

## PENENTUAN LAJU KOROSI BAJA KONSTRUKSI MENGGUNAKAN METODE TAFEL ANALISIS

Wahyu Budi Utomo<sup>1)</sup>, Barlian Hasan<sup>2)</sup>

<sup>1)</sup> Dosen Jurusan Teknik Kimia Politeknik Negeri Ujung Pandang, Makassar

### ABSTRACT

Steel metal has been widely used in construction industry because of the superior property in its strength to weight ratio and corrosion resistant. Different type of metal construction are available in the market, such as wide flange, UNP steel, CNP steel, galvalum and others. Stainless steel are considered as anti corrosive metal, but corrosion may occur due to moisture, acids and environment factors. This research is aims at determination of corrosion rate of different types of metal used as construction materials. The specific objective is to develop a procedure of corrosion rate measurement based on Tafel analysis using electrochemical instrument (*DropSenses* dengan *DropView 8400 Software*) available in Chemical Engineering laboratory of Politeknik Negeri Ujungpandang. Electrochemical measurements using linear sweep voltammetry were conducted for black steel, UNP 50, aluminium, hollow galvalum, low carbon steel, alloy steel, stainless steel, galvanic steel, bordes steel, H beam 150 dan construction steel rod. The metal can be categorized into three types, those are galvalum metal, stainless steel and carbon steel. The corrosion rate of galvalum, stainless steel and carbon steel are 0,004-0,006 mm/year, 0.010-0.018mm/year dan 0.080-0.170 mm/year respectively. The corrosion rate of construction metal is highly affected by the alloy content in the metal. Metal type for construction of high to low order of corrosion resistant are metals based on aluminium-zinc, nickel-crom steel and carbon steel respectively.

Keywords: *Metal, corrosion, tafel*

### ABSTRAK

Logam baja telah digunakan secara luas pada industri konstruksi karena keunggulan sifat rasio kekuatan terhadap berat dan ketahanan korosi. Berbagai jenis logam konstruksi tersedia di pasar, antara lain baja ringan, baja UNP, baja CNP galvalum dan lainnya. Baja *stainless steel* dianggap sebagai logam anti korosi, tapi korosi bisa terjadi karena faktor kelembaban, asam dan faktor lingkungan lain. Penelitian ini bertujuan untuk menentukan laju korosi beberapa jenis logam yang digunakan sebagai bahan konstruksi. Tujuan khusus penelitian adalah untuk mengembangkan prosedur pengukuran laju korosi berdasar pada analisis tafel menggunakan instrument elektrokimia (*Drop Senses* dengan *DropView 8400 Software*) yang tersedia di laboratorium jurusan teknik kimia Politeknik Negeri Ujungpandang. Pengukuran elektrokimia menggunakan linier *sweep voltammetry* dilakukan untuk logam baja hitam, UNP 50, aluminium, besi galvalum, baja karbon, baja paduan, *stainless steel*, baja galvanis, besi bordes, H beam 150 dan besi beton. Logam sampel dapat digolongkan menjadi tiga kelompok, yaitu logam galvalum, *stainless steel* dan baja karbon. Laju korosi kelompok logam galvalum, *stainless steel* dan baja karbon secara berurutan adalah 0,004-0,006 mm/year, 0.010-0.018mm/year dan 0.080-0.170 mm/year. Laju korosi logam konstruksi sangat dipengaruhi oleh kadar paduan di dalam logam. Jenis logam untuk konstruksi memiliki ketahanan korosi secara berurutan dari tinggi ke rendah adalah logam aluminium-zinc, baja nickel-crom dan baja karbon.

Kata kunci: *Metal, corrosion, tafel*

### 1. PENDAHULUAN

Material baja sebagai bahan konstruksi telah banyak mengalami perbaikan mutu. Berbagai jenis baja konstruksi banyak tersedia di pasar. Baja ringan termasuk bangunan yang anti karat, namun ada beberapa factor yang dapat menyebabkan baja ringan berkarat. Baja ringan mempunyai komposisi terdiri dari 55% Aluminium, 43,5% Zn, serta 1,5% Si. Beberapa peneliti telah mengamati dan mengukur laju korosi pada logam baja, aluminium dan paduannya [1 - 4]. Penelitian ini bertujuan mengidentifikasi dan menentukan laju korosi baja ringan yang banyak digunakan sebagai bahan konstruksi, sedangkan tujuan khususnya adalah mengembangkan metode analisis tafel untuk pengukuran laju korosi baja ringan (galvalum) pada beberapa nilai pH. Mengoperasikan peralatan instrument elektrokimia (*DropSenses* dengan *DropView 8400 Software*) di jurusan teknik kimia PNUP yang memiliki rentang aplikasi cukup luas dan presisi. Ruang lingkup penelitian ini dibatasi pada penentuan laju korosi baja ringan (galvalum) dan besi sebagai pembanding.

Penelitian ini diharapkan akan dapat memberi informasi kepada masyarakat tentang metode analisis tafel untuk penentuan laju korosi baja ringan. Hasil penelitian ini juga dapat menjadi informasi bagi

---

<sup>1</sup> Korespondensi penulis: Wahyu Budi Utomo. Email: wahyubudiutomo@poliupg.ac.id

masyarakat yang menggunakan material baja ringan untuk konstruksi bangunan. Selain itu penelitian ini juga dapat menjadi referensi bagi mahasiswa Politeknik khususnya jurusan teknik kimia dalam praktik analisis elektrokimia metode analisis Tafel dan voltametri secara umum.

Telah dipelajari laju korosi dua jenis baja ringan (galvalum) pada media air sumur dan air laut dengan metode kehilangan berat (*weight loss*) [5]. Laju korosi dua jenis galvalum diperoleh nilai laju korosi berkisar antara 17,5 sampai 56,6mg/cm<sup>2</sup> tahun. Juga telah dipelajari laju korosi baja ringan (galvalum) pada media air ledeng dan air garam (NaCl) dengan pembebanan [6]. Hasil pengujian menunjukkan bahwa dengan bertambahnya beban, maka laju korosi pada baja galvalum meningkat. Air garam lebih korosif daripada air ledeng, sedangkan dengan bertambahnya waktu, maka laju korosi baja galvalum semakin menurun. Hal ini karena produk korosi seng dan aluminium mengendap di permukaan.

Pengukuran laju korosi paling sederhana adalah dengan metode *weight loss* dan metode elektrokimia potensiodinamik voltammetry menggunakan Tafel plot (Tafel analysis). Tafel analysis adalah salah satu metode dalam tehnik elektrokimia yang melibatkan persamaan dan grafik Tafel. Metode ini semakin populer karena kecepatan dalam memperoleh hasil. Metode Tafel ini sangat berguna untuk memprediksi aktifitas korosi pada logam atau alloy yang tahan korosi dengan ketelitian tinggi dan waktu singkat. Secara umum metode volametri melibatkan pemberian potensial (E) ke elektroda dan memantau arus y (i) yang mengalir melalui sel elektrokimia. Potensial divariasi atau arus dipantau selama waktu tertentu (t). Jadi teknik voltametri adalah fungsi potensial (E), arus (i) dan waktu (t). Keunggulan tehnik voltametri antara lain adalah sensitivitas tinggi dengan rentang linier lebar untuk spesies organik maupun anorganik (10<sup>-12</sup> sampai 10<sup>-1</sup> M). Sel elektrokimia, dimana eksperimen voltametri dilaksanakan, terdiri atas sebuah elektroda kerja, sebuah elektroda referensi, dan elektroda bantu. Secara umum elektroda menjadi tempat terjadinya perpindahan muatan listrik (*electrical charge*) dan efeknya dapat diukur. Elektroda kerja adalah elektroda dimana reaksi reduksi atau oksidasi terjadi yang kemudian membangkitkan arus yang dapat terukur sebagai respon terhadap perubahan potensial.

Dalam voltametri, pengaruh potensial dan perilaku arus redoks dijelaskan oleh hukum Fick's, persamaan Nernst atau Butler-Volmer. Dalam keadaan dimana difusi berperan sebagai pengendali reaksi, arus dari proses redoks (arus faradaic) bergantung pada kepadatan material pada batas (antarmuka) elektroda-larutan, ini dijelaskan oleh Hukum Fick's, Pada reaksi elektrokimia reversible, ( $O + ne \leftrightarrow R$ ), reaksi sangat cepat sehingga kesetimbangan selalu terbentuk selama ada perubahan potensial (E), rasio antara O dan R (konsentrasi  $C_R^0$  dan  $C_O^0$ ) akan bersesuaian dengan persamaan *Nernst*,

$$E = E^0 - \frac{RT}{nF} \ln \frac{C_R^0}{C_O^0}$$

di mana  $R$  = Konstanta gas ideal (8.314 J K<sup>-1</sup> mol<sup>-1</sup>),  $T$  = Suhu (°C),  $F$  = Konstanta Faraday (96485 C/mol),  $N$  = Jumlah mol electron dan,  $E^0$  = Potensial reduksi standar [V].

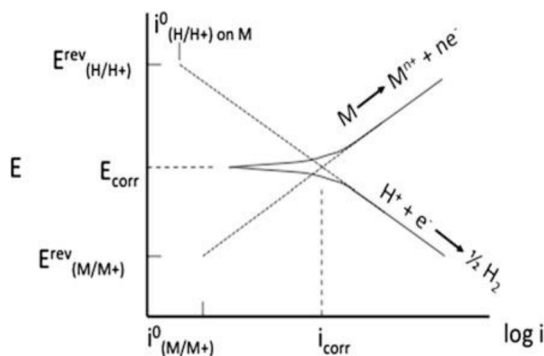
Tehnik voltametri menggunakan persamaan yang menghubungkan variable arus, potensial dan konsentrasi yang dikenal dengan persamaan *Butler-Volmer*,

$$\frac{i}{nFA} = k^0 \{C_O^0 \exp[-\alpha\theta] - C_R^0 \exp[(1-\alpha)\theta]\}$$

Dimana,  $\theta = nF(E-E^0)/RT$ ,  $k^0$  adalah konstanta laju reaksi,  $\alpha$  adalah koefisien transfer dan  $A$  adalah luas area elektroda [m<sup>2</sup>]. Dengan rumus ini nilai parameter analitik terpenting,  $I$  dan  $k^0$  dapat dihitung.

$$\eta_c = \left( \frac{-2.303RT}{\beta nF} \right) \log i_r - \left( \frac{-2.303RT}{\beta nF} \right) \log i_0$$

$$\eta_c = b_c \log i_r - b_c \log i_0$$



Gambar 1. Tafel Diagram  $\eta$  vs  $\log i$

Selanjutnya kerapatan arus korosi ( $i_{corr}$ ) ditentukan dari pertemuan kurva anodic dan katodik, dan laju korosi dinyatakan sebagai laju penetrasi (penetration rate).

$$r = \frac{i_{corr} \alpha}{nFD} \quad [\text{mm/yr}]$$

$D$  = densitas ( $\text{g/cm}^3$ ),  $F$  = konstanta Faraday (96486  $\text{C/mol}$ ) dan  $\alpha$  = koefisien transfer.

## 2. METODE PELAKSANAAN

Penelitian dilaksanakan di laboratorium instrument jurusan Teknik Kimia Politeknik Negeri Ujungpandang dari bulan Mei sampai November 2022. Alat yang digunakan adalah *Bipotentiostat/Galvanostat  $\mu\text{Stat} 400$*  dengan sensor elektrokimia dan dikendalikan oleh software *DropView 8400*. Elektroda cetak layar (*screen printed electrode*) *DropSense DRP-110* dari Metrohm. Peralatan gelas diantaranya, gelas kimia (beaker glass) 100 ml, micropipette, gelas ukur, silinder ukur 10ml, Bahan-bahan yang digunakan yaitu,  $\text{K}_4\text{Fe}(\text{CN})_6 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$ , aqua regia (campuran  $\text{HNO}_3:\text{HCl}=1:3$ ),  $\text{KCl}$ ,  $\text{HNO}_3$ ,  $\text{HCl}$ , baja galvalum, alumina  $0.05 \mu\text{m}$ , aseton, aquabides. Semua bahan kimia dari Merck dengan kualitas pro analisis, tanpa pemurnian tambahan. Besi paduan, besi hitam, stainless steel, aluminium, baja ringan, plat bordes, Hbeam 150, besi beton, UNP 50 dan plat galvanis sebagai sampel pada penelitian ini. Pengukuran dilakukan pada logam sampel dengan tehnik linier sweep voltammetry (LSV) dilakukan dengan memvariasi rentang potensial dari -0,5volt sampai 0,5volt. Rentang potensial diperlebar dengan factor 0,1 ke arah negative dan positif hingga diperoleh voltammogram yang meliputi wilayah reduksi dan oksidasi yang jelas. Batas terlebar rentang potensial sampai -1,0 dan 1,0 volt. Voltammogram (LSV) terbaik dari setiap jenis logam kemudian dianalisis menggunakan software Tafel Analisis untuk memperoleh nilai laju korosi dan parameter korosi lainnya.

## 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

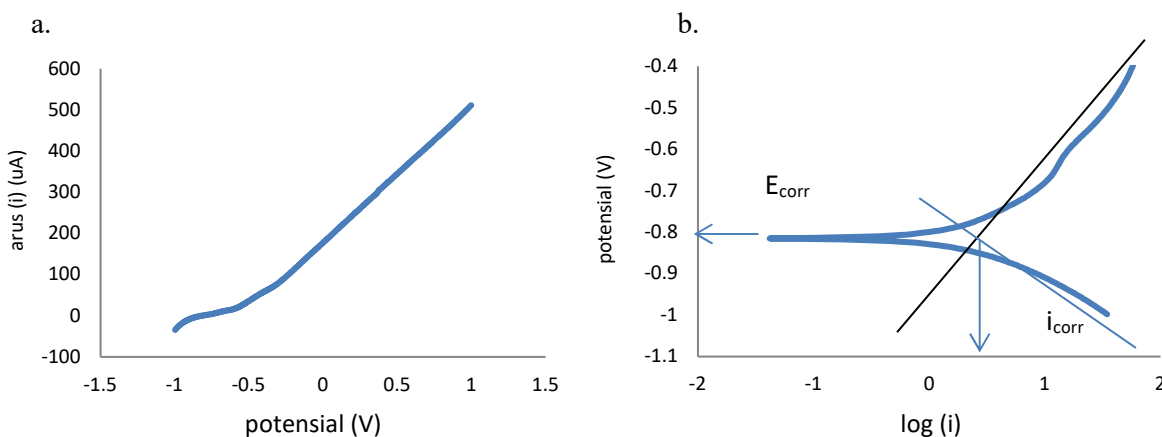
Penentuan laju korosi secara elektrokimia dimulai dengan Linier Sweep Voltammetry (LSV) untuk semua logam sampel. Logam konstruksi yang telah diukur dalam penelitian ini antara lain besi plat hitam, besi UNP 50, plat aluminium, besi hollow baja ringan, besi paduan, plat stainless steel, besi galvanis, plat bordes, H beam 150 dan besi beton. Hasil dari pengukuran LSV ini selanjutnya dianalisis menggunakan metode Tafel analisis. Komposisi logam konstruksi yang diperiksa pada penelitian ini ditampilkan pada Tabel 1.

Logam konstruksi dapat dikelompokkan menjadi tiga kelompok, besi karbon, baja *stainless steel*, dan besi galvalum. Baja karbon mengandung sekitar 97 % besi dan karbon, sedangkan *stainless steel* merupakan paduan yang mengandung maksimum 70% besi, nikel krom, dan karbon. Pada sisi lain, besi galvalum mengandung paduan besi, aluminium dan seng.

Tabel 1. Komposisi sampel logam konstruksi berdasar pada % kadar komponen

Nama Sampel	Jenis	Fe	C	Ni	Cr	Al	Zn	Si
		%	%	%	%	%	%	%
Aluminium	Al murni					100		
Baja Ringan	Lapis Al-Fe	55				43,5		1,5
Plat Galvanis	Lapis Zn						99,7	
Besi Paduan	SS	70	0,08	8-14	16-20			
Besi Hitam	SS	70	0,08	8-14	16-20			
Stainless Steel	SS	70	0,08	8-14	16-20			
H Beam 150	Fe carbon	max 97,9	0,2 - 2,1					
Plat Bordes	Fe carbon	max 97,9	0,2 - 2,1					
Besi Beton	Fe carbon	max 97,9	0,2 - 2,1					
UNP 50	Fe carbon	max 97,9	0,2 - 2,1					

Gambar 2a menunjukkan hasil *scan linier sweep voltametri* aluminium pada rentang potensial -1volt sampai 1volt kea rah positif. Voltammogram ini selanjutnya digunakan sebagai dasar analisis korosi menggunakan Tafel analisis. Tafel analisis untuk logam aluminium terlihat pada gambar 2b. Berdasar pada kurva Tafel (gambar 2b) diperoleh parameter korosi termasuk kerapatan arus ( $i$ ), anodic tafel slope ( $bc$ ), katodik tafel slope ( $ba$ ), potensial korosi ( $E_{corr}$ ), arus korosi ( $i_{corr}$ ) dan laju korosi ( $r$ ). Laju korosi dihitung berdasar pada persamaan,



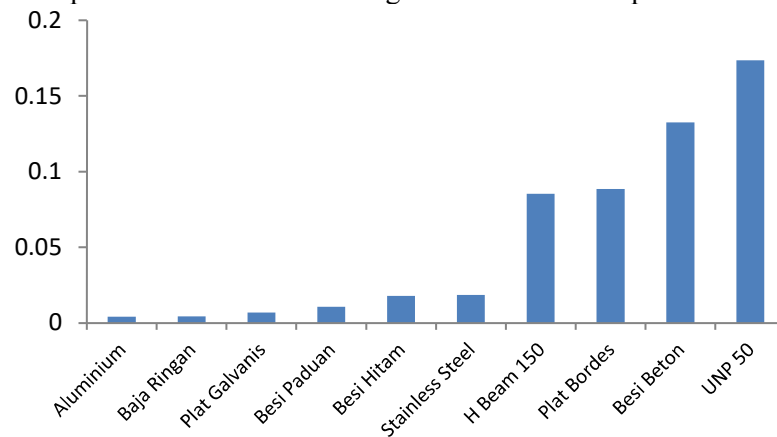
Gambar 2. a. Linier sweep voltametri (LSV) aluminium potensial -1 sampai 1 volt scan positif, b. Tafel analisis logam aluminium di dalam air

Tabel 2 memperlihatkan parameter korosi beberapa jenis logam konstruksi yang diperiksa pada penelitian ini. Berdasar pada laju korosi, logam konstruksi yang diperiksa pada penelitian ini terlihat bahwa laju korosi tertinggi terjadi pada besi karbon, diantaranya adalah H-beam 150, plat bordes, besi beton dan UNP-50. Korosi logam jenis ini berkisar pada laju antara 0,100–0,17mm/year. Logam konstruksi jenis *stainless steel* (besi paduan, besi hitam, dan SS) mengalami korosi dengan laju antara 0,010–0,018mm/year. Akan tetapi, logam konstruksi paduan aluminium dan seng mengalami korosi dengan laju antara 0,004–0,005mm/year. Paduan nikel dan kromium pada logam jenis *stainless steel* meningkatkan ketahanan korosi sepuluh kali lipat dibanding besi karbon. Sedangkan kombinasi paduan aluminium dan seng meningkatkan ketahanan korosi sekitar 100 kali dibanding besi karbon biasa (Gambar 3).

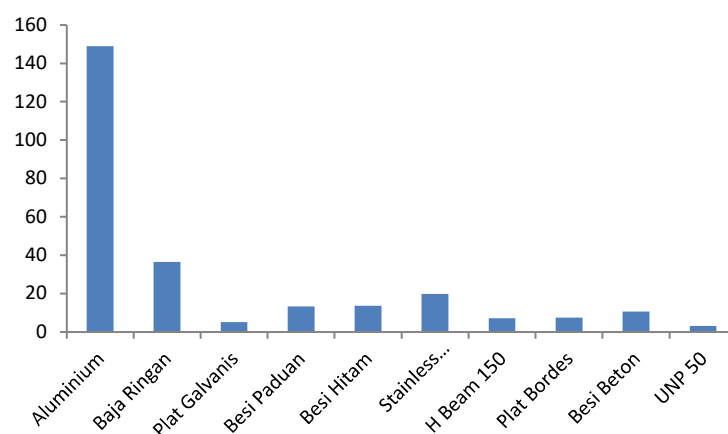
Tabel 2. Parameter korosi beberapa jenis logam di dalam air menggunakan metode Tafel

TAFEL parameter	satuan	Aluminium	Baja Ringan	Besi Galvanis	Besi Paduan	Plat Hitam	Stainless Steel	H Beam 150	Plat Bordes	Besi Beton	UNP 50
i corrosion	μA	0.3948	1.1768	1.63476	3.63745	2.85007	2.85037	12.82065	11.34016	10.36561	41.54061
J corrosion	μA/cm <sup>2</sup>	0.09422	0.3953	0.45265	0.7434	0.81431	0.75118	3.14733	2.60484	6.40248	7.61654
ba	V/dec	0.20618	0.20703	0.02381	0.16252	0.21259	0.20685	0.29271	0.28017	0.41044	0.41152
bc	V/dec	0.39444	0.18986	0.10408	0.34953	0.15614	0.3469	0.74319	0.62412	0.66053	1.03835
Rp	KOhm	148.92307	36.543	5.14733	13.24287	13.71499	19.74058	7.11238	7.40411	10.60419	3.08064
E corr, obs	V	-0.79	-0.854	-0.984	-0.816	-0.572	-0.62	-0.602	-0.568	-0.62	-0.532
E corr, calc	V	-0.80171	-0.85541	-0.99299	-0.83778	-0.56781	-0.64069	-0.64181	-0.5982	-0.61317	-0.60608
E begin	V	-0.974	-0.992	-0.998	-0.988	-0.77	-0.788	-0.806	-0.766	-0.906	-0.786
E end	V	-0.202	-0.682	-0.93	-0.448	-0.45	-0.4	-0.206	-0.242	-0.202	-0.116
Corrosion rate	mm/year	0.00401	0.00427	0.00679	0.01064	0.01789	0.01854	0.08523	0.08838	0.13254	0.17348
Corrosion rate	mil/year	0.15773	0.16795	0.26748	0.41872	0.70426	0.72987	3.35501	3.47911	5.21745	6.82875

Resistansi korosi dari semua jenis logam konstruksi ditampilkan pada Gambar 4. Nilai resistansi korosi semua jenis logam terlihat konsisten terhadap laju korosi. Resistansi korosi berbanding terbalik terhadap laju korosi. Resistansi tinggi laju korosi rendah dan resistansi rendah laju korosi tinggi. Resistansi korosi tertinggi pada logam aluminium pada nilai 145KΩ dan terendah terdeteksi pada logam besi karbon UNP-50 pada nilai kurang dari 10KΩ. Potensial korosi juga memperlihatkan konsistensi jika dihubungkan dengan laju korosi. Unsur paduan pada logam konstruksi menggeser potensial korosi ke arah lebih negative. Hal ini menunjukkan bahwa logam dengan unsur paduan aluminium dan seng lebih tahan terhadap korosi.



Gambar 3. Laju korosi (mm/year) logam konstruksi menggunakan metode Tafel Analisis.



Gambar 4. Resistansi korosi,  $R_{corr}$ , (KΩ) logam konstruksi menggunakan Tafel analisis

#### 4. KESIMPULAN

Metode analisis Tafel telah digunakan pada penentuan laju korosi beberapa jenis logam bahan konstruksi. Logam yang digunakan pada penelitian ini antara lain besi plat hitam, besi UNP 50, plat aluminium, besi hollow, baja ringan, besi paduan, plat *stainless steel*, besi galvanis, plat bordes, H beam 150

dan besi beton. Pengukuran secara elektrokimia dimulai dengan *linier sweep voltammetry* (LSV) dan dilanjutkan dengan analisis Tafel untuk menentukan parameter korosi. Berdasar pada laju korosi terukur, logam konstruksi dapat dikelompokkan menjadi tiga kelompok, yaitu baja galvalum, baja stainless steel dan baja karbon. Korosi kelompok baja galvalum, baja stainless steel dan baja karbon berturut-turut memiliki laju antara 0,004-0,006 mm/tahun, 0.010-0.018mm/tahun dan 0.080-0.170 mm/tahun. Laju korosi logam konstruksi ini dipengaruhi oleh kadar paduan yang terkandung di dalam logam. Urutan ketahanan korosi adalah dari unsur aluminium-seng, nikel-krom dan karbon. Metode analisis tafel telah berhasil digunakan untuk pengukuran laju korosi logam menggunakan instrument elektrokimia (*DropSenses* dengan *DropView 8400 Software*) di jurusan teknik kimia PNUP.

## 5. UCAPAN TERIMA KASIH

Terimakasih kami sampaikan kepada semua pihak yang telah membantu terselesainya penelitian ini dan terimakasih juga kepada pimpinan Politeknik negeri Ujungpandang yang telah mendanai penelitian ini dengan kontrak penelitian dan pengabdian kepada masyarakat.

## 6. DAFTAR PUSTAKA

- [1] Siregar, Tiurlina, Laju Korosi dan Mekanisme Inhibisi Aluminium Murni Menggunakan Kalium dan Kalsium Stearat, *Jurnal Kimia*, 4 (2): 113–24, 2010.
- [2] Azmi, Nararyya Zufar El., *Study Kasus Korosi Pada Aluminium Tipe 2024-T4 dan 7075-T6 Sebagai Kandidat Material Struktur Lavatory Modul Pesawat Boeing 737NG*, Departemen Teknik Material, Fakultas Teknologi Industri Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya, 2018.
- [3] Purwanto, Yuli., *Pengukuran Laju Korosi Stainless Steel dan Baja Karbon Dengan Metode Tafel dan Polarization Resistance*, Prosiding Hasil Penelitian dan Kegiatan Tahun 2018 ISSN 0852-2979, 2018,
- [4] Zyahdo Nikri Jofalo<sup>1</sup>, Prantasi Harmi Tjahjanti., *Analisa Laju Penembusan Korosi Pada Baja Karbon Rendah dengan Coating Aluminium*, *Procedia of Engineering and Life Science* Vol. 1. No. 1 March 2021 Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Muhammadiyah Sidoarjo, 2018.
- [5] Masrufaiyah, Agus Setiyo Umartono, Nando Arifal Hisyamuddin, 2020, *Analisa Laju Korosi Galvalum I dan Galvalum II Terhadap Media Air Sumur dan Air Laut*, Fakultas Teknik, Universitas Gresik WAHANA TEKNIK Volume 09, Nomor 02.
- [6] Santoso, Adianto Hibatullah dan Budi Agung Kurniawan., 2015, *Pengaruh Beban Terhadap Laju Korosi Lapisan Baja Galvalum (Zn55Al) Di Lingkungan Air Ledeng Dan Air Laut*, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, *JURNAL TEKNIK ITS* Vol. 4, No. 1, (2015) ISSN: 2337-3539.
- [7] Purwanto, Yuli., 2018, *Pengukuran Laju Korosi Stainless Steel dan Baja Karbon Dengan Metode Tafel dan Polarization Resistance*, Prosiding Hasil Penelitian dan Kegiatan Tahun 2018 ISSN 0852-2979