tekanan dari kondesat, Jika tebal aktual lebih kecil dari tebal required, pipa akan gagal menahan tekanan dari kondesat,

Umur pakai : merupakan umur pemakaian pipa (Up) sampai dengan waktu pengecekan

Laju korosi dihitung sesuai persamaan

$$\text{laju korosi} = \frac{(to - ta)}{tp}$$

$$\text{laju korosi} = \frac{(5,5 - 5,11)}{7} = 0,06 \text{ mm/year}$$

Sisa umur pakai dihitung dengan menggunakan persamaan

$$\text{sisa umur pakai} = \frac{(ta - tr)}{(\text{laju korosi})}$$

$$\text{sisa umur pakai} = \frac{(5,11 - 1,2)}{(0,06)} = 70 \text{ tahun}$$

Hasil perhitungan laju korosi dan sisa umur pakai ditunjukkan pada Tabel 4.8 dan Gambar 4.17.

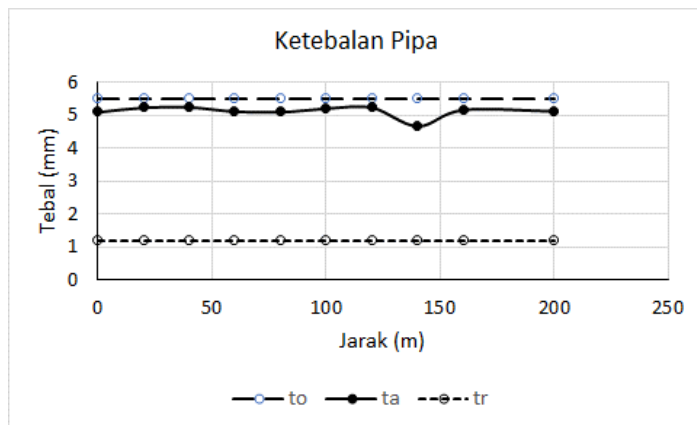
Tabel 4.8. Laju korosi dan sisa umur pakai pipa

Code	Jarak (m)	Tebal (mm)			Umur Pakai tp (Tahun)	Laju Korosi (mmy)	Sisa Umur Pakai (Tahun)
1	0	5,5	5,11	1,2	7	0,06	70
2	20	5,5	5,25	1,2	7	0,04	113
3	40	5,5	5,26	1,2	7	0,03	118
4	60	5,5	5,13	1,2	7	0,05	74
5	80	5,5	5,11	1,2	7	0,06	70
6	100	5,5	5,22	1,2	7	0,04	101
7	120	5,5	5,25	1,2	7	0,04	113
8	140	5,5	4,68	1,2	7	0,12	30
9	160	5,5	5,18	1,2	7	0,05	87
10	200	5,5	5,14	1,2	7	0,05	77

mmy : millimeter per year

Sisa umur pakai : adalah lamanya waktu dimana pipa masih dapat digunakan sebagai pengalir kondesat dalam hal ini,

Gambar 4.17 memperlihatkan penipisan yang terjadi pada pipa kondensasi sebagai akibat korosi. Pada awal pemasangan atau instalasi, ketebalan pipa awal (t_o) adalah 5,5 mm. Setelah pemakaian 7 tahun, terjadi penipisan akibat korosi, sehingga ketebalan aktualnya (t_a) menurun. Tebal aktual (t_a) antara 4,68 mm – 5,26 mm. Namun demikian nilai ketebalan aktual (t_a) jauh lebih kecil dari tebal required (t_r). Terdapat selisih ketebalan yang besar antara tebal aktual dengan tebal required. Selisih ketebalan ini memberikan peluang bahwa pipa masih dapat dipakai dalam kurun waktu rata-rata 85,3 tahun,



Gambar 4.17

Bagaimana menulis sebuah makalah ilmiah dengan tema korosi?

Hasil penelitian dapat didesiminisikan melalui penulisan makalah ilmiah. Menulis makalah ilmiah bertema korosi membutuhkan pendekatan yang sistematis dan terstruktur. Makalah ilmiah biasa memerlukan:

a Judul

Tulisan judul harus khas dan mampu menjelaskan fokus yang akan dibahas dalam makalah,

b Abstrak

Tulis abstrak secara singkat (150-250 kata) dan merupakan gambaran umum isi makalah. Kandungan abstrak biasanya merupakan rangkuman dari tujuan penelitian, metode, hasil penelitian serta kesimpulan,

c Pendahuluan

Pendahuluan biasanya terdiri dari latar belakang dan tujuan penelitian, namun terkadang disertakan pertanyaan penelitian. Latar belakang berisikan menguraikan alasan mengapa penelitian ini dilakukan. Tujuan penelitian memperlihatkan apa yang menjadi tujuan penelitian dan apa yang ingin ditemukan. Pertanyaan penelitian merupakan uraian pertanyaan kunci yang akan dijawab melalui makalah tersebut,

d Tinjauan Pustaka

Berisikan literatur yang terkait dengan penelitian **seperti** penelitian atau studi-studi terdahulu yang relevan dengan topik makalah,

e Metode

Uraian dari metode biasanya terdiri dari alur penelitian (desain penelitian), bahan dan peralatan; pengumpulan data, Pada alur penelitian sedapat mungkin dijelaskan bagaimana penelitian dilaksanakan seperti eksperimen laboratorium, atau simulai, Bahan dan peralatan juga digunakan harus dijelaskan secara detail dan tepat, Bagaimana cara mengumpulkan data dan kemudian menganalisanya diuraikan,

f Hasil dan pembahasan

Tampilkan atau presentasikan data yang dikumpulan dengan melalui tabel, grafik atau gambar, Lalu lakukan analisis terdapat data-data yang ada, Analisis dapat dilakukan dengan cara menginterpretasikan data, Diskusikan pola, tren, Analaisa juga dapat dilakukan dengan melakukan perbandingan dengan penelitian sebelumnya, Analisa apakah kesamaan atau perbedaannya, Analisa juga bisa merupakan uraikan dari implikasi hasil penelitian terhadap pemahaman

teori dan aplikasinya, Pada akhir analisa dapat juga disebutkan keterbatasan dari penelitian,

g Kesimpulan

Kesimpulan merupakan ringkasan dari temuan dari hasil penelitian,

h, Daftar Pustaka

daftar pustak merupakan cantuman semua sumber yang anda rujuk dalam makalah. Penulisan daftar pustaka harus mengikuti kaedah tertentu,

Berikan contoh sebuah makalah ilmiah bertemakan korosi?

Berikut adalah contoh sebuah makalah ilmiah bertemakan korosi:

- **JUDUL:** Pengaruh Rasio Permukaan Katoda/Anoda Terhadap Laju Korosi Katoda Dan Laju Korosi Anoda
- **ABSTRAK:** Salah satu metode pencegahan/ perlindungan korosi adalah proteksi katodik seperti anoda korban, Perbandingan atau rasio (luas permukaan katoda/luas permukaan anoda) berperan dalam laju korosi anoda, Luas permukaan anoda tergantung dari bentuk bangun ruang, Tujuan penelitian adalah untuk mengetahui pengaruh bangun

ruang anoda (kotak, kubus, silinder, dan setengah silinder) terhadap laju korosi anoda pada pasangan sel galvanik Baja ST37—aluminium 6061, Metode, Aluminium dipotong dan dilakukan pemesinan untuk dijadikan sampel anoda dengan bentuk bangun ruang seperti kotak, kubus, silinder dan setengah silinder, Bentuk bangun ruang tersebut memiliki volume yang sama yaitu 10 cm^3 , Masing masing bentuk bangun ruang dari aluminium kemudian di kontakkan dengan baja ST37 sehingga menjadi sel galvanik lalu di rendam dalam media air, Uji korosi menggunakan metode kehilangan berat, Kesimpulan, Bangun ruang setengah silinder memiliki ratio (luas permukaan katoda/ luas permukaan anoda) yang terkecil dibanding bentuk bangun ruang kotak, kubus dan silinder, Anoda dengan bangun ruang setengah silinder memiliki laju korosi terendah,

- **PENDAHULUAN.** Proteksi katodik seperti anoda korban, merupakan salah satu metode yang digunakan untuk melindungi baja dari korosi,, Laju korosi anoda dalam melindungi katoda dipengaruhi oleh rasio (luas permukaan katoda dengan luas permukaan anoda), [dody, 2018; Zhijian et al, 2018], Semakin kecil ratio luas permukaan (katoda/anoda) maka laju korosi anoda akan meningkat. Bentuk bangun ruang seperti kotak, kubus, silinder atau

setengah selindir akan memiliki luas permukaan yang berbeda satu dengan lainnya, walaupun volume dari ruang bangun tersebut adala sama,

- **TUJUAN PENELITIAN.** Tujuan penelitian adalah untuk mengetahui pengaruh bangun ruang anoda (kotak, kubus, silinder, dan setengah silinder) terhadap laju korosi anoda pada pasangan sel galvanik Baja ST37 — aluminium 6061.
- **STUDI PUSTAKA.** Korosi secara umum dikatakan sebagai kerusakan material akibat bereaksi dengan lingkungannya (Fontana, 1987), Korosi pada baja akan menurunkan kekuatan baja tersebut, Korosi perlu dicegah sehingga kerusakan baja tidak berkelanjutan menjadi sebuah malapetaka. Salah satu metode pengukuran laju korosi dengan menggunakan rumus kehilangan kehilangan berat,

$$CR = KW / (p, A, t)$$

CR :Laju korosi (mmy) K :Konstanta 87,6
W :Berat(milligram) p :Massa jenis(Gram/cm^3)
A :Luas permukaan (Cm^2) t :Waktu terpaparJam

Bentuk bangun ruang seperti kotak, kubus silinder dan setengah selindir memiliki luas permukaan yang berbeda antara satu dengan lainnya, walupun

volumenya sama, Luas permukaan masing masing bentuk ruang bangun diperlihatkan berikut ini :

Luas Permukaan Kotak atau kubus (A (k))

$$A(k) = 2(P \times T) + 2(P \times L) + 2(L \times T)$$

Luas permukaan silinder (As):

$$As = A1 + A2$$

$$A1 = 2 (\pi \times (r)^2)$$

$$A2 = T (\pi \times 2r)$$

Luas permukaan setengah silinder (Ass)

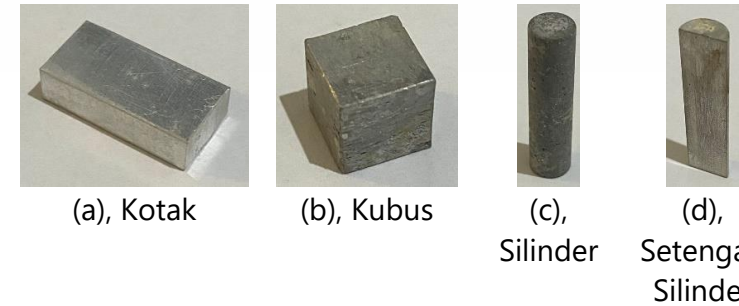
$$Ass = A3 + A4$$

$$A3 = 2 \times 0,5 (\pi \times r^2)$$

$$A4 = T \times \pi \times 2r$$

Keterangan ; P = Panjang, T= Tinggi, L = Lebar, r = Jari jari

- **METODE.** Variabel penelitian, Material (anoda) adalah alumimium 6061 dengan komposisi kimia (Al (balanced); Cr: 0,004; Cu:0,15; Fe: 0,7; Mg: 1,15; Mn: 0,15; Si: 0,8; Ti: 0,15; Zn: 0,25), Material (katoda) adalah baja ST 37, Media korosif adalah garam (NaCl 3,8%), Suhu pengujian 27 °C, Uji korosi menggunakan metode kehilangan berat, Bangun ruang anoda diperlihatkan pada Gambar 4.18.



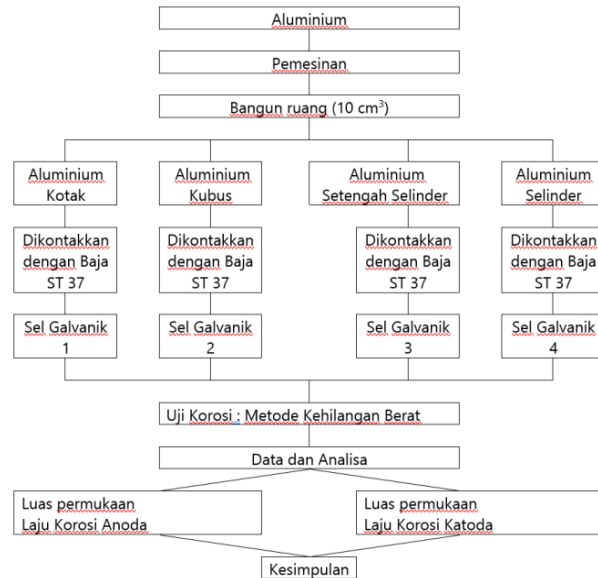
Gambar 4.18. Bangun ruang anoda

Tabel 4.9 memperlihatkan ukuran dari bangun ruang anoda katoda, Gambar 4.19 memperlihatkan diagram alir penelitian.

Tabel 4.9 Dimensi bangun ruang anoda dan katoda

Item	Bangun Ruang				
	Anoda				Katoda
	Kotak	kubus	Silinder	Setengah silinder	Kotak
Panjang (mm)	10	10	==	==	20
Lebar (mm)	5	10	==	==	10
Tinggi (mm)	20	10	27,2	34,4	5
diameter(mm)	==	==	6,8	8,6	==
Volume (mm ³)	1000	1000	1000	1000	1000
Luas permukaan (mm ²)	700	600	652	818	700

Rasio luas permukaan (katoda/anoda)	1	1,17	1,07	0,86	==
-------------------------------------	---	------	------	------	----



Gambar 4.19 Diagram alir penelitian

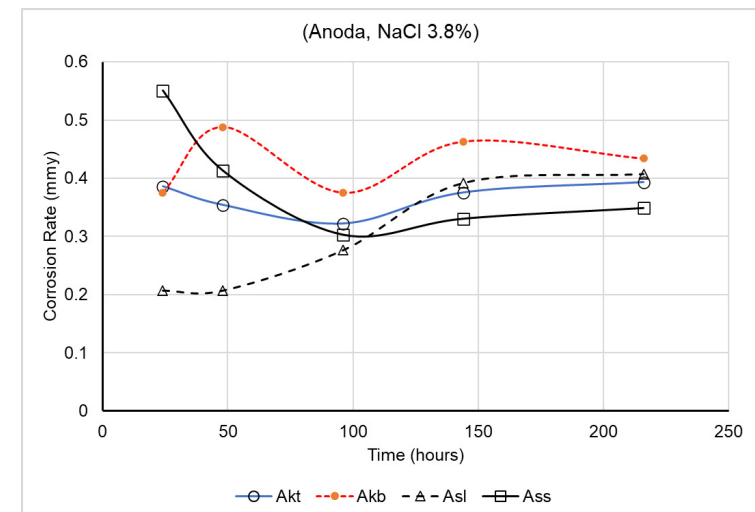
● HASIL DAN PEMBAHASAN.

Laju Korosi Aluminium (Anoda)

Hasil perhitungan laju korosi rata-rata anoda menurut bangun ruangnya diperlihatkan pada Tabel 4,10,

Tabel 4.10 Laju korosi anoda

Waktu Rendam (Jam)	Laju Korosi Anoda (mmy)			
	Kotak (Akt),	Kubus (Akb)	Silinder (Asl)	Setengah Silinder (Ass)
24	0,386	0,375	0,207	0,551
48	0,354	0,488	0,207	0,413
96	0,321	0,375	0,276	0,302
144	0,375	0,463	0,392	0,330
216	0,393	0,4339	0,407	0,3489



Gambar 4.20 laju korosi anoda sesuai bangun ruangnya

Berdasarkan Tabel 2 dan Gambar 4.20 terlihat bahwa dalam media garam (NaCl 3,8%), Nilai laju korosi anoda (pada semua bentuk bangun ruang kotak, kubus, silinder dan setengah silinder) adalah lebih tinggi dibandingkan nilai laju korosi katoda, Hal ini membuktikan bahwa anoda (dengan bentuk bangun ruang kotak, kubus, silinder dan setengah silinder) mampu menjadi anoda korban untuk mencegah terjadinya korosi pada katoda (baja ST37) selama perendaman,

Gambar 4.20 menunjukkan bahwa bila waktu rendam antara 24 sampai 96 jam, nilai laju korosi Anoda masing - masing bangun ruang berfluktuasi atau memiliki trend yang berbeda, Ketidak stabilan nilai laju korosi anoda disebabkan kerapatan arus galvanik belum stabil, Zhijian, (2018) .

Nilai laju korosi anoda stabil bila waktu rendam lebih dari 96 jam, Kestabilan laju korosi disebabkan stabilnya kerapatan arus galvanik [Zhijian, 2018),

Nilai laju korosi anoda (dengan waktu rendam 216 jam) sesuai dengan bentuk ruang bangun adalah sebagai berikut: Bangun ruang kotak (0,393mmy); Kubus (0,4339 mmy); Silinder (0,407 mmy) dan setengah silinder (**0,3489 mmy**), Bangun ruang setengah silinder memiliki laju korosi terendah,

Sebagai informasi bahwa anoda korban paduan aluminium yang dipasang pada kapal dapat dikatakan telah bekerja secara optimal dengan laju korosi rata-rata **0,304** mmy arah vertikal serta 0,327 mmy arah memanjang kapal, Laju korosi anoda korban tersebut sesuai dengan standar kelayakan dan memenuhi syarat aman, [Eko, 2010]

Laju Korosi Baja ST 37 (Katoda)

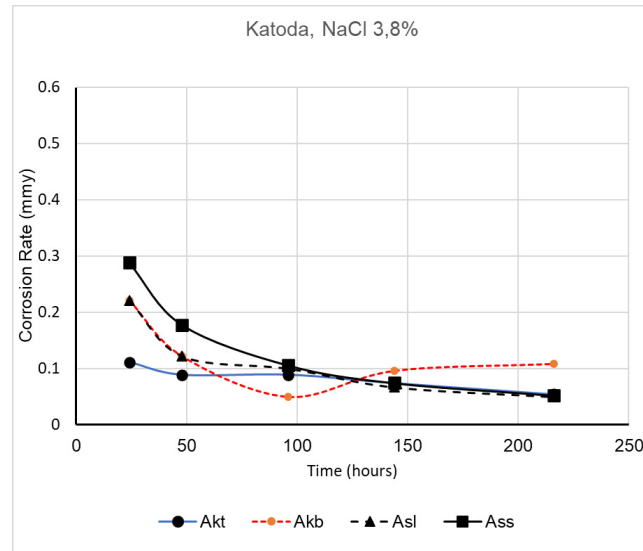
Hasil perhitungan laju korosi rata-rata katoda sesuai dengan bangun ruang anoda diperlihatkan pada Tabel 4.11 dan Gambar 4.21

Laju korosi Baja ST 37 sebagai katoda adalah tidak stabil bila waktu rendamnya lebih kecil dari 96 jam, Laju korosi katoda stabil bila waktu rendam melebihi 96 jam, Laju korosi katoda (dengan waktu rendam 216 jam) berbeda- beda tergantung dengan bentuk bangun ruang anoda, Laju korosi katoda dengan anoda berbentuk kotak adalah 0,054 mmy, sementara dengan bentuk anoda kubus (0,108 mmy); Silinder (0,049 mmy) dan setengah silinder (0,051 mmy),

Sebagai informasi, anoda korban paduan aluminium (Al=97,665%) yang dipasang pada pelat baja kapal AISIE 2512 ternyata yang mempunyai kinerja paling optimal laju korosi rata-rata pada pelat bajanya mencapai 0,065 mmy, [Eko, 2010],

Tabel 4.11 Laju Korosi katoda sesuai bangun ruang anoda

Waktu Rendam (Jam)	Laju Korosi Katoda Sesuai Bangun Ruang Anoda (mmy)			
	Kotak (Akt),	Kubus (Akb)	Silinder (Asl)	Setengah Silinder (Ass)
24	0,110	0,221	0,221	0,287
48	0,088	0,121	0,122	0,177
96	0,088	0,049	0,099	0,105
144	0,073	0,095	0,066	0,073
216	0,054	0,108	0,049	0,051



Gambar 4.21. Laju korosi katoda sesuai dengan bangun ruang anoda

Rasio Luas Permukaan (Katoda/Anoda)

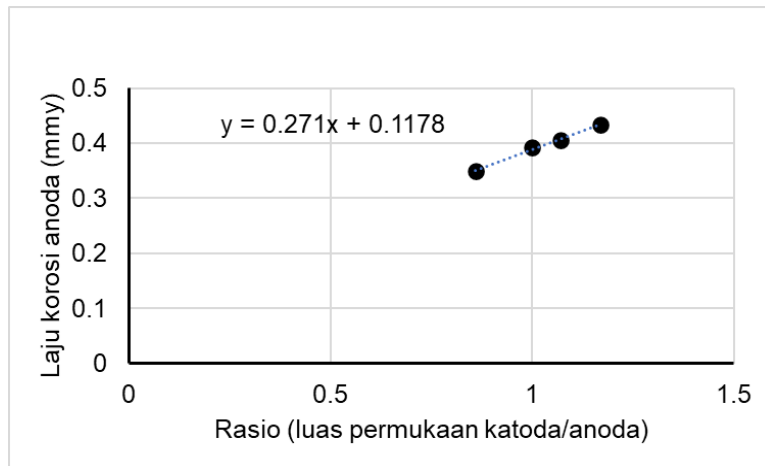
Bentuk bangun ruang saat mempengaruhi nilai laju korosi anoda korban (bila waktu rendam lebih besar dari 96 jam, Bila di urutkan nilai dari laju korosi tertinggi ke yang terendah maka bangun ruang ruang kubus adalah yang tertinggi, Berikutnya adalah silinder lalu kotak, Bangun ruang setengah silinder memiliki laju korosi paling rendah, Perbedaan nilai laju korosi masing-masing bangun ruang dipelihatkan pada Tabel 4.12, Laju korosi anoda dengan bangun ruang setengah silinder lebih kecil 19,6 % dari laju korosi dengan bangun ruang kubus, ,

Tabel 4.12 dan Gambar 4.22. memperlihatkan rasio luas permukaan (katoda/anoda) dan juga membuktikan bahwa rasio luas permukaan (katoda/anoda) merupakan faktor penting bagi laju korosi anoda korban didalam air garam (NaCl 3,8%), Peningkatan luas permukaan anoda akan menyebabkan penurunan rasio luas permukaan (katoda/anoda), Penurunan rasio luas permukaan (katoda/anoda) akan menurunkan laju korosi anoda, Hal ini disebabkan menurunnya rasio luas permukaan (katoda/anoda) akan menyebabkan terjadinya penurunan arus Galvanik dan potensial tegangan Galvanik,

Tabel 4.12 Rasio luas permukaan (katoda/anoda)

Bangun Ruang	Anoda			Katoda	Rasio Luas Permukaan (Katoda / Anoda)
	A (Cm ²)	Laju Korosi Anoda	% Beda	A (Cm ²)	
Kubus	6	0,43393	0 (acuan)	7	1,17
Silinder	6,52	0,40610	6,2	7	1,07
Kotak	7	0,39340	9,3	7	1
Setengah Silinder	8,18	0,34889	19,6	7	0,86

Catatan, A = Luas permukaan,



Gambar 4.22. Rasio (area katoda/area anoda)

Potensial galvanik (E galvanik, volt) bergeser menjadi positif (meningkat) dengan meningkatnya rasio luas permukaan (katoda/anoda), Arus galvanik (I Galvanik, mA/cm²) bertambah seiring dengan kenaikan rasio luas permukaan (katoda anoda), Zhijian (2018),

- **KESIMPULAN.** Bangun ruang kotak, kubus, silinder dan setengah silinder walaupun memiliki volume yang sama (10 cm³) akan memiliki luas permukaan yang berbeda-beda. Luas permukaan masing-masing bangun ruang sebagai berikut: Kubus (6 cm²); Silinder (6,52 cm²), Kotak (7 cm²), Setengah Silinder (8,18 cm²). Rasio luas permukaan (katoda/anoda) yang semakin kecil akan menurunkan laju korosi anoda. Anoda dengan bentuk bangun ruang setengah silinder memiliki nilai laju korosi anoda paling rendah,

Daftar Pustaka

- Fontana M.G, "Corrosion Engineering", third edition, McGraw-Hill Book Company
- Isdiriayani Nurdin, Pramujo Widiatmoko, Hary Devianto, Ferdyan Ihza Akbar, Tiara Calista Shandy, 2018, "Pengaruh Laju Alir Larutan Asam Sitrat Terhadap Korosi Aluminium The Effect Of Citric Acid Flowrate On

- Aluminum Corrosion ", Jurnal Teknologi Bahan dan Barang Teknik Vol,8, No,2, Desember 2018 :53-62
- Pleshivtsev, V.G., Filippov, G.A., Pak. Y.A. et al, 2009, "Effect Of Carbon Content And Stressed State On The Corrosion Rate Of Pipe Steel In Heating Systems, *Metallurgist* ,**53**, 502 (2009), <https://doi.org/10.1007/s11015-009-9188-2>
- Haitham Muhammad Wa'dallah Al-Obaidi Tariq Khaled Abdel-Razzaq, 2010," Study of The Effect of Carbon Contents on The Corrosion Rate of Carbon Steels"; Journal of Engineering Technology, Volume 28, Issue 2, Pp 94-108, <https://doi.org/10.30684/etj.28.4.19>
- Ahmad Royania,d, Muhammad Hanafib, Heddy Julistionoc , Azwar Manafd, 2021, "Korosi Yang Dipengaruhi Mikrobiologi Dan Teknologi Pencegahannya Di Industri Minyak Dan Gas : REVIEW", *Metalurgi* (2021) 3: 135 – 150, E ISSN 2443-3926, <https://ejournalmaterialmetalurgi.lipi.go.id/index.php/metalurgi/article/download/608/378>,
- T, Gu, D, Wang, Y, Lekbach, and D, Xu, 2021, "Extracellular Electron Transfer In Microbial Biocorrosion," *Curr, Opin, Electrochem*, vol, 29, pp, 1-7, 2021, Doi: 10.1016/j.coelec.2021.100763
- M, Wasim, S, Shoaib, N, M, Mubarak, Inamuddin, and A, M, Asiri, 2018, "Factors Influencing Corrosion Of Metal Pipes In Soils," *Environ, Chem, Lett*, vol, 16, no, 3, pp, 861-879, 2018, Doi: 10.1007/s10311-018-0731-x,
- Li and C, Ning, 2019, "Latest Research Progress Of Marine Microbiological Corrosion And Biofouling, And New Approaches Of Marine Anticorrosion And Anti-Fouling," *Bioact, Mater*, vol, 4, no, January 2019, pp, 189–195, 2019, Doi: 10.1016/j.bioactmat.2019.04.003,
- Xiangyu Hou, Lili Gao, Zhendong Cui and Jianhua Yin, 2018, "Corrosion and Protection of Metal in the Seawater Desalination," *IOP Conf, Series: Earth and Environmental Science* 108 (2018) 022037, doi :10.1088/1755-1315/108/2/022037
- Xuanqi Yan, Yingrui Wang, Qingzhen Du, Weiqi Jiang, Fang Shang, and Ran Li, 2019, " Research Progress On Factors Affecting Oxygen Corrosion And Countermeasures In Oilfield Development," *E3S Web of Conferences* 131, 01031 (2019) *ChinaBiofilms* 2019 <https://doi.org/10.1051/e3sconf/201913101031>
- Harsisto,2014, " Karakterisasi Korosi Baja Paduan Rendah Di Lingkungan 60% Libr Pada Suhu Didih Corrosion Characterization Of Low-Alloy Steel Under 60% Libr Environment At Boiling Termperature", *M,I, Mat, Konst*, Vol,14 No: 2 Desember 2014: 10 – 16,

<https://ejurnal,bppt.go.id/index.php/MKK/article/download/1660/1428/2261>

Haristo, Immanuel Ginting, Eddy DC, 2021, "Kinerja Proteksi Anodik Baja ASTM A 516-60 Dan JIS G 3131 – SPHC Dalam Asam Sulfat Pekat, "Jurnal Sains Materi Indonesia, Vol 2 No 3 Juni 2001, Hal 19-25, ISSN 1411-1098

Rico Prasetyo," Tantang Perairan Tiang Pancang," sahabat mancing, diunduh 21 nov 2023, <https://sahabatmancing.com/articles/trip/tantang-perairan-tiang-pancang/>

Guntur, Meilinda, 2021, "" Pemeriksaan Sistem Proteksi Tiang Pancang Dermaga Di Banten" Prosiding Diseminasi Fakultas Teknologi Industri Semester Genap 2020/2021, penerbit ITENAS, hal Desimenasi FTI -1-13 <https://eproceeding.itenas.ac.id/index.php/fti/article/view/697/577>

Perintis-proteksi.com, 2023, <https://www.perintis-proteksi.com/Products/hdpe-jacket-wrapping.html/>, Diunduh 11/12/2023

Us.cygnus-instruments.com, 2023," <https://us.cygnus-instruments.com/product/cygnus-underwater/> , diunduh 11/12/2023

BS 6349-1:2000 Maritime structures, Code Of Practice For General Criteria, published 2000, <https://www.thenbs.com/PublicationIndex/documents/details?Pub=BSI&DocID=250537>

Doctors corrosion, 2023, "Module Four of CCE 281 Corrosion: Impact, Principles, and Practical Solutions, *Iron E-pH (Pourbaix) Diagram*", <https://corrosion-doctors.org/Corrosion-Thermodynamics/Potential-pH-diagram-iron.htm>, Diunduh 11/12/2023

katex.co.uk, 2023, <https://www.katex.co.uk/product/polatrak-cathodic-protection-cp-gun/> diunduh 11/12/2023

stoprust.com, 2023, <https://stoprust.com/technical-library-items/27-offshore-platform-cp-survey/> diunduh 11/12/2023

Nikhilesh Mukherjee, 2022, "Why Dissolved Oxygen Is Corrosive? A Review", sep 25 2022, <https://www.linkedin.com/pulse/why-dissolved-oxygen-corrosive-review-nikhilesh-mukherjee#:~:text=Under%20oxygen%2Dsaturated%20conditions%2C%20dissolved,electron%20acceptor%20in%20cathodic%20reactions>,

Silmi Nurul Utami, 2023, "Pengertian Tabel periodic, Unsur dan Cara membacanya", 25 juli 2023,

<https://www.kompas.com/skola/read/2023/07/25/160000769/pengertian-Tabel-periodik-unsur-klasifikasi-dan-cara-membacanya>

Raden Rifky Karnadibrata, Elfida Moralista, Noor Fauzi, 2019, "Penentuan Laju Korosi Dan Sisa Umur Pakai Pipa (*Remaining Service Life*) Pada Jalur Pipa Transportasi Kondensat Sp Subang – Sp Pegaden Pt Pertamina Ep Asset 3 Subang Field, Kecamatan Pagaden, Kabupaten Subang, Provinsi Jawa Barat, Prosiding Teknik Pertambangan Volume 5, No, 2, Tahun 2019, ISSN: 2460-6499

Intertek, 2024, "Long Range Ultrasonic Testing (LRUT)," <https://www.intertek.com/non-destructive-testing/long-range-ultrasonic-testing/> diunduh 16 januari 2024

LMAT,2024,"GW LRUT – Guided Wave Long Range Ultrasonic testing", <https://lmats.com,au/services/advanced-ndt-solutions/gw-lrut-guided-wave-long-range-ultrasonic-testing> , diunduh 16 januari 2024

Fontana, Mars G,1987, "Corrosion Engineering", Third Edition, Mac Graw-Hill Book Company,

Zhijian Wang, Yanming Wang and Chunli Wang, 2018, "Area Ratio of Cathode/Anode Effect on the Galvanic

Corrosion of High Potential Difference Coupling in Seawater", IOP Conf, Series: Materials Science and Engineering 322 (2018) 022046, doi:10.1088/1757-899X/322/2/022046

Dody Prayitno, M, Irsyad, "Effect Of Ratio Of Surface Area On The Corrosion Rate", SINERGI Vol, 22, No,1, February 2018: 7-12, doi,org/10,22441/sinergi,2018,1,002,

Eko Julianto Sasono, 2010," Efektivitas Penggunaan Anoda Korban Paduan Aluminium Pada Pelat Baja Kapal Aisi E 2512 Terhadap Laju Korosi Di Dalam Media Air Laut", Program Studi Magister Teknik Mesin, Program Pasca Sarjana Universitas Diponegoro Semarang

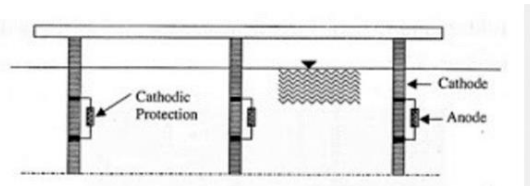
Dody Prayitno, Aji Dwi Prasetyo,2023, "Proteksi Katodik: Pengaruh Bentuk Bangun Ruang Terhadap Laju Korosi Anoda," Metrik Serial Humaniora Dan Sains, (E): ISSN 2774-2377.Volume: 4,Nomor: 1,Tahun 2023, <https://publikasi.kocenin.com/index.php/huma/article/view/435/371>

BAB 5

METAL FOAM SEBAGAI ANODA KORBAN

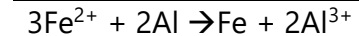
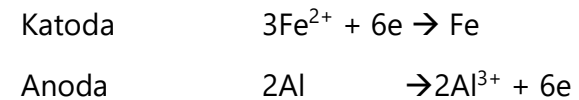
Apa alasan *metal foam* dapat digunakan sebagai anoda korban?

Pembangunan infrastruktur pantai seperti dermaga merupakan sebuah langkah dalam pemanfaatan potensi kemaritiman untuk meningkatkan ekonomi maritim atau lebih dikenal dengan blue economy (Tim Humas, 2023). Untuk mengurangi biaya kerugian tadi maka sebuah dermaga perlu mendapatkan perlindungan korosi seperti cathodic protection atau mengkontakkan sebuah anoda dengan baja seperti Gambar 5.1 [Ega Marga Putra, 2016]. Baja sebagai logam yang dilindungi disebut katoda sementara Anoda (contoh logam Aluminium atau zinc) adalah logam yang melindungi baja,



Gambar 5.1. Pemasangan anoda pada tiang-tiang baja dermaga

Mekanisme perlindungan baja oleh anoda (contoh aluminium) dimana baja akan menjadi katoda dan aluminium (sebagai anoda), diperlihatkan pada reaksi kimia berikut ini



Pada reaksi kimia tersebut diatas, terlihat bahwa logam aluminium (Al) melepaskan elektron sementara baja (Fe) menangkap elektron, Pelepasan elektron pada aluminium akan menyebabkan aluminium terkorosi sehingga berat atau dimensinya aluminium berkurang dengan berjalannya waktu, Sementara katoda baja (Fe) menangkap elektron sehingga baja tidak akan mengalami korosi, Berat atau dimensi baja tidak berkurang,

Permukaan anoda berpengaruh pada kinerja anoda melindungi katoda, Semakin kecil permukaan anoda, semakin tinggi laju korosi anoda, (Dody, 2018), Semakin tinggi rasio permukaan (katoda/anoda) akan menyebabkan peningkatan laju korosi anoda, Peningkatan laju korosi anoda akan menurunkan life time anoda sebagai anoda korban, Untuk meningkatkan life time

anoda korban, salah satu caranya adalah meningkatkan luas permukaan anoda,

Dalam rangka meningkatkan kinerja anoda dalam melindungi baja, perbandingan rasio (luas permukaan katoda (A_k) /luas permukaan anoda (A_a)) atau ditulis rasio (A_k/A_a) perlu mendapat pertimbangan,

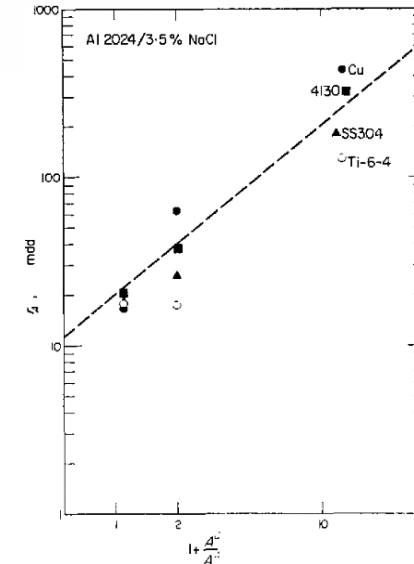
F. Mansfeld, dkk memperlihatkan sebuah grafik laju korosi (mdd) terhadap rasio (A_k/A_a) sebagaimana terlihat pada Gambar 5.2 (F mansfeld 1975), Satuan laju korosi mdd adalah milligram per dm^2 per day, Gambar 5.2 memperlihatkan bahwa dengan menurunnya luas permukaan anoda maka laju korosi anoda akan meningkat atau dengan kata lain luas permukaan anoda yang besar akan menurunkan laju korosi anoda, Penurunan laju korosi anoda akan meningkatkan kinerja untuk melindungi baja dari korosi,

Dody memperlihatkan hubungan laju korosi (mmy) terhadap rasio (A_k/A_a) dalam hubungan matematika (Dody, 2018),

$$Y = 1,875 X + 1,382$$

Y = laju korosi anoda (mmy); mmy = milimeter per year

X = rasio (A_k/A_a)



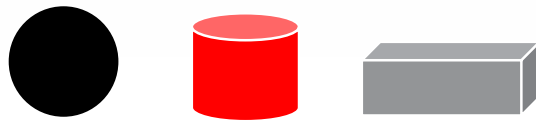
Gambar 5.2 Pengaruh Rasio (A_k/A_a) terhadap laju korosi (mdd) anoda, [F. Mansfeld, 1975]

Bagaimana meningkatkan luas permukaan?

Pada sub bab ini luas permukaan sebuah benda dapat diubah berdasarkan bentuk ruang benda dan dengan adanya pori,

a. Bangun ruang

Bentuk ruang contohnya adalah bentuk bola, selinder, balok atau setengah selinder (Gambar 5.3). Beberapa rumus perhitungan luas permukaan sesuai dengan bentuk ruang diperlihatkan pada Tabel 5.1.



a,
Bola

b,
Silinder

c,
Balok

Gambar 5.3 Bangun Ruang

Tabel 5.1 Rumus volume dan luas permukaan

	Bola	Silinder	Balok
Volume	$V = \left(\frac{4}{3}\right)\pi r^3$	$V = t, \pi r^2$	$V = p, l, t$
Luas permukaan/kulit	$A = (4, \pi, r^2)$	$A = [2, \pi, r(r + t)]$	$A = 2(pxl) + 2(pxt) + 2(lxt)$

Contoh perhitungan luas permukaan beberapa bangun ruang, dipelihatkan pada Tabel 5.2 Pada perhitungan luas permukaan tersebut masing-masing bangun ruang memiliki volume yang sama yaitu 1000 mm³,

Tabel 5.2 Contoh hasil perhitungan luas permukaan sesuai bangun ruang,

item	balok	kubus	Silinder	Setengah silinder
				
Panjang (mm)	10	10	==	==
Lebar (mm)	5	10	==	==
Tinggi (mm)	20	10	27,2	34,4
diameter(mm)	==	==	6,8	8,6
Volume (mm ³)	1000	1000	1000	1000
Luas permukaan (mm ²)	700	600	652	818
Rasio luas permukaan (katoda/anoda)	1	1,17	1,07	0,86

b Metal Foam,

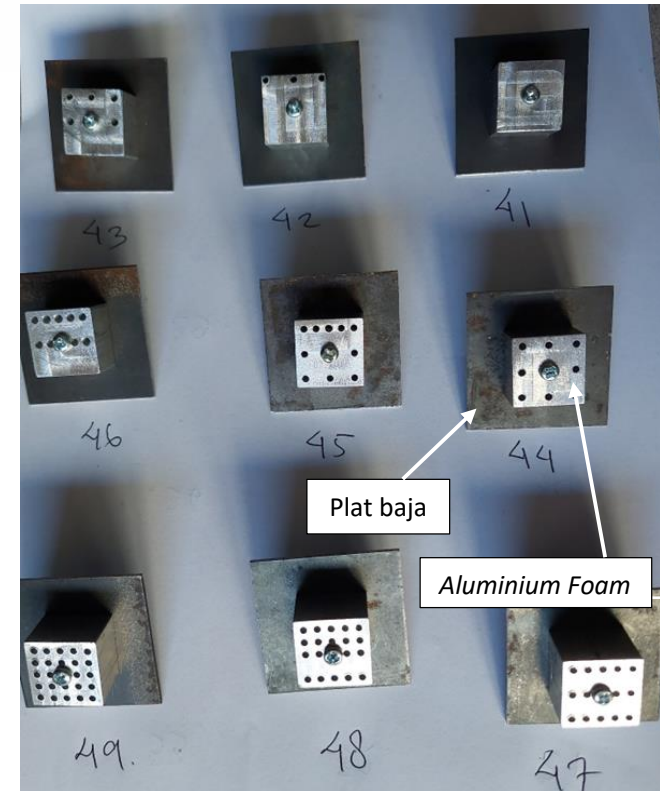
Bangun ruang berpori memiliki luas permukaan yang lebih besar dibandingkan bangun ruang pejal, *Metal foam* (logam berpori) seperti terlihat pada Gambar 5.4 akan memiliki luas permukaan yang lebih besar

dibandingkan metal pejal, Pemberian gas atau Steorofoam pada logam cair akan menyebabkan logam tersebut akan memiliki pori bila membeku dan kemudian dikenal sebagai *metal foam*,



Gambar 5.4 Metal Foam (metal foam, 2024]

Sebuah penelitian *metal foam* dirancang untuk dapat mengetahui hubungan luas permukaan dengan persentase porositas, Sampel berupa aluminium batang dipotong menjadi 5 grup sampel, Setiap grup sampel memiliki 9 sampel, Agar menjadi metal foam, setiap sampel dibor (diameter 3 mm), Gambar 5.5 memperlihatkan sampel *aluminium foam* dari grup 4



Gambar 5.5 Sampel aluminium foam

Bagaimana menghitung Porositas *metal foam* (contoh *aluminium foam*)

Perhitungan porositas *aluminium foam* dilakukan dengan menggunakan persamaan berikut

$$\text{Porositas} = (1 - (\rho_{\text{real}} / \rho_{\text{teoritis}}))$$

ρ_{real} = berat jenis aluminium real;

ρ teoritis = berat jenis teoritis aluminium

Contoh perhitungan porositas pada *aluminium Foam* sampel no 49 (Gambar 3.2).

Volume = $19,10 \times 19,0 \times 13,75 = 4989,9 \text{ mm}^3$

r real = berat/volume = $10,172 \text{ gram}/4,9899 \text{ cm}^3 = 2,038 \text{ gram/cm}^3$

Porositas = $(1 - \rho \text{ real}/\rho \text{ teoritis}) = (1 - (2,038/2,7)) = 0,245$

Porositas (%) = $0,245 \times 100 \% = 24,5 \%$

Bagaimana menghitung luas permukaan *metal foam* (contoh *aluminium foam*)?

Luas permukaan total *aluminium foam* adalah luas permukaan luar ditambah luas permukaan dalam dari pori-pori, Dalam perhitungan luas permukaan luar, diasumsikan permukaan luarnya tidak memiliki pori, Selain itu diasumsikan juga bahwa pori-porinya berbentuk selinder, sehingga permukaan dalam pori-pori dihitung sebagai selimut tabung,

Contoh perhitungan luas permukaan *aluminium foam* ini, menggunakan sampel no 41, dimana terdapat 1 buah pori (diameter 3 mm), Perhitungan dimulai dengan menghitung luas permukaan dalam pori (atau selimut tabung) yang dilanjut dengan perhitungan luas permukaan luar, Akhirnya akan didapat luas permukaan total,

Selimut tabung = $\pi D h$

Selimut tabung = $3,14 \times 3 \times 13,60 = 128,112 \text{ mm}^2$

Luas permukaan dalam = $128,112 \text{ mm}^2$

Luas permukaan luar

= $2((19,10 \times 19,10) + (19,10 \times 13,60) + (19,10 \times 13,60))$

= $1765,38 \text{ mm}^2$

Luas permukaan total = $1765,38 + 128,112 \text{ mm}^2$

= $1893,49 \text{ mm}^2$

Tabel 5.3 Porositas Grup 1,

Kode Sampel	Panjang (mm)	Lebar (mm)	Tinggi (mm)	Berat Awal (gram)	Porositas (%)	Luas permukaan total aluminium foam (mm ²)
1	19,00	19,15	13,60	12,911	3,4	2111,518
2	19,00	19,15	13,55	12,568	5,6	2265,891
3	19,10	19,00	13,55	12,331	7,1	2529,272
4	19,10	19,10	13,70	11,974	11,3	2659,961
5	19,10	19,00	13,55	11,764	11,4	2851,274
6	19,00	19,00	13,80	11,661	13,3	2975,217
7	19,00	19,10	13,55	11,281	15,0	3400,028
8	19,00	19,10	13,70	10,658	20,6	3763,357
9	19,00	19,10	13,55	9,623	27,5	2111,518

Tabel 5.4 Porositas Grup 2

Kode Sampel	Panjang	Lebar	Tinggi	Berat Awal	Porositas	Luas permukaan total alumium foam
	(mm)	(mm)	(mm)	(gram)	(%)	(mm ²)
21	19,10	19,00	13,65	12,909	3,5	1880,383
22	19,00	19,00	13,65	12,571	5,5	2112,179
23	19,10	19,10	13,60	12,338	7,9	2278,282
24	19,10	19,10	13,60	11,979	10,6	2515,666
25	19,10	19,00	13,70	11,750	12,5	2682,224
26	19,10	19,00	13,70	11,670	13,1	2841,736
27	19,00	19,10	13,65	11,273	15,7	2992,571
28	19,00	19,10	13,75	10,655	20,9	3410,275
29	19,00	19,10	13,65	9,655	27,8	3786,991

Tabel 5.5 Porositas Grup 3

Kode sampel	Panjang	Lebar	Tinggi	Berat Awal	Porositas	Luas permukaan total alumium foam
	(mm)	(mm)	(mm)	(gram)	(%)	(mm ²)
31	19,00	19,00	13,65	12,898	3,1	1873,853
32	19,10	19,00	13,60	12,564	5,7	2113,486
33	19,10	19,00	13,60	12,334	7,4	2271,742
34	19,10	19,00	13,60	11,984	10,1	2509,126
35	19,10	19,00	13,30	11,754	9,8	2622,856
36	19,10	19,00	13,50	11,672	11,8	2809,54

37	19,10	19,00	12,70	11,285	9,3	2827,708
38	19,10	19,00	13,60	10,570	20,7	3379,534
39	19,10	19,00	13,70	9,958	25,8	3798,808

Tabel 5.6 Porositas Grup 4

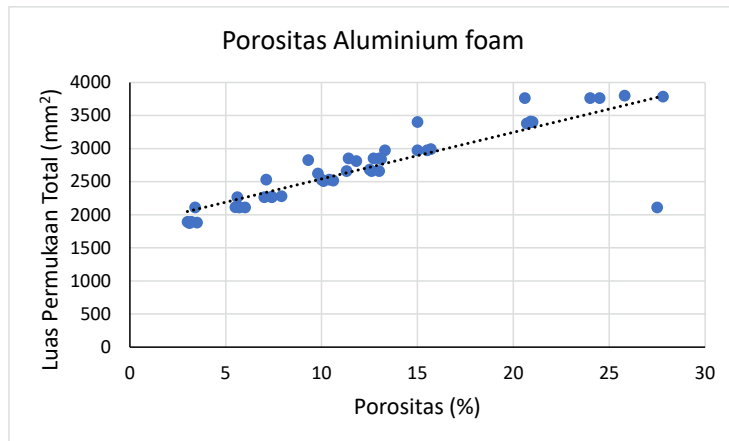
Kode Sampel	Panjang	Lebar	Tinggi	Berat Awal	Porositas	Luas permukaan total alumium foam
	(mm)	(mm)	(mm)	(gram)	(%)	(mm ²)
41	19,10	19,00	13,60	12,896	3,2	1893,492
42	19,10	19,00	13,60	12,560	5,7	2111,518
43	19,10	19,00	13,60	12,334	7,4	2265,891
44	19,10	19,00	13,65	11,979	10,4	2529,272
45	19,10	19,00	13,70	11,736	12,6	2659,961
46	19,10	19,00	13,65	11,677	12,7	2851,274
47	19,10	19,00	13,65	11,305	15,5	2975,217
48	19,10	19,00	13,70	10,613	20,9	3400,028
49	19,10	19,00	13,75	10,172	24,5	3763,357

Tabel 5.7 Porositas Group 5,

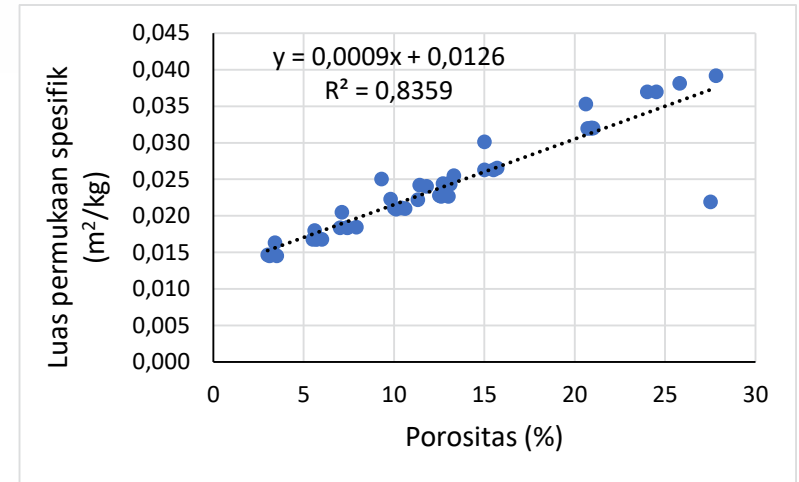
Kode Sampel	Panjang	Lebar	Tinggi	Berat Awal	Porositas	Luas permukaan total alumium foam
	(mm)	(mm)	(mm)	(gram)	(%)	(mm ²)
51	19,10	19,00	13,60	12,901	3	1893,500
52	19,10	19,00	13,60	12,563	6	2111,518

53	19,10	19,00	13,60	12,333	7	2265,891
54	19,10	19,00	13,65	11,979	10	2529,272
55	19,10	19,00	13,70	11,736	13	2659,961
56	19,10	19,00	13,65	11,676	13	2851,274
57	19,10	19,00	13,65	11,306	15	2975,217
58	19,10	19,00	13,70	10,615	21	3400,028
59	19,10	19,00	13,75	10,174	24	3763,357

Hubungan porositas dengan luas permukaan diperlihatkan pada Gambar 3.3. Gambar 5.6 hanya memperlihatkan porositas dari 3 % sampai dengan 30 %, Peningkatan porositas dari 3 % menjadi 27,8 % menyebabkan luas permukaan *aluminium foam* meningkat dari 1893 mm² menjadi 3786 mm²,



Gambar 5.6 Hubungan porositas aluminium dengan luas permukaan,



Gambar 5.7 Hubungan luas permukaan spesifik (m²)/kg) vs porositas

Pada Gambar 5.7 terlihat persamaan garis linier sebagai berikut:

$$Y = 0,0009x + 0,0126$$

Dimana '

Y = rasio (Luas Permukaan (m²) / Berat (kg)

X = porositas *aluminium foam* (%)

Contoh pemakaian persamaan. Berapa luas permukaan anoda foam dengan berat 1 kg dan porositas 10 %;?

Jawab,

$$Y = 0,0009x + 0,0126$$

$$Y = (0,0009) (10) + 0,0126$$

$$Y = 0,0216 \text{ (m}^2\text{/kg)}$$

Berat anoda 1 kg, so luas permukaan total adalah 0,216 m²,

Berapa luas permukaan anoda foam dengan berat 10 kg dan porositas 5 %;?

$$Y = 0,0009x + 0,0126$$

$$Y = (0,0009) (5) + 0,0126$$

$$Y = 0,0045 + 0,0126$$

$$Y = 0,0171 \text{ (m}^2\text{/kg)}$$

Berat anoda 10 kg, so luas permukaan anoda = 0,17 m²

Apakah *Aluminium Foam* Dapat Bertindak Sebagai Anoda Korban?

Untuk menjawab pertanyaan ini, telah dilakukan penelitian dengan media air tawar, Berdasarkan hasil penelitian tersebut diketahui Laju korosi *aluminium foam* awal (*initial*) adalah 0,01 mmy dan Laju korosi baja awal (*initial*) adalah 0,15 mmy (Tabel 5.8)

Tabel 5.8 Laju korosi sampel awal

Material	Laju korosi (mmy)
Aluminium foam (<i>initial</i>)	0,01
Baja (<i>initial</i>)	0,15

Aluminium Foam memiliki nilai laju korosi yang rendah dikarenakan pada permukaannya terbentuk lapisan aluminium oksida Al₂O₃. Lapisan tersebut terbentuk secara spontan pada permukaan logam, karena logam mempunyai komposisi kimia yang tidak homogen, Lapisan Al₂O₃ stabil pada lingkungan pH 4 s/d pH 9 (pasifasi) sehingga lapisan tersebut dapat melindungi logam bagian dalam dari serangan pengkorosi, [Tiurlina Siregar, 2010]

Pada permukaan baja terbentuk karat, Reaksi elektrokimia pada baja sebagai berikut:

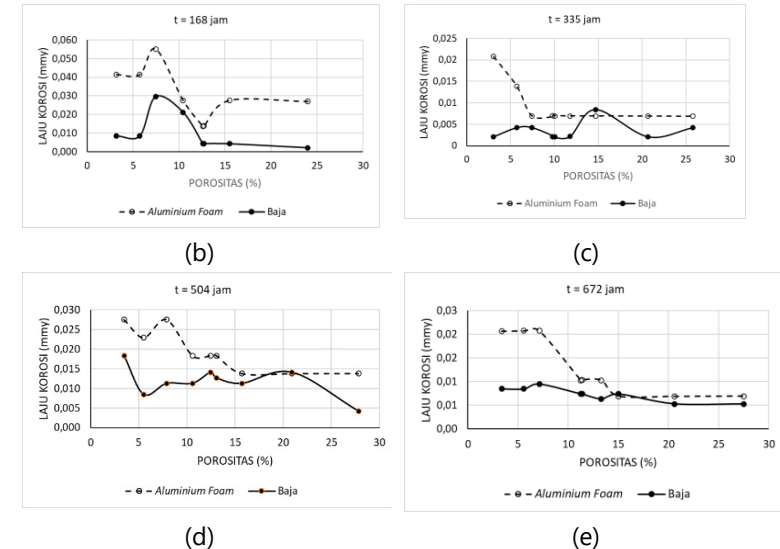
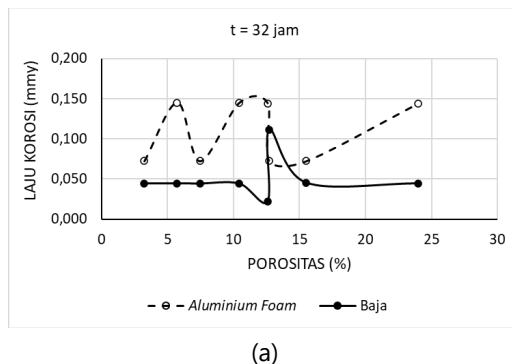
Jenis Reaksi	Reaksi kimia
Reduksi/(katodik)	$O_2 + 4H^+ + 4e \rightarrow 2H_2O$
Oksidasi/(anodik)	$Fe \rightarrow Fe^{2+} + 2e$
	$2Fe + O_2 + 4H^+ \rightarrow 2H_2O + 2Fe^{2+}$

Selanjutnya dilakukan penelitian, dimana aluminium foam digunakan sebagai anoda korban untuk melindungi plat baja didalam media air tawar, sebagaimana terlihat

pada Gambar 5.5 Hasil penelitian di perlihatkan pada Gambar 5.8.

Gambar 5.8 (a-e) memperlihatkan nilai laju korosi bagi baja dan aluminium foam dalam pasangan sel gavanik dengan waktu perendaman di media air adalah 35 jam, 168 jam, 335 jam, 504 jam dan 672 jam, Aluminium foam berfungsi sebagai anoda korban dan baja adalah katoda,

Dari Gambar 5,8 terlihat bahwa pada semua waktu rendam (35 jam, 168 jam, 335 jam, 504 jam dan 672 jam) nilai laju korosi katoda atau baja berada dalam rentang 0,02 – 0,044 mmy, Nilai 0,002-0,044 mmy jauh lebih kecil dibandingkan dengan nilai laju korosi baja initial (baja tanpa perlindungan anoda korban) 0,15 mmy, Ini membuktikan bahwa *aluminium foam* sebagai anoda korban berhasil melindungi plat baja dari korosi,



Gambar 5.8 Laju korosi aluminium foam (anoda korban) dan baja (katoda) dengan variasi waktu rendam, 32 jam (a), 168 jam (b), 335 jam (c), 504 jam (d) dan 672 jam (e),

Reaksi elektrokimia *aluminium foam* sebagai anoda dalam melindungi baja dari korosi sebagai berikut,

Jenis Reaksi	Reaksi kimia
Reduksi/(katodik)	$3\text{Fe}^{2+} + 6\text{e} \rightarrow \text{Fe}$
Oksidasi/(anodik)	$2\text{Al} \rightarrow 2\text{Al}^{3+} + 6\text{e}$
$3\text{Fe}^{2+} + 2\text{Al} \rightarrow \text{Fe} + 2\text{Al}^{3+}$	

Aluminium sebagai anoda akan mengalami reaksi oksidasi atau anodik, dimana reaksi tersebut akan

melepaskan ion aluminium kedalam media air tawar dan menghantarkan elektron ke baja, Pada baja akan mengalami reaksi reduksi atau katodik, dimana elektron dari anoda diterima oleh ion ferrous untuk menjadi metal Fe, sehingga pada permukaan baja tidak terjadi pelepasan ion fe, Baja tidak terkorosi,

Apa Pengaruh Porositas Pada Anoda Terhadap Laju Korosi anoda sendiri?,

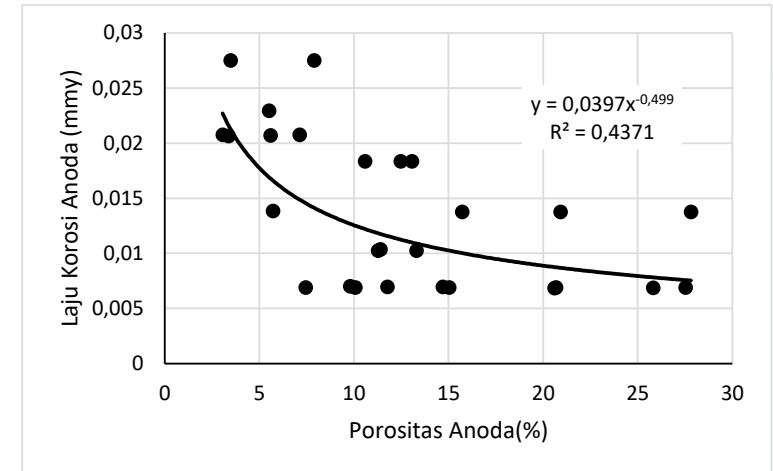
Adanya pori-pori mempengaruhi laju korosi anoda seperti terlihat pada Gambar 5.9 Peningkatan persentase porositas menyebabkan penurunan laju korosi *aluminium foam* dengan persamaan matematik sebagai berikut:

$$y = 0,0397 x^{-0,499}$$

keterangan :

y = laju korosi aluminium foam

x = persentase porositas aluminium foam,



Gambar 5.9 Pengaruh persentase Porositas terhadap laju korosi anoda,

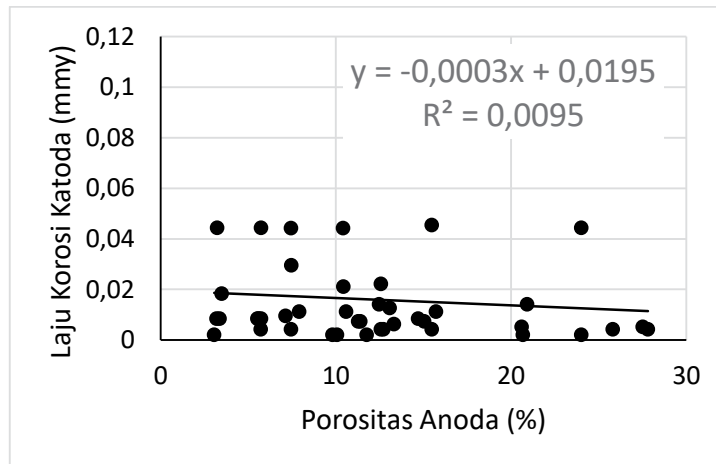
Penurun laju korosi *aluminium foam* (sebagai anoda) sebagai akibat peningkatan persentase porositas pada *aluminium foam* berkaitan dengan perubahan luas permukaan *aluminium foam* diperlihatkan pada Gambar 5.9

Apa Pengaruh Porositas Pada Anoda Terhadap Laju Korosi Katoda?,

Laju korosi baja yang dilindungi dengan aluminium foam sebagai anoda korban adalah lebih kecil dari 0,04 mmy (milimeter per year), Sebagai pembanding, Laju

korosi dari baja tanpa perlindungan anoda korban adalah 0,15 mmy,

Persentase kenaikan porositas pada *aluminium foam* dari 3 persen ke 27 persen menurunkan laju korosi baja, sebagaimana terlihat pada Gambar 5.10 Namun penurunannya dapat diabaikan, *Aluminium foam* sebagai anoda korban dapat melindungi baja dari korosi,



Gambar 5.10. Laju korosi baja (katoda) terhadap persentase porositas aluminium foam (anoda),

Daftar Pustaka

Ega Marga Putra, 2016, "Metode Pelaksanaan Pancang Pile Pada Dermaga Batubara 10000 Dwt Aceh ", Tugas Akhir Terapan, Program Studi Diploma IV Teknik Sipil

Fakultas Teknik Sipil Dan Perencanaan Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya 2016, https://repository.its.ac.id/76123/1/3115040502-Undergraduate_Thesis.pdf, diunduh 31 Januari 2022

Dody Prayitno, 2018, "Effect of Ratio of Surface Area on The Corrosion Rate," Sinergi, Vol 22 No1, 2018, DOI <https://dx.doi.org/1022441/sinergi-2018,1,002>

Dody Prayitno, E, Shintadewi Julian, Rosalina Tjandrawinata, 2002, "Mesin Pemusnah Pisau Bedah Terkontaminasi" ; Kekayaan Intelektual Desain Industri, No permohonan; A00202003698, PUTUSAN SUBSTANTIF DIBERI, 2022

Dody Prayitno, Rosalina Tjandrawinata, E. Shintadewi Julian, 2020, "Mesin Pemusnah Surgical Blade Tanpa Bekas", Laporan Akhir Konsorsium Riset Dan Inovasi Covid 19, Kementerian Riset Dan Teknologi Badan Riset Dan Inovasi Nasional Dan Lembaga Pengelola Dana Pendidikan Kementerian Keuangan Tahun 2020,

Dody Prayitno, E, Shintadewi Julian, Rosalina Tjandrawinata, 2021, "Perancangan Alat Pemusnah Pisau Bedah Terkontaminasi Virus Corona", Jurnal Penelitian dan Karya Ilmiah Lembaga Penelitian Universitas Trisakti, volume 6 number 2, Juli 2021, hal 172-181, E ISSN 2579 9207,

Dody Prayitno, E, Shintadewi Julian, Rosalina Tjandrawinata, 2018, "Pengolahan Limbah Medis (Pisau Bedah), Kocenin Jurnal Pengabdian Kepada Masyarakat, volume 1 nomor 1 tahun 2021, halaman 1-8

Metal foam https://en.wikipedia.org/wiki/Metal_foam, diunduh 19 september 2024

Agus Suherman Dan Adhyaksa Dault, 2009, " Dampak Sosial Ekonomi Pembangunan Dan Pengembangan Pelabuhan Perikanan Nusantara (PPN) Pengembangan Jembrana Bali", Jurnal Saintek Perikanan Vol, 4, No, 2, 2009 : 24 - 32
<https://ejournal.undip.ac.id/index.php/saintek/article/viewfile/371/881>

Dadang, 2017, "Korosi Tingkatkan Biaya Perawatan" , ITS NEWS, 21 Juni 2007, 15:06]
<https://www.its.ac.id/news/2007/06/21/korosi-tingkatkan-biaya-perawatan/>

F.Mansfeld, J.V.Kenkel,1975, "Galvanic corrosion of Al alloys—III, The effect of area ratio", Corrosion Science, Volume 15, Issue 4, 1975, Pages 239-250, DOI:10.1016/S0010-938X(75)80019-9)

Asmarines, 2020, "Fungsi Zinc Anode Atau Anoda Kapal", posted in ship equipment, 7 may 2020

<https://seoasmarines.com/2020/05/07/fungsi-zinc-anode-atau-anoda-kapal/> diunduh 1 februari 2022

Tiurlina Siregar,2010, "Laju Korosi Dan Mekanisme Inhibisi Aluminium Murni Menggunakan Kalium Dan Kalsium Stearat", Jurnal Kimia 4 (2), Juli 2010 : 113-124 ISSN 1907-9850]

Tim Humas, 2023, "Daerah 3T: Pengertian, Permasalahan Dan Daftar Wilayahnya Di Indonesia, Berita, Universitas Islam An Nur Lampung", 2 juli 2023, <https://an-nur.ac.id/daerah-3t-pengertian-permasalahan-dan-daftar-wilayahnya-di-indonesia/>,

Glosarium

Anoda	: Elektroda suatu sel elektrokimia tempat terjadinya reaksi oksidasi
Anoda Korban	: Pada metode ini logam anoda akan rusak terkorosi karena melindungi logam katoda,
Bangun Ruang	: Bentuk geometri tiga dimensi yang memiliki panjang, lebar, dan tinggi,
Berat Akhir	: Berat material sesudah diproses
Berat Awal	: Berat material sebelum diproses,
<i>Corrosion Current Density</i>	: Merupakan penggambaran seberapa cepat proses korosi terjadi pada permukaan material seperti logam (satuan ampere per sentimeter persegi atau A/cm ²),
Daerah Imun (Dalam Diagram Pourbaix)	: Area dimana logam tetap stabil dalam bentuk logam karena logam tidak mengalami korosi atau oksidasi,
Daerah Korosi (Dalam Diagram Pourbaix)	: Daerah di mana logam akan teroksidasi atau rusak karena reaksi elektrokimia

Daerah Pasif (Dalam Diagram Pourbaix)	: Daerah di mana logam tidak mengalami korosi aktif, tetapi membentuk lapisan pelindung seperti oksida atau hidroksida pada permukaannya,
Diagram Pourbaix Ferrous	: Diagram elektrokimia yang menggambarkan kestabilan berbagai bentuk senyawa besi (Fe) dalam air pada berbagai potensial elektrode (E) dan pH,
<i>Galvanis Series</i>	: Merupakan daftar logam yang disusun berdasarkan kemampuannya untuk menghasilkan arus listrik ketika dipasangkan dengan logam lainnya dalam suatu larutan elektrolit,
Inhibitor	: Adalah teknik mencegah korosi pada logam dengan menggunakan bahan kimia yang disebut inhibitor
Inhibitor Korosi Hijau (<i>Corrosion Green Inhibitor</i>)	: Adalah bahan alami atau organik yang dapat mencegah atau mengurangi laju korosi logam tanpa merusak lingkungan
Katoda	: Elektroda suatu sel elektrokimia tempat terjadinya reaksi reduksi
Kehilangan Berat	: Selisih berat material sebelum dan sesudah diproses

Korosi : Perusakan material (biasanya logam) akibat bereaksi kimia atau elektrokimia dengan lingkungan disekitarnya

Korosi Celah : Korosi yang terjadi di dalam celah-celah sempit seperti celah diantara sambungan antara dua permukaan logam

Korosi Galvanik : Korosi yang terjadi ketika dua logam (paduan) dengan memiliki komposisi yang berbeda dipasangkan/kontak secara elektrik saat berada dalam larutan elektrolit,

Korosi Merata : Korosi merata merupakan bentuk korosi elektrokimia yang terjadi dengan intensitas yang setara di seluruh permukaan yang terbuka,

Korosi Sumuran : Korosi sumuran merupakan serangan korosi yang terlokalisasi dan bentuknya berupa lubang-lubang kecil

Laju Korosi : Kecepatan kerusakan suatu material, sebagai akibat bereaksi kimia dengan lingkungan sekitarnya

Metal Foam (Logam berpori) : Struktur logam yang memiliki ruang-ruang kosong (pori) yang membentuk jaringan satu dengan lainnya, Pori-pori tersebut dapat saling terhubung secara

terbuka atau tertutup, Logam dengan porositas tinggi,

Microbiologically Influenced Corrosion : Fenomena korosi logam yang dipercepat atau dipengaruhi oleh aktivitas mikroorganisme seperti bakteri, alga, dan jamur

Oksidasi : Merupakan reaksi kimia di mana suatu zat kehilangan elektron,

Pelapisan Permukaan Atau *Coating* : Adalah upaya menerapkan lapisan bahan pelindung di permukaan logam,

Arus Tanding (*Impressed Current*) : Merupakan teknik mencegah korosi pada struktur logam yang terendam didalam tanah dengan menerapkan arus listrik eksternal,

Potensial Listrik : Energi potensial listrik yang dimiliki oleh suatu muatan titik tertentu,

Rapat Arus (*Current Density*) : Banyaknya elektron yang bergerak melewati suatu area pada suatu waktu,

Reduksi : Merupakan reaksi kimia di mana suatu zat menerima elektron dari zat lain yang menyebabkan penurunan bilangan oksidasinya,

Reaksi Elektrokimia : Reaksi kimia yang menghasilkan potensial listrik, Reaksi eletrokimia

terdiri dari reaksi oksidasi dan reaksi reduksi,

Tiang Pancang : Elemen struktural dalam konstruksi yang berfungsi menahan beban sebuah bangunan di atasnya, Tiang pancang dipasang secara vertikal ke dalam tanah,

Riwayat Hidup Penulis.



Dr. Ir. Dody Prayitno M. Eng memiliki jabatan akademik sebagai *associate professor*. Pendidikan doktoral ditempuh di Universiti Teknologi Malaysia (UTM). Pendidikan Magister Engineering diperoleh dari University Central Queensland (UCQ) dan Pendidikan sarjana di Universitas Indonesia (UI). Beliau merupakan dosen Program Studi Magister Teknik Mesin Fakultas Teknologi Universitas Trisakti dan aktif di Universitas Trisakti. Penulis telah menulis 2 buku ajar yaitu "Teknologi Rekayasa Material" dan "Pengenalan Pengecoran Modern" penulis juga menerbitkan 1 buku bunga rampai dengan judul "Pengembangan UMKM dan Kewirausahaan Masyarakat". Penulis aktif dalam penelitian dan telah beberapa kali menerima hibah penelitian baik dari Kementerian Pendidikan maupun Universitas Trisakti. Penulis aktif dalam seminar internasional dan nasional. Penulis merupakan anggota Persatuan Insinyur Indonesia.