Terbit *online* pada laman web jurnal : http://inomet.ft.unand.ac.id

INoMeT: Jurnal Inovasi Rekayasa Mekanikal dan Termal

| ISSN (Online) 3025-2598 |

Artikel Penelitian

Uji Performa Pasangan Kawat Stainless Steel-Tembaga pada Alat Uji Korosi Galvanis Satu Sel Semi Otomatis

Ilhamdi [a], Devi Chandra [a], Poni Nugrahadi [a]

[a] *Departemen Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Andalas, Padang, 25163*

INFORMASI ARTIKEL

Sejarah Artikel:
Diterima Redaksi: 01 Juni 2026
Revisi Akhir: 12 Juni 2026
Diterbitkan *Online*: 26 Juni 2026

KATA KUNCI

Aparatus Uji Korosi Galvanik

Stainless Steel

Tembaga

HCl

NaOH

Air Laut

Air Tanah

KORESPONDENSI

E-mail: ilhamdi@eng.unand.ac.id

A B S T R A C T

Galvanic Corrosion is a fundamental concept of corrosion mechanism on metal surface. It is well defined when corrosion happened on a two connected metals system. In regard to metals nature, mechanical and financial due to corrosion in industrials or mechanical field. Corrosion solution is based on aqueous solution that could be divided into acid solution, basic solution, marine salt water, groundwater. On other hand, corrosion test apparatus for Galvanic corrosion is still full manually operation in our facility. It is needed to minimize full contact with corrosion solution to ensure human safety and health. Galvanic corrosion is ruled by external potential namely over potential that enable a faster corrosion process of oxidation on an anode, while a cathode experienced reduction processes. However, for It is required to study on corrosion phenomena for Mechanical Engineering students. However, sometimes a certain corrosion solution provides different corrosion behaviors against a couple Galvanic metal. In this study, Galvanic corrosion behaviors of a couple of stainless steel-copper in solution of HCl, NaOH, seawater and ground water were investigated.

An upgrade of Galvanic Corrosion Apparatus with an automatic controlled for the electrode immersion in the solution. The immersion includes drowning electrodes into solution, keeping, and take out electrode out of solution. A couple of stainless steel and a copper wire was used as two electrodes for the test. Over potential of 2.5, 5 and 10 V was set on a power supply. Electrolytes for corrosion test was HCl 1 M, NaOH 1 M, Padang Bay seawater and Limau Manis groundwater.

The result showed that HCl and seawater made stainless steel and copper as cathode and anode respectively. It may relate to existence of chloride ion in electrolytes. Meanwhile hydrogen gas evolution in HCl and metal disposition in seawater on cathode side. NaOH made a reverse of electrode; copper as cathode and stainless steel as anode. Gas bubble was found around stainless steel. Groundwater does not corrode copper or stainless steel.

1. PENDAHULUAN

Korosi merupakan gejala penuaan alamiah yang terjadi pada material logam berupa penurunan kualitas permukaan dan/atau interior yang disebabkan paparan lingkungan korosif pada logam tersebut. Reaksi ini merubah fasad logam menjadi oksida logam atau hidroksia logam atau pada kondisi khusus menjadi karbida logam. Kasus korosi pada industri akan selalu berada dalam ranah keteknikan seperti teknik mesin, material, metalurgi.

Korosi bisa memicu kerugian finansial sangat besar dalam dunia keteknikan. Angkanya bisa

https://doi.org/10.25077/inomet.4.1.51-57.2026
Attribution-NonCommercial 4.0 International. Some rights reserved

mencapai 3-5% dari *Gross Domestic Product (GDP)* suatu negara. Sebagai gambaran tahun 1980-an kerugian akibat korosi di Amerika Serikat mencapai 70 Miliar USD dan 170 Miliar USD pada tahun 2000-an [1]. Sehingga pengetahuan akan konsep dasar, mekanisme dan pengendalian korosi menjadi sangat penting untuk diketahui.

Konsep dasar dari korosi adalah reaksi elektrokimia pasangan Galvanik yang terjadi karena perbedaan potensial elektrokimia antara dua benda/logam, atau antara dua titik pada satu permukaan logam [2,3]. Pasangan Galvanik dibagi atas benda/titik katodik dan anodik. Korosi selalu terjadi pada anodik. Fenomena ini bisa diuji dan diamati pada alat uji korosi Galvanik.

Selain konsep, ada konsep deret Volta yang menunjukan posisi ketahanan beberapa jenis logam terhadap serangan korosif lingkungan basah atau larutan berbasis air. Namun larutan berbeda terkadang memberikan "sejenis kejutan" terhadap hasil elektrokimia reaksi korosi pada logam yang berpasangan, dimana logam yang lebih lemah pada deret Volta atau Galvanik tidak selalu menjadi logam yang terkorosi. Pengaruh larutan yang berbeda ini menjadi hal yang layak untuk diteliti.

Di sisi lain, alat uji korosi Galvanik yang tersedia pada Departemen Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Andalas sudah berusia tua dan sangat manual dalam pengoperasiannya.

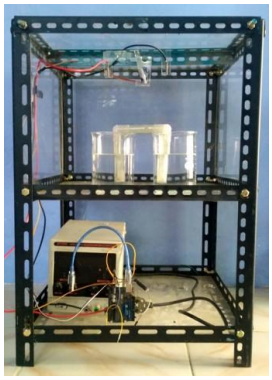
Penggunaan larutan kimia asam dan basa menuntut kehati-hatian yang lebih terhadap aspek keselamatan. Salah satu cara untuk memenuhi ini adalah mengurangi bagian operasi manual pada aparatus uji Korosi Galvanik. Inovasi dilakukan dengan otomatisasi proses pencelupan pasangan logam (elektroda) ke dalam larutan, proses elektrokimia korosi, dan proses pengeluaran pasangan logam dari larutan. Proses pemasangan dan pelepasan logam dari elektroda masih dilakukan secara manual. Sehingga alat uji korosi yang dibangun berkategori sistem semi otomatis. Namun demikian karakteristik alat uji perlu diketahui dari pengujian yang dilakukan.

Hal tersebut di atas mendasari penelitian pengaruh larutan berbasis air yakni asam klorida, natrium hidroksida, air laut dan air tanah yang tersedia di Kota Padang. Secara harfiah akan dilihat pengaruh lingkungan asam, basa, larutan garam laut dan air netral terhadap perilaku korosi pada pasangan logam. Pasangan dipilih dari jenis logam yang memiliki ketahanan korosi yang tinggi, yaitu baja tahan karat (stainless steel) dan tembaga.

2. METODOLOGI

2.1. Aparatus Uji Korosi

Bentuk fisik dari apparatus uji korosi Galvanik semi otomatis bisa dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Aparatus Uji Korosi Galvanik Semi Otomatis (dimensi 400x400x600 mm)

Aparatus bisa dibagi atas (1) rumah konstruksi, (2) peralatan uji elektrokimia, serta (3) sistem kontrol.

Rumah konstruksi terbuat dari pelat baja siku berlubang oval untuk kerangka yang dihubungkan dengan pasangan mur-baut, plastik Acrilyc sebagai material dinding transparan untuk pembatas dan pengamatan, dan triplek sebagai alas lantai bawah (untuk alat control listrik) dan lantai atas (untuk sel korosi).

Peralatan uji elektrokimia terangkai dari gelas kimia 500 ml sebanyak 2 buah sebagai wadah larutan korosi, tabung U dari pipa paralon berisi agar-agar sebagai untuk jembatan garam, dan power supply ATTEN APS3005S dengan rentang potensial 0-30 V (0,1 V) dan rentang arus 0-5 A (0,1 A).

 https://doi.org/10.25077/inomet.4.1.51-57.2026

Sistem kontrol dari Arduino Funduino dengan tegangan operasi 5V / input 7-12 V dan digital I/O pins sebanyak 14. Arduino mengendalikan motor servo (TIANKONGRC SG90) sebagai aktuator pencelup dan pengeluaran elektroda ke/dari larutan pada rentang waktu pengujian.

2.2. Pengujian Korosi

Pengujian korosi dilakukan pada temperatur ruang laboratorium. Sebelum dan setelah pengujian massa elektorda ditimbang, dan dihitung selisihnya sebagai massa yang hilang. Eleketroda yang digunakan adalah kawat stainless steel dan tembaga berdiameter 2 mm. Kawat ini digunakan karena secara alamiah merupakan material yang tahan korosi pada larutan berbasis air (aqueous solution).

Masing-masing elektroda direndam ke dalam larutan korosif pada gelas kimia yang dihubungkan dengan jembatan garam. Larutan korosif yang digunakan adalah HCl 1M, NaOH 1M, air laut Pantai Padang, dan air tanah Limau Manis.

Ujung elektroda yang tidak terendam dihubungkan dengan sumber daya elektrik (power supply). Potensial pengujian yang dipakai adalah 2,5 5 dan 10 V. Pengujian korosi dilakukan selama 10 menit. Setelah waktu ini tercapai elektroda akan dikeluarkan dari larutan secara otomatis oleh sistem. Repetisi pengujian korosi sebanyak 3 kali untuk 1 set parameter yang dipakai.

Alat perlindungan diri yang harus dipakai saat menggunakan larutan asam dan basa adalah masker, kacamata, dan sarung tangan karet.

Evaluasi korosi bisa dilakukan berdasarkan ASTM G1-03 laju korosi atau *Corrosion Penetration Rate* (CPR) dapat ditentukan menggunakan persamaan (1) berikut [2]:

$$mmpy = \frac{87{,}6\ Wloss}{D\ A\ T} \quad (1)$$

mmpy : millimeter per year
Wloss : kehilangan berat (mg)
D : massa jenis elektroda (g/cm^3)
A : luaspermukaan (cm^2)
T : waktu (jam)

Persamaan tersebut sahih untuk korosi seragam dengan minimal luas permukaan yang terkorosi adalah 60% dari luas permukaan uji, dan jumlah kehilangan massa cukup besar untuk ditimbang dan dideteksi oleh timbangan. Korosi Galvanis dalam waktu yang cukup lama juga memenuhi kriteria tersebut.

Namun jika luasan korosi sedikit, dan umumnya pada masa awal korosi Galvanik, dan kehilangan massa masih sangat sedikit, maka bisa menggunakan persamaan (2) berikut ini [2]:

$$CR = \frac{0{,}128\ I_g.EW}{D} \quad (2)$$

CR : laju korosi (miles per year)
Ig : rapat arus (ampere)
EW : massa material yang terkorosi
D : massa jenis

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Alat uji Korosi Galvanik semi otomatis telah bekerja dengan sempurna tanpa kendala berarti. Waktu yang dibutuhkan untuk mencelupkan dan mengeluarkan logam elektroda dari dalam larutan berkisar 4-6 detik, sesuai dengan laju pergerakan dari motor servo yang dipakai.

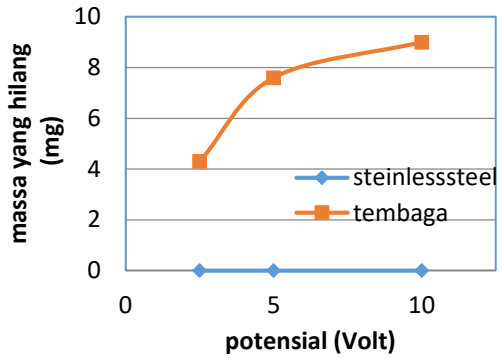
Semua korosi yang terjadi pada elektroda di aparatus uji korosi Galvanik bisa dikategorikan sebagai korosi seragam, sehingga bisa laju korosi bisa dihitung dengan metode kehilangan berat (weight loss) menurut ASTM G1-03.

3.1 Elektrolit HCl

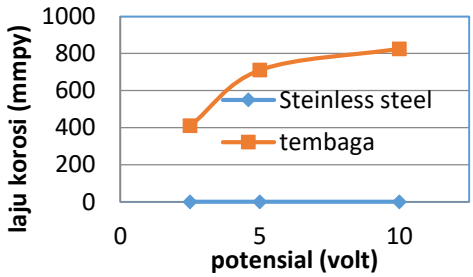
Setelah 10 menit reaksi korosi Galvanik antara kawat stainless steel dan tembaga, stainless steel tidak terlihat mengalami perubahan apapun, saat sebagian silinder tembaga terkorosi dan larut ke dalam larutan HCl pada semua level potensial. Saat potensial 2,5 V tercatat sebanyak 2 mg massa tembaga telah hilang setelah pengujian. Nilai kehilangan massa semakin besar dengan kenaikan

potensial, pada potensial 10 V tercatat 9 mg massa tembaga telah hilang. Fenomena ini dapat dilihat pada Gambar 2.

Kehilangan massa elektroda tembaga yang dikonversikan pada laju korosi memberikan hasil tertinggi sebesar 825,3 mmpy pada 10 V, seperti yang bisa dilihat pada Gambar 3. Resume perpindahan dari massa yang hilang karena korosi ke laju korosi dalam larutan HCl dapat dilihat pada Tabel 1. Secara umum besar kehilangan massa semakin besar laju korosi. Ini ditandai dengan profil kurva yang mirip antara Gambar 2 dan 3.



Gambar 2 Kehilangan massa oleh potensial pada stainless steel dan tembaga dalam HCl



Gambar 3 Laju korosi Stainless steel dan tembaga dalam HCl

Korosi tidak terjadi pada stainless steel, namun selama pengujian timbul gelembung udara di sekitar stainless. Diduga gelembung ini adalah hasil reduksi air yang berlanjut menjadi evolusi gas hidrogen [4]. Pada proses ini stainless steel bertindak sebagai katoda di saat tembaga sebagai anoda.

Reaksi pada tembaga adalah reaksi oksidasi logam tembaga menjadi ion tembaga pada persamaan di bawah ini [4];

$$Cu \rightarrow Cu^{2+} + 2e^{-}$$

Tabel 1. Perpindahan massa yang hilang ke laju korosi pasangan stainless steel dan tembaga dalam larutan HCl.

Elektroda	E (V)	Mo (mg)	Mt (mg)	Ml (mg)	Dc (cm)	A (cm2)	CPR (mmpy)
Stainless steel	2,5	581	581	0	5,07	0,637	0
		577	577	0	5,12	0,643	0
		569	569	0	4,88	0,613	0
	5	582	582	0	4,92	0,618	0
		590	590	0	5,21	0,654	0
		572	572	0	5,12	0,643	0
	10	567	567	0	5,01	0,629	0
		589	589	0	5,17	0,649	0
		583	583	0	4,87	0,612	0
Tembaga	2,5	1782	1777	5	4,91	0,617	474,7
		1699	1695	4	4,85	0,609	384,4
		1765	1761	4	5,01	0,629	372,1
	5	1788	1781	7	4,85	0,629	672,7
		1791	1783	8	5,08	0,638	734
		1838	1830	9	5,15	0,647	724,1
	10	1791	1782	9	5,11	0,642	820,9
		1833	1823	10	5,27	0,662	884,5
		1698	1690	8	4,84	0,608	770,4

Catatan:
E : over potensial Mo: massa awal
Mt : massa akhir Ml: massa yang hilang
Dc :Kedalaman celupan A:Luas permukaan
CPR: Laju korosi

Sedangkan pada sisi stainless steel yang mengalami fenomena fisik timbulnya banyak gelembung udara dapat dijelaskan oleh reaksi reduksi yang memisahkan ion hidrogen (H^+) dan ion hidroksida (OH^-) [4].

$$H_2O \rightarrow H^+ + OH^-$$

Pada tahapan lebih lanjut terjadi 2 reaksi lanjutan berupa pembentukan karat basah tembaga dan evolusi gas hidrogen [4].

$$Cu^{2+} + OH^- \rightarrow Cu(OH)_2$$

dan

$$2H^+ + + 2e^- \rightarrow H_2(g)$$

3.2 Elektrolit NaOH

Fenomena kebalikan dengan lingkungan asam HCl terjadi pada korosi dalam larutan NaOH. Yang bertindak sebagai anoda adalah stainless steel,

 https://doi.org/10.25077/inomet.4.1.51-57.2026

dengan reaksi oksidasi berupa dissosiasi unsur logam utama Fe [4]

$$Fe \rightarrow Fe^{2+} + 2e-$$

Sedangkan pada sisi katoda tembaga terjadi reaksi reduksi air menjadi ion-ion [4].

$$H_2O \rightarrow H^+ + OH^-$$

Pada tahapan lebih lanjut terjadi 2 reaksi lanjutan berupa pembentukan karat basah besi II dan evolusi gas hydrogen [4].

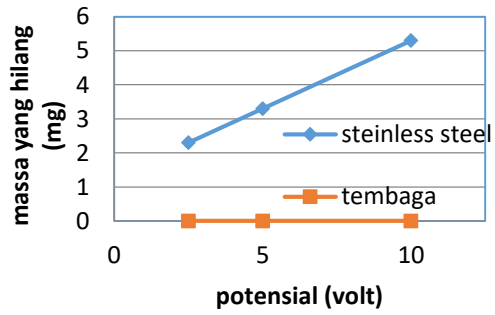
$$Fe^{2+} + OH^- \rightarrow Fe(OH)_2$$

dan

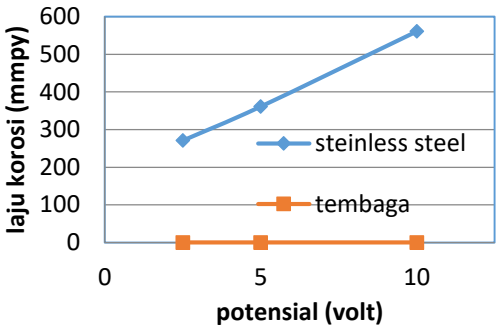
$$2H^+ + + 2e^- \rightarrow H_2(g)$$

Secara teknis kedua logam terendam dengan kedalaman 4,47 – 4,96 cm dengan luas permukaan rendaman 0,561 – 0,632 cm^2 dalam NaOH. Dan setelah 10 menit korosi Galvanik antara kawat stainless steel dan tembaga dalam NaOH, stainless steel mengalami kehilangan massa dari 2 hingga 6 mg. Perubahan kehilangan massa adalah meningkat secara linear dengan kenaikan potensial. Di saat yang sama tembaga terlihat tidak kehilangan masa sama sekali. Ini bisa dilihat pada Gambar 4.

Ketika dikonversi ke laju korosi maka NaOH menyebabkan kerusakan terbesar pada stainless steel hingga 560,9 mmpy pada potensial 10 V seperti yang dapat dilihat pada Gambar 5.



Gambar 4 Kehilangan massa oleh potensial pada stainless steel dan tembaga dalam NaOH



Gambar 5 Laju korosi Stainless steel dan tembaga dalam NaOH

3.3 Elektrolit air laut

Secara teknis kedua logam terendam dengan kedalaman 4,77 – 5,42 cm dengan luas permukaan rendaman 0,538 – 0,681 cm^2 dalam air laut. Setelah 10 menit reaksi korosi Galvanik antara kawat stainless steel dan tembaga dalam air laut, terlihat stainless steel mengalami kehilangan massa bernilai negatif di saat tembaga terkorosi kehilangan massa ke dalam larutan elektrolit.

Kehilangan massa bernilai negatif pada stainless steel ini bermakna telah terjadi penambahan massa pada stainless steel selama proses elektrokimia, dikarenakan adanya reaksi pengendapan (disposisi) material di permukaan stainless steel. Bagian disposisi melapisi logam stainless steel dengan warna yang berbeda, sehingga mudah dikenali.

Tercatat terjadi penambahan massa terbesar sebanyak 2,67 mg pada 10 V pada stainless steel, dan pengurangan massa terbanyak sebesar 4,33 mg di tembaga pada potensial yang sama, seperti yang terlihat pada Gambar 6.

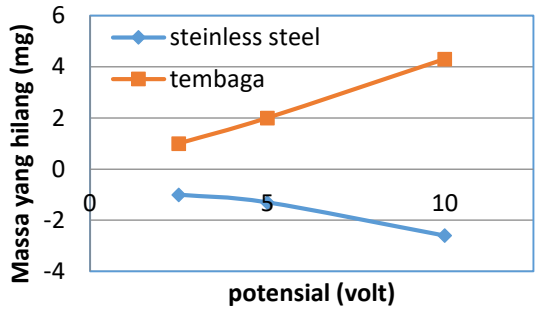
Ketika dikonversi ke laju korosi maka air laut menyebabkan kerusakan korosi terbesar pada tembaga dengan nilai 416,6 mmpy pada potensial 10 V. Di saat yang sama laju disposisi pada stainless steel adalah sebesar 266,7 mmpy seperti yang dapat dilihat pada Gambar 7.

Posisi elektroda pada elektrolit air larut persis sama dengan kondisi pada elektrolit HCl, dimana stainless steel bertindak sebagai katoda dan tembaga sebagai anoda. Namun reaksi kimia yang terjadi sedikit berbeda. Pada anoda tembaga terjadi reaksi oksidasi logam tembaga menjadi ion tembaga pada persamaan di bawah ini [4];

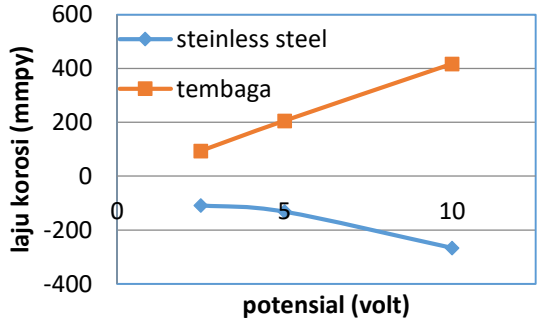
$$Cu \rightarrow Cu^{2+} + 2e^-$$

Sedangkan pada katoda stainless steel terjadi pengendapan logam besi. Secara alamiah air laut juga mengandung ion besi dan ion logam lainnya, kebanyakan dalam bentuk garam besi klorida, garam natrium klorida dan garam metal klorida yang lainnya. Garam ini mudah terurai dengan aliran listrik, sehingga menyediakan ion Fe dalam jumlah yang besar. Elektron yang lepas dari tembaga akan mencapai sisi stainless steel karena aliran listrik. Keduanya memungkinkan proses disposisi logam besi ke permukaan stainless steel [4]:

$$Fe^{2+} + 2e^{-} \rightarrow Fe$$



Gambar 6 Kehilangan massa oleh potensial pada stainless steel dan tembaga dalam air laut

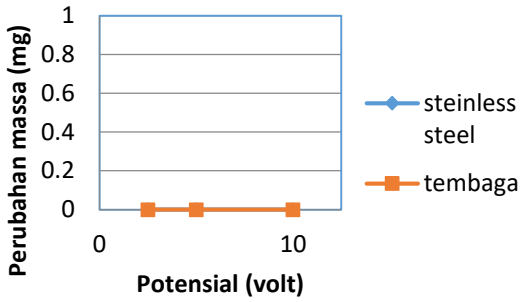


Gambar 7 Laju korosi stainless steel dan tembaga dalam air laut

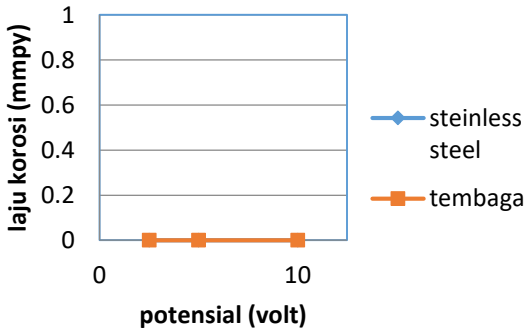
3.4 Elektrolit air tanah

Air tanah memberikan sifat yang sama sekali berbeda dengan larutan yang lainnya. Tidak terjadi kehilangan massa pada kedua logam selama pengujian, sehingga tidak tercatat adanya laju korosi pada kedua logam tersebut, seperti yang dapat dilihat pada Gambar 8 dan 9.

Ini menandakan bahwa air tanah bersifat sangat netral dan sama sekali tidak korosif terhadap kedua logam tersebut. Jika dibandingkan dengan air laut, maka air tanah terindikasi tidak memiliki ion logam yang memungkin korosi atau pelapisan logam.



Gambar 8 Kehilangan massa oleh potensial stainless steel dan tembaga dalam air tanah



Gambar 7 Laju korosi stainless steel dan tembaga dalam air laut

3.5 Diskusi

Lingkungan asam (HCl) dan air laut memberikan posisi elektroda yang sama pada logam stainless steel dan tembaga, sebagai katoda dan anoda secara berurutan. Hal ini mungkin disebabkan karena keberadaan ion klorida yang sama ada di dalam kedua larutan [2-5].

Namun reaksi pada logam katoda sangat berbeda, dimana pada evolusi gas hidrogen terjadi dalam saat terendam dalam larutan HCl, dan disposisi logam utama besi saat terendam dalam air laut. Evolusi gas hidrogen ditandai dengan munculnya gelembung-gelembung udara saat stainless steel terendam larutan HCl. Sedangkan disposisi logam besi pada stainless steel saat terendam air laut terkait dengan keberadan ion-ion logam besi yang terlarut [2-5].

Disisi lain air laut yang secara alamiah sangat korosif terhadap besi dan baja paduan. Namun penelitian ini memperlihatkan bahwa stainless steel lebih imun saat dipasangkan dengan tembaga,

 https://doi.org/10.25077/inomet.4.1.51-57.2026

sesuai dengan yang dikemukakan oleh Kevin J.P dkk [6].

Lingkungan basa (NaOH) ternyata menempatkan hal sebaliknya dimana tembaga sebagai katoda dan stainless steel sebagai anoda. Gelembung udara hadir pada sisi tembaga. Ini menandakan stainless steel saat dipasangkan dengan tembaga menjadi rapuh saat terekspos lingkungan basa.

Sedangkan pada air tanah sama sekali tidak tercatat adanya korosi pada kedua logam. Ini menandakan kedua jenis logam ini akan sangat tahan karat di lingkungan air tanah, atau air tanah merupakan larutan yang sangat tidak korosif terhadap logam tersebut.

Jika dibandingkan dengan larutan lain, maka terlihat saat keasaman larutan menjauh dari titik netral (air tanah) maka salah satu dari logam yang dipasangkan akan terkorosi. Namun penentuan akhir bagian yang terkorosi haruslah melihat kombinasi dari kondisi larutan (asam-basa) dengan jenis logam yang berpasangan. Resume dari hasil penelitian ini bisa dilihat pada Tabel 2 di bawah ini.

Tabel 2. Resume Uji Korosi Galvanik pasangan Stainless steel dan tembaga pada beberapa larutan.

	HCl	NaOH	Air Laut	Air Tanah
Katoda	SS	Cu	SS	-
Anoda	Cu	SS	Cu	-
Catatan:	H_2(g) di SS	H_2(g) di Cu	Disposisi di SS	Non Korosif

4. KESIMPULAN

Dari rancang bangun peralatan dan pengujian yang dilakukan bisa didapatkan beberapa poin sebagai berikut;

1. Alat uji korosi Galvanik semi otomatis yang dibuat menggunakan motor servo dan arduino uno sebagai pengontrol pengujian, telah bekerja sesuai dengan harapan.
2. Fenomena korosi yang terlihat adalah pembentukan gelembung udara, perubahan massa elektroda, dan perubahan warna specimen
3. Nilai pH yang menjauhi netral (lebih tinggi/ rendah) akan menyebabkan korosi pada salah satu logam.
4. Larutan HCl menempatkan stainless steel sebagai katoda dan tembaga sebagai anoda. Anoda tembaga terkorosi dengan menimbulkan evolusi gas hidrogen pada katoda. Laju korosi tertinggi 825,3 mmpy pada 10 V.
5. Larutan NaOH menempatkan tembaga sebagai katoda dan stainless steel sebagai anoda. Anoda stainless steel terkorosi dengan evolusi gas hidrogen terjadi pada katoda. Laju korosi tertinggi 560,9 mmpy pada 10 V. Perubahan kurva laju korosi adalah linear dengan kenaikan potensial.
6. Larutan air laut menempatkan stainless steel sebagai katoda dan tembaga sebagai anoda. Anoda tembaga terkorosi saat katoda stainless steel terlapisi dengan laju korosi 416,6 mmpy dan laju disposisi 266,7 mmpy pada 10 V.
7. Air tanah sangat netral dan tidak korosif terhadap pasangan stainless steel dan tembaga.

DAFTAR PUSTAKA

[1] Roberge, Pierre R. *Handbook of Corrosion Engineering.* McGraw-Hill. 2000.

[2] Ahmad, Zaki. *Principles of Corrosion Engineering and Corrosion Control*. 2006.

[3] Callister, W.D., Rethwisch, D.G., *Materials Science and Engineering: An Introduction*, Wiley, 2018.

[4] H.P. Hack, *Evaluation Galvanic Corrosion, Corrosion: Fundamentals, Testing, and Protection*, Vol 13A, ASM Handbook, ASM International, 2003, p 562–567.

[5] Philip A. Schweitzer, *Fundamentals of Corrosion Mechanisms, Causes, and Preventative Methods*, 2010.

[6] Kevin J. P, Fentje A. Rauf, Romels L. *Analisis Laju Korosi pada Baja Karbon dengan menggunakan Air Laut dan H_2SO_4.* Teknik Mesin, Universitas Sam Ratulangi Manado. 2013