

## TUGAS AKHIR

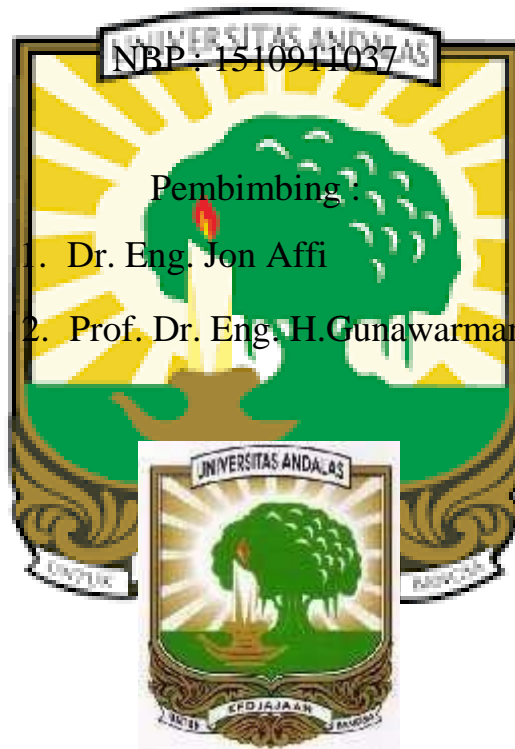
# KARAKTERISTIK KOROSI Ti 6Al 4V – ELI DENGAN METODE POLARISASI TAFEL DALAM LARUTAN HANK'S

Diajukan Sebagai Salah Satu Syarat Untuk Menyelesaikan

Pendidikan Tahap Sarjana

Oleh:

BINTANG GHIFARY AKBAR



JURUSAN TEKNIK MESIN  
FAKULTAS TEKNIK - UNIVERSITAS ANDALAS  
PADANG, 2022



KEMENTERIAN RISET, TEKNOLOGI DAN PENDIDIKAN  
TINGGI FAKULTAS TEKNIK, UNIVERSITAS ANDALAS  
**JURUSAN TEKNIK MESIN**

Kampus Limau Manis, PADANG 25163  
Telp. 0751-72497 Fax.0751-72566

---

**PENETAPAN TUGAS AKHIR**

Tugas Akhir ini sebagai salah satu syarat untuk menyelesaikan pendidikan sarjana Teknik pada jurusan Teknik Mesin fakultas Teknik Universitas Andalas diberikan kepada :

Nama : Bintang Ghifary Akbar  
No BP : 1510911037  
Dosen Pembimbing 1 : Dr. Eng. Jon Affi  
Dosen Pembimbing 2 : Prof. Dr. Eng. Gunawarman  
Jangka Waktu Penyelesaian :  $\pm$  2 Tahun 6 Bulan  
Judul Tugas Akhir : Karakteristik Korosi Ti 6Al 4V – ELI dengan Metode Polarisation Tafel dalam Larutan Hank's  
Uraian Tugas Akhir :  
1. Studi literatur  
2. Penyiapan bahan Ti6Al4V ELI dan larutan hank's  
3. Melakukan pengujian metode polarisasi tafel  
4. Pengamatan berkas korosi dan nilai laju korosi  
5. Hasil dan pembahasan  
6. Kesimpulan dan saran

Padang, Agustus 2022

Pembimbing Utama

**Dr. Eng. Jon Affi**  
NIP.197101071998021001

Pembimbing Pendamping

**Prof. Dr. Eng. Gunawarman**  
NIP.196612191992031004

**LEMBAR PENGESAHAN**

**KARAKTERISTIK KOROSI Ti 6Al 4V – ELI DENGAN  
METODE POLARISASI TAFEL DALAM LARUTAN  
HANK'S**

Oleh:

**BINTANG GHIFARY AKBAR**

**No BP: 1510911037**

Tugas Akhir Ini Diajukan Untuk Menyelesaikan Program Sarjana (S1) Teknik Mesin  
di Universitas Andalas

Padang, Agustus 2022

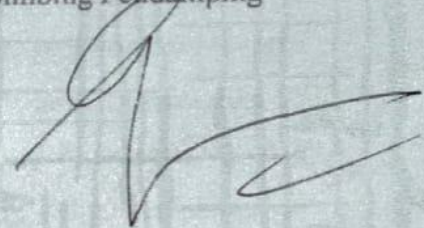
Menyetujui,

Pembimbing Utama



**Dr. Eng. Jon Affi**  
**NIP.197101071998021001**

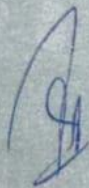
Pembimbing Pendamping



**Prof. Dr. Eng. Gunawarman**  
**NIP.196612191992031004**

Mengetahui,

Ketua Prodi S1 Teknik Mesin



**Iskandar R., MT**  
**NIP. 197007091995121001**

Ketua Jurusan Teknik Mesin



**Devi Chandra Ph.D**  
**NIP. 197207202006041002**

## ABSTRAK

Salah satu cara untuk menyembuhkan patah tulang adalah dengan cara pemasangan implan pada tulang. Dalam pemasangan implan digunakan material yang memiliki biokompetabilitas dan kekuatan mekanis yang baik. Dimana salah satu biomaterial yang memiliki yang dapat di gunakan yaitu Ti6Al4V – ELI. Namun dalam penggunaan Ti6Al4V – ELI sebagai implan di dalam tubuh ada potensi biomaterial terkorosi di dalam tubuh. Dimana di dalam tubuh terdapat larutan yang membuat reaksi pelepasan ion logam pada tubuh. Ion logam yang terlepas di dalam tubuh akan menjadi racun bagi tubuh manusia. Sehingga perlu dilakukan penelitian yang bertujuan untuk mengetahui laju korosi pada biomaterial Ti6Al4V – ELI pada larutan Hank's.

Pengujian dilakukan dengan metode Polarisasi Tafel dalam larutan Hank's sebagai media korosifnya. Sebelum dilakukan pengujian sampel di uji dengan arus listrik untuk memastikan arus mengalir di permukaan sampel. Setelah itu dilakukan perendaman sampel Ti6Al4V – ELI di rendam dalam larutan hank's dengan temperatur kamar dan temperatur 37 ° C yang di jaga konstan. Sampel yang di rendam dengan larutan hank's dimasukan elektroda, kemudian di hubungkan dengan potensiostat sehingga di dapatkan kurva potensial (E) dan arus (I). Setelah perendaman pada sampel Ti6Al4V – ELI dilakukan pengujian pasca korosi, dimana akan dihitung laju korosi dan akan dilihat morfologi permukaan setelah terjadinya korosi.

Dari penelitian di dapatkan hasil bahwa laju korosi akan semakin rendah ketika berada temperatur 37°C dibandingkan dengan temperatur kamar. Disini menunjukkan bahwa temperatur kamar lebih banyak melepas atomnya dibandingkan dengan temperatur 37°C disaat berada di dalam larutan hank's. Dari penelitian ini dapat dikatakan bahwa temperatur berpengaruh terhadap laju korosi pada larutan hank's.

Kata Kunci: Ti6Al4V – ELI, Potensiostat, larutan hank's, laju korosi

## KATA PENGANTAR

Puji dan syukur penulis ucapkan kepada Allah SWT yang senantiasa memberikan rahmat dan hidayahnya sehingga penulis dapat menyelesaikan Proposal Tugas Akhir ini. Shalawat dan salam kepada Rasulullah SAW yang menjadi tauladan dalam kehidupan ini. Alhamdulillah pada akhirnya penulis dapat menyelesaikan laporan tugas akhir ini sebagai salah satu syarat untuk menyelesaikan pendidikan tahap sarjana pada Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Andalas. Adapun laporan ini berjudul **“Karakteristik Korosi Ti 6Al 4V – ELI dengan Metode Polarisasi Tafel dalam Larutan Hanks”**.

Dalam pelaksanaan dan penulisan Proposal Tugas Akhir ini banyak pihak yang telah memberikan berbagai masukan sehingga pada akhirnya penulis dapat menyelesaikan dengan baik. Pada kesempatan ini penulis mengucapkan terima kasih kepada:

1. Orang tua dan semua anggota keluarga yang telah memberikan do'a, motivasi dan bantuan baik moril maupun materil.
2. Bapak Dr. Eng. Jon Affi dan Bapak Prof. Dr. Eng. H. Gunawarman selaku dosen pembimbing yang telah memberikan bimbingan dan semangat dalam penyelesaian Tugas Akhir.
3. Bapak Sir Anderson, S.T., MT selaku pembimbing pendamping yang telah banyak membantu mendampingi dan memberikan arahan selama proses penyelesaian Tugas Akhir.
4. Ibu Dr. Oknovia, S.T., M.Eng dan Bapak Dr. Eng. Jon Affi selaku dosen pembekalan mata kuliah seminar proposal tugas akhir yang telah memberikan bimbingan dalam pembuatan format tugas akhir sehingga bisa menjadi lebih baik.
5. Bapak Dr. Eng. Ilhamdi dan Bapak Dr. Eng. Lovely Son sebagai penguji seminar proposal dan seminar hasil tugas akhir yang telah memberikan saran selama proses penyelesaian Tugas Akhir.

6. Seluruh staf pengajar di Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Andalas.
7. Asisten Laboratorium *Metallurgy* yang selalu membantu dalam mengerjakan tugas akhir ini.
8. Teman-teman seperjuangan M28 yang telah banyak memberikan bantuan selama pendidikan di Jurusan Teknik Mesin Universitas Andalas.
9. Keluarga besar HMM FT-UNAND yang senantiasa memberikan dukungan dan semangat untuk terus bergerak.
10. Terakhir penulis sampaikan terima kasih kepada semua pihak yang telah banyak membantu dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini baik secara langsung maupun tidak langsung yang tidak dapat disebutkan namanya satu persatu.

Semoga semua dukungan yang telah diberikan menjadikan amal ibadah di sisi Allah SWT. Penulis menyadari bahwa Proposal Tugas Akhir ini tidak luput dari kesalahan dan kekurangan. Untuk itu penulis sangat mengharapkan kritik dan saran yang sangat membangun dari kita semua .

Semoga Proposal Tugas Akhir ini dapat memberikan manfaat bagi kita semua, terutama bagi penulis dan lingkungan Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Andalas Aamiin.

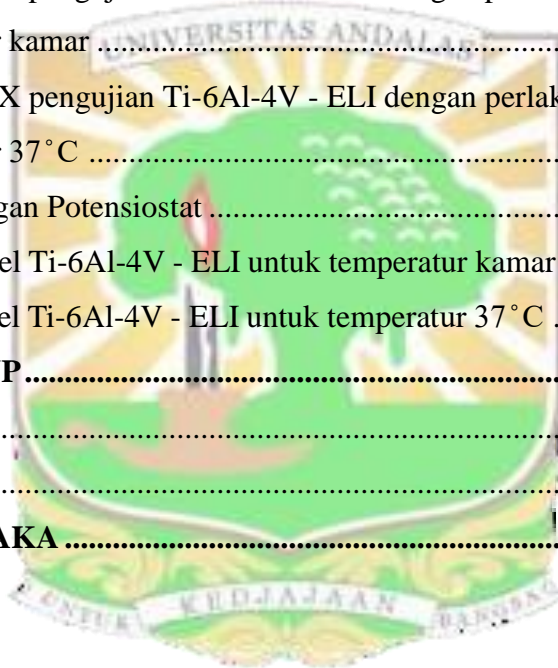
Padang, Juli 2022

**Penulis**

## DAFTAR ISI

<b>LEMBAR PENGESAHAN</b> .....	<b>ii</b>
<b>ABSTRAK</b> .....	<b>iii</b>
<b>KATA PENGANTAR</b> .....	<b>iv</b>
<b>DAFTAR ISI</b> .....	<b>v</b>
<b>DAFTAR GAMBAR</b> .....	<b>vii</b>
<b>DAFTAR TABEL</b> .....	<b>ix</b>
<b>BAB I PENDAHULUAN</b> .....	<b>1</b>
1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Rumusan Masalah .....	3
1.3 Tujuan .....	3
1.4 Manfaat .....	3
1.5 Batasan Masalah.....	3
1.6 Sistematika penulisan.....	3
<b>BAB II TINJAUAN PUSTAKA</b> .....	<b>5</b>
2.1 Titanium .....	5
2.2 Penggunaan Titanium pada bidang ortopedi.....	6
2.3 Titanium Paduan (Ti6Al4V) ELI sebagai Material Implan .....	7
2.4 Hanks .....	8
2.5 Korosi.....	9
2.6 Jenis-Jenis Korosi.....	10
2.6.1 Korosi Seragam .....	10
2.6.2 Korosi Galvanis.....	10
2.6.3 Korosi Selektif.....	11
2.6.4 Korosi Celah.....	11
2.6.5 Korosi Sumuran.....	12
2.7 Laju Korosi.....	13
2.8 Metode Polarisasi Tafel.....	13
<b>BAB III METODE PENELITIAN</b> .....	<b>17</b>
3.1 Skema Penelitian.....	17
3.2 Variabel Penelitian .....	19
3.3 Bahan dan Peralatan Pengujian.....	20

3.3.2 Peralatan Pengujian .....	21
3.4 Prosedur Penelitian.....	24
<b>BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN.....</b>	<b>28</b>
4.1 Pengujian mengamati permukaan Ti-6Al-4V - ELI dengan SEM (Scanning Electron Microscope).....	28
4.2 Pengujian komposisi Ti-6Al-4V - ELI dengan EDX (Electron Dispersion X-ray).....	29
4.2.1 Hasil EDX pengujian Ti-6Al-4V - ELI tanpa diberikan perlakuan korosi.....	29
4.2.2 Hasil EDX pengujian Ti-6Al-4V - ELI dengan perlakuan korosi pada temperatur kamar .....	33
4.2.3 Hasil EDX pengujian Ti-6Al-4V - ELI dengan perlakuan korosi pada temperatur 37 °C .....	37
4.3 Polarisasi dengan Potensiostat .....	41
4.3.1 Kurva tafel Ti-6Al-4V - ELI untuk temperatur kamar .....	44
4.3.2 Kurva tafel Ti-6Al-4V - ELI untuk temperatur 37 °C .....	46
<b>BAB V PENUTUP .....</b>	<b>50</b>
5.1 Kesimpulan .....	50
5.2 Saran.....	50
<b>DAFTAR PUSTAKA .....</b>	<b>51</b>

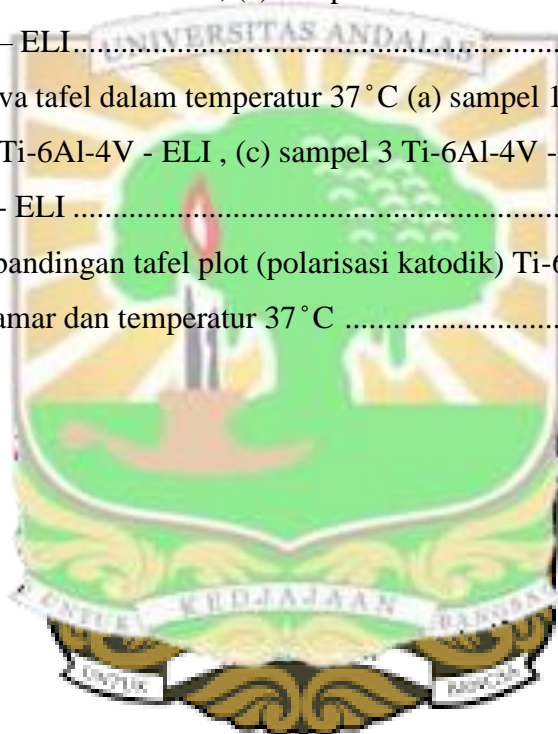




## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Titanium .....	5
Gambar 2. 2 Titanium paduan Ti6Al4V- ELI .....	7
Gambar 2. 3 Korosi seragam pada pipa baja.....	10
Gambar 2. 4 Korosi galvanis pada baut sambungan [26] .....	11
Gambar 2. 5Korosi selektif pada kuningan yang dilapisi chrom [25] .....	11
Gambar 2. 6 Korosi celah pada blok mesin [26].....	12
Gambar 2. 7 Korosi sumuran pada pipa baja [26].....	12
Gambar 2. 8 Sirkuit Pengukuran Polarisasi Katoda [29] .....	14
Gambar 2. 9 kurva polarisasi katodik [29].....	14
Gambar 2. 10 Kurva analisis metode Polarisasi Tafel [3].....	16
Gambar 3. 1 Skematik penelitian .....	19
Gambar 3. 2 Ti6Al4V- ELI .....	20
Gambar 3. 3 Resin dan Hardener .....	21
Gambar 3. 4 Gelas ukur .....	22
Gambar 3. 5 Solder .....	22
Gambar 3. 6 Multimeter .....	23
Gambar 3. 7 Elektroda .....	23
Gambar 3. 8 Potentiostat Electrochemical Impedance Analyzer .....	24
Gambar 3. 9 Sampel Ti6Al4V- ELI .....	25
Gambar 3. 10 Cara menentukan nilai Icorr dan Ecorr pada kurva Tafel.....	26
Gambar 4. 1 Perbesaran 1000 kali dengan SEM, (a) Ti-6Al4V - ELI sebelum diberi perlakuan korosi, (b) Ti-6Al-4V - ELI setelah diberikan perlakuan korosi dengan temperatur kamar dan (c) Ti-6Al-4V - ELI setelah diberikan perlakuan korosi dengan temperatur 37 °C .....	28
Gambar 4. 2 Spectrum 18 tanpa diberikan perlakuan korosi .....	29
Gambar 4. 3 Spectrum 17 tanpa diberikan perlakuan korosi .....	30
Gambar 4. 4spectrum 19 tanpa diberikan perlakuan korosi.....	31
Gambar 4. 5spectrum 20 tanpa diberikan perlakuan korosi.....	31
Gambar 4. 6 Spectrum 21 dalam kondisi temperatur kamar.....	33

Gambar 4. 7 Spectrum 22 dalam kondisi temperatur kamar.....	34
Gambar 4. 8 Spectrum 24 dalam kondisi temperatur kamar.....	35
Gambar 4. 9 Spectrum 23 dalam kondisi temperatur kamar.....	34
Gambar 4. 10 Spectrum 25 dalam kondisi temperatur 37° C .....	37
Gambar 4. 11 Spectrum 26 dalam kondisi temperatur 37° C .....	38
Gambar 4. 12 Spectrum 27 dalam kondisi temperatur 37° C .....	39
Gambar 4. 13 Spectrum 28 dalam kondisi temperatur 37° C .....	40
Gambar 4. 14(a) Kurva tafel Ti-6Al-4V - ELI dengan temperatur kamar dan (b) kurva tafel Ti-6Al-4V - ELI dengan temperatur 37° C .....	42
Gambar 4. 15 Kurva tafel dalam temperatur kamar (a) sampel 1 Ti-6Al-4V - ELI , (b) sampel 2 Ti-6Al-4V - ELI , (c) sampel 3 Ti-6Al-4V - ELI dan (d) sampel 4 Ti-6Al-4V - ELI.....	45
Gambar 4. 16 Kurva tafel dalam temperatur 37° C (a) sampel 1 Ti-6Al-4V - ELI , (b) sampel 2 Ti-6Al-4V - ELI , (c) sampel 3 Ti-6Al-4V - ELI dan (d) sampel 4 Ti-6Al-4V - ELI .....	47
Gambar 4. 17 Perbandingan tafel plot (polarisasi katodik) Ti-6Al-4V - ELI temperatur kamar dan temperatur 37° C .....	48



## DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Karakteristik dan sifat-sifat titanium [16] .....	6
Tabel 2.2 Komposisi kimia Ti6Al4V ELI [19]. .....	8
Tabel 2. 3 Sifat mekanik Ti6Al4V ELI [19] .....	8
Tabel 2. 4 Komposisi kimia larutan Hanks [21]. .....	9
Tabel 3. 1 Komposisi kimia larutan Hanks [21] .....	25
Tabel 3. 2 laju korosi Ti6Al4V- ELI pada temperature kamar dan Ti6Al4V – ELI pada temperature 37° C .....	27
Tabel 4. 1 Komposisi Ti-6Al-4V - ELI tanpa perlakuan .....	32
Tabel 4. 2 Komposisi Ti-6Al-4V - ELI dengan temperatur kamar .....	36
Tabel 4. 3 Komposisi Ti-6Al-4V - ELI dengan temperatur 37° C .....	40



# BAB I

## PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Dari data yang didapatkan Badan Pusat Statistik (BPS) Indonesia pada tahun 1992 sampai 2016 dinyatakan jumlah kecelakaan lalu lintas selalu mengalami peningkatan. Pada tahun 2016 jumlah kecelakaan lalu lintas mencapai puncaknya yaitu 106.644 kali dan mengalami sedikit penurunan pada tahun 2017 yaitu 103.228 kali. Tingginya tingkat kecelakaan lalu lintas membuat banyaknya kemungkinan korban dalam keadaan parah, seperti terjadi fraktur pada bagian tulangnya yang membuatnya kehilangan fungsi organnya. Pada keadaan yang ringan kemungkinan akan terjadi keretakan pada bagian tulang yang membuat rasa sakit dalam setiap aktifitas dan terjadi gangguan pada bagian organ. Selain dari kecelakaan, adapun kasus patah tulang atau keretakan pada tulang juga di sebabkan karena bencana alam, adanya beban kejut dan karena penyakit yang tidak kita sadari sebelumnya. Untuk mengatasi kasus patah tulang atau keretakan pada tulang dilakukan pemasangan implan pada bagian tulang tersebut [1].

Implan adalah perangkat yang digunakan di dunia medis dalam menangani masalah pada fraktur tulang. Dalam prosesnya implan berfungsi untuk menggantikan sementara sebuah jaringan tulang yang rusak atau tidak berfungsi lagi akibat penyakit ataupun kecelakaan [2]. Adapun Material yang sering digunakan untuk material implan adalah paduan *stainless steel* dan titanium. Material ini sering digunakan karena memiliki kekuatan tinggi, keuletan yang baik, dan biokompatibel [3]. Namun *stainless steel* memiliki kelemahan yaitu kurang biokompatibel dari pada paduan titanium dan lebih lemah dari pada titanium. Sedangkan material titanium memiliki sifat biokompatibilitas yang lebih baik dan kekuatan mekanis yang hampir mirip dengan jaringan tulang manusia [4].

Pada titanium memiliki kelebihan untuk saling berikatan dengan sel atau jaringan hidup juga sangat baik. Selain itu titanium tahan terhadap korosi, akan

tetapi pada saat lapisan oksida tidak stabil di permukaannya maka titanium lebih mudah terserang korosi [5]. Untuk mengurangi terjadinya ketidakstabilan oksida maka dilakukan perpaduan antara titanium dengan satu atau beberapa unsur. Dimana perpaduan ini di bertujuan untuk mendapatkan hasil yang cocok sebagai bahan pembuatan implan untuk keperluan orthopedi.

Paduan titanium sering digunakan sebagai material implan karena bersifat biokompatibilitas biomekanis, biokimia dan kompatibilitas biologi yang cukup baik terhadap tubuh. Salah satu paduan titanium yang paling banyak dipilih sebagai material implant adalah paduan titanium jenis  $\alpha + \beta$ , Ti6Al4V - ELI. Paduan titanium ini banyak dipilih sebagai bahan dasar implan ortopedi karena telah diproduksi secara luas dan memiliki performa yang lebih baik dibandingkan jenis paduan titanium lain [6] [7]. Pada Ti6Al4V – ELI memiliki unsur Vanadium (V) dan Alumunium (Al) yang mudah melepaskan ion akibat adanya reaksi oksidasi di dalam larutan tubuh yang menyebabkan terjadinya korosi, dimana pelepasan ion logam bersifat racun di dalam tubuh. Pada dasarnya di dalam larutan tidak ada material logam yang tahan korosi maka dilakukan pengujian pada material Ti6Al4V – ELI dengan menggunakan larutan Simulated Body Fluid (SBF).

Adapun lama pemakaian implan di dalam tubuh memiliki batasan, karena adanya ketidakstabilan oksida di dalam tubuh membuat terjadi korosi pada implan maka dilakukan pengujian material implan dengan menggunakan Simulated Body Fluid (SBF). Simulated Body Fluid ini merupakan cairan yang mendekati bentuk cairan tubuh, dimana cairan ini ada beberapa jenis seperti *Saliva*, *Kubakkos*, *Synovial* dan *Hanks* [8]. Pada penelitian sebelumnya ketahanan korosi Ti6Al4V–ELI lebih baik dari pada CPTi pada larutan *Saliva* buatan [9], sedangkan pada larutan *Kabbukos* Ti6Al4V- ELI lebih baik dari pada TNTZ [10]. Namun penelitian sebelumnya hanya melihat ketahanan korosi terhadap *Simulated Body Fluid* (SBF) jenis *Salivabuatan* dan *Kabbukos*, belum adanya penelitian lebih lanjut mengenai laju korosi pada material Ti6Al4V- ELI di dalam larutan *Hanks*. Dimana larutan *Hanks* memiliki komposisi yang lebih mendekati cairan pada tubuh manusia. Di perlukannya

pengujian dengan larutan Hanks untuk mengetahui laju korosi Ti6Al4V- ELI, dimana di dalam tubuh manusia mengandung unsur garam yang menyebabkan korosi lebih cepat. Oleh sebab itu dilakukan pengujian mengenai “Karakteristik Korosi Ti6Al4V - ELI dengan Menggunakan Metode Polarisasi Tafel dalam Larutan Hanks”.

### 1.2 Rumusan Masalah

Bagaimana Karakteristik Korosi Ti6Al4V- ELI yang dilakukan pada pengujian Polarisasi Tafel dengan menggunakan larutan Hanks.

### 1.3 Tujuan

Adapun tujuan yang ingin dicapai dalam tugas akhir ini adalah mencari laju korosi dan bentuk profil korosi dari material Ti6Al4V- ELI pada larutan Hanks dengan menggunakan metode polarisasi tafel.

### 1.4 Manfaat

Untuk mengetahui nilai laju korosi titanium Ti6Al4V- ELI dalam larutan Hanks, agar dapat memprediksi berapa lama umur pakai material implan sebelum mengalami korosi di dalam tubuh.

### 1.5 Batasan Masalah

Dalam pembuatan proposal ini batasan masalah yang dituangkan pada laporan adalah:

1. Menggunakan material Ti6Al4V- ELI sebagai material uji.
2. Pengukuran laju korosi Ti6Al4V- ELI dengan menggunakan metode polarisasi tafel dalam larutan Hanks
3. Temperatur pengujian dikondisikan pada temperatur kamar dan temperature di jaga konstan 37 °C.

### 1.6 Sistematika penulisan

Pada Bab I yaitu Pendahuluan, dimana menjelaskan mengenai latar belakang masalah, tujuan, manfaat, batasan masalah dan sistematika penulisan. Kemudian pada Bab II terdapat Tinjauan Pustaka, pada bab ini berisikan teori-

teori yang mendukung terhadap pengujian yang nantinya menjadi acuan dasar dalam pengujian dan menganalisis data. Pada Bab III yaitu Metode Penelitian, bab ini menjelaskan tentang metode, peralatan, bahan yang nantinya akan digunakan, prosedur dan penjelasan mengenai pengujian. Pada Bab IV hasil dan pembahasan, bab ini menjelaskan hasil pengujian beserta analisis dan pembahasan hasil pengujian. Pada Bab V penutup, bab ini menjelaskan kesimpulan yang didapatkan dari hasil penelitian serta saran mengenai hasil pengujian, sebagai langkah untuk penyempurnaan penelitian dan terakhir daftar pustaka.



## BAB II

### TINJAUAN PUSTAKA

#### 2.1 Titanium

Titanium seperti yang diperlihatkan pada Gambar 2.1 merupakan logam dengan symbol Ti pada tabel periodik dengan nomor atom 22. Titanium pertama kali di temukan pada tahun 1791 di dalam pasir magnet di daerah Manachin, Cornwall, England dan pada waktu itu dinamakan dengan Menachite yang merupakan nama pasir tempat ditemukannya [11]. Unsur ini memiliki karakteristik yang berkilau, kuat, ringan dan tahan terhadap korosi [12].



Gambar 2. 1 Titanium [12]

Terdapat 2 jenis titanium yang umum dijumpai di pasarannya itu titanium tipe  $\alpha$  (alpha) dengan struktur Kristal *Hexagonal Closed Package* (HCP) dan titanium tipe  $\beta$  (beta) dengan struktur kristal *Body Centered Cubic* (BCC). Perubahan susunan Kristal pada titanium sendiri tergantung dari kemurnian titanium tersebut dalam artian susunan kristal pada titanium dipengaruhi oleh intertisi atau substitusi dari atom lain. Titanium memiliki 2 sifat yang menjadikannya unggul dibandingkan dengan material logam lainnya yaitu ketahanannya terhadap korosi serta rasio kekuatan terhadap densitasnya yang paling tinggi dibandingkan dengan material lain [13].

Titanium dapat dipadukan dengan unsur kimia lain seperti besi, aluminium, dan vanadium untuk memperoleh sifat yang diinginkan. Titanium dapat dimanfaatkan dalam berbagai aplikasi seperti pada bidang penerbangan, militer, industri, dan di



bidang medis [14]. Penggunaan titanium di bidang medis di dasarkan pada beberapa karakteristik unggulan dari titanium tersebut di antaranya yaitu kekuatan setara baja, namun lebih ringan sekitar 60% dibandingkan dengan baja memiliki kekuatan lelah (*fatigue strength*) yang lebih tinggi dibandingkan dengan paduan aluminium, tahan terhadap temperature tinggi, memiliki ketahanan korosi yang tinggi jika dibandingkan dengan aluminium atau baja. Titanium juga memiliki rasio berat-kekuatan yang lebih rendah dari pada aluminium sehingga dapat menghemat ruang pemakaian untuk kekuatan yang sama, dan absorbs titanium pada saluran pencernaan makanan sangat buruk sehingga titanium cocok digunakan sebagai implant yang dapat di terimadengan baik oleh jaringan tubuh [15]. Karakteristik dan sifat lainnya dari titanium dapat dilihat pada Tabel 2.1.

Tabel 2. 1 Karakteristik dan sifat-sifat titanium [16].

Sifat dan karakteristik titanium	Keterangan nilai
Jumlah atom	22
Massa atom	47,90
Struktur kristal	
a) Alpha	HCP / BCC
b) Beta Warna	Abu-abu gelap
c) Massa jenis	4,51g/cm <sup>3</sup>
d) Titik leleh	1668oC
e) Titik didih	1725oC
f) Kekerasan	70-74HRB
g) Kekuatan Tarik	240 MPamin
h) Modulus elastisitas	120 Mpa

Dimana pada tabel diketahui bahwa titanium memiliki jumlah atom 22 dengan massa atom 47,90 u dan memiliki struktur Kristal alpha berbentuk Hexagonal Closed Package atau Body Central Cubic. Adapun dalam Beta warna nya titanium berwarna abu – abu gelap dengan massa jenis 4,51 g/cm<sup>3</sup> dan memiliki Modulus elastisitas 120 MPa. Di bandingkan dengan logam lain Titanium memiliki kekuatan dan kekerasan lebih baik dengan titik didih mencapai 1725 °C.

## 2.2 Penggunaan Titanium pada bidang ortopedi

Penggunaan biomaterial berbahan logam merupakan material yang paling banyak digunakan di dunia medis. Penggunaan ini dapat berupa implant untuk

penderita patah tulang. Material logam yang umum digunakan saat ini yaitu *stainless steel*, paduan Co-Cr, dan titanium dengan paduannya. Penggunaan ketiga jenis logam di atas sebagai biomaterial di dunia medis karena telah memenuhi beberapa aspek yang diperlukan seperti ketahanannya terhadap korosi, kekuatannya, kesesuaiannya, dll [17].

Beberapa syarat yang harus di miliki untuk material implan orthopedi adalah harus biokompatibel dan tidak memicu respon imun yang signifikan, bersifat osteokondusif dalam memicu osteoblast (sel yang membentuk tulang), serta bersifat osteoinduktif sehingga mampu merekrut berbagai sel induk dari jaringan dan sirkulasi di sekitarnya. Selain itu harus memiliki sifat antimikroba dan memiliki stabilitas mekanik yang cukup karena tulang digunakan dalam menahan beban oleh tubuh.

### 2.3 Titanium Paduan (Ti6Al4V) ELI sebagai Material Implan

Ti6Al4V *Extra Lower Interstitial* (ELI) adalah paduan titanium yang paling banyak digunakan untuk aplikasi bioimplan *load bearing* karena sifat kekuatan yang tinggi terhadap berat, modulus elastisitas yang rendah, biokompatibilitas yang bagus dan ketahanan terhadap korosi [18]. Pada penelitian ini akan di gunakan Ti6Al4V- ELI dalam bentuk batangan logam dengan diameter 4 mm dan tinggi 4 mm. Adapun bentuk Ti6Al4V - ELI dapat dilihat pada **Gambar 2.2**.



Gambar 2. 2 Titanium paduan Ti6Al4V- ELI [18]

Ti6Al4V ELI memiliki komposisi konstituen (Titanium, Vanadium, dan Aluminium Alloy) yang sangat rendah. Komposisi dan sifat mekanik dari Ti6Al4V- ELI dapat dilihat pada **Tabel 2.2** dan **Tabel 2.3**.

**Tabel 2.2** Komposisi kimia Ti6Al4V ELI [19]

ELEMEN	KOMPOSISI*
Aluminium, Al	5,5 - 6,5 %
Vanadium, V	3,5 - 4,5 %
Carbon, C	< 0,08 %
Iron, Fe	< 0,25 %
Oxygen, O	< 0,13 %
Nitrogen, N	< 0,05 %
Hydrogen, H	< 0,012 %
Titanium, Ti	Balance

\*ASTM F136

**Tabel 2.3** Sifat mekanik Ti6Al4V ELI [19]

SIFAT MEKANIK	BESARAN (SI)*
Tegangan Tarik, Yield	795 Mpa
Tegangan Tarik, Ultimate	860 Mpa
Kekerasan Rockwell	30 – 35 HRC
Elongasi	>10 %
Reduksi Area	>25%
Modulus Elastisitas	114 Gpa

\*ASTM F136

## 2.4 Hanks

Dalam melakukan penelitian tentang perilaku korosi titanium murni komersial (CP-Ti), Ti-6Al-4V dan *stainless steel* dalam cairan simulasi tubuh (SBF) menggunakan larutan Hanks pada suhu 37°C dengan proses Anodisasi [20]. Adapun komposisi dari larutan hanks tersebut adalah NaCl (8 g/l) yang merupakan larutan yang banyak digunakan untuk mencari laju korosi pada logam, KCl (0,40 g/l) dan CaCl<sub>2</sub> yang masih mengandung unsur garam, komposisi lain dari larutan hanks ini berupa unsur air dan oksigen yang di konsetrasikan pada pH 6,8. Komposisi kimia larutan Hanks ditunjukkan pada **Tabel 2.4**.

**Tabel 2. 4 Komposisi kimia larutan Hanks [21].**

Komponen	(g/l)
NaCl	8
KCl	0,40
CaCl <sub>2</sub>	0,14
NaHCO <sub>3</sub>	0,35
MgCl <sub>2</sub> .6H <sub>2</sub> O	0,60
MgSO <sub>4</sub> .7H <sub>2</sub> O	0,06
Na <sub>2</sub> HPO <sub>4</sub>	0,06
KH <sub>2</sub> PO <sub>4</sub>	0,60
Glukosa. 2H <sub>2</sub> O	1,0
pH	6,8

## 2.5 Korosi

Korosi atau yang dalam kehidupan sehari – hari umum disebut dengan karatan merupakan suatu proses degradasi (penurunan kualitas) dari material akibat adanya reaksi material tersebut dengan lingkungannya. Peristiwa korosi hanya dapat terjadi pada material logam. Reaksi logam dengan lingkungannya akan menghasilkan senyawa yang berikatan dengan oksigen seperti oksida, sulfide atau hasil lainnya yang tergantung dari jenis material logam yang terkorosi serta lingkungan yang mengkorosinya. Peristiwa korosi ini terjadi secara alami akibat adanya ketidakstabilan pada atom logam tersebut, sehingga ketika bereaksi dengan lingkungan, ia akan cenderung mencari kestabilannya dengan cara melepaskan elektronnya (proses anodik) ataupun menangkap electron dari lingkungan (proses katodik) [22].

Salah satu lingkungan yang ideal untuk terjadinya korosi yaitu mengandung cairan. Dalam tubuh manusia terdapat berbagai cairan yang dapat mempengaruhi umur paduan titanium tersebut hingga mengalami korosi seperti garam, keringat dan darah. Hal ini terjadi karena temperatur, pH, dan kandungan garam dalam darah yang mempengaruhi kestabilan dari ion logam sehingga cenderung akan menjadikan logam melepas atau menangkap electron lain untuk mencapai kestabilannya.

## 2.6 Jenis-Jenis Korosi

### 2.6.1 Korosi Seragam

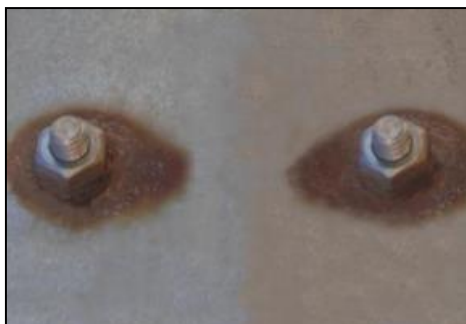
Korosi seragam merupakan jenis korosi yang paling banyak ditemukan pada kehidupan sehari-hari. Sebagai contoh dapat dilihat pada atap rumah yang terbuat dari seng. Atap yang telah lama digunakan lama kelamaan seluruh permukaannya akan berganti warna menjadi coklat kemerahan. Hal ini terjadi akibat pada atap tersebut terjadi korosi seragam dimana seluruh permukaan materialnya berkontak dengan ion-ion yang ada di lingkungan sehingga pada seluruh permukaan material terjadi korosi yang dinamakan korosi seragam [23]. **Gambar 2.3** merupakan contoh dari korosi seragam yang terjadi pada pipa baja yang seluruh permukaannya mengalami korosi seragam.



**Gambar 2. 3** Korosi seragam pada pipa baja [24]

### 2.6.2 Korosi Galvanis

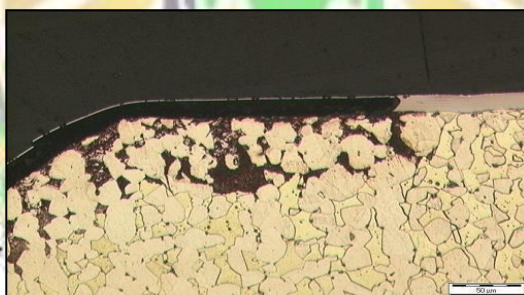
Korosi galvanis merupakan korosi yang terjadi akibat berkontakannya dua logam berbeda jenis. Perbedaan jenis kedua logam ini adanya perbedaan potensial antara kedua logam tersebut sehingga ketika kedua logam tersebut berkontak langsung, maka terjadi proses pengkorosian akibat efek galvanis, dimana logam dengan potensial rendah akan terkorosi. Peristiwa korosi galvanis ini dapat dengan mudah ditemukan pada daerah sambungan dua logam menggunakan baut sebagai penyambungannya [24]. **Gambar 2.4** merupakan contoh korosi yang terjadi pada sambungan dua logam yang menggunakan baut. Dapat dilihat dari gambar, korosi hanya terjadi pada bagian sambungan yang menggunakan baut.



Gambar 2. 4 Korosi galvanis pada baut sambungan [26]

### 2.6.3 Korosi Selektif

Korosi selektif merupakan jenis korosi yang hanya terjadi pada daerah/bagian tertentu dari suatu logam. Hal ini terjadi akibat adanya unsur-unsur pemicu korosi yang terdapat pada daerah tersebut seperti adanya endapan dibatas butir, adanya ketidak merataan paduan, atau adanya perbedaan potensial antara butir dengan batas butir sehingga menimbulkan korosi [24]. **Gambar 2.5** menunjukkan contoh korosi selektif yang terjadi pada struktur mikro kuningan yang dilapisi *chrom*, dimana korosi hanya terjadi pada bagian tertentu saja.

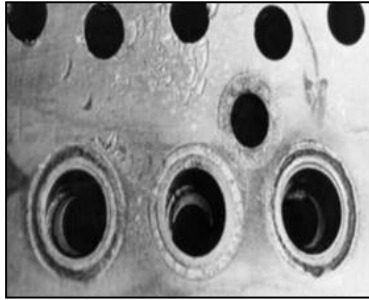


Gambar 2. 5 Korosi selektif pada kuningan yang dilapisi chrom [25]

### 2.6.4 Korosi Celah

Korosi celah merupakan korosi yang umum terjadi pada daerah sambungan dua material atau lebih dimana pada daerah sambungan tersebut terdapat celah. Pada celah tersebut terjadi perbedaan konsentrasi antara ion-ion yang terperangkap dengan ion-ion yang berada di lingkungan. Akibat adanya perbedaan konsentrasi ini maka terjadilah korosi pada daerah celah tersebut [24]. **Gambar 2.6** memperlihatkan contoh korosi yang terjadi pada blok mesin, dimana ketika blok

mesin dipasang terdapat celah diantaranya, pada celah tersebut terjadi korosi celah akibat adanya perbedaan konsentrasi ion-ion di daerah tersebut.



Gambar 2. 6 Korosi celah pada blok mesin [26]

### 2.6.5 Korosi Sumuran

Korosi sumuran hampir sama dengan korosi celah, namun yang membedakannya disini adalah lokasi terjadinya. Korosi sumuran ini umumnya terjadi pada permukaan logam yang mengalami goresan. Pada goresan tersebut terjadi penumpukan ion-ion lingkungan didalamnya sehingga terjadi perbedaan konsentrasi antara ion-ion yang ada di dalam goresan dengan ion-ion yang berada dilingkungan sehingga pada bagian goresan tersebut terjadi korosi [24]. **Gambar 2.7** menunjukkan contoh korosi sumuran yang terjadi pada dinding bagian dalam pipa. Dapat dilihat pada gambar, korosi sumuran yang terjadi ditunjukkan dengan adanya lubang kecil dipermukaan sedangkan pada bagian dalamnya terdapat lubang/kawah yang lebih besar.



Gambar 2. 7 Korosi sumuran pada pipa baja [26]

## 2.7 Laju Korosi

Laju korosi diartikan sebagai jumlah logam yang hilang dari permukaan logam induk persatuan waktu [27]. Umumnya laju korosi ini dinyatakan dalam satuan *milimetresperyear* (mmpy) yang artinya menunjukkan berapa milimeter permukaan logam akan terkorosi dalam kurun waktu 1 tahun. Nilai laju korosi ini akan menunjukkan ketahanan suatu material terhadap proses korosi. Semakin tinggi nilai laju korosi suatu material maka material tersebut akan semakin mudah terkorosi. Sebaliknya, semakin kecil nilai laju korosi suatu material maka akan semakin sulit material tersebut untuk terkorosi [28].

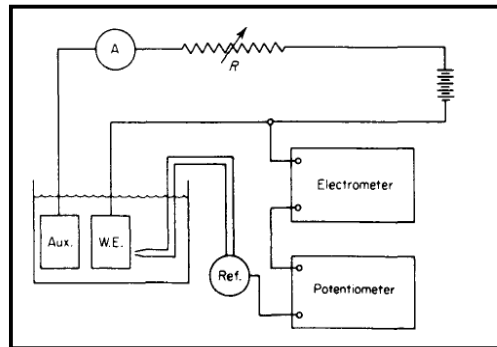
## 2.8 Metode Polarisasi Tafel

Metode Polarisasi Tafel merupakan salah satu metode penghitungan laju korosi yang merupakan metode dengan menggunakan metode elektrokimia untuk menentukan potensial korosi ( $E_{corr}$ ) dan laju korosi. Metode tafel menggunakan data yang diperoleh dari hasil polarisasi pada daerah anoda dan katoda yang kemudian diekstrapolasi sehingga membentuk kurva analisis metode tafel. Dalam penerapannya metode tafel dilakukan pada rentang  $-250$  mV sampai  $250$  mV potensial bebas [29].

Prinsip polarisasi Tafel adalah aksi permukaan antara larutan uji dengan elektroda. Interaksi ini menimbulkan polarisasi logam dan arus tertentu. Berdasarkan ekstrapolasi Tafel ini dapat diketahui dominasi reaksi yang terjadi antara anodik dan katodik. Jika potensial anodik dapat bergeser ke arah negative maka polarisasi atau reaksi anodik yang berperan ditandai dengan terjadinya oksidasi pada baja karbon. Namun jika potensial korosi bergeser ke arah positif maka reaksi katodik berperan ditandai dengan terjadinya reduksi ion-ion  $H^+$  yang banyak [29].

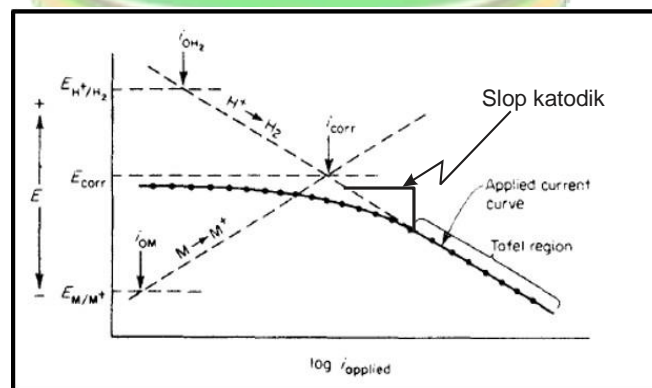
Teknik tafel ini menggunakan data yang diperoleh dari pengukuran polarisasi katodik dan anodik, pengukuran katodik lebih sering dipakai karena lebih mudah melakukan pengukuran secara eksperimental [29]. Berikut contoh skema pengukuran polarisasi katodik dapat dilihat pada **Gambar 2.8**





Gambar 2. 8 Sirkit Pengukuran Polarisasi Katoda [29]

Sampel logam disebut elektroda kerja dan arus katodik di pasok melalui alat bantu elektroda terdiri dari beberapa bahan seperti platinum [29]. Arus diukur dengan Ampere meter dan potensial kerja elektroda diukur dengan menggunakan potensiometer. Dalam prakteknya arus akan berkurang dengan mengurangi hambatan ( $R$ ) [29]. Potensial dan arus pada berbagai pengaturan diukur secara bersamaan. Setelah dilakukan pengujian mari perhatikan hasil yang diperoleh selama polarisasi katodik logam yang direndam dalam larutan asam bebas udara. Sebelum penerapan arus katodik voltmeter menunjukkan potensi korosi specimen sehubungan dengan elektroda referensi [29]. Jika potensial elektroda di plot terhadap logaritma arus yang diterapkan maka angka seperti grafik **Gambar 2.9** diperoleh.



Gambar 2. 9 kurva polarisasi katodik [29]

Pada gambar dapat dilihat bahwasanya juga terjadi reaksi reduksi oksidasi dapat dilihat pada gambar 2.9 terdapat beberapa unsur, reaksi serta item, dimana pada reaksi  $H^+ \rightarrow H_2$  Menandakan terjadinya reduksi ion  $h^+$  menjadi hydrogen,  $M$

→  $M^+$  Menandakan terjadinya oksidasi pada logam tersebut. Untuk besarnya arus korosi dari specimen yang diuji ( $I_{corr}$ ) merupakan perpotongan antara garis reaksi oksidasi dan reduksi, dan titik potong ini ditarik ke bawah searah sumbu horizontalnya. Untuk mendapatkan potensial korosi ( $E_{corr}$ ) dapat di cari dengan menarik garis lurus horizontal ke sumbu y. Untuk melihat arus awal pada anodik ( $I_{om}$ ) berada di perpotongan paling bawah, sedangkan arus katodik ( $I_{oH_2}$ ) terletak di atas arus awal anodik atau berada di perpotongan paling atas dari grafiknya.

Pada gambar dapat dilihat bahwasanya kurva merupakan garis tebal dan titik-titik. Pada arus rendah agak melengkung (nonlinear) sedangkan pada arus tinggi kurva menjadi linier [29].  $I_{katodik}$  yang dihasilkan sama dengan perbedaan antara arus reduksi dan arus oksidasi. Berikut persamaan  $I_{katodik}$  dapat dilihat pada

**Persamaan 2.1.**

$$I_{katodik} = I_{reduksi} - I_{oksidasi} \dots \dots \dots (2.1)$$

Ketika arus katodik menjadi semakin tinggi tepatnya sekitar 50 mV, dalam prakteknya maka akan didapati kurva polarisasi yang menjadi linear maka kurva yang linear ini yang disebut sebagai daerah tafel untuk menentukan laju korosi dari pengukuran polarisasi tersebut [29]. Wilayah tafel di ekstrapolasi dengan potensial korosi. Pada potensial korosi laju evolusi hydrogen sama dengan laju di solusi logam dan titik ini sesuai dengan laju korosi system dalam kondisi ideal [29].

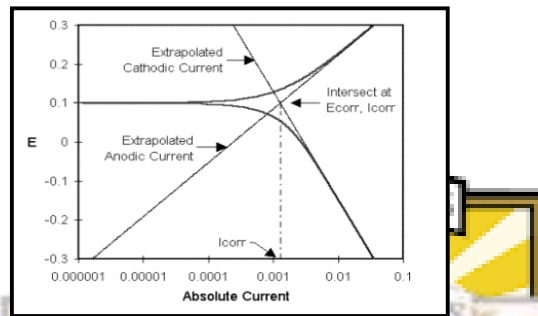
Laju korosi dapat ditentukan dengan metode polarisasi dengan menggunakan potensiostat dengan tiga elektroda, yaitu elektroda acuan tipe kolomel (SCE), Elektroda bantu berupa platina dan elektroda kerja berupa specimen baja. Data yang didapat dari metode ini adalah kurva polarisasi anodik/katodik yang menyatakan hubungan antara arus ( $\mu A/cm^2$ ) sebagai fungsi potensial (mV) [29]. Berikut rumus pendekatan untuk mencari arus korosi dapat dilihat pada **Persamaan 2.2.**

$$I_{corr} = \frac{\beta a \cdot \beta c}{2.303(\beta a + \beta c)} \frac{1}{R_p} \dots \dots \dots (2.2)$$

Dimana untuk mencari laju korosi di butuhkan arus korosi ( $I_{corr}$ ) dalam amps, yang dapat di cari dengan adanya hambatan polarisasi ( $R_p$ ) yang berbanding terbalik dengan arus korosi, kemudian di butuhkan nilai dari slop tafel anodic.

$\gamma$  ( $\beta_a$ ) dan slop tafel katodik ( $\beta_c$ ).

Pemodelan ini di dekati dengan adanya tafel analisisnya itu ekstrapolasi garis lurus pada daerah katodik dan anodik sehingga bertemu pada satu titik. Titik ini menyatakan  $E_{corr}$  dan  $I_{corr}$  [30]. Berikut gambar kurva analisis metode Polarisasi Tafel dapat dilihat pada **Gambar 2.10**.



**Gambar 2. 10 Kurva analisis metode Polarisasi Tafel [3]**

Perhitungan laju korosi dari  $I_{corr}$  dalam kurva polarisasi dihitung dengan cara (ASTM vol 03.02. G02). Berikut perhitungan laju korosi dapat dihitung menggunakan **Persamaan 2.3**.

$$CR = K_1 \frac{I_{corr}}{\rho} EW \dots \dots \dots (2.3)$$

Dimana laju korosi (CR) dinyatakan dalam satuan mmpy, pada nilai arus korosinya dalam satuan  $\mu A/cm^2$  dan memiliki konstanta  $3,8586 \times 10^{-2} mm g/ \mu A cm yr$ . Adapun untuk mencari massa jenis ( $g/cm^3$ ) dapat di lihat dalam buku referensi dan *Equivalent Weight* (berat logam yang terkorosi).

Kelebihan metode Polarisasi Tafel antara lain:

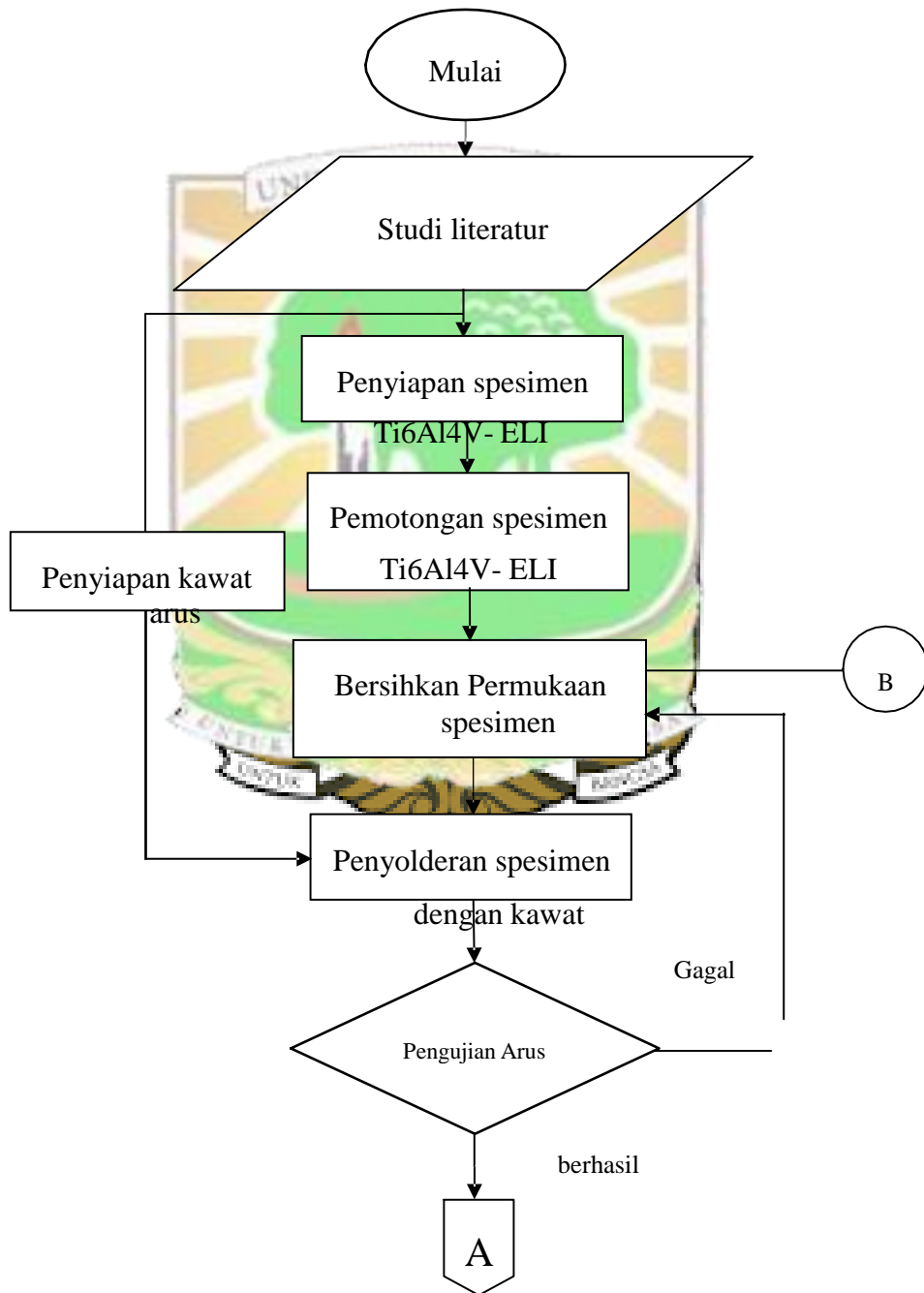
1. Kekuatan metode ini sama bahkan lebih baik dari pada metode konvensional (metode pengukuran kehilangan berat atau weight loss).
2. Dapat digunakan untuk mengukur laju korosi yang sangat kecil dan dapat digunakan untuk mengontrol laju korosi pada suatu system.
3. Kurva yang didapatkan memberikan gambaran secara langsung mengenai arus korosi yang berhubungan laju korosi. Dapat menentukan besarnya laju korosi dengan cepat sehingga dapat digunakan untuk penelitian mengenai inhibitor dan perbandingan dua logam [30].

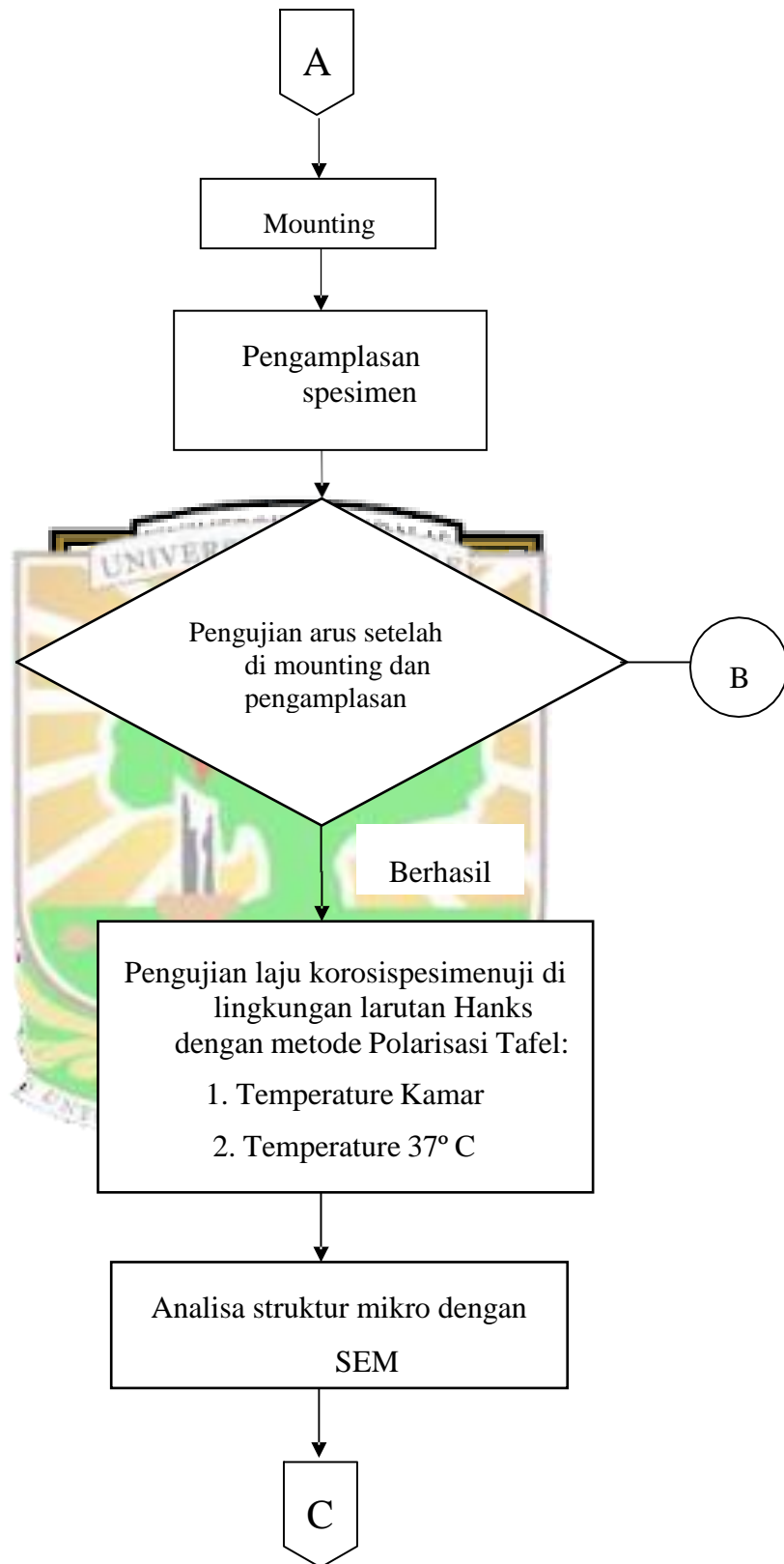
# BAB III

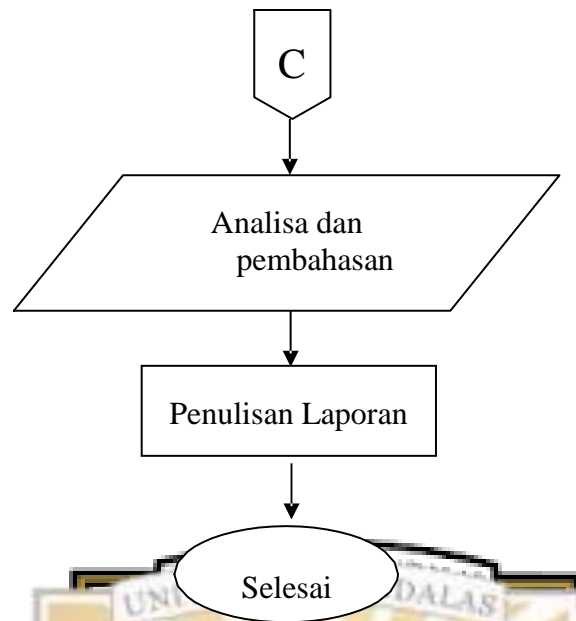
## METODE PENELITIAN

### 3.1 Skema Penelitian

Gambar 3.1 ditampilkan langkah - langkah yang dilakukan dalam penelitian ini:







**Gambar 3.1 Skematik penelitian**

Pada **Gambar 3.1** memperlihatkan diagram alir dari penelitian mengenai karakteristik korosi Ti6Al4V-ELI ini diawali dengan studi literatur yang dilakukan dengan mencari referensi ilmiah baik dari jurnal, buku, serta bahan-bahan lain yang mengacu pada penelitian yang dilakukan. Setelah itu dilakukan penyiapan sampel uji dimana penyiapan meliputi pemotongan, pengamplasan, pemolesan, penyolderan, mounting, pengetsaan serta dilakukan pemeriksaan struktur mikronya. Selain penyiapan sampel juga dilakukan penyiapan apparatus korosi dimana penyiapan meliputi penyiapan larutan Hanks. Dalam penelitian ini terdapat beberapa perlakuan pra-pengujian dan pasca-pengujian korosi. Dimana pada pra-pengujian dilakukan pengamatan mikrostruktur, dan pengujian kekerasan sampel. Setelah dilakukan pengujian korosi maka dilakukan pengamatan mikrostruktur dan pengujian kekerasan agar diketahui laju korosi pada sampel, pengaruh pengujian korosi terhadap nilai kekerasan dan mikrostruktur setelah dilakukan uji korosi. Pengujian korosi dilakukan dengan metode Polarisasi Tafel dengan menggunakan larutan hank's dalam temperature kamar dan temperature terkontrol 37 °C.

### 3.2 Variabel Penelitian

Penelitian mengenai karakteristik korosi Ti6Al4V - ELI ini memiliki variabel bebas dan variabel terikat. Variabel bebas yaitu variabel yang divariasikan,

sedangkan variabel tetap merupakan variabel yang di kontrol konstan (tetap). Variabel terikat yaitu variabel yang hasilnya bergantung pada variabel tetap dan variabel bebas. Berikut merupakan variabel-variabel yang di gunakan dalam penelitian ini:

γ Variabel Tetap

Dimana pada pengujian yang menjadi variabel tetap adalah Ti6Al4V- ELI sebagai material ujinya dengan menggunakan metode Polarisation Tafel.

γ Variabel Bebas

Variabel bebas digunakan adalah variasi temperature, dimana variasi dalam temperature kamar dan pada temperature terkontrol 37° C.

γ Variabel terikat

Variabel terikat dalam penelitian ini adalah laju korosi, dimana laju korosi akan bergantung pada variabel tetap dan variabel bebas.

### 3.3 Bahan dan Peralatan Pengujian

#### 3.3.1 Bahan Pengujian

Pengujian Laju Korosi dengan menggunakan metode Polarisation Tafel ini memakai spesimen dan larutan sebagai berikut:

a. Ti6Al4V- ELI

Ti6Al4V- ELI ini digunakan sebagai sistem yang akan di uji laju korosinya dalam pengujian ini. Dimana material uji dengan ukuran diameter 4 mm dan tinggi 3 mm. Material uji ini dapat dilihat pada **Gambar 3.2**.



**Gambar 3. 2 Ti6Al4V- ELI**

b. Larutan Hanks

Larutan Hanks digunakan sebagai lingkungan korosi yang menyebabkan spesimen mengalami korosi.

c. Mounting Set

Digunakan untuk mempermudah perlakuan sampel berukuran kecil. Untuk melakukan mounting set di gunakan larutan kimia yaitu *Resin Lycal* dan *Hardener*. Untuk pemakaiannya dilakukan percampuran antara resin dan hardener, kemudian dilakukan pengadukan dengan tujuan agar resin dan hardener tercampur merata. Adapun gambar resin dan hardener dapat dilihat pada **Gambar 3.3.**



**Gambar 3. 3 Resin dan Hardener**

### 3.3.2 Peralatan Pengujian

Pengujian korosi dengan metode Polarisation Tafel ini membutuhkan beberapa peralatan pendukung seperti :

a. Wadah pengujian korosi

Wadah ini digunakan untuk meletakkan spesimen uji dalam larutan hanks selama proses pengujian berlangsung. Adapun jenis gelas ukur yang digunakan adalah gelas ukur jenis pyrex yang biasa digunakan pada larutan kimia dengan volumenya 50 ml. Untuk gambar gelas ukur dapat di lihat pada **Gambar 3.4.**





Gambar 3. 4 Gelas ukur

b. Solder

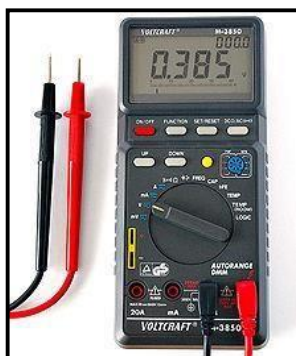
Solder di gunakan untuk menyambung kawat tembaga ke spesimen uji untuk dapat mengalirkan arus listrik pada pengujian potesiostat. Adapun solder yang digunakan merupakan solder yang banyak di pakai untuk menyambungkan komponen eletronik dan dengan menggunakan timah solder. Berikut bentuk solder dapat dilihat pada **Gambar 3.5.**



Gambar 3. 5 Solder

c. Multimeter

Multimeter di gunakan untuk melihat arus yang mengalir atau tidaknya pada spesimen yang telah di berikan arus. Multimeter yang digunakan adalah multimeter yang biasa di pakai pada keperluan eletronika Adapun gambar multimeter dapat dilihat pada **Gambar 3.6.**



Gambar 3. 6 Multimeter

d. Elektroda

Elektroda ini digunakan untuk penghantar atau yang menjembatani arus listrik. Elektroda ini terdiri dari elektroda acuan (Ag/AgCl), elektroda bantu (platina) dan elektroda kerja Ti6Al4V- ELI. Berikut gambar elektroda pada pengujian Polarisasi Tafel dapat dilihat pada **Gambar 3.7**.



Gambar 3. 7 Elektroda

c. Potensiostat

Potensiostat di gunakan untuk mengontrol perbedaan potensial antara elektroda kerja dan mengukur aliran arus antara elektroda kerja dan elektroda bantu. Potensiostat yang di pakai adalah *Electrochemical Impedance Analyzer*. Pada panah no. 1 di tunjukan laptop yang telah di instal aplikasi pengolahan datanya, pada panah no. 2 di tunjukan *electrochemical impedance analyzer* yang di gunakan untuk memberikan arus saat proses pengambilan datanya dan ini tersambung pada katoda dan anoda. Berikut gambar Potensiostat *Electrochemical Impedance Analyzer* dapat dilihat pada **Gambar 3.8**.



Gambar 3. 8 Potentiostat Electrochemical Impedance Analyzer

### 3.4 Prosedur Penelitian

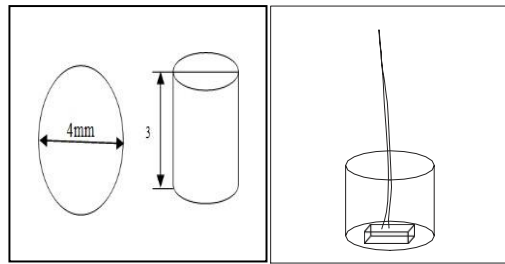
#### a. Studi literatur

Studi literature dilakukan untuk mendapatkan materi dan informasi yang berkaitan dengan penelitian. Studi literature di dapatkan melalui penelitian sebelumnya, buku, jurnal ilmiah, konsultasi dengan pembimbing dan juga melalui internet.

#### b. Penyiapan sampel Ti6Al4V- ELI

Sampel Ti6Al4V- ELI pada awalnya berupa batangan. Selanjutnyadilakukan proses pemotongan sampel dengan gergaji untuk mendapatkan ukuran sampel yang memiliki diameter 4mm dan ketebalan 3 mm. kemudian sampel di solder dengan kabel untuk mengalirkan arus saat pengujian. Lalu dilakukan mounting agar larutan tidak berkontak pada bagian logam yang lain. Selanjutnya permukaan sampel dihaluskan dengan amplas dari kekasaran mesh 400, 800, 1200, 1500, dan 2000 sampai permukaan sampel halus dan mengkilat dan sampel siap di uji.

**Gambar 3.9** merupakan contoh sampel Ti6Al4V-ELI yang telah dilakukan proses pemotongan.



Gambar 3. 9 Sampel Ti6Al4V- ELI

### c. Penyiapan Larutan Hanks

*Simulated Body fluid* (SBF) atau larutan simulasi tubuh yang digunakan sebagai larutannya adalah larutan Hanks. Adapun komposisi dari larutan hanks tersebut adalah NaCl (8 g/l) yang merupakan larutan yang banyak di gunakan untuk mencari laju korosi pada logam, KCl (0,40 g/l) dan CaCl<sub>2</sub> yang masih mengandung unsur garam, komposisi lain dari larutan hanks ini berupa unsur air dan oksigen yang di konstrasikan pada pH 6,8. Komposisi kimia larutan Hanks ditunjukkan pada **Tabel 3.1**.

**Tabel 3. 1** Komposisi kimia larutan Hanks [21]

Komponen	(g/l)
NaCl	8
KCl	0,40
CaCl <sub>2</sub>	0,14
NaHCO <sub>3</sub>	0,35
MgCl <sub>2</sub> .6H <sub>2</sub> O	0,60
MgSO <sub>4</sub> .7H <sub>2</sub> O	0,06
Na <sub>2</sub> HPO <sub>4</sub>	0,06
KH <sub>2</sub> PO <sub>4</sub>	0,60
Glukosa. 2H <sub>2</sub> O	1,0
pH	6,8

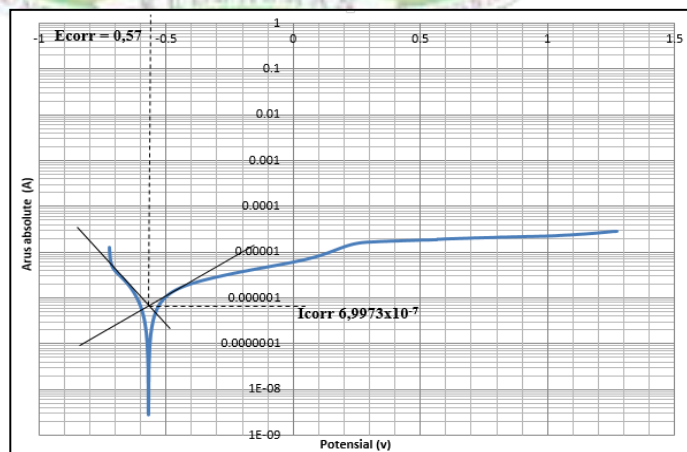
#### d. Menghitung Laju Korosi Menggunakan Metode Polarisasi Tafel

Y Metode Polarisasi Tafel

Dengan metode polarisasi tafel ini untuk menentukan perilaku pasif dan aktifnya laju korosi. Untuk pengujian menggunakan elektroda kerja, elektroda referensi, dan elektroda bantu (Pt, Ag/ AgCl, dan baja). Dimana elektroda di celupkan ke dalam larutan Hanks, kemudian di hubungkan dengan potensiostat yang telah diatur potensial sehingga dapat di peroleh kurva dari potensial (E) dengan arus (I).

Dari data yang di peroleh antara potensial dengan arus di dapatkan sebuah kurva yaitu kurva tafel seperti Gambar. Dimana kurva sebelah kiri merupakan daerah anodik dan daerah sebelah kanan merupakan daerah katodik. Dapat di lihat bahwa daerah anodik arus yang diberikan semakin besar, sedangkan tegangan semakin kecil dan ini terjadi sampai titik jenuh. Setelah melewati titik jenuh proses korosi akan memulai memasuki daerah katodik, dimana antara arus dan tegangan mengalami peningkatan.

Untuk mencari nilai  $I_{corr}$  dan nilai  $E_{corr}$ , di buatlah persamaan garis lurus pada kurva Tafel sehingga adanya garis yang berpotongan dan dari garis perpotongan tersebut di tarik garis vertikal maka akan mendapatkan nilai  $E_{corr}$ . Sedangkan untuk mencari nilai  $I_{corr}$  maka di tarik garis horizontal dan di cari tempat perpotongan garisnya. Dapat dilihat pada **Gambar 3.10**.



**Gambar 3. 10** Cara menentukan nilai  $I_{corr}$  dan  $E_{corr}$  pada kurva Tafel

Perhitungan laju korosi dari Icorr dalam kurva Tafel dihitung dengan menggunakan **Persamaan 2.3**.

**Tabel 3. 2 laju korosi Ti6Al4V- ELI pada temperature kamar dan Ti6Al4V – ELI pada temperature 37° C**

Material	Pengujian	Icorr (A)	Ecorr (mV)	CR (mmpy)
Ti6Al4V- ELI	1			
	2			
	3			
	4			
Ti6Al4V- ELI Temperature 37° C	1			
	2			
	3			
	4			



## BAB IV

### HASIL DAN PEMBAHASAN

Dari hasil pengujian ini akan dijelaskan pada bab 5. Setelah dilakukan pengujian pada topik Pengujian Korosi Ti-6Al-4V - ELI pada Larutan Hank's dengan Metode Polarisasi Tafel. Pengujian pertama yaitu melihat unsur Ti-6Al-4V - ELI dengan menggunakan SEM dan EDX sebelum dilakukan uji Polarisasi Tafel. Selanjutnya melihat unsur Ti-6Al-4V - ELI setelah dilakukannya uji Polarisasi Tafel.

#### 4.1 Pengujian mengamati permukaan Ti-6Al-4V - ELI dengan SEM (Scanning Electron Microscope)

Pengujian ini membutuhkan alat pengujian SEM untuk melihat struktur mikro. Spesimen yang akan diuji adalah Ti-6Al-4V - ELI . Untuk pengujian pertama yaitu Ti-6Al-4V - ELI yang belum diberikan perlakuan korosi, pengujian selanjutnya Ti-6Al-4V - ELI yang sudah diberikan perlakuan korosi dengan temperatur kamar dan temperatur 37 °C di dalam larutan hank's. Setiap perlakuan dilihat perbesaran 1000 kali sehingga terlihat jelas ragam garis seperti yang terlihat pada **Gambar 4.1** berikut ini:



**Gambar 4. 1** Perbesaran 1000 kali dengan SEM, (a) Ti-6Al-4V - ELI sebelum diberi perlakuan korosi, (b) Ti-6Al-4V - ELI setelah diberikan perlakuan korosi dengan temperatur kamar dan (c) Ti-6Al-4V - ELI setelah diberikan perlakuan

Pada **Gambar 4.1** terlihat jelas perbedaan antara yang belum diberikan perlakuan korosi dengan yang sudah diberikan perlakuan korosi. Pada gambar (a) yaitu Ti-6Al-4V - ELI dalam kondisi belum dipengaruhi oleh korosi terlihat garis-garis namun masih dalam kondisi sedikit, Sedangkan garis-garis unsur pengotor (inklusi)/porositas yang sudah diberikan perlakuan korosi pada gambar (b) pada

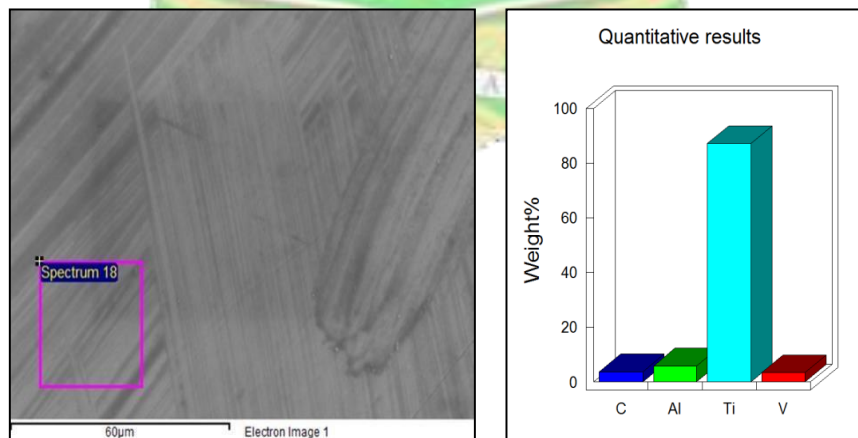
temperatur kamar terlihat garis yang lebih jelas dibandingkan pada gambar (a), ini membuktikan bahwa korosi dan temperatur memiliki pengaruh pada permukaan Ti-6Al-4V -ELI. Pada gambar (c) dalam kondisi temperatur 37°C juga memiliki garis-garis pengotor tetapi tidak sejelas dengan Ti-6Al-4V - ELI temperatur kamar.

#### 4.2 Pengujian komposisi Ti-6Al-4V - ELI dengan EDX (Electron Dispersion X-ray)

Pada pengujian EDX ini lebih kearah pengamatan komposisi material Ti-6Al-4V - ELI. Sebelum melakukan EDX, penguji sudah melakukan pengujian potensiostat pada Ti-6Al-4V - ELI dengan temperatur kamar dan temperatur 37°C di dalam larutan hank's. Dari pengujian EDX yang telah dilakukan mendapatkan beberapa data analisis untuk mengetahui komposisi Ti-6Al-4V - ELI.

##### 4.2.1 Hasil EDX pengujian Ti-6Al-4V - ELI tanpa diberikan perlakuan korosi

Dalam kondisi belum diberikan perlakuan korosi (murni) didapatkan hasil Spectrum 18 Ti-6Al-4V - ELI tanpa perlakuan. Belum terlihat adanya porositas yang berada di permukaan Spectrum 18 dan tangkapan visual dari wilayah spectrum sehingga didapatkan nilai perbandingan masa titanium. Untuk hasil dari pengujian EDX tersebut dapat di lihat pada Gambar 4.2 di bawah ini:

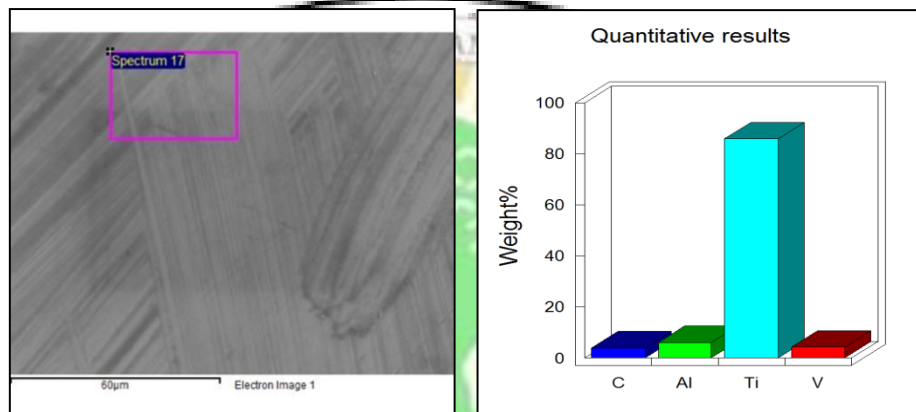


Gambar 4. 2 Spectrum 18 tanpa diberikan perlakuan korosi



Dari gambar yang terlihat masih garis – garis halus dimana ini di sebabkan oleh proses pengampelasan sebelum pengujian. Untuk nilai unsur yang terkandung di dalam material ini dominan Titanium, alumunium, dan Vanadium. Untuk nilai Carbon yang terbaca seharusnya tidak ada dalam nilai massa dari specimen tersebut.

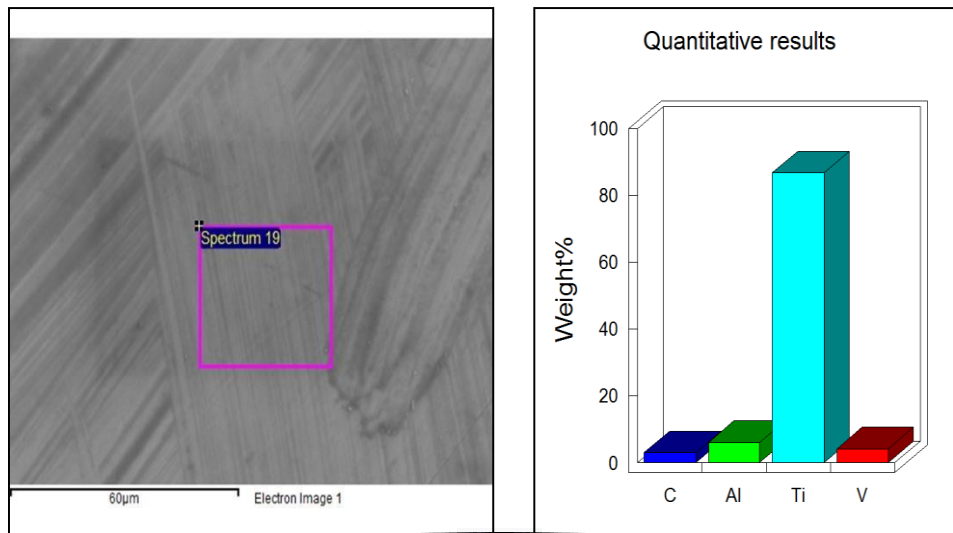
Pada sampel 2 Ti-6Al-4V - ELI tanpa perlakuan di dapatkan massa dan unsur yang terkandung dalam specimen sebelum dilakukan pengujian. Dimana di dapatkan beberapa nilai perbandingan massa dari spesimen yang dapat di lihat pada gambar 4.3 di bawah ini:



**Gambar 4. 3 Spectrum 17 tanpa diberikan perlakuan korosi**

Dari gambar 4.3 pada spectrum 17 di dapatkan massa dari titanium itu 87.17 dengan Alumunium 5.86 dan Vanadium dengan massa 3.28. Akan tetapi juga terdapat unsur yang seharusnya tidak ada dalam specimen dengan massa carbon 3.69 dan permukaan dari specimen terbentuk garis – garis halus yang di sebabkan pengampalasan.

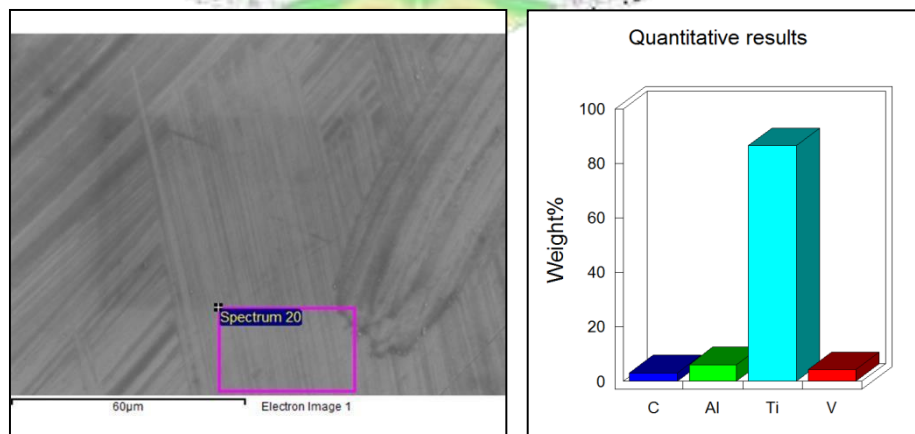
Spectrum 19 Ti-6Al-4V - ELI tanpa perlakuan. Terlihat adanya porositas yang berada di permukaan Spectrum 19 dan tangkapan visual dari wilayah spectrum sehingga didapatkan berapa nilai perbandingan masa titanium dan karbon terlihat pada gambar 4.4 di bawah ini:



Gambar 4. 4spectrum 19 tanpa diberikan perlakuan korosi

Dari gambar 4.4 pada spectrum 19 di dapatkan massa dari titanium itu 86.77 dengan Alumunium 6.07 dan Vanadium dengan massa 4.13. Akan tetapi juga terdapat unsur yang seharusnya tidak ada dalam specimen dengan massa carbon 3.03 dan permukaan dari specimen terbentuk garis – garis halus yang di sebabkan pengampalasan.

Spectrum 20 Ti-6Al-4V - ELI tanpa perlakuan didapatkan nilai massa dari unsur titanium, alumunium, vanadium dan carbon. Dimana massa titanium lebih dominan dari unsur lain sehingga didapatkan berapa nilai perbandingan massa setiap unsurnya terlihat pada gambar 4.5 di bawah ini:



Gambar 4. 5 spectrum 20 tanpa diberikan perlakuan korosi

Dari gambar yang terlihat masih garis – garis halus dimana ini di sebabkan oleh proses pengamplasan sebelum pengujian. Untuk nilai unsur yang terkandung di dalam material ini dominan Titanium (86.58), alumunium (6.07), dan Vanadium (4.27). Untuk nilai Carbon yang terbaca seharusnya tidak ada dalam nilai massa dari specimen tersebut.

Untuk lebih jelas perbandingan hasil yang telah didapatkan maka dapat dilihat pada **tabel 4.1** di bawah ini:

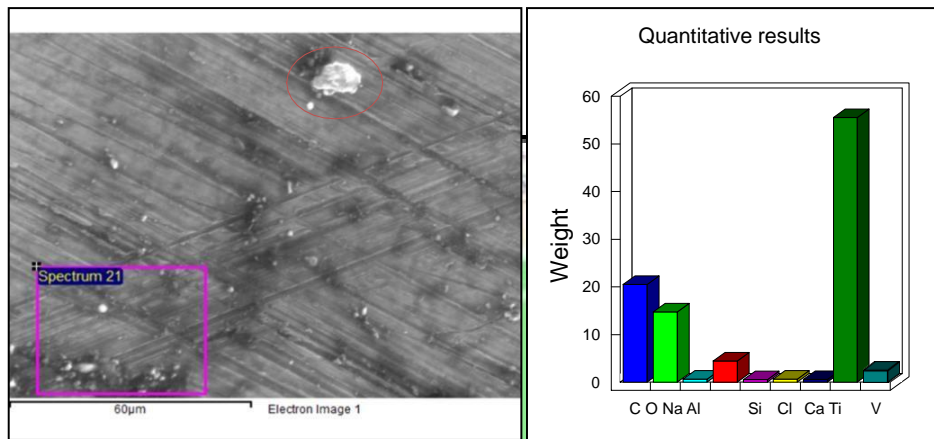
**Tabel 4. 1 Komposisi Ti-6Al-4V - ELI tanpa perlakuan**

Ti-6Al-4V - ELI tanpa perlakuan	Spectrum17		Spectrum18		Spectrum19		Spectrum20	
	%Massa	%Atom	%Massa	%Atom	%Massa	%Atom	%Massa	%Atom
Titanium	87.17	75.55	85.94	74.1	86.77	76.44	86.58	76.18
Carbon	3.69	12.76	3.87	13.31	3.03	10.64	3.08	10.8
Alumunium	5.86	9.01	6.02	9.21	6.07	9.5	6.07	9.48
Vanadium	3.28	2.68	4.17	3.38	4.13	3.43	4.27	3.53
Total	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%

Pada **Tabel 4.1** bisa dilihat perbandingan antara Spectrum 17, Spectrum 18, Spectrum 19 dan Spectrum 20 bahwa unsur yang terdapat pada Ti-6Al-4V - ELI adalah Titanium, Carbon, Alumunium dan Vanadium. Pada komposisi yang didapatkan pada Spectrum 17 memiliki massa titanium 87.17 atomnya 75.55 sedangkan carbon memiliki massa 3.69 dan atomnya 12.76. Pada Spectrum18 memiliki massa titanium 85.94 dan atomnya 74.10 sedangkan carbon memiliki massa 3.87 dan atomnya 13.31. Pada komposisi yang didapatkan pada Spectrum 19 memiliki massa titanium 86.77 atomnya 76.44 sedangkan carbon memiliki massa 3.03 dan atomnya 10.64. Pada komposisi yang didapatkan pada Spectrum 20 memiliki massa titanium 86.58 atomnya 76.18 sedangkan carbon memiliki massa 3.08 dan atomnya 10.8. Terdapat nilai yang bervariasi namun tidak berbeda jauh dari masing-masing sampel.

#### 4.2.2 Hasil EDX pengujian Ti-6Al-4V - ELI dengan perlakuan korosi pada temperatur kamar

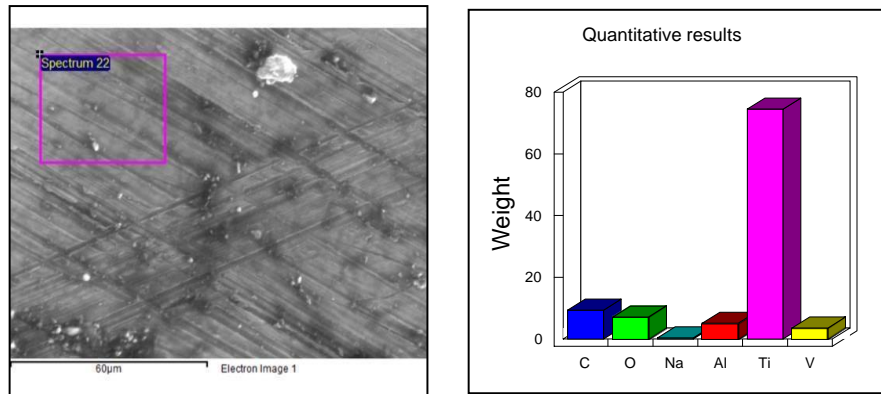
Dalam kondisi diberikan perlakuan korosi dengan temperatur kamar didapatkan hasil Spectrum 21. Di sini berbeda lagi terlihat adanya unsur pengotor yang berbentuk garis pada permukaan Spectrum 21 dan tangkapan visual dari wilayah spectrum sehingga didapatkan berapa nilai perbandingan masa titanium dan karbon yang terlihat pada **Gambar 4.6** di bawah ini:



**Gambar 4. 6** Spectrum 21 dalam kondisi temperatur kamar

Dari grafik komposisi Ti6Al4V - ELI di atas dapat dilihat terdapatnya unsur oksigen pada permukaan material setelah pengujian korosi. Unsur oksigen terbaca pada setiap posisi pengujian yang dilakukan. Dimana unsur oksigen ini lumayan besar dengan massa 14.74% di bandingkan unsur lain selain dari unsur titanium. Hal ini membuktikan telah terjadinya korosi pada permukaan material karena terdapat unsur oksigen. Selain itu terdapat unsur klorida dimana unsur ini dapat memicu pelepasan ion yang dapat mengurangi massa dapat specimen uji.

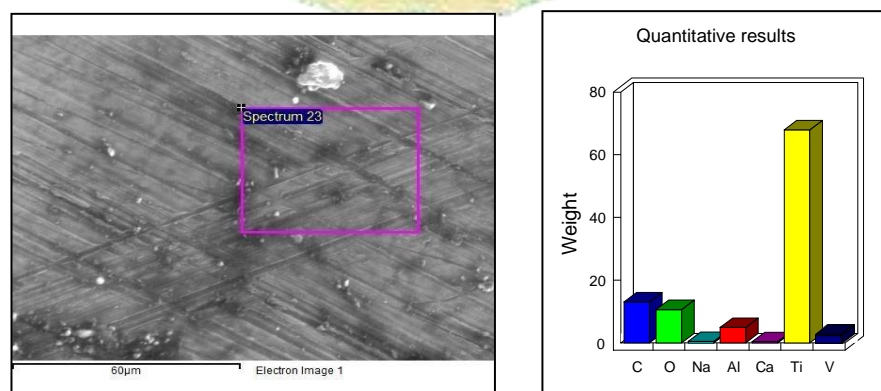
Spectrum 22 dengan perlakuan korosi keadaan temperatur kamar. Di sini terlihat adanya unsur pengotor yang berbentuk garis pada permukaan Spectrum 22 dan tangkapan visual dari wilayah spectrum sehingga didapatkan berapa nilai perbandingan masa titanium dan karbon yang terlihat pada gambar 4.7 di bawah ini:



**Gambar 4. 7 Spectrum 22 dalam kondisi temperatur kamar**

Dari grafik komposisi Ti6Al4V - ELI di atas terdapatnya unsur oksigen pada permukaan material setelah pengujian korosi pada temperatur kamar. Unsur oksigen terbaca pada setiap posisi pengujian yang dilakukan. Dimana unsur oksigen ini lumayan besar dengan massa 7.09% di bandingkan unsur lain selain dari unsur titanium. Hal ini membuktikan telah terjadinya korosi pada permukaan material karena terdapat unsur oksigen. Namun pada spectrum 22 ini tidak terdapat unsur klorida ini, dimana unsur klorida ini dapat memicu timbulnya pitting corrosion.

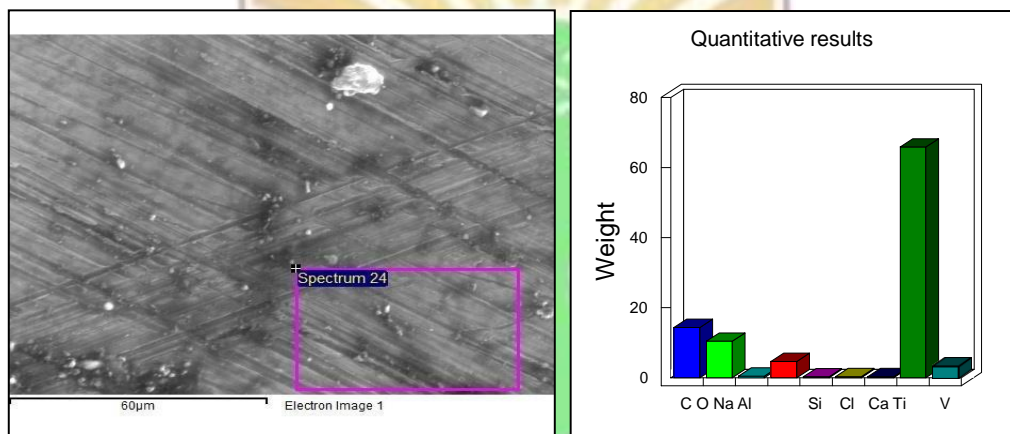
Spectrum 23 dengan perlakuan korosi keadaan temperatur kamar. Di sini terlihat adanya unsur pengotor yang berbentuk garis pada permukaan Spectrum 23 dan tangkapan visual dari wilayah spectrum sehingga didapatkan berapa nilai perbandingan masa titanium dan karbon yang terlihat pada gambar 4.8 di bawah ini:



**Gambar 4.8 Spectrum 23 dalam kondisi temperatur kamar**

Dari grafik komposisi Ti6Al4V - ELI di atas pada spectrum 23 terdapat beberapa unsur selain dari Ti6Al4V – ELI berupa unsur oksigen, natrium, kalsium dan karbon. Dimana unsur oksigen pada permukaan material setelah pengujian korosi ini lumayan besar dengan massa 10.60 di bandingkan unsur lain selain dari unsur titanium. Hal ini membuktikan telah terjadinya korosi pada permukaan material karena terdapat unsur oksigen di materialnya.

Spectrum 24 dengan perlakuan korosi keadaan temperatur kamar. Di sini terlihat adanya unsur pengotor yang berbentuk garis pada permukaan Spectrum 24 dan tangkapan visual dari wilayah spectrum sehingga didapatkan berapa nilai perbandingan masa titanium, silicon dan karbon yang terlihat pada gambar 4.9 di bawah ini:



**Gambar 4. 9**Spectrum 24 dalam kondisi temperatur kamar

Dari grafik komposisi Ti6Al4V - ELI di atas pada spectrum 24 dapat dilihat terdapatnya unsur oksigen pada permukaan material setelah pengujian korosi pada temperature kamar. Unsur oksigen terbaca pada setiap posisi pengujian yang dilakukan. Dimana unsur oksigen ini lumayan besar dengan massa 10.24% di bandingkan unsur lain selain dari unsur titanium. Dari sini dapat membuktikan telah terjadinya korosi pada permukaan material karena terdapat unsur oksigen. Selain itu terdapat unsur klorida, natrium, kalsium, dan silicon yang berikatan saat dilakukan pengujian pada temperature kamar.

Untuk lebih jelas perbandingan hasil yang telah didapatkan maka dapat dilihat pada **Table 4.2** di bawah ini:

**Tabel 4.2** Komposisi Ti-6Al-4V - ELI dengan temperatur kamar

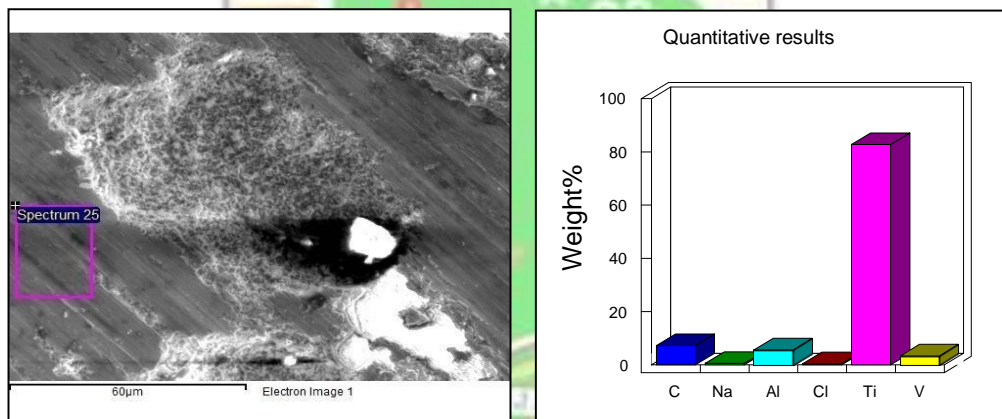
Ti-6Al-4V - ELI temperatur kamar	Spectrum21		Spectrum22		Spectrum23		Spectrum24	
	%Massa	%Atom	%Massa	%Atom	%Massa	%Atom	%Massa	%Atom
Titanium	55.56	28.43	74.50	50.95	67.95	41.33	65.88	39.20
Carbon	20.54	41.92	9.35	25.50	13.07	31.71	14.38	34.11
Silicon	0.50	0.44	-	-	-	-	0.27	0.28
Calcium	0.57	0.35	-	-	0.38	0.27	0.31	0.22
Chlorin	0.63	0.44	-	-	-	-	0.34	0.27
Natrium	0.60	0.65	0.37	0.52	0.44	0.56	0.48	0.60
Oksigen	14.74	22.59	7.09	14.51	10.60	19.31	10.44	18.60
Aluminium	4.43	4.02	5.11	6.21	4.90	5.29	4.63	4.89
Vanadium	2.42	1.16	3.58	2.30	2.66	1.52	3.26	1.82
Total	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%

Pada **Tabel 4.2** bisa dilihat perbandingan antara Spectrum 21, Spectrum 22, Spectrum 23 dan Spectrum 24 bahwa unsur yang terdapat pada Ti-6Al-4V - ELI adalah Titanium, Carbon dan silikon. Pada komposisi yang didapatkan pada Spectrum 1 memiliki massa titanium 92,56 atomnya 75,73 sedangkan carbon memiliki massa 7,44 dan atomnya 24,27. Pada Spectrum 2 memiliki massa titanium 94,20 dan atomnya 80,29 sedangkan carbon memiliki massa 5,80 dan atomnya 19,71. Pada komposisi yang didapatkan pada Spectrum 3 memiliki massa titanium 93,94 atomnya 79,55 sedangkan carbon memiliki massa 6,06 dan atomnya 20,45. Pada komposisi yang didapatkan pada Spectrum 4 memiliki massa titanium 92,21 atomnya 75,34 sedangkan carbon memiliki massa 7,40 dan atomnya 24,11 tetapi di

sampel 4 ini memiliki kandungan silicon yaitu dengan massa 0,40 dan atom 0,55 mungkin disebabkan adanya tersisa bekas resin. Terdapat nilai massa yang paling terendah dan massa carbon yang paling tinggi dibandingkan dengan Ti-6Al-4V - ELI tanpa perlakuan dan Ti-6Al-4V - ELI temperatur 37 °C

#### 4.2.3 Hasil EDX pengujian Ti-6Al-4V - ELI dengan perlakuan korosi pada temperatur 37 °C

Dalam kondisi diberikan perlakuan korosi Ti-6Al-4V - ELI dengan temperatur 37 °C yang didapatkan pada Spectrum 25. Di sini terlihat adanya unsur pengotor yang berbentuk garis pada permukaan Spectrum 25 dan tangkapan visual dari wilayah spectrum didapatkan hampir sama dengan hasil visual pada spectrum temperatur kamar, diperoleh berapa nilai perbandingan masa titanium dan karbon yang terlihat pada **Gambar 4.10** di bawah ini:

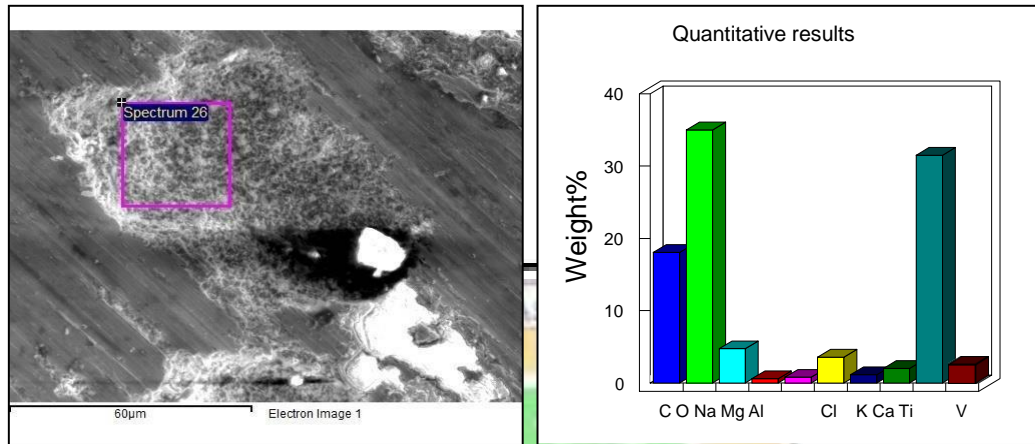


**Gambar 4.10** Spectrum 25 dalam kondisi temperatur 37 °C

Dari grafik komposisi Ti6Al4V - ELI di atas pada spectrum 25 terdapat beberapa unsur selain dari unsur Ti6Al4V – ELI, dimana unsur ini ada setelah perlakuan korosi terjadi pada temperatur 37. Adapun unsur yang terdapat adalah klorida, natrium, dan karbon. Dimana unsur klorida pada permukaan material ini bermassa 0.40%, unsur klorida yang berupa ion  $Cl^-$  juga merupakan pemicu terjadinya pelepasan ion yang menyebabkan kehilangan berat dari Ti6Al4V – ELI.



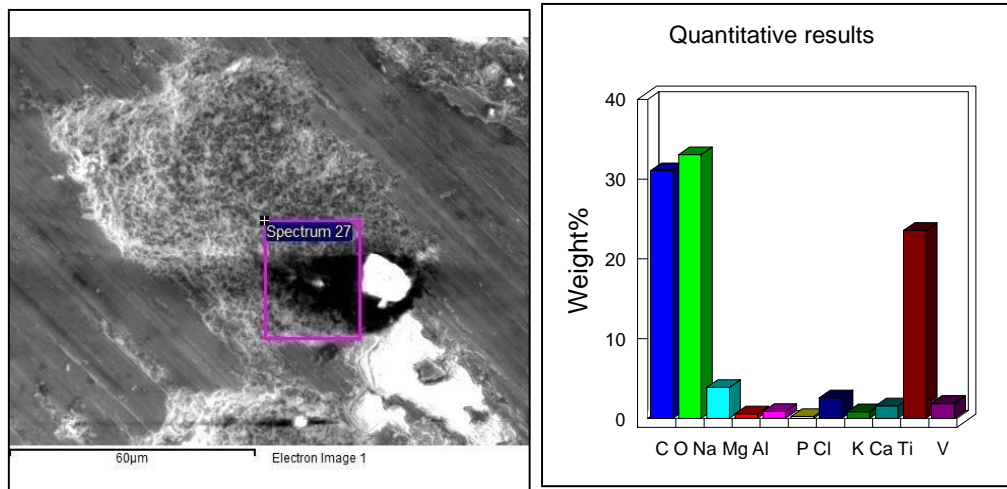
Spectrum 26 dengan perlakuan korosi keadaan temperatur  $37^{\circ}$  C. Di sini terlihat adanya unsur pengotor yang berbentuk garis pada permukaan Spectrum 26 dan tangkapan visual dari wilayah spectrum sehingga didapatkan berapa nilai perbandingan masa titanium dan karbon yang terlihat pada **Gambar 4.11** di bawah ini:



**Gambar 4.11** Spectrum 26 dalam kondisi temperatur  $37^{\circ}$  C

Dari grafik komposisi Ti6Al4V - ELI di atas pada spectrum 26 terdapatnya unsur oksigen pada permukaan material setelah pengujian korosi pada temperature 37. Unsur oksigen terbaca pada setiap posisi pengujian yang dilakukan. Dimana unsur oksigen ini lumayan besar dengan massa 35.00% di bandingkan unsur lain. Dari sini dapat membuktikan telah terjadinya korosi pada permukaan material karena terdapat unsur oksigen. Selain itu terdapat unsur klorida, natrium, kalsium, dan magnesium yang berikatan saat dilakukan pengujian korosi pada temperature 37.

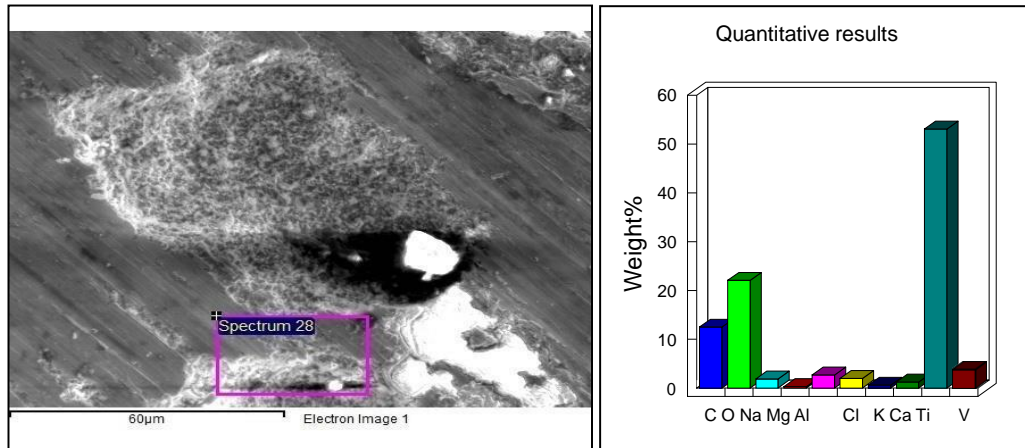
Spectrum 27 dengan perlakuan korosi keadaan temperatur  $37^{\circ}$  C. Di sini terlihat adanya unsur pengotor yang berbentuk garis pada permukaan Spectrum 27 dan tangkapan visual dari wilayah spectrum sehingga didapatkan berapa nilai perbandingan masa titanium dan karbon yang terlihat pada **Gambar 4.12** di bawah ini:



**Gambar 4. 8** Spectrum 27 dalam kondisi temperatur 37 °C

Dari grafik komposisi Ti6Al4V - ELI di atas pada spectrum 27 dapat dilihat terdapatnya unsur oksigen pada permukaan material setelah pengujian korosi pada temperature 37. Unsur oksigen terbaca pada setiap posisi pengujian yang dilakukan. Dimana unsur oksigen ini lumayan besar dengan massa 33.07% di bandingkan unsur lain. Dari sini dapat membuktikan telah terjadinya korosi pada permukaan material karena terdapat unsur oksigen. Selain itu terdapat unsur klorida, natrium, kalsium, magnesium, kalium, fosfor dan carbon yang berikatan saat dilakukan pengujian pada temperature 37. Dapat dilihat dari gambar di atas ketika unsur oksigen lebih besar membuat permukaan pada specimen akan rentan terserang korosi.

Spectrum 28 dengan perlakuan korosi keadaan temperatur 37 °C. Di sini terlihat adanya unsur pengotor yang berbentuk garis pada permukaan Spectrum 4 dan tangkapan visual dari wilayah spectrum sehingga didapatkan berapa nilai perbandingan masa titanium dan karbon yang terlihat pada **Gambar 4.13** di bawah ini:



Gambar 4. 9 Spectrum 28 dalam kondisi temperatur 37 C

Dari grafik komposisi Ti6Al4V - ELI di atas pada spectrum 27 dapat dilihat terdapatnya unsur oksigen pada permukaan material setelah pengujian korosi pada temperature 37. Unsur oksigen terbaca pada setiap posisi pengujian yang dilakukan. Dimana unsur oksigen ini lumayan besar dengan massa 22.07% di bandingkan unsur lain. Dari sini dapat membuktikan telah terjadinya korosi pada permukaan material karena terdapat unsur oksigen. Selain itu terdapat unsur klorida, natrium, kalsium, magnesium, kalium, dan carbon yang berikatan saat dilakukan pengujian pada temperature 37.

Untuk lebih jelas perbandingan hasil yang telah didapatkan maka dapat dilihat pada Tabel 4.3 di bawah ini:

Tabel 4. 3 Komposisi Ti-6Al-4V - ELI dengan temperatur 37° C

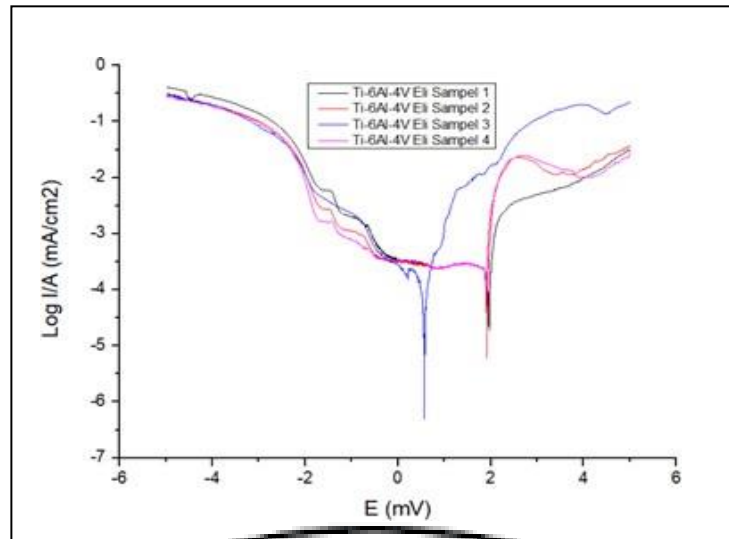
Ti-6Al-4V - ELI 37 C	Spectrum25		Spectrum 26		Spectrum27		Spectrum28	
	%Massa	%Atom	%Massa	%Atom	%Massa	%Atom	%Massa	%Atom
Titanium	82.79	65.41	31.49	13.58	23.56	8.87	53.04	28.43
Carbon	7.25	22.83	18.06	31.06	31.06	46.65	12.49	26.71
Clorin	0.4	0.43	3.6	2.09	2.56	1.3	1.98	1.43
Natrium	0.54	0.9	4.76	4.27	3.86	3.03	1.86	2.07
Vanadium	3.36	2.49	2.5	1.01	1.87	0.66	3.73	1.88
Kalium	-	-	1.18	0.62	0.82	0.38	0.6	0.39

Ti-6Al-4V - ELI 37 C	Spectrum25		Spectrum 26		Spectrum27		Spectrum28	
Magnesium	-	-	0.61	0.52	0.56	0.42	0.29	0.31
Oksigen	-	-	35	45.19	33.07	37.29	22.07	35.43
Alumunium	5.66	7.94	0.81	0.62	0.86	0.58	2.68	2.55
Kalsium	-	-	2	1.03	1.55	0.7	1.26	0.8
Fosfor	-	-	-	-	0.23	0.13	-	-
Total	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%

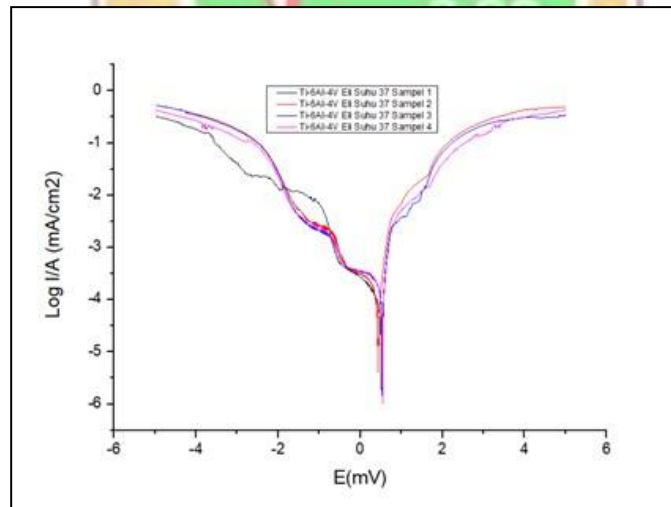
Pada tabel 4.1 bisa dilihat perbandingan antara Spectrum 1, Spectrum 2, Spectrum 3 dan Spectrum 4 bahwa unsur yang terdapat pada Ti-6Al-4V -ELI adalah Titanium dan Carbon. Pada komposisi yang didapatkan pada Spectrum 1 memiliki massa titanium 94,32 dan atomnya 80,63 sedangkan carbon memiliki massa 5,68 dan atomnya 19,37. Pada Spectrum 2 memiliki massa titanium 94,70 dan atomnya 81,76 sedangkan carbon memiliki massa 5,30 dan atomnya 18,24. Pada komposisi yang didapatkan pada Spectrum 3 memiliki massa titanium 95,77 atomnya 85,04 sedangkan carbon memiliki massa 4,23 dan atomnya 14,96. Pada komposisi yang didapatkan pada Spectrum 4 memiliki massa titanium 94,68 atomnya 81,70 sedangkan carbon memiliki massa 5,32 dan atomnya 18,30. Terdapat nilai massa titanium yang lebih besar dan massa carbon sedikit dibandingkan Ti-6Al-4V - ELI dalam perlakuan temperatur kamar.

#### 4.3 Polarisasi dengan Potensiostat

Pada pengujian polarisasi ini menggunakan media potensiostat yang menjadi judul tugas akhir yaitu metode 3 cell electrode. Berdasarkan pengujian petensiodynamik pada analisa tafel tersebut tiap arus diberikan sebesar 1 mV dalam 1 detik. Dalam pengolahan data untuk mendapatkan kurva tafel ini digunakan Microsoft excel sebagai software untuk mendapatkan kurva tafel ini. Pada kurva tafel juga ditampilkan besaran arus dan tegangan ketika proses pengujian korosi dilakukan. Pada hasil pengujian ini ada 2 model yaitu perlakuan dengan temperatur kamar dan perlakuan dengan temperatur 37 seperti pada gambar 4.14 berikut ini:



- (a) Kurva temperatur kamar mendapatkan garis kurva pada setiap sampel uji, garis yang sejajar antara satu sama lain terlihat pada bagian anodik arus yang diberikan besar sedangkan tegangannya kecil sampai memasuki daerah katodik arus dan tegangan akan meningkat kembali.



- (b) Kurva temperatur 37°C mendapatkan garis kurva pada setiap sampel uji, tidak terlalu berbeda dengan kurva temperatur kamar, garis yang sejajar antara satu sama lain terlihat pada bagian anodik arus yang diberikan besar sedangkan tegangannya kecil dan setelah memasuki daerah katodik arus dan tegangan akan meningkat kembali.

**Gambar 4. 10(a) Kurva tafel Ti-6Al-4V - ELI dengan temperatur kamar dan (b) kurva tafel Ti-6Al-4V - ELI dengan temperatur 37°C**

Pada kurva tafel di atas menunjukkan daerah bagian kiri merupakan daerah anodik dan daerah bagian kanan merupakan daerah katodik. Pada daerah anodik terlihat arus yang diberikan sampai berada dititik jenuhnya. Selanjutnya proses korosi yang terjadi dan memasuki daerah katodik yang mana arus dan tegangannya meningkat.

Kurva tafel ini berguna untuk mencari nilai  $I_{corr}$  dan  $E_{corr}$ nya dengan membuat suatu garis berpotongan agar bisa menemukan titik perpotongan. Pada titik perpotongan tersebut ditarik ke atas untuk mendapatkan  $E_{corr}$ nya dan ke samping untuk nilai  $I_{corr}$ nya. Untuk mendapatkan nilai  $I_{corr}$  maka digunakan mencari nilai laju korosi menggunakan persamaan:


$$CR = K_1 \frac{I_{corr} EW}{\rho}$$

Dimana : CR = laju korosi (mmpy)

$K_1 = 3,27 \times 10^{-3} \text{ mm g}/\mu\text{A Cm yr}$

$I_{corr}$  = rapat arus saat  $E_{corr}$

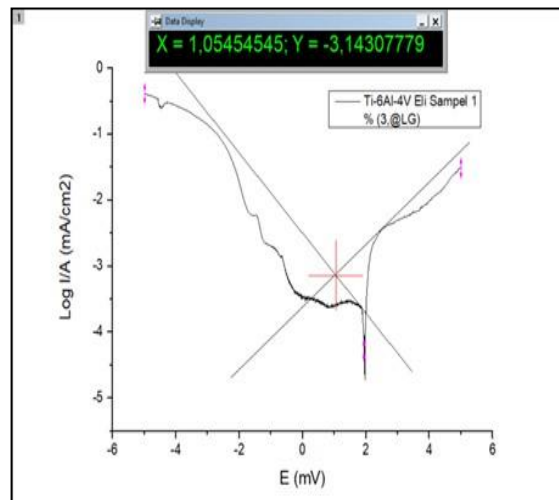
P = massa jenis ( $\text{g}/\text{cm}^3$ )

EW = berat jenis ( *Equivalent Weight* )

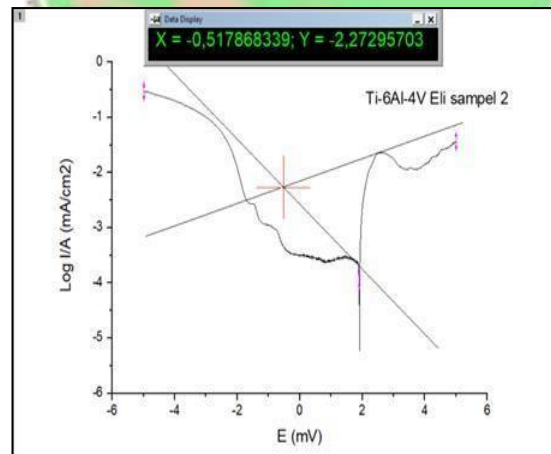
Dengan perumusan laju korosi di atas dilakukan pada setiap sampel untuk mengetahui CRnya.

### 4.3.1 Kurva tafel Ti-6Al-4V - ELI untuk temperatur kamar

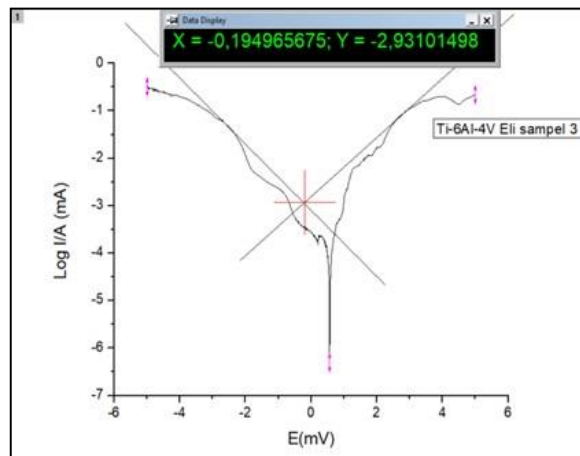
Pada kurva temperatur kamar dirincikan terpisah agar terlihat jelas kurvanya pada setiap masing - masing sampel. Pada bagian anodik arus yang diberikan besar sedangkan tegangannya mengecil sampai memasuki daerah katodik arus dan tegangan akan meningkat, dan garis kurva terluar akan diambil dan dibuat garis perpotongan agar mendapatkan nilai laju korosinya, terlihat pada **Gambar 4.15** di bawah ini:



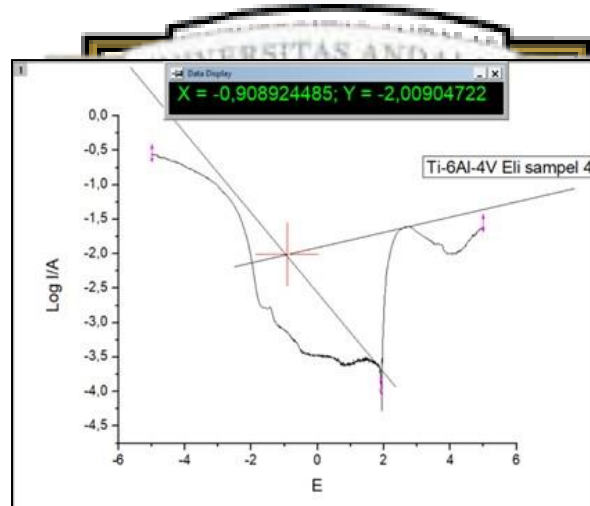
(a)



(b)



(c)



(d)

**Gambar 4. 11 Kurva tafel dalam temperatur kamar (a) sampel 1 Ti-6Al-4V - ELI , (b) sampel 2 Ti-6Al-4V - ELI , (c) sampel 3 Ti-6Al-4V - ELI dan (d) sampel 4 Ti-6Al-4V – ELI.**

Perhitungan

a) Laju korosi Ti-6Al-4V - ELI sampel 1 temperatur kamar

Diketahui:  $E_{corr} = 1,05\text{mV}$  dan  $I_{corr} = 7,1932 \times 10^{-7} \text{ (mA/cm}^2\text{)}$

Maka:  $CR = 3,27 [(7,1932 \times 10^{-7} \times 11,97) / 6,28]$

$$= 4,48329 \times 10^{-9} \text{ mmpy}$$

b) Laju korosi Ti-6Al-4V - ELI sampel 2 temperatur kamar



Diketahui:  $E_{corr} = 0,52 \text{ mV}$  dan  $I_{corr} = 5,33388 \times 10^{-6} \text{ (mA/cm}^2\text{)}$

Maka:  $CR = 3,27 [(5,33388 \times 10^{-6} \times 11,97) / 6,63]$

$$= 3,14894 \times 10^{-8} \text{ mmpy}$$

c) Laju korosi Ti-6Al-4V - ELI sampel 3 temperatur kamar

Diketahui:  $E_{corr} = 0,19 \text{ mV}$  dan  $I_{corr} = 1,17215 \times 10^{-6} \text{ (mA/cm}^2\text{)}$

Maka:  $CR = 3,27 [(1,17215 \times 10^{-6} \times 11,97) / 6,59]$

$$= 6,95966 \times 10^{-9} \text{ mmpy}$$

d) Laju korosi Ti-6Al-4V - ELI sampel 4 temperatur kamar

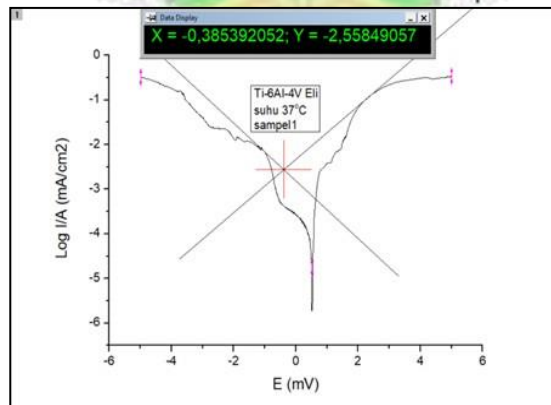
Diketahui:  $E_{corr} = 0,91 \text{ mV}$  dan  $I_{corr} = 9,79383 \times 10^{-6} \text{ (mA/cm}^2\text{)}$

Maka:  $CR = 3,27 [(9,79383 \times 10^{-6} \times 11,97) / 7,26]$

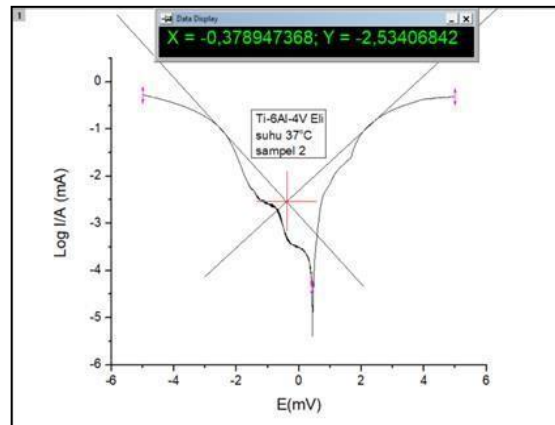
$$= 5,27703 \times 10^{-8} \text{ mmpy}$$

#### 4.3.2 Kurva tafel Ti-6Al-4V - ELI untuk temperatur 37°C

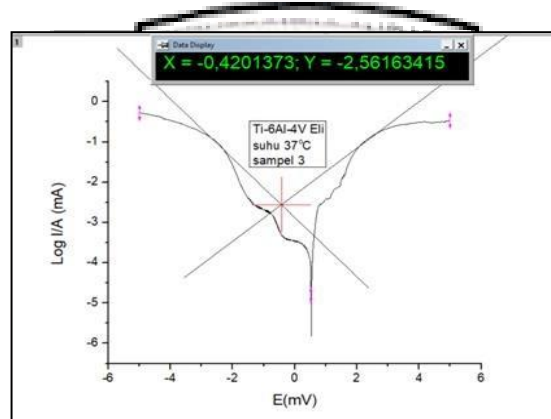
Pada kurva temperatur 37°C hampir sama kurvanya dengan temperatur kamar, kurva dirincikan terpisah agar terlihat jelas kurvanya pada setiap masing-masing sampel. Pada bagian anodik arus yang diberikan besar sedangkan tegangannya mengecil sampai memasuki daerah katodik arus dan tegangan akan meningkat, dan garis kurva terluar akan diambil dan dibuat garis perpotongan agar mendapatkan nilai laju korosinya, terlihat pada gambar 4.16 di bawah ini:



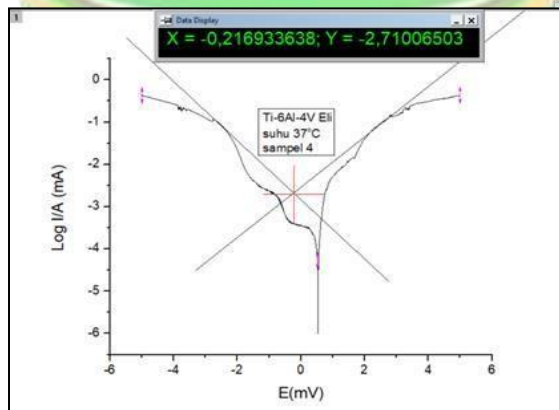
(a)



(b)



(c)



(d)

Gambar 4. 12 Kurva tafel dalam temperatur 37 °C (a) sampel 1 Ti-6Al-4V - ELI, (b) sampel 2 Ti-6Al-4V - ELI, (c) sampel 3 Ti-6Al-4V - ELI dan (d) sampel 4 Ti-6Al-4V - ELI

Perhitungan

a) Laju korosi Ti-6Al-4V - ELI sampel 1 temperatur 37 °C

Diketahui:  $E_{corr} = 0,38 \text{ mV}$  dan  $I_{corr} = 2,76382 \times 10^{-6} \text{ (mA/cm}^2\text{)}$

Maka:  $CR = 3,27 [(2,76382 \times 10^{-6} \times 11,97) / 5,52]$

$$= 1,95682 \times 10^{-8} \text{ mmpy}$$

b) Laju korosi Ti-6Al-4V - ELI sampel 2 temperatur 37 °C

Diketahui:  $E_{corr} = 0,37 \text{ mV}$  dan  $I_{corr} = 2,92369 \times 10^{-6} \text{ (mA/cm}^2\text{)}$

Maka:  $CR = 3,27 [(2,92369 \times 10^{-6} \times 11,97) / 5,24]$

$$= 2,18061 \times 10^{-8} \text{ mmpy}$$

c) Laju korosi Ti-6Al-4V - ELI sampel 3 temperatur 37 °C

Diketahui:  $E_{corr} = 0,42 \text{ mV}$  dan  $I_{corr} = 2,74388 \times 10^{-6} \text{ (mA/cm}^2\text{)}$

Maka:  $CR = 3,27 [(2,74388 \times 10^{-6} \times 11,97) / 5,86]$

$$= 1,83014 \times 10^{-8} \text{ mmpy}$$

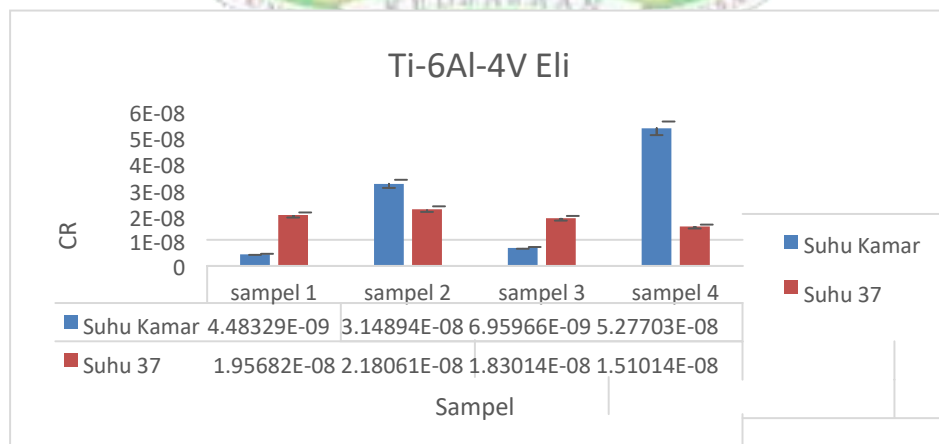
d) Laju korosi Ti-6Al-4V - ELI sampel 4 temperatur 37 °C

Diketahui:  $E_{corr} = 0,21 \text{ mV}$  dan  $I_{corr} = 1,94955 \times 10^{-6} \text{ (mA/cm}^2\text{)}$

Maka:  $CR = 3,27 [(1,94955 \times 10^{-6} \times 11,97) / 5,05]$

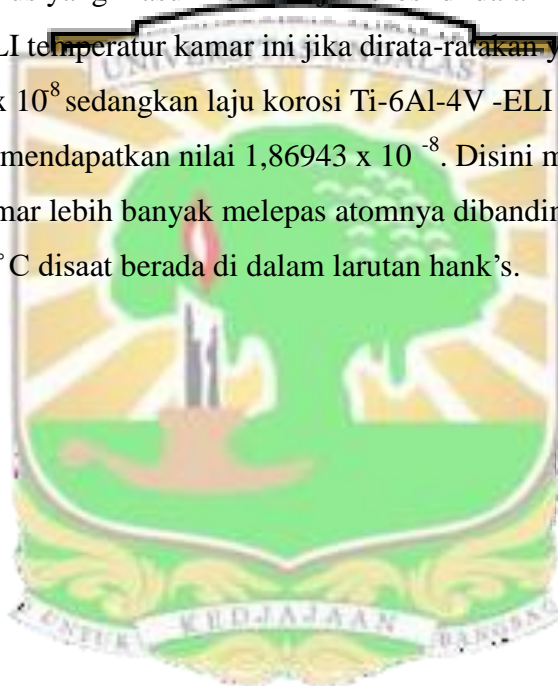
$$= 1,51014 \times 10^{-8} \text{ mmpy}$$

Hasil dari persamaan di atas bisa dilihat pada **Gambar 4.17** berikut:



**Gambar 4. 13** Perbandingan tafel plot (polarisasi katodik) Ti-6Al-4V - ELI temperatur kamar dan temperatur 37 °C

Dari grafik di atas pada **Gambar 4.15** terdapat nilai dari masing-masing sampel, yaitu sampel 1 temperatur kamar memiliki nilai  $4,48329 \times 10^{-9}$  mmpy sedangkan temperatur  $37^\circ\text{C}$  memiliki nilai  $1,69577 \times 10^{-8}$ . Pada sampel 2 temperatur kamar memiliki nilai  $3,14894 \times 10^{-8}$  sedangkan temperatur  $37^\circ\text{C}$  memiliki nilai  $1,24027 \times 10^{-8}$ . Pada sampel 3 temperatur kamar memiliki nilai  $6,959966 \times 10^{-9}$  sedangkan temperatur  $37^\circ\text{C}$  memiliki nilai  $1,66592 \times 10^{-8}$ . Ini membuktikan bahwa laju korosi pada temperatur kamar lebih besar dibandingkan dengan temperatur  $37^\circ\text{C}$ , tetapi pada sampel ke 4 bisa dilihat hasil laju korosi temperatur kamar yang lebih kecil dibandingkan dengan temperatur  $37^\circ\text{C}$  karena arus yang masuk kecil. Laju korosi di dalam larutan Hank's pada Ti-6Al-4V -ELI temperatur kamar ini jika dirata-ratakan yaitu mendapatkan nilai  $2,39257 \times 10^{-8}$  sedangkan laju korosi Ti-6Al-4V -ELI temperatur  $37^\circ\text{C}$  jika dirata-ratakan mendapatkan nilai  $1,86943 \times 10^{-8}$ . Disini menunjukkan bahwa temperatur kamar lebih banyak melepas atomnya dibandingkan dengan temperatur  $37^\circ\text{C}$  disaat berada di dalam larutan Hank's.



## BAB V

### PENUTUP

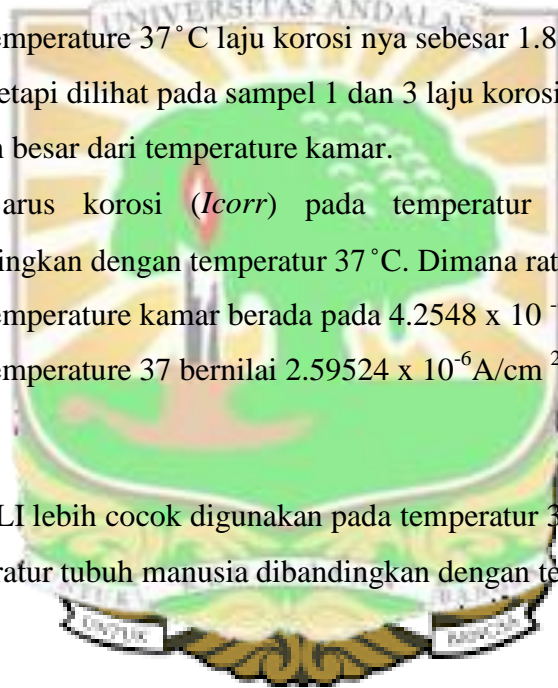
#### 5.1 Kesimpulan

Dari hasil penelitian Ti-6Al-4V - ELI dalam larutan Hank's dengan temperatur kamar dan temperatur 37 °C masing-masing dengan 4 sampel pengujian dapat disimpulkan:

1. Laju korosi pada temperatur kamar lebih cepat dibandingkan dengan temperatur 37 °C di dalam larutan Hank's. Dimana laju korosi pada temperatur kamar memiliki rata – rata  $2.39257 \times 10^{-8}$  mmpy, sedangkan pada temperature 37 °C laju korosi nya sebesar  $1.86943 \times 10^{-8}$  mmpy. Akan tetapi dilihat pada sampel 1 dan 3 laju korosi pada temperature 37 C lebih besar dari temperature kamar.
2. Nilai arus korosi (*I<sub>corr</sub>*) pada temperatur kamar lebih besar dibandingkan dengan temperatur 37 °C. Dimana rata – rata nilai *I<sub>corr</sub>* pada temperature kamar berada pada  $4.2548 \times 10^{-6}$  A/cm<sup>2</sup> sedangkan pada temperature 37 bernilai  $2.59524 \times 10^{-6}$  A/cm<sup>2</sup>.

#### 5.2 Saran

Ti-6Al-4V - ELI lebih cocok digunakan pada temperatur 37 ° C atau sesuai dengan temperatur tubuh manusia dibandingkan dengan temperatur kamar.



## DAFTAR PUSTAKA

- [1] B. P. Statistik, "Jumlah Kecelakaan, Koban Mati, Luka Berat, Luka Ringan, dan Kerugian Materi yang Diderita Tahun 1992-2017," 2017. [Online]. Available: <https://www.bps.go.id/indicator/17/513/1/jumlah-kecelakaan-korban-mati-luka-berat-luka-ringan-dan-kerugian-materi.html>. [Diakses Rabu April 2022].
- [2] Z. Prihatini, "Metode baru penyembuhan patah tulang," 2015. [Online]. Available: <https://www.kompas.com/sains/read/2021/12/30/173100023/implan-tulang-jadi-solusi-inovatif-mengatasi-patah-tulang?page=all..> [Diakses 12 April 2022].
- [3] Perren, M. Stephen, M. Robert dan P. A. Ortrun, Principles of Fracture Management : Implants and Materials in Fracture Fixation, NewYork: AOPublishing, 2000.
- [4] Gunawarman, A. Jon dan A. Sanny, "Behaviour of Titanium Corrosion in Artificial Saliva Modified Solution For Orthodontic Applications," *International Journal On Advanced Science, Engineering, and Information Technoligy*, 2015.
- [5] K. Rey, J. Rudy dan P. Depi, Artists, *Analisis Pelepasan Ion Ni dan Cr Kawat Ortodontik Stainless Steel yang Direndam dalam Minuman Berkarbonasi*. [Art]. Fakultas Kedokteran gigi.
- [6] M. T. Mohammed, K. Zahid A dan S. Arshad N, "Beta Titanium Alloys: The Lowest Elastic Modulus for Biomedical Applications: A Review"," *World Academy of Science Engineering and Technology ta Journal of Chemical, Nuclear, Metallurgical and Material Engineering* 8, p. 8, 2014.
- [7] M. Niinomi, T. Hattori, K. Morikawa, T. Kasuga, A. Suzuki, H. Fukui dan S. Niwa, "Development of Low Rigidity  $\beta$ -type Titanium Alloy for Biomedical Applications, *Material Transactions* 43," *Material Transactions*, pp. No. 12: 2970-2977, 2002.

- [8] V. Rahman, S. Nagarajan dan N. Rajendran, "Electrochemical Impedance Spectroscopic Characterisation of Passive Film Formed Over  $\beta$  Ti-29Nb-13Ta-4,6Zr Alloy,," *Elsevier Electrochemistry Communications* 8, pp. 1309-1314, 2006.
- [9] Gunawarman, J. Affi, Y. Yetri dan D. Giatmana, "Corrosion Resistance of New Beta Type Titanium Alloy, Ti-29Nb-13Ta-4.6Zr (TNTZ) in Artificial Saliva Solution,," *International Journal on Advanced Science, Engineering and Informational technology*, 2018.
- [10] Gunawarman, A. Refieska, Ilhamdi, J. Affi, K. Cho, M. Nakai, H. Hermawan dan M. Niinomi, "Corrosion behavior of new beta type Ti-29Nb-13Ta-4.6Zr alloy in simulated body fluids solution, Frontiers Corrosion behavior of new beta type Ti-29Nb-13Ta-4.6Zr alloy in simulated body fluids solution,," 2016.
- [11] Brady, S. George, Clauser dan R. Henry, *Material Hand Book* edisi ke 11, New York: McGraw-Hill, 1979.
- [12] Anonim, Titanium, *Britania: Encyclopedia Britannica*, 2006.
- [13] Lutjering, "Microstructure and Mechanical Properties of Titanium Alloys,," *Jurnal Technical University Hamburg*, 1998.
- [14] B. C, R. P, Riccadis FD dan E. Milella, "Comparative Investigation of the Surface Properties of Commercial Titanium Dental Implants,," *J. Material in Medic*, p. Part 1 : Chemical Composition, 2002.
- [15] ., Campbell, "Manufacturing Technology for Aerospace Structural Materials (edisi ke-1st),," *Elsevier*, 2006.
- [16] Anonim, "Introduction to Selection of Titanium Alloys. A Technical Guide 2nd Edition,," *ASM International*, 2000.
- [17] M. Niinomi, "Recent Research and Development in Titanium Alloys for Biomedical Application and Healthcare Goods,," *Toyohashi : Department of Production System Engineering*, 2003.
- [18] E. Mohseni, E. Zalnezad dan A.R. Bushroa, *Comparative Investigation on The Adhesion of Hydroxyapatite Coating on Ti-6Al-4V Implant: A Review Paper*, Kuala Lumpur 50603, Malaysia: University Of Malaya, 2013.

- [19] Arcam, Ti-6al-4v Eli - Titanium Alloy.
- [20] H. Reza, A. Bidhendi dan M. Pournvari, Corrosion Study Of Metallic Biomaterials In Simulated Body Fluid,, Serbia: AssociationofMetallurgicalEngineersofSerbiaAmes, 2011.
- [21] L. Benea, E. Mardare, M. Mardare dan J.-P. Celis, “Preparation of Titanium Oxide and Hydroxyapatite on Ti-6Al-4V Alloy Surface and Electrochemical Behaviour in Bio-Simulated Fluid Solution,” *Corrosion Science*, 2013.
- [22] N. Nasution, AnalisaKorosiBajaStruktur, Bandung: Institut Teknologi Bandung, 2011.
- [23] M. Karim, KarakteristikKorosiProdukHasilPembentukan, Semarang: Univeristas Diponegoro, 2010.
- [24] T. KR dan C. J, Korosi Untuk Mahasiswa Dan Rekayasawan, Jakarta: Gramedia Pustaka Utama, 1991.
- [25] Anonim, Methallographie Fallberichte, Jerman, 2015.
- [26] J. Andersson dan Oscalklamer, CHALMERS:NacelleOptimisation of Underwater Power Plant, Sweden: ChalmersUniversityof Technology, 2015.
- [27] M. G. Fontana, CorrosionEngineering,3rdEdition, Houston: McGraw-Hill, 1986.
- [28] D. Jones, Handbook of Corrosion, Singapore: Prentice Hall, 1997.
- [29] M. G. Fontana, Corrosion engineering, M. G. Fontana, : McGraw-Hill Education, 2005.
- [30] M. S. A. E. M. a. S. S. A. Nikitasari, “Evaluasi Inhibitor Sodium Nitrit di dalam Larutan Beton Sintetis,” *Jusami/ Indonesian Journal of Materials Science*, pp. vol. 16, no. 1, pp. 12-18, 2018 .