



TUGAS AKHIR - VM180629

**PENGARUH PELAPISAN TiN PADA SAMPEL IMPLAN
TULANG TERHADAP KARAKTERISTIK PERMUKAAN
SAMPEL IMPLAN TULANG**

**MAUDUDI YOGA DWI PRASETYA
NRP. 1021160000002**

**Dosen Pembimbing 1
Ir. Nur Husodo, M.S.
196110421 198701 1 001**

**Dosen Pembimbing 2
Dr. Atria Pradityana, ST. MT.
19851124 200912 2 008**

**DEPARTEMEN TEKNIK MESIN INDUSTRI
FAKULTAS VOKASI
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA
2019**



TUGAS AKHIR - VM180629

**PENGARUH PELAPISAN TiN PADA SAMPEL IMPLAN
TULANG TERHADAP KARAKTERISTIK PERMUKAAN
SAMPEL IMPLAN TULANG**

**MAUDUDI YOGA DWI PRASETYA
NRP. 10211600000002**

**Dosen Pembimbing 1
Ir. Nur Husodo, M.S.
196110421 198701 1 001**

**Dosen Pembimbing 2
Dr. Atria Pradityana, ST. MT.
19851124 200912 2 008**

**DEPARTEMEN TEKNIK MESIN INDUSTRI
FAKULTAS VOKASI
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA
2019**



FINAL PROJECT - VM180629

**THE INFLUENCE OF TiN COATING ON
CHARACTERISTICS OF SURFACE SAMPLES BONE
IMPLANT**

**MAUDUDI YOGA DWI PRASETYA
NRP. 10211600000002**

**Counselor Lecturer 1
Ir. Nur Husodo, M.S.
196110421 198701 1 001**

**Counselor Lecturer 2
Dr. Atria Pradityana, ST. MT.
19851124 200912 2 008**

**INDUSTRIAL MECHANICAL ENGINEERING
DEPARTMENT
FACULTY OF VOCATIONAL
SEPULUH NOPEMBER INSTITUTE OF TECHNOLOGY
SURABAYA
2019**



**LEMBAR PERNYATAAN TIDAK
MELAKUKAN PLAGIASSI**

PERNYATAAN TIDAK MELAKUKAN PLAGIASI

Saya yang bertanda tangan di bawah ini :

Nama : Maududi Yoga Dwi Prasetya
NRP : 1021160000002
Program Studi : Diploma III Teknik Mesin
Fakultas : Vokasi

Menyatakan dengan sesungguhnya bahwa Tugas Akhir (TA) yang saya tulis ini benar-benar tulisan saya, dan bukan merupakan hasil plagiasi. Apabila di kemudian hari terbukti atau dapat dibuktikan TA ini hasil plagiasi, maka saya bersedia menerima saksi atas perbuatan tersebut sesuai dengan ketentuan yang berlaku di Departemen Teknik Mesin Industri, Fakultas Vokasi – ITS

Surabaya, 2 Januari 2020
Yang membuat pernyataan,



Maududi Yoga Dwi P
NRP. 1021160000002

**PENGARUH PELAPISAN TiN PADA SAMPEL IMPLAN
TULANG TERHADAP KARAKTERISTIK PERMUKAAN
SAMPEL IMPLAN TULANG**

TUGAS AKHIR

Diajukan Untuk Memenuhi Satu Syarat
Memperoleh Gelar Ahli Madya
Pada
Departemen Teknik Mesin Industri
Fakultas Vokasi
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
SURABAYA

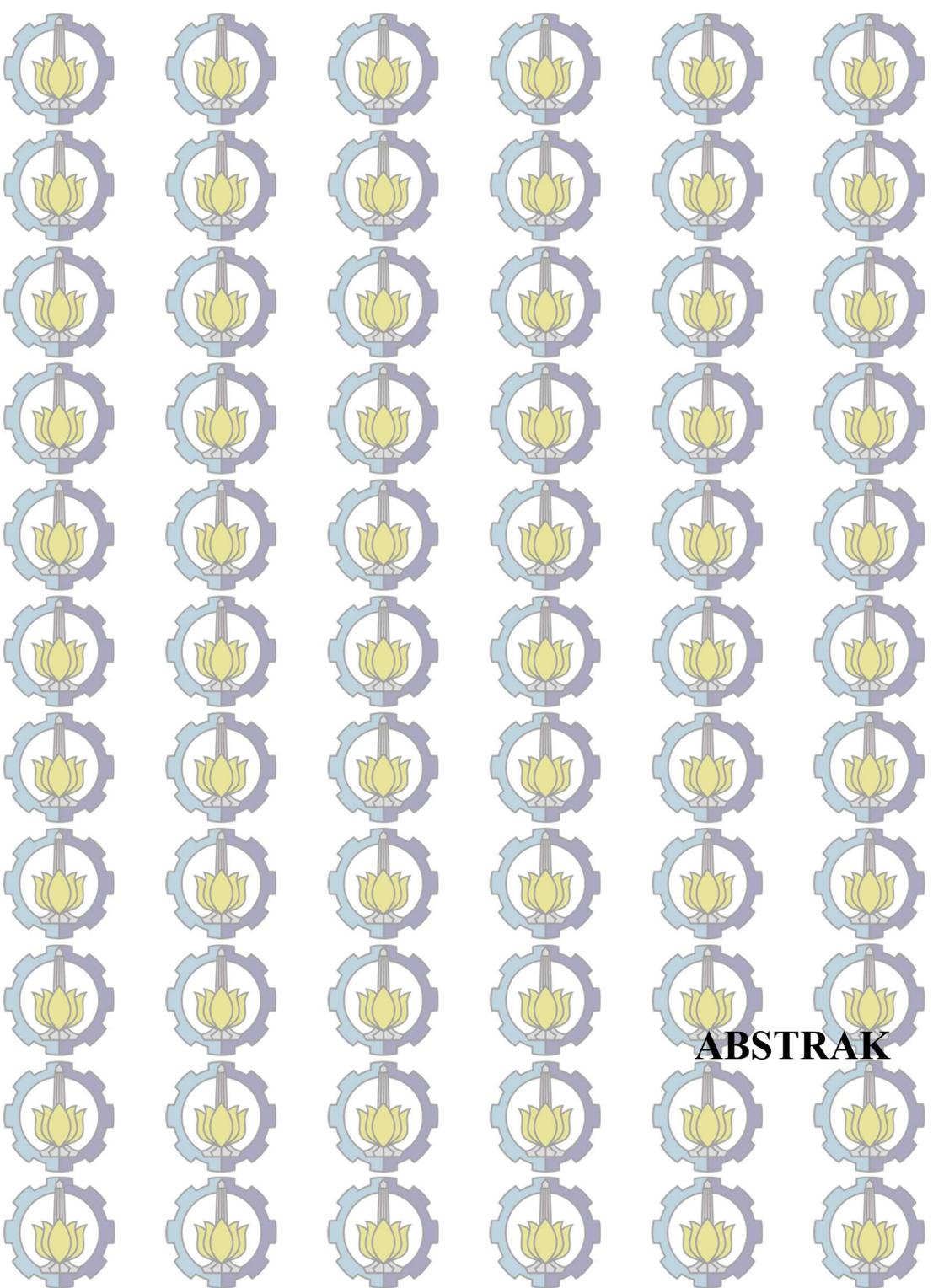
Oleh:

MAUDUDI YOGA DWI PRASETYA
NRP. 10211600000002

Disetujui oleh dosen pembimbing Tugas Akhir :

Dosen Pembimbing





ABSTRAK

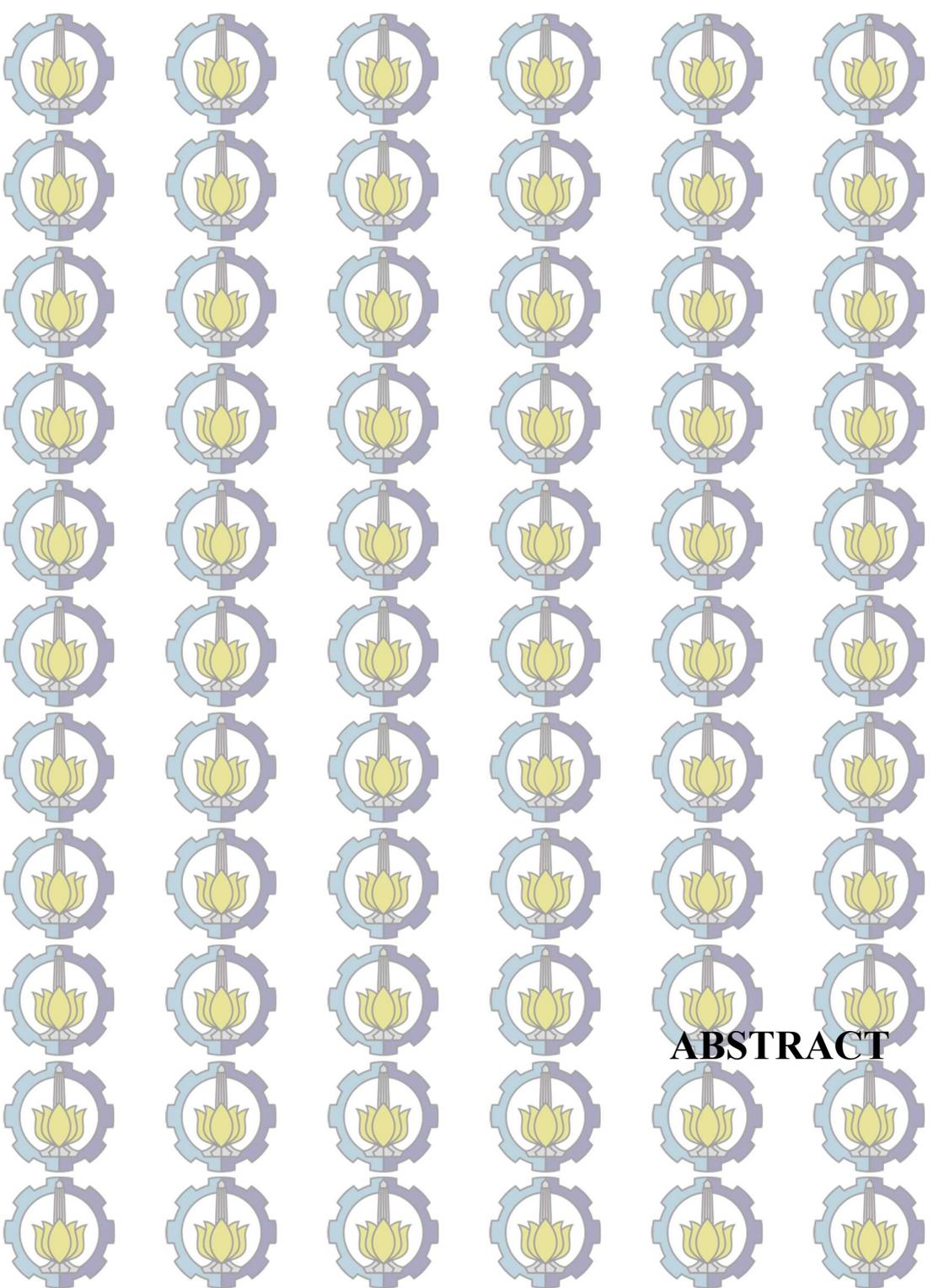
Abstrak

Implan tulang adalah peralatan medis yang terbuat dari logam yang ditanamkan ke dalam tubuh berfungsi untuk menggantikan struktur dan fungsi bagian tubuh, terutama tulang.

Dalam penelitian ini bertujuan untuk mengetahui perbandingan laju korosi dengan variasi perendaman selama 12 jam, 168 jam, 240 jam dan 336 jam antara Baja ST 41 yang dilapisi Titanium Nitride (TiN) dan SS 316 L. Dimana SS 316 L sendiri biasa digunakan untuk material implan tulang. Jenis pengujian yang dilakukan pada penelitian ini adalah *Electrochemical Impedance Spectroscopy (EIS)*, *Potentiodynamic Polarization (PDP)*, *Scanning Electron Microscopy (SEM)*, dan *Scanning Electron Microscopy energy dispersive x-ray (SEM – EDX)*,

Hasil pengujian menunjukkan adanya kenaikan laju korosi pada masing – masing spesimen saat perendaman selama 168 jam . Pada pengujian polarisasi potensiodinamik didapatkan laju korosi tertinggi pada spesimen ST 41 yang dilapisi *Titanium Nitride (TiN)* pada saat perendaman selama 168 jam dengan nilai laju korosi sebesar 0,014261 mm/year. Sedangkan nilai terendah pada spesimen ST 41 yang dilapisi *Titanium Nitride (TiN)* dengan nilai laju korosi sebesar 0,00092597 mm/year.

Kata Kunci : Implan Tulang, Pelapisan, Titanium Nitride (TiN), SS 316 L, Baja karbon ST 41.



ABSTRACT

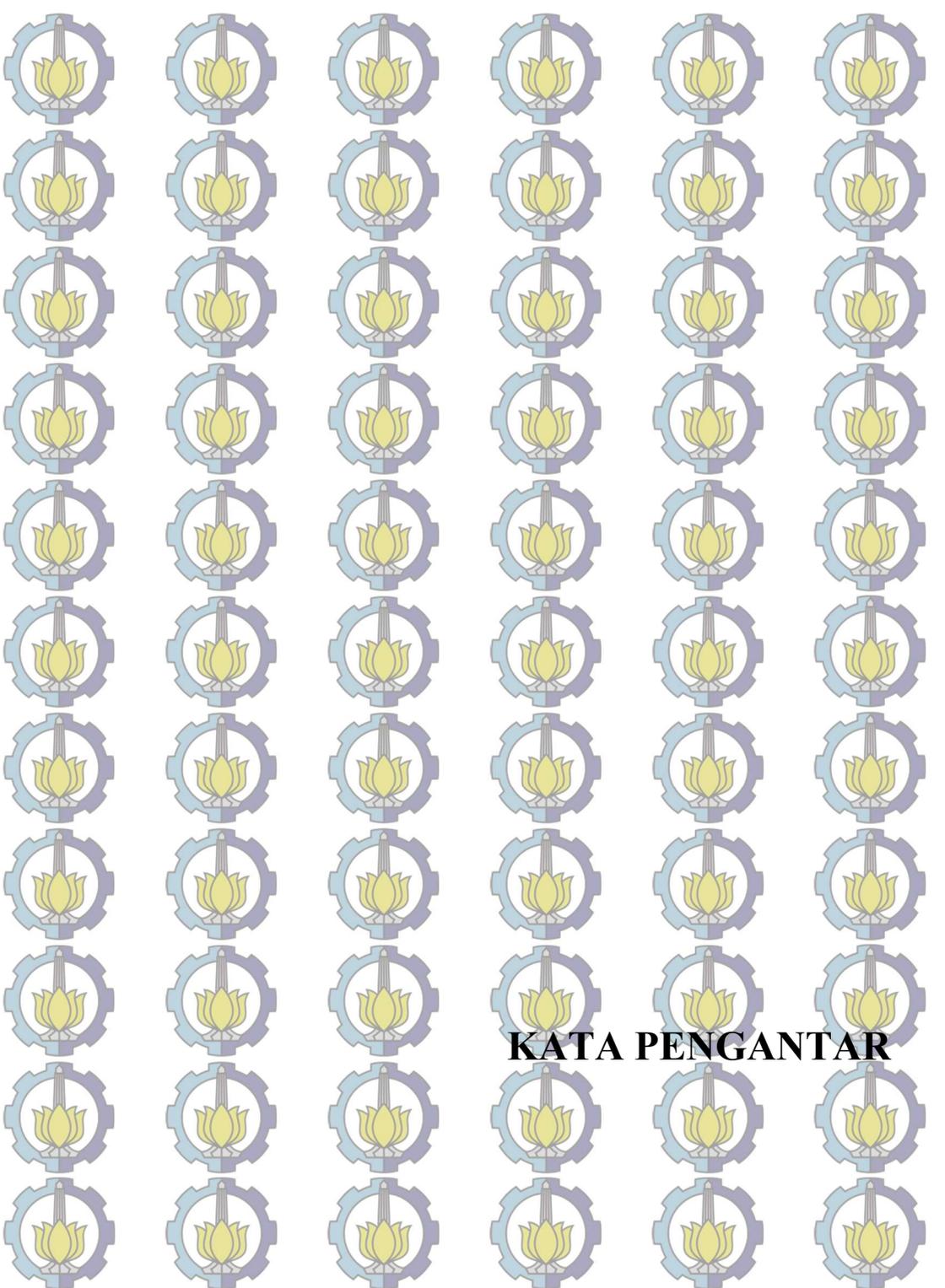
Abstract

Bone implants are medical devices made of metal that are implanted into the body to replace the structure and function of body parts, especially bones.

In this study aims to determine the ratio of corrosion rates with variations of immersion for 12 hours, 168 hours, 240 hours and 336 hours between ST 41 steel coated with Titanium Nitride (TiN) and SS 316 L. Where SS 316 L itself is commonly used for implant material bone. The types of tests conducted in this study are Electrochemical Impedance Spectroscopy (EIS), Potentiodynamic Polarization (PDP), Scanning Electron Microscopy (SEM), and Scanning Electron Microscopy of energy dispersive x-ray (SEM - EDX).

The test results showed an increase in the rate of corrosion in each specimen during soaking for 168 hours. Potentiodynamic polarization testing showed the highest corrosion rate in ST 41 specimens coated with Titanium Nitride (TiN) during immersion for 168 hours with a corrosion rate of 0.014261 mm / year. While the lowest value on ST 41 specimens coated with Titanium Nitride (TiN) with a corrosion rate value of 0,00092597 mm / year.

Key Words : Bone Implant, Coating, Titanium Nitride (TiN), SS 316 L, Carbon Steel ST 41.



KATA PENGANTAR

KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis ucapkan kehadiran Tuhan Yang Maha Esa atas rahmat dan karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir yang berjudul “**PENGARUH PELAPISAN TIN PADA SAMPEL IMPLAN TULANG TERHADAP KARAKTERISTIK PERMUKAAN SAMPEL IMPLAN TULANG**”. Tugas akhir ini merupakan bagian dari kurikulum dan syarat kelulusan untuk jenjang diploma pada Program Studi Teknik Mesin Industri ITS, yang harus ditempuh oleh mahasiswa. Tujuan dari tugas akhir ini adalah untuk mengaplikasikan dan mengembangkan pengetahuan yang didapatkan selama perkuliahan. Penulisan laporan tugas akhir ini didasarkan pada penelitian di laboratorium serta didukung oleh teori, literatur, dan bimbingan dosen yang ada di Program Studi Teknik Mesin Industri ITS. Dengan terselesaikannya laporan Tugas Akhir ini, penulis mengucapkan terima kasih yang sebesar – besarnya kepada:

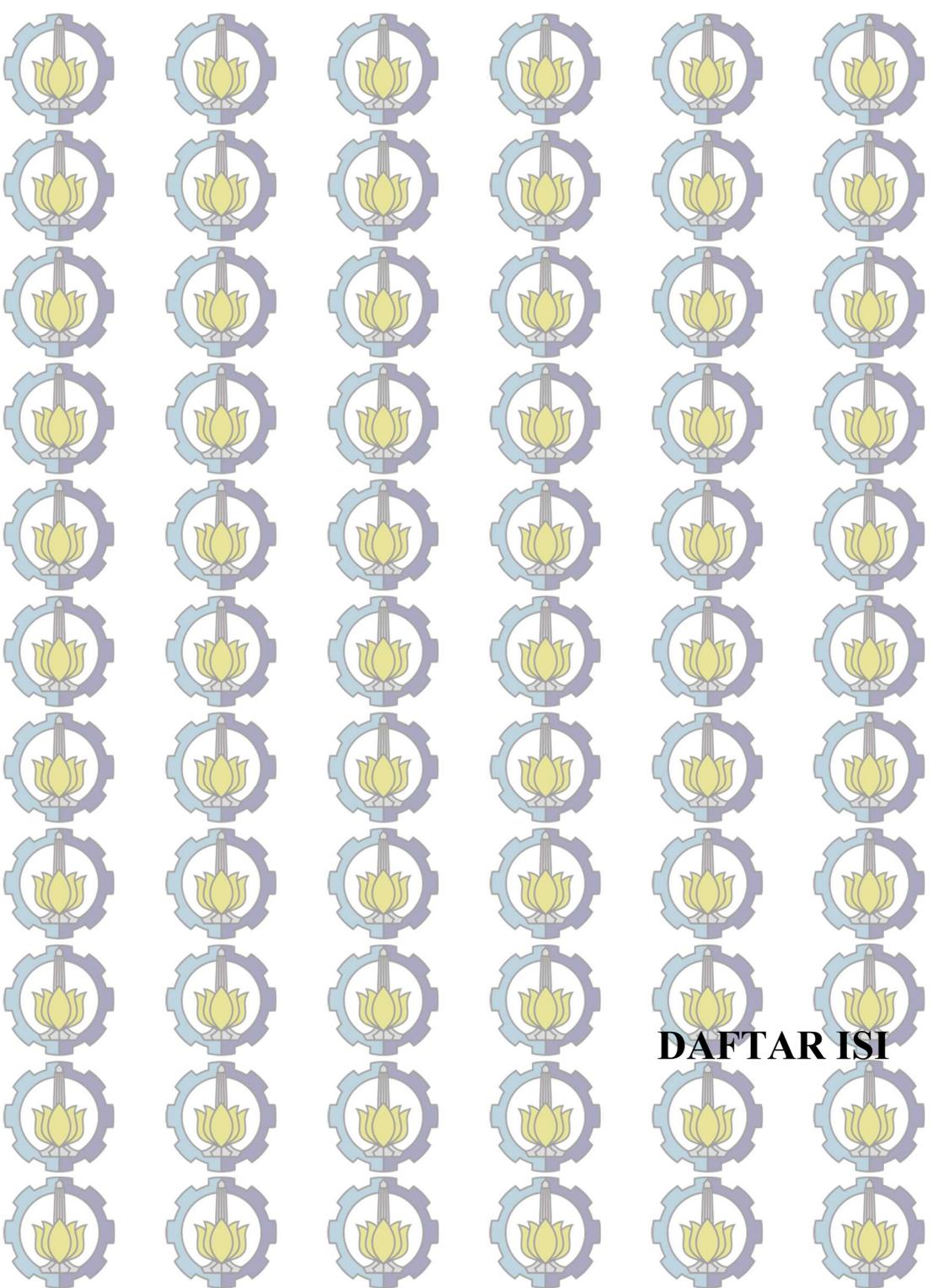
1. **Bapak Dr. Ir. Heru Mirmanto, MT.** Selaku kepala Departemen Teknik Mesin Industri FV-ITS
2. **Bapak Ir Suhariyanto MT.** Selaku koordinator Tugas Akhir Departemen Teknik Mesin Industri FV-ITS
3. **Bapak Ir. Mahirul Mursid, MSc.** selaku dosen wali
4. **Bapak Ir Nur Husodo, M.S** dan Ibu **Dr. Atria Pradityana, S.T., M.T** selaku Dosen Pembimbing Tugas Akhir.
5. **Bapak Dedy Zulhidayat N, ST., MT, Ph.D** selaku Dosen Pembimbing Kerja Praktek

6. **Teman – teman Bem ITS Kementerian Adkesma kabinet Gelora Aksi dan Kolaborasi** yang memberikan banyak ilmu dan pengalaman selama hampir 2 tahun
7. **Kedua Orang tua** yang selalu mendoakan saya dan memberi semangat selama kuliah
8. **Rekan Greader Laboratorium penumatik dan hidrolik** yang telah menjadi partner selama 1 tahun kepengurusan dan banyak memberikan ilmu serta pengalaman.
9. **Bapak-/Ibu dosen dan Karyawan** Departemen Teknik Mesin Industri FV-ITS yang telah memberikan kritik dan saran dalam penyempurnaan dan pengembangan Tugas Akhir ini., yang telah memberikan ilmunya dan membantu selama duduk dibangku kuliah.
10. **Teman-teman D3MITS** khususnya angkatan 2016 terima kasih atas bantuan dan dukungannya.
11. Serta semua pihak yang belum tertulis yang telah berperan dalam pengerjaan laporan ini.

Saya sebagai manusia biasa, menyadari bahwasannya penulisan ini masih terdapat beberapa kesalahan, keterbatasan serta kekurangan. Oleh karena itu , saya mengharapkan kritik dan saran sebagai masukan untuk penulis dan kesempurnaan Tugas Akhir ini. Semoga dengan penulisan Tugas Akhir ini dapat bermanfaat bagi semua pihak yang membutuhkan.

Surabaya, Januari 2020

Penulis



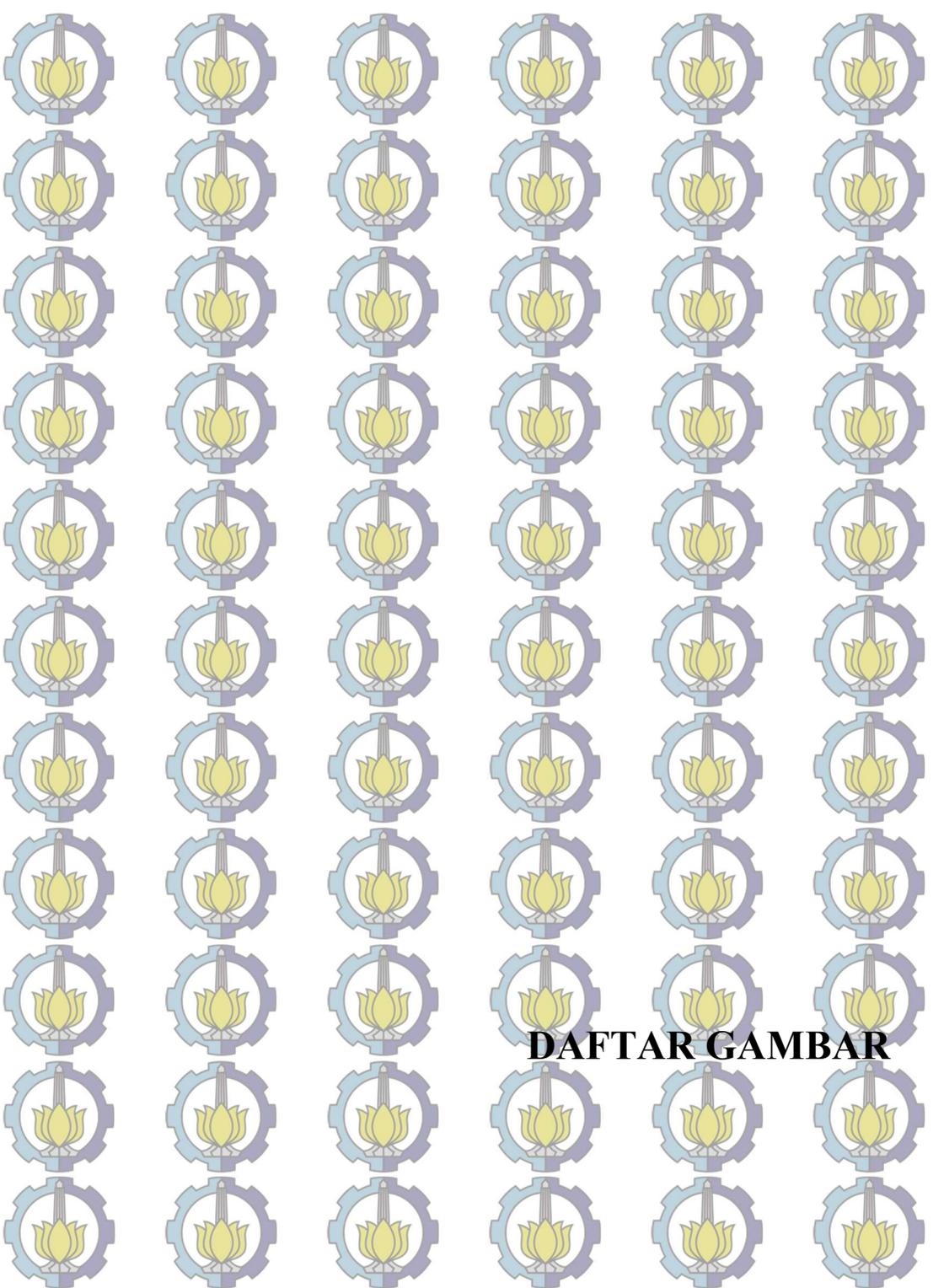
DAFTAR ISI

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
COVER PAGE	ii
PERNYATAAN TIDAK MELAKUKAN PLAGIASI	iii
LEMBAR PENGESAHAN	iv
ABSTRAK	v
ABSTRACK	vi
KATA PENGANTAR	vii
DAFTAR ISI	ix
DAFTAR GAMBAR	xii
DAFTAR TABEL	xv
BAB I PENDAHULUAN	
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Batasan Masalah.....	4
1.4 Tujuan Penelitian	4
1.5 Manfaat Penelitian.....	5
1.6 Sistematika Penulisan.....	5
BAB II DASAR TEORI	
2.1 Tinjauan Pustaka	7
2.2 Baja	8
2.2.1 Baja Karbon Tinggi.....	8
2.2.2 Baja Karbon Sedang.....	9
2.2.3 Baja Karbon Rendah.....	9
... 2.2.3.1 Baja ST 41.....	9
2.3 Baja Tahan Karat.....	10
2.4 Korosi.....	18
2.4.1 Mekanisme Korosi.....	19
2.4.2 Jenis – Jenis Korosi.....	22
2.4.2.1 Korosi Merata.....	22
2.4.2.2 Korosi Galvanik.....	23
2.4.2.3 Korosi Sumuran.....	24
2.4.2.4 Korosi Celah.....	24
2.4.2.5 Korosi Fatigue.....	25
2.4.2.6 Korosi Fretting.....	26
2.5 Implan Tulang	27

2.6 Titanium Nitride.....	29
2.7 Simulated Body Fluid	30
2.7.1 Definisi Simulated Body Fluid.....	30
2.7.2 Simulated Body Fluid Tadashi Kokubo.....	31
2.8 Physical Vapour Depositon	32
2.9 Pengujian Korosi.....	34
2.9.1 Uji Polarisasi Potensio Dinamik.....	34
2.9.2 Uji EIS	36
2.9.3 Uji SEM	37
2.9.4 Uji SEM – EDX	39
BAB III METODOLOGI PENELITIAN	
3.1 Diagram Alir	41
3.2 Waktu Penelitian	43
3.3 Tempat Penelitian	43
3.4 Alat Penelitian	43
3.5 Bahan Penelitian	43
3.6 Langkah Percobaan.....	44
3.6.1 Studi Literatur	44
3.6.2 Proses Pematangan Spesimen	45
3.6.3 Proses Pengeboran Spesimen	46
3.6.4 Polishing.....	46
3.6.5 Proses Pelapisan PVD TiN.....	47
3.6.6 Persiapan Elektrolit Simulated Body Fluid.....	48
3.7 Proses Pengujian	49
3.6.1 Pengujian PDP (Polarisasi Potensiodinamik	49
3.6.2 Pengujian EIS (Electrochemical Impedance Spectroscopy)	51
3.6.3 Pengujian SEM (Scanning Electrone Microscopy)	52
3.6.4 Pengujian SEM – EDX (Scanning Electrone Microscopy - Energy Dispersive X Ray)	53
3.7 Rancangan Tabel Pengambilan Data Penelitian	54
BAB IV HASIL DAN ANALISA	
4.1 Hasil Larutan Elektrolit	57
4.2 Hasil Penelitian	57
4.2.1 Hasil Pengujian Polarisasi Potensiodinamik	58
4.2.2 Hasil Pengujian Electrochemical Impedance Spectroscopy.....	63

4.2.3 Hasil Pengujian Scanning Electron Microscopy	70
4.2.4 Hasil Pengujian Scanning Electron Microscopy - Energy Dispersive X Ray	74
4.3 Pembahasan.....	77
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	
5.1 Kesimpulan	81
5.2 Saran	82
DAFTAR PUSTAKA	
LAMPIRAN	
BIOGRAFI PENULIS	



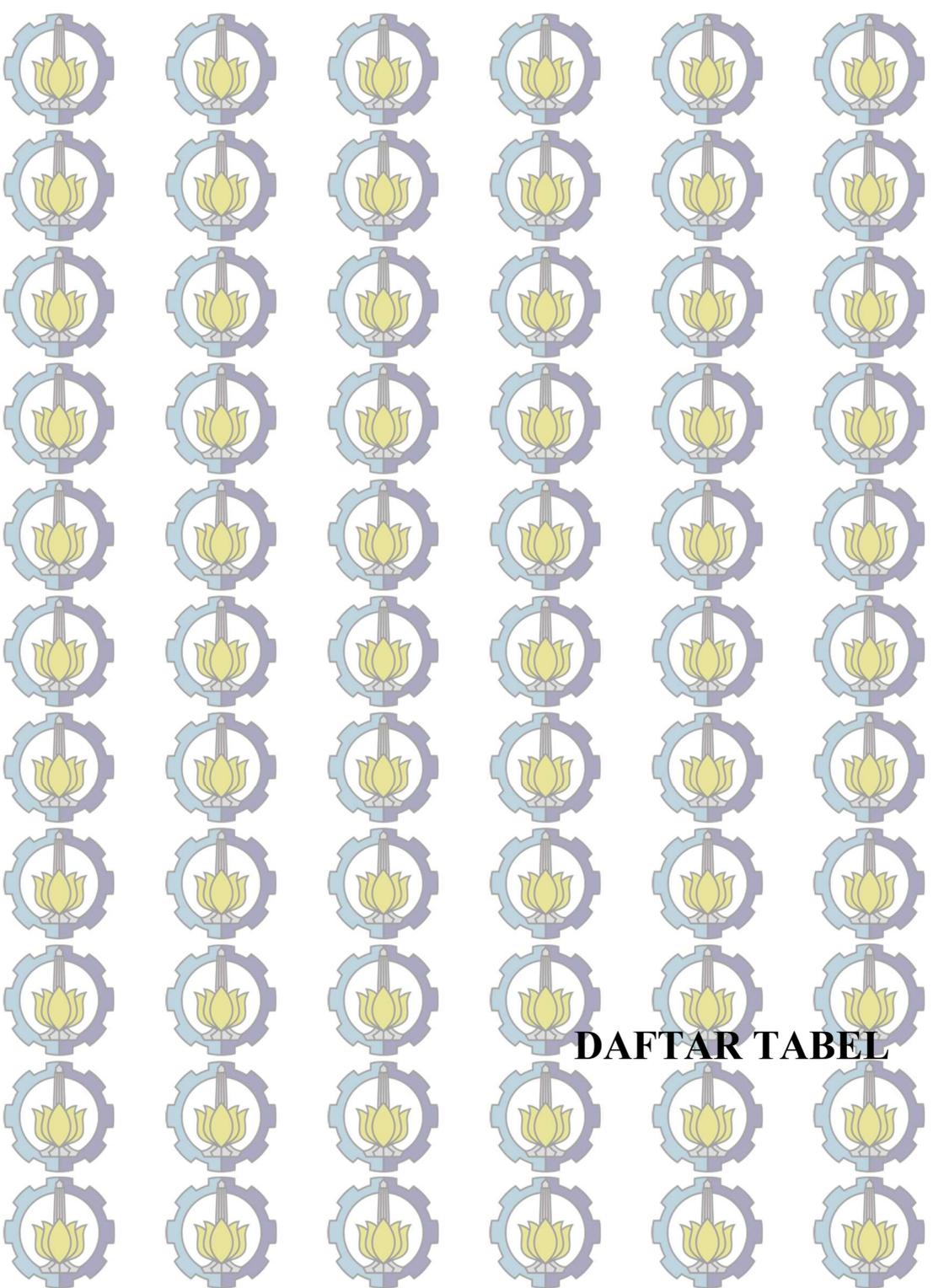
DAFTAR GAMBAR

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Mekanisme Korosi	19
Gambar 2.2 Korosi Merata	22
Gambar 2.3 Korosi Galvanik	23
Gambar 2.4 Korosi Sumuran	24
Gambar 2.5 Korosi Celah	24
Gambar 2.6 Korosi Fatigue	25
Gambar 2.7 Korosi Fretting	26
Gambar 2.8 Implan Tulang.....	29
Gambar 2.9 Larutan SBF Standar Kokubo	32
Gambar 2.10 Proses PVD Coating.....	33
Gambar 2.11 Grafik Uji Polarisasi Potensiodinamik	36
Gambar 2.12 Kurva Nyquist Z pada korosi baja.....	37
Gambar 2.13 Skema Kerja Alat Scanning Electron Microscope	39
Gambar 2.14 Prinsip Kerja SEM	40
Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian	41
Gambar 3.2 Baja ST 41	45
Gambar 3.3 SS 316 L	45
Gambar 3.4 Spesimen Pasca Pengeboran.....	46
Gambar 3.5 Alat Polishing.....	47
Gambar 3.6 Spesimen ST 41 yang sudah Terlapisasi Titanium Nitride (TiN).....	48
Gambar 3.7 Larutan Simulated Body Fluid	49
Gambar 3.8 Mesin AUTOLAB.....	50
Gambar 3.9 Proses Uji Polarisasi Potensiodinamik.....	50
Gambar 3.10 Alat Pengujian SEM.....	53
Gambar 3.11 Alat SEM - EDX.....	54
Gambar 4.1 Hasil grafik Laju Korosi pengujian Polarisasi Potensiodinamik	61
Gambar 4.2 Hasil pengujian impedansi dengan waktu perendaman selama 12 Jam.....	64
Gambar 4.3 Hasil grafik pengujian impedansi dengan waktu perendaman selama 168 jam.....	65
Gambar 4.4 Hasil grafik pengujian Impedansi dengan waktu perendaman 240 jam	66

Gambar 4.5 Hasil grafik pengujian Impedansi dengan waktu perendaman 336 jam	67
Gambar 4.6 Hasil grafik pengujian Impedansi spesimen ST 41 yang dilapisi TiN dengan waktu perendaman 12 jam - 336 jam	68
Gambar 4.7 Hasil grafik pengujian Impedansi spesimen SS 316 L dengan waktu perendaman 12 jam – 336 jam.....	68
Gambar 4.8 Hasil Pengujian SEM spesimen SS 316L variabel 12 jam dengan perbesaran 200x.....	71
Gambar 4.9 Hasil Pengujian SEM spesimen TiN variable 12 jam dengan perbesaran 200x.....	71
Gambar 4.10 Hasil Pengujian SEM specimen SS 316L Specimen 336 jam dengan perbesaran 200x.....	73
Gambar 4.11 Hasil Pengujian SEM Specimen TiN variable 336 jam dengan perbesaran 200x.....	73

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

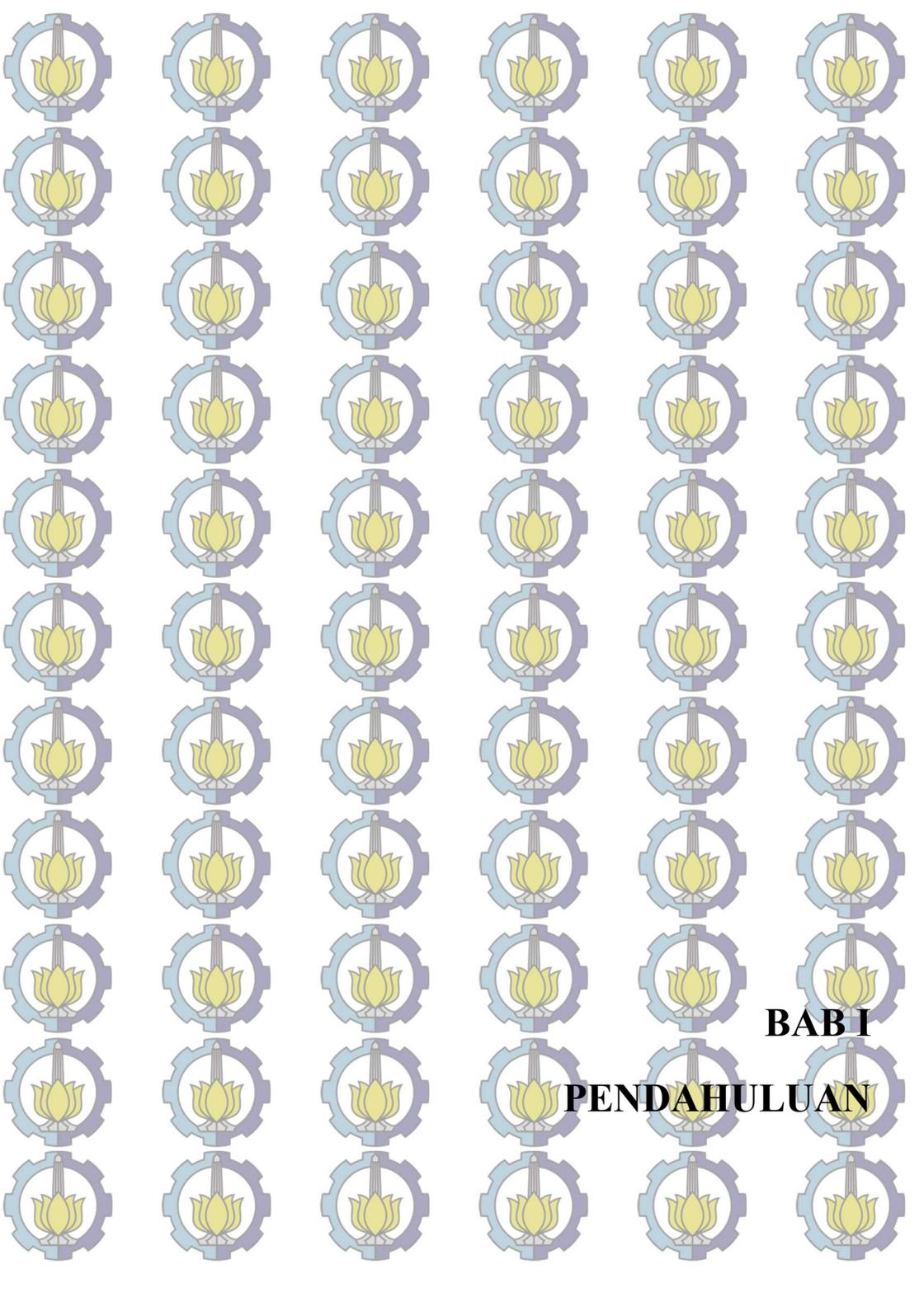


DAFTAR TABEL

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Kandungan Baja Karbon ST 41	10
Tabel 2.2 Konsentrasi Ion Pada SBF (mM).....	33
Tabel 2.3 Komposisi Penyusun Konsentrasi Ion Pada SBF..	34
Tabel 3.1 Komposisi Kimia Baja ST 41	49
Tabel 3.2 Komposisi Kimia SS 316 L	49
Tabel 3.3 Bahan Simulated Body Fluid.....	54
Tabel 3.4 Pengujian Polarisasi Potensiodinamik.....	61
Tabel 3.5 Pengujian EIS.....	62
Tabel 4.1 Parameter Pengujian Polarisasi Potensiodinamik pada TiN	65
Tabel 4.2 Parameter Pengujian Polarisasi Potensiodinamik pada TiN	65
Tabel 4.3 Hasil data pengujian Impedansi 12 jam.....	70
Tabel 4.4 Hasil data pengujian Impedansi dengan waktu perendaman 168 jam.....	71
Tabel 4.5 Hasil data pengujian Impedansi dengan waktu perendaman 240 jam.....	72
Tabel 4.6 Hasil data pengujian Impedansi dengan waktu perendaman 336 jam.....	73
Tabel 4.7 Hasil data pengujian Impedansi dengan waktu 12 jam – 336 jam.....	75
Tabel 4.8 Data hasil Uji SEM – EDX Unsur kimia pada permukaan sampel pengujian SEM perbesaran 1000x TiN.....	81

(Halaman ini sengaja dikosongkan)



BAB I

PENDAHULUAN

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Implan tulang adalah peralatan medis yang terbuat dari logam yang ditanamkan ke dalam tubuh berfungsi untuk menggantikan struktur dan fungsi bagian tubuh, terutama tulang. Material implan yang telah banyak digunakan adalah jenis logam Baja tahan karat *Stainless steel 316L* (SS 316L) merupakan jenis logam baja yang sering digunakan di bedah ortopedik. Material tersebut banyak digunakan karena memiliki kekuatan yang tinggi, keuletan yang baik dan bikompatibel (Perren, 2000). Artinya logam yang diimplankan ke dalam tubuh tidak mengalami reaksi penolakan, sehingga saat bahan ini dimasukkan ke dalam tulang, maka badan tidak menganggap sebagai bahan asing.

Akan tetapi SS 316L memiliki harga yang terbilang mahal dan susah untuk dijangkau oleh masyarakat umum, sehingga dilakukan penelitian untuk mendapatkan bahan implan tulang pengganti dari pada SS 316L. Pada penelitian kali ini peneliti mencoba memakai logam baja ST 41 yang memiliki kombinasi sifat mekanik yang baik seperti : kekerasan, keuletan, dan ketangguhan yang baik. Serta perlakuan proses manufakturnya seperti proses machining yang relatif mudah dan secara ekonomi harganya terjangkau. Untuk meningkatkan kualitas agar setara dengan SS 316 L dari segi ketahanan korosi, maka sample bahan uji baja ST 41 pada penelitian kali ini dilapisi oleh Titanium Nitride (TiN).

Korosi dapat didefinisikan sebagai reaksi suatu material dengan lingkungannya (Gapsari,2017) dimana konsekuensinya adalah menyebabkan kerusakan pada material . Akibat korosi menimbulkan dampak bagi industri

dan konstruksi baik pada sisi ekonomi serta keamanan. Korosi tidak dapat dicegah, akan tetapi laju korosi dapat dikurangi. Baja ST 41 merupakan salah satu baja karbon rendah yang umum digunakan oleh orang-orang dalam berbagai bidang. Tentu keberhasilan dalam penggunaan baja ini merupakan terobosan besar dalam bidang medis dimana material yang dilapisi dengan bahan tertentu dapat menahan korosi dengan baik dan tidak berbahaya bagi kesehatan.

Berdasarkan penelitian sebelumnya yang telah dilakukan oleh Yasmi Mauludin (2019) dan Dimitri Arsenna D (2019) menggunakan baja ST 41 yang dilapisi *Titanium Nitride (TiN)* dan *Nickel Chrome (NiCr)* untuk mengetahui perbandingan laju korosi pada larutan Simulated Body Fluid (SBF) dengan SS 316L. Pengujian yang dilakukan adalah Polarisasi Potensiodinamik dan Weight Loss. Analisa dilakukan untuk mengetahui ketahanan terhadap korosi dengan variable perendaman 3 hari, dan 7 hari.

Perbedaan pada penelitian Yasmi Mauludin (2019) dan Dimitri Arsenna D (2019) adalah data yang dihasilkan masih kurang menunjang untuk penelitian tentang bahan alternatif implan tulang sehingga perlu dilakukan penelitian lebih lanjut untuk menyempurnakan hasil agar menjadi referensi untuk bahan alternatif implan tulang.

Pada penelitian ini menggunakan baja ST 41 yang dilapisi dengan *Titanium Nitride (TiN)*. Titanium sendiri merupakan logam yang sangat reaktif, jika permukaannya terekspose udara atau lingkungan yang mengandung oksigen. Lapisan oksida tipis dari Titanium terbentuk dimana kandungan utamanya adalah TiO_2 sehingga logam ini mempunyai ketahanan terhadap korosi yang sangat bagus dibandingkan berbagai jenis media pelapis lainnya. Dan untuk meneliti seberapa jauh ketahanan korosi logam

pelapis Titanium untuk itu peneliti mencoba melakukan eksperimen dengan perbandingan laju korosi pada larutan Simulated Body Fluid (SBF) dengan variasi perendaman selama 12 jam, 168 jam, 240 jam, dan 336 jam dengan pengujian *Electrochemical Impedence Spectroscopy (EIS)*, *Potentiodynamic Polarization (PDP)*, *Scanning Electron Microscope (SEM)* dan *Scanning Electron Microscope-Energy Dispersive X-Ray Spectrometer (SEM-EDX)*.

Diharapkan dalam penelitian ini dapat menghasilkan suatu hasil seperti perbandingan laju korosi antara ST 41 yang dilapisi Titanium Nitride (TiN) dan SS 316 L, kecenderungan korosi dengan variasi perendaman 12 jam, 168 jam, 240 jam, dan 336 jam, dan karakteristik permukaan pada ST 41 yang dilapisi Titanium Nitride (TiN) dan SS 316 L yang telah direndam selama 12 jam, 168 jam, 240 jam, dan 336 jam.

1.2 Rumusan Masalah

Dari penelitian tersebut ada beberapa rumusan masalah yang muncul sebagai pertanyaan pedoman agar sesuai dengan apa yang penulis inginkan, diantara rumusan masalah tersebut adalah :

1. Bagaimana perbandingan laju korosi antara sample SS 316 L dan baja ST 41 yang dilapisi Titanium Nitride (TiN) dalam media Simulated Body Fluid (SBF) dengan variable variasi perendaman selama 12 jam, 168 jam, 240 jam, dan 336 jam..
2. Bagaimana pola laju korosi pada baja ST 41 yang dilapisi Titanium Nitride (TiN) dengan variable variasi perendaman selama 12 jam, 168 jam, 240 jam, dan 336 jam.
3. Bagaimana karakteristik permukaan baja ST41 yang dilapisi Titanium Nitride (TiN) dan SS 316L setelah dilakukan perendaman selama 12 Jam dan 336 jam.

1.3 Batasan Masalah

Adapun batasan masalah yang digunakan pada tugas akhir ini adalah :

1. Bahan yang digunakan baja ST 41 yang dilapisi *Titanium Nitride (TiN)* dan SS 316 L tanpa pelapis.
2. Tingkat kehalusan dari permukaan setiap material dianggap homogen.
3. Menggunakan variable variasi perendaman selama 12 jam, 168 jam, 240 jam, dan 336 jam
4. Ukuran spesimen dianggap homogen dengan ukuran 20 mm x 10 mm x 4 mm.
5. Larutan elektrolit berupa Simulated Body Fluid (SBF) yang digunakan pada setiap sampel 64 ml
6. Temperatur yang digunakan pada saat perendaman temperatur ruangan
7. Tidak membahas tentang reaksi kimia yang terdapat pada pengujian.

1.4 Tujuan

Adapun tujuan yang digunakan pada tugas akhir ini adalah :

- 1 Mengetahui perbandingan laju korosi SS 316 L dengan baja ST 41 yang dicoating dengan Titanium Nitride (TiN).
- 2 Mengetahui pola laju korosi dengan variable variasi perendaman selama 12 jam, 168 jam, 240 jam, dan 336 jam.
- 3 Mengetahui karakteristik permukaan baja ST41 yang dilapisi Titanium Nitride (TiN) dan SS 316L setelah dilakukan perendaman selama 12 Jam dan 336 jam.

1.5 Manfaat

Dapat menerapkan pengetahuan dan teori yang selama ini didapatkan dari pembelajaran dibangku kuliah untuk diaplikasikan pada permasalahan yang ada.

1.6 Sistematika Penulisan

Sistematika penulisan disusun untuk memberikan gambaran penjelasan mengenai isi dari setiap bab-bab, diantaranya :

BAB I PENDAHULUAN

Pada Bab I ini menjelaskan secara singkat tinjauan secara umum mengenai latar belakang, rumusan permasalahan, batasan masalah, tujuan, sistematika penulisan dan manfaat.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

Pada Bab II ini menjelaskan beberapa teori penunjang yang digunakan untuk menyelesaikan penelitian ini.

BAB III METODOLOGI

Pada Bab III ini menjelaskan metodologi penelitian, diagram langkah penelitian, spesifikasi dan langkah proses pengujian-pengujian yang dilakukan.

BAB IV HASIL DAN ANALISA

Pada Bab IV ini Membahas tentang hasil pengujian diantaranya adalah pengujian kekerasan dan pengujian metalografi.

BAB V KESIMPULAN

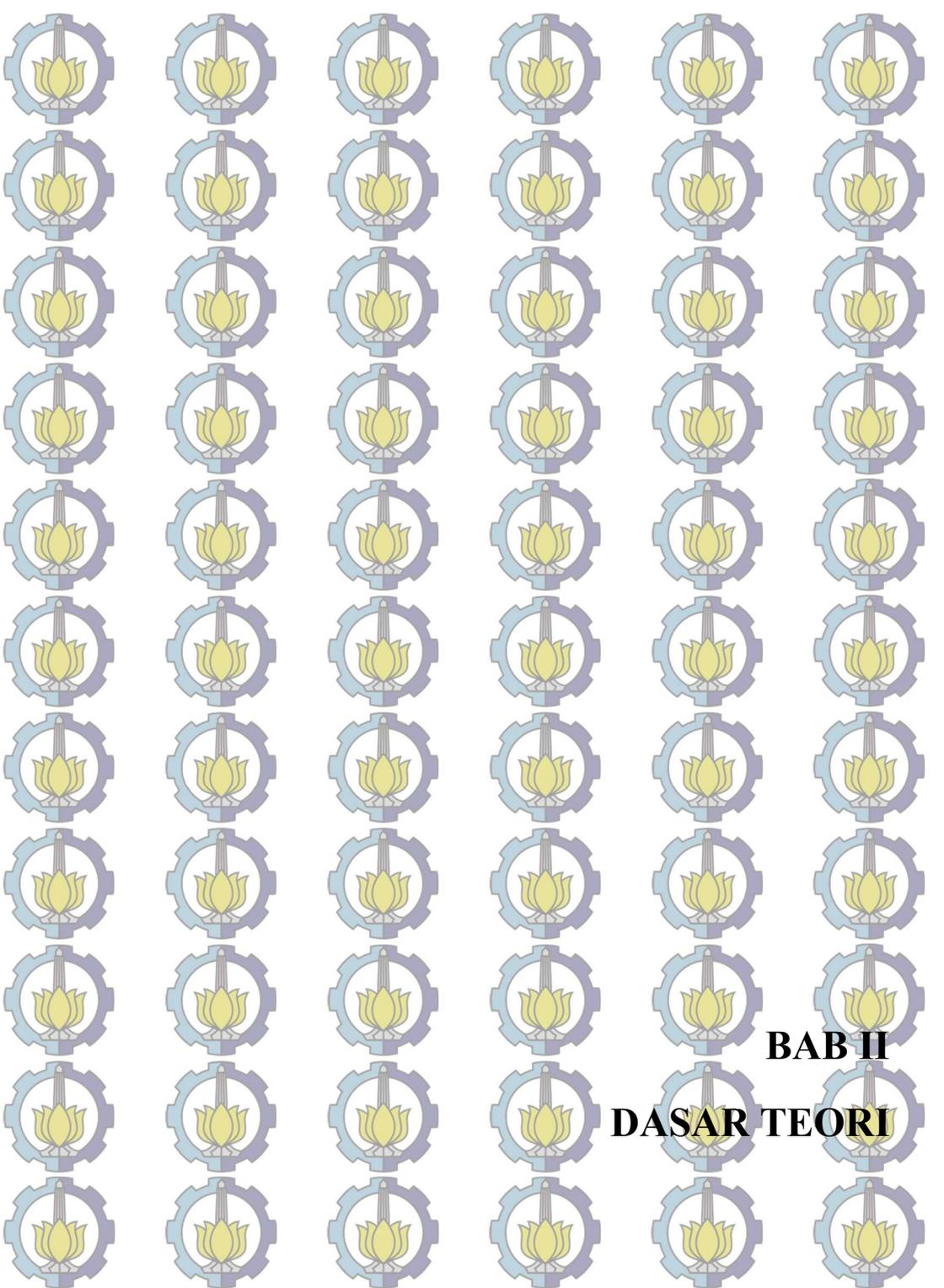
Pada Bab V ini Membahas tentang kesimpulan dari hasil analisis dan saran-saran penulis.

DAFTAR PUSTAKA

Berisi tentang referensi – referensi berupa jurnal dan penelitian TA terdahulu yang terkait dengan materi pembahasan.

LAMPIRAN

Berisi tentang data-data tambahan berupa dokumentasi foto maupun hasil Penelitian yang menunjang tugas akhir.



BAB II
DASAR TEORI

BAB II

DASAR TEORI

2.1 Tinjauan Pustaka

Bahan penyusun implan tulang yang ideal menurut Schmidt et al. (2001) adalah memiliki komposisi kimia yang biokompatibel untuk mencegah reaksi jaringan yang merugikan, ketahanan terhadap korosi di dalam lingkungan fisiologis yang baik, kuat dan ketahanan terhadap pemakaian serta nilai modulus elastisitas yang mendekati nilai yang dimiliki tulang untuk meminimalisir penyerapan tulang di sekitar implan. Namun, terdapat implant logam yang dapat diserap oleh tubuh, paradigma mengenai implan yang harus tahan terhadap korosi ini dipatahkan.

Baja tahan karat *Stainless steel 316L* (SS 316L) merupakan jenis logam baja yang sering digunakan di bedah ortopedik. Material tersebut banyak digunakan karena memiliki kekuatan yang tinggi, keuletan yang baik dan biokompatibel (Perren, 2000). Artinya logam yang diimplankan ke dalam tubuh tidak mengalami reaksi penolakan, sehingga saat bahan ini dimasukkan ke dalam tulang, maka badan tidak menganggap sebagai bahan asing.

Akan tetapi SS 316L memiliki harga yang terbilang mahal dan susah untuk dijangkau oleh masyarakat umum, sehingga dilakukan penelitian untuk mendapatkan bahan implan tulang pengganti dari pada SS 316L. Pada penelitian kali ini peneliti mencoba memakai logam baja ST 41 yang memiliki kombinasi sifat mekanik yang baik seperti : kekerasan, keuletan, dan ketangguhan yang baik. Serta perlakuan proses manufakturnya machining yang relatif mudah dan secara ekonomi harganya terjangkau.

Berdasarkan penelitian sebelumnya yang telah dilakukan oleh Yasmi Mauludin (2019) dan Dimitri Arsenna D (2019) menggunakan baja ST 41 yang dilapisi *Titanium Nitride*(TiN) dan *Nickel Chrome*(NiCr) untuk mengetahui perbandingan laju korosi pada larutan Simulated Body Fluid (SBF) dengan SS 316L. Didapatkan bahwa data yang dihasilkan masih belum cukup untuk data acuan sebagai data untuk mencari bahan alternatif implan selain SS 316 L, sehingga diperlukan penelitian lebih lanjut untuk mendapatkan data acuan sebagai data bahan alternatif implan tulang selain SS 316 L.

2.2 Baja

Baja merupakan logam paduan dimana unsur besi (Fe) sebagai unsur dasar dan unsur karbon (C) sebagai paduan utamanya. Kandungan karbon dalam baja berkisar 0,008% - 2%, untuk baja yang memiliki kandungan karbon antara 0,008% - 0,08% berat maka disebut dengan baja Hypoeutektoid sedangkan yang memiliki kandungan karbon 0,08% - 2% berat disebut dengan baja Hypereutektoid. Dalam proses pembuatan baja akan terdapat unsur-unsur lain selain karbon yang akan tertinggal didalam baja tersebut dan sulit untuk dihilangkan yaitu Mangan (Mn), Silikon (Si), Chrom (Cr), Vanadium (V), Molibdenum (Mb), dan unsur lainnya.

2.2.1 Baja Karbon Tinggi

Baja karbon tinggi memiliki kandungan karbon 0,6% C - 2% C dan memiliki kekerasan yang lebih tinggi, namun keuletannya lebih rendah. Berkebalikan dengan baja karbon rendah, pengerasan dengan perlakuan panas pada baja karbon tinggi tidak memberikan hasil yang optimal karena terlalu banyaknya martensit, sehingga membuat baja menjadi getas.

2.2.2 Baja Karbon Sedang

Baja karbon sedang (medium carbon steel) mengandung karbon 0,3% C - 0,6% C. Dengan kandungan karbonnya memungkinkan baja untuk dikeraskan melalui proses perlakuan panas yang sesuai. Baja ini lebih keras serta lebih kuat dibandingkan dengan baja karbon rendah.

2.2.3 Baja Karbon Rendah

Baja karbon rendah (low carbon steel) mengandung karbon dalam campuran baja kurang dari 0,2% C. Baja ini kurang efektif untuk dikeraskan karena kandungan karbonnya tidak cukup untuk membentuk struktur martensit.

2.2.3.1 Baja ST 41

Baja St.41 adalah baja yang memiliki kadar karbon 0,16 %, karena kadar karbonnya kurang dari 0,30 % maka baja ini termasuk golongan baja karbon rendah dan mempunyai regangan sebesar 36-24 % (Wiryo-sumarto, 2004:90). Baja karbon rendah ini tidak dapat langsung dikeraskan karena kadar karbonnya kurang dari 0,3% untuk itu perlu dilakukan proses carburizing untuk meningkatkan kadar karbonnya sehingga nantinya dapat dikeraskan. Makna dari penamaan St.41 sendiri adalah dari St memiliki arti baja (Stahl), angka 41 dalam baja ini menunjukkan bahwa minimum ketangguhan putus-tarik adalah 41 kg/mm². Ketangguhan tarik juga dibatasi keatas yaitu umumnya $St.41 \leq 50 \text{ kg/mm}^2$ (Suherman, 1987:72).

Kekuatan tarik suatu bahan dapat diketahui dengan menguji tarik pada bahan yang bersangkutan. Hasil pengujian tarik tersebut dapat diketahui pula sifat-sifat yang lain seperti: kekuatan mulur, perpanjangan, reduksi penampang, modulus elastisitas, dan sebagainya.

Menurut Surdia dan Chijjiwa (2005:207) pengujian tarik dilakukan dengan jalan memberikan beban tarik pada

batang uji secara perlahan-lahan sampai patah. Batas mulur, kekuatan tarik, perpan-jangan, pengecilan luas, dan sebagainya di-ukur pada pengujian ini.

Tabel 2.1 Kandungan Baja Karbon ST 41

No.	Nama Unsur (simbol)	Persentase (%)
1	Besi (Fe)	98,985
2	Mangan (Mn)	0,6
3	Karbon (C)	0,10
4	Silikon (Si)	0,25
5	Fosfor (P)	0,03
6	Belerang (S)	0,035

Sumber : Gunawan, Eddy (2017).”Analisa pengaruh temperatur terhadap sifat mekanis dan struktur mikro pada baja karbon rendah (ST 41) dengan metode pack carburizing”. Sidoarjo : Teknik Mesin, Fakultas Teknik Universitas Maarif Hasyim Latif

2.3 Baja Tahan Karat

Besi dan pada umumnya seperti besi paduan, baja, merupakan dalam sudut pandang korosi merupakan material yang buruk karena mudah berkarat di udara, berkarat jika terkena asam, dan rentan jika berada di posisi suhu tinggi di ruang bebas. Tetapi dengan kekurangan seperti itu terdapat sebuah grup berbahan paduan besi-dasar campuran, paduan besi-krom (Fe-Cr), sering juga dengan tambahan Nickel (Ni), atau lebih dikenal dengan baja tahan karat (Stainless Steel) dimana “tidak berkarat di air laut”, “tahan terhadap asam pekat” dan dimana “tidak rentan pada suhu diatas 1100°C”.

Baja pada umumnya digunakan pada industri material konstruksi. Prodak dominan dari baja tahan karat adalah

lembaran baja hasil proses dingin. Selain itu juga baja tahan karat yang sering digunakan adalah grade austenitic Cr-Ni tipe baja 18-8, i.e. EN 1.4301/1.4307, dimana pembuatannya lebih dari 50% dari pembuatan stainless steel secara global. Penggunaan baja ini banyak digunakan karena memiliki sifat material yang baik, sifat mekanik yang bagus, serta availability yang tinggi.

Baja tahan karat memiliki mikrostruktur yang berbeda-beda sehingga memiliki perbedaan yang mencolok dalam sifat mekanik. Selain itu juga dengan perbedaan sifat mekanik tersebut baja tahan karat dapat digunakan dalam bidang tertentu sesuai dengan kebutuhan. Baja tahan karat dibagi dalam beberapa kelompok seperti di bawah ini.

1. Baja Tahan karat Feritik

Kelompok baja tahan karat feritik pada umumnya dicampur dengan kromium (11.2-19%) tapi dengan tidak atau dengan sedikit tambahan nickel. Nickel merupakan satu dari sekian material yang memiliki harga yang tinggi. Kandungan nickel yang sedikit dari kelompok feritik membuat harga dari baja lebih stabil disbanding dengan kelompok yang memiliki kandungan nickel yang tinggi. Molybdenum ditambahkan pada beberapa kelompok untuk meningkatkan ketahanan korosi, dimana dipadukan juga dengan niobium dan/atau titanium untuk meningkatkan kemampuan pengelasan

Kelompok feritik juga hampir sama dengan baja krom (Cr-Steels) yang memiliki efek magnet karena struktur mikronya feritik.

2. Baja tahan karat martensitic dan pengerasan presipitasi

Kelompok martensitic adalah grup yang paling kecil dari baja tahan karat. Untuk meningkatkan kekuatan dan kekerasan dari kelompok martensitic ditambahkan

karbon yang lebih banyak dibanding kelompok yang lain, terkadang juga nitrogen ditambahkan untuk meningkatkan lebih dalam hal kekuatan. Kelompok ini tidak mengandung atau sedikit mengandung nickel dan molybdenum jarang ditambahkan dalam paduan. Dengan menambahkan beberapa nickel dan mengurangi karbon yang terdapat pada paduan, kemampuan las dari kelompok martensitic dapat ditingkatkan. Terkadang sulfur juga ditambahkan untuk meningkatkan 'machinability'. Kelompok martensitic memiliki kekuatan magnet dan dapat dikeraskan.

Pengerasan presipitasi dikeraskan dengan mekanisme khusus dengan merubah formasi presipitasi dalam skala mikro struktur. Selain itu juga kelompok ini semuanya memiliki kekuatan magnet.

3. Baja tahan karat duplex

Kelompok duplex memiliki mikrostruktur feritik-austenitik dengan fasa yang lebih seimbang dengan nilai kira-kira 50% ferrite dan 50% austenite. Kelompok duplex memiliki gabungan dari sifat yang sangat berguna yang dimiliki oleh baja tahan karat feritik dan austenitic. Mikrostruktur dari duplex juga berkontribusi pada kekuatan yang tinggi dan ketahanan yang tinggi terhadap retakan dari korosi tegangan. Karakteristik pada baja tahan karat duplex memiliki komposisi krom yang tinggi (20.1%-25.4%), tetapi memiliki kadar nickel yang rendah (1.4%-7%) jika dibandingkan dengan kelompok austenitic. Komposisi nickel yang tinggi pada kelompok duplex membuat harga dari material tersebut lebih stabil. Molybdenum (0.3%-4%) dan nitrogen ditambahkan untuk meningkatkan ketahanan korosi dan menyeimbangkan pada mikro strukturnya. Nitrogen juga meningkatkan kekuatan. Mangan juga ditambahkan pada

beberapa kelompok, sebagai pengganti sebagian dari nickel tetapi juga meningkatkan daya larut dari nitrogen pada material.

4. Baja tahan karat austenitik

Kelompok austenitic adalah kelompok yang paling besar pada baja tahan karat dan dapat dibagi menjadi 5 bagian lagi menjadi kelompok Cr-Mn, kelompok Cr-Ni, kelompok Cr-Ni-Mo, kelompok austenitik dengan performa tinggi, dan kelompok austenitik temperatur tinggi. Kelompok austenitic memiliki tingkat ketahanan korosi yang baik hingga sangat bagus, mudah dibentuk dan dilakukan pengelasan. Kekuatan impak yang bagus pada temperature rendah sering digunakan untuk penerapan pembekuan (cryogenic). Kelompok austenitic tidak memiliki kekuatan magnet pada kondisi annealing karena mikrostrukturnya. Pengerjaan dingin meningkatkan kekuatan dan beberapa kelompok digunakan pada aplikasi lingkungan bersulfur (dimana sulfur mungkin dapat bereaksi dengan nickel pada kelompok austenitic) dan/atau pada beban regangan rendah, kelompok-kelompok ini pada umumnya dipadukan dengan karbon lebih dibandingkan dengan kelompok standar feritik. Dengan keinginan untuk meningkatkan kekuatan 'creep', dengan silicon dan aluminium untuk meningkatkan ketahanan terhadap oksidasi

Perbedaan dalam elemen paduan memiliki efek yang berbeda untuk tiap sifat dari baja paduan. Guna dari perbedaan campuran pada baja tahan karat paduan adalah untuk mendapatkan sifat material yang sesuai dengan kebutuhan dilapangan. Dari tiap-tiap elemen paduan itu pun memiliki peran tersendiri dalam menguatkan sisi lemah yang dimiliki oleh elemen lain sehingga

pencampuran ini dapat mengurangi ketidak mampuan material yang tidak dipadukan menjadi lebih baik setelah di padukan. Kegunaan tiap-tiap dari elemen tersebut diantaranya adalah

1. Kromium (Cr)

Krom merupakan elemen terpenting dalam paduan dan dapat memberikan baja tahan karat terhadap pengkorosian dasar. Semua baja tahan karat memiliki kandungan Cr setidaknya 10.5% dan ketahanan korosi meningkat berbanding lurus dengan meningkatnya kandungan krom. Krom juga meningkatkan ketahanan terhadap oksidasi pada temperature tinggi dan meningkatkan struktur mikro feritik.

2. Nickel (Ni)

Alasan utama penambahan nikel adalah untuk meningkatkan mikro struktur austenitic. Nikel umumnya meningkatkan keuletan dan ketangguhan. Selain itu juga tingkat korosi pada kondisi aktif dan sebagai tambahan tahan terhadap lingkungan asam. Pada pengerasan presipitasi baja nikel juga digunakan untuk pembentukan campuran intermetal yang digunakan untuk meningkatkan kekuatan bahan. Pada kelompok martensitic, penambahan nikel diimbangi dengan pengurangan carbon dapat meningkatkan kemampuan pengelasan.

3. Molybdenm (Mo)

Molybdenum secara signifikan meningkatkan ketahanan masing-masing uniform dan korosi local. Bagaimanapun juga meningkatkan kekuatan mekanik dan sangat meningkatkan mikro struktur feritik. Bagaimanapun molybdenum juga meningkatkan resiko formasi fasa ke dua pada feritik, duplex dan baja austenitic. Pada baja martensitic dapat meningkatkan

kekerasan pada penempaan suhu yang lebih tinggi karena efek dari presipitasi karbida

4. Silikon (Si)

Silicon meningkatkan ketahanan terhadap oksidasi, diantaranya pada saat suhu tinggi dan tingkat oksidasi yang tinggi pada suhu rendah. Silicon meningkatkan mikrostruktur feritik dan meningkatkan kekuatannya

5. Karbon (C)

Karbon merupakan pembentuk yang paling kuat pada austenit. Selain itu juga meningkatkan secara signifikan kekuatan mekanik dari bahan. Tetapi juga mengurangi ketahanan terhadap korosi intergranular yang disebabkan oleh formasi karbida dimana terdapat masalah pada awal baja tahan karat. Kelompok modern tidak mengalami masalah pada korosi intergranular karena rendahnya kandungan karbon. Pada baja tahan karat feritik akan mengurangi secara besar kekuatan dan ketahanan korosi. Pada baja tahan karat martensitic meningkatkan kekerasan dan kekuatan, tetapi meningkatkan ketangguhan.

6. Nitrogen (N)

Nitrogen merupakan pembentuk yang kuat pada austenite sehingga meningkatkan kekuatan mekanik secara signifikan. Nitrogen meningkatkan ketahanan korosi lokal, terutama pada kombinasi dengan molybdenum. Pada baja tahan karat feritik, nitrogen secara besar mengurangi ketangguhan dan ketahanan korosi. Pada baja martensitic, nitrogen meningkatkan kekerasan maupun kekuatan pada baja tetapi mengurangi ketangguhan.

7. Titanium (Ti)

Titanium merupakan pembentuk ferit yang kuat dan pembentuk karbida yang kuat, ditambah menurunkan

efektifitas dari kandungan karbon dan meningkatkan struktur ferit dalam du acara. Dalam baja austenitic dengan meningkatkan komposisi karbon akan meningkatkan korosi intergranular (kelompok stabil) tetapi juga meningkatkan sifat mekanik pada temperature tinggi. Pada baja tahan karat feritik titanium ditambahkan untuk meningkatkan ketangguhan, kemudahan pembentukan dan ketahanan korosi. Pada baja tahan karat martensitik, titanium menurunkan kekerasan martensit dengan menggabungkan karbon dan meningkatkan ketahanan tempa. Pada baja pengerasan presipitat, titanium digunakan untuk membentuk adonan intermetalik yang digunakan untuk meningkatkan kekuatan

8. Niobium (Nb)

Niobium kuat pada ferit maupun pembentuk karbida. Seperti titanium meningkatkan struktur feritik. Pada baja austenitic, niobium ditambahkan untuk meningkatkan ketahanan pada korosi intergranular (kelompok stabil) tetapi juga menguatkan sifat mekanik pada temperature tinggi. Pada baja tahan karat feritik, niobium dan/atau titanium terkadang ditambahkan untuk meningkatkan ketangguhan juga terkadang meningkatkan ketahanan terhadap sensitization untuk meminimalisir resiko korosi intergranular. Pada baja martensitic niobium menurunkan kekerasan dan menguatkan ketahanan tempa. pada standar US disebut juga Columbium (Cb).

9. Aluminium (Al)

Aluminium meningkatkan ketahanan oksidasi pada material jika ditambahkan dengan komposisi yang pas. Seringkali digunakan pada kelompok tahan panas untuk keperluan ini. Pada baja pengerasan presipitasi, baja aluminium digunakan untuk pembentukan pada adonan

intermetal yang dapat meningkatkan kekuatan pada kondisi penuaan.

10. Kobalt (Co)

Kobalt sering digunakan pada elemen paduan baja mertensitik dimana dapat meningkatkan kekerasan dan ketahanan tempa terutama pada temperature tinggi.

11. Tembaga (Cu)

Tembaga meningkatkan ketahanan korosi terhadap beberapa asam dan menguatkan struktur mikro pada austenitic. Selain itu juga penambahan tembaga dapat mengurangi tingkat kekerasan pada kelompok yang mudah di machinability. Selain itu juga dapat meningkatkan formability

12. Mangan (Mn)

Mangan pada umumnya digunakan pada baja tahan karat untuk meningkatkan keuletan pada suhu panas. Material ini berpengaruh pada keseimbangan ferit/austenite dengan temperature : pada temperature rendah mangan merupakan penyeimbang austenite tetapi pada suhu tinggi akan menyeimbangkan ferit. Mangan meningkatkan kemampuan dari nitrogen dan digunakan untuk mendapatkan jumlah nitrogen pada baja tahan karat duplex dan austenitic. Mangan sebagai pembentuk austenite juga dapat menggantikan sebagian dari nikel pada baja tahan karat

13. Vanadium (V)

Vanadium membentuk karbida dan nitrid pada temperature rendah, meningkatkan mikrostruktur ferit, dan meningkatkan ketangguhan. Vanadium juga meningkatkan kekerasan dari baja martensitic karena efek dari tipe karbida yang ada. Selain itu juga meningkatkan ketahanan tempa. hanya digunakan pada baja tahan karat yang dikeraskan.

14. Tungsten (W)

Keberadaan tungsten sebagai pemurni hampir pada semua baja tahan karat, juga beberapa kelompok khusus memiliki tambahan material ini untuk menambah ketahanan korosi celah. Contohnya kelompok superduplex 4501

15. Sulfur (S)

Sulfur seringkali ditambahkan pada beberapa jenis baja tahan karat sehingga mudah di machining. Pada takaran saat ini, sulfur akan mengurangi sedikit ketahanan korosi, keuletan, kemampuan pengelasan dan pembentukan

16. Cerium (Ce)

Cerium merupakan salah satu dari material logam paling langka di bumi (REM, 'Rare Earth Material') dan seringkali ditambahkan sedikit pada beberapa kelompok tahan panas dengan tujuan untuk meningkatkan ketahanan terhadap oksidasi pada temperature tinggi

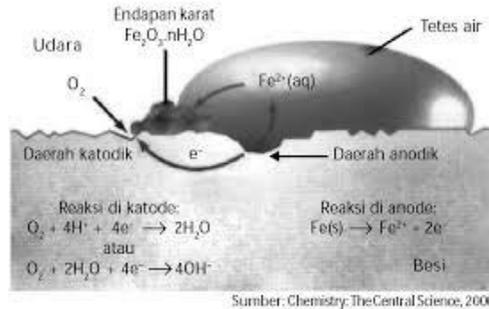
2.4 Korosi

Korosi adalah kerusakan atau degradasi logam akibat reaksi redoks antara suatu logam dengan berbagai zat di lingkungannya yang menghasilkan senyawa-senyawa yang tidak dikehendaki. Dalam bahasa sehari-hari, korosi disebut perkaratan. Contoh korosi yang paling lazim adalah perkaratan besi. Pada peristiwa korosi, logam mengalami oksidasi, sedangkan oksigen (udara) mengalami reduksi. Karat logam umumnya adalah berupa oksida atau karbonat. Rumus kimia karat besi adalah $\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot n\text{H}_2\text{O}$, suatu zat padat yang berwarna coklat-merah.

2.4.1 Mekanisme Korosi

Secara umum mekanisme korosi yang terjadi di dalam suatu larutan berawal dari logam yang teroksidasi dan

melepaskan elektron untuk membentuk ion logam yang bermuatan positif. Larutan akan bertindak sebagai katoda dengan reaksi yang umum terjadi adalah pelepasan H₂ dan reduksi O₂, akibat ion H⁺ dan H₂O yang tereduksi. Reaksi ini terjadi di permukaan logam yang akan menyebabkan pengelupasan akibat pelarutan logam ke dalam larutan secara berulang-ulang (Nurdin dkk, 1998).



Gambar 2.1 Mekanisme Korosi

Mekanisme terjadinya korosi membutuhkan beberapa komponen sebagai syarat terjadinya korosi, antar lain yaitu:

1. Anoda

Anoda adalah bagian permukaan yang mengalami reaksi oksidasi atau terkorosi. Pada anoda ini logam terlarut dalam larutan dan melepaskan elektron untuk membentuk ion logam yang bermuatan positif. Reaksi korosi suatu logam M dinyatakan dalam persamaan berikut:

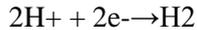


2. Katoda

Katoda adalah elektroda yang mengalami reaksi reduksi menggunakan elektron yang dilepaskan oleh

anoda. Pada lingkungan air alam, proses yang sering terjadi adalah pelepasan H₂ dan reduksi O₂.

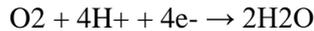
- Pelepasan H₂ dalam larutan asam dan netral evolusi hidrogen / larutan asam:



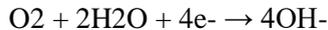
Reduksi air / larutan netral / basa:



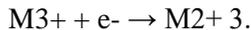
- Reduksi oksigen terlarut dalam larutan asam dan netral : Reduksi oksigen / asam:



Reduksi oksigen / netral atau basa



- Reduksi ion logam yang lebih elektronegatif



3. Elektrolit

Untuk mendukung suatu reaksi reduksi dan oksidasi, serta melengkapi rangkaian elektrik, antara anoda dan katoda harus dilengkapi dengan elektrolit. Elektrolit menghantarkan arus listrik karena mengandung ion-ion yang mampu menghantarkan elektroequivalen force sehingga reaksi dapat berlangsung. Semakin banyak kandungan ion-ion dalam elektrolit maka semakin cepat elektrolit menghantarkan arus listrik. Elektrolit ini sendiri terdapat pada lingkungan dari suatu rangkaian elektrik. Beberapa lingkungan yang dapat bersifat katoda adalah lingkungan air, atmosfer, gas, mineral acid, tanah, dan minyak.

4. Hubungan arus listrik

Antara anoda dan katoda haruslah terdapat suatu hubungan atau kontak seperti listrik agar elektron dapat mengalir dari anoda menuju katoda. Ada beberapa faktor yang mempengaruhi laju korosi yaitu:

- a) Jenis logam dan struktur mikroskopis logam
1. Semakin inert suatu logam, maka semakin tahan logam tersebut terhadap korosi.
 2. Tidak homogenya susunan dari logam, maka akan menimbulkan sel korosi pada logam itu sendiri.
- b) Komposisi dan konsentrasi larutan elektrolit
- Larutan elektrolit adalah air yang mengandung anion dan kation (Piere R, 2008). Beberapa faktor yang mempengaruhi korosifitas suatu larutan antara lain:
1. Konduktivitas Naiknya konduktivitas suatu larutan, maka daya hantar listrik larutan tersebut akan semakin baik, akibatnya laju korosi lebih cepat terjadi.
 2. pH Kenaikan laju korosi pada logam besi terjadi pada pH di bawah 4 dan di atas 12. Hal ini disebabkan karena lapisan pelindung pada besi tidak terbentuk.
 3. Gas terlarut Oksigen terlarut akan meningkatkan reaksi katoda sehingga logam akan semakin teroksidasi (terkorosi). Laju korosi dipengaruhi oleh bermacam-macam kondisi fisik yang terdapat dalam suatu gas terlarut, seperti:
 - a. Temperatur
Temperatur yang tinggi akan mempengaruhi laju korosi. Pada sistem tertutup laju korosi akan terus bertambah, sedangkan pada sistem terbuka kenaikan temperatur akan mengakibatkan penurunan kelarutan gas O₂, dan akan menurunkan laju korosi pada titik tertentu.
 - b. Tekanan

Kenaikan tekanan menyebabkan kenaikan gas terlarut dengan konsekuensi akan menaikkan laju korosi pada sistem.

c. Kecepatan alir fluida

Adanya kecepatan alir fluida yang berbedabeda akan menentukan jenis korosi yang dapat terjadi. Korosi yang sering ditimbulkan akibat faktor ini adalah korosi erosi.

2.4.2 Jenis – Jenis Korosi

2.4.2.1 Korosi Merata

Korosi merata adalah korosi yang terjadi pada seluruh permukaan metal ketika bereaksi dengan lingkungan sekitar [Black, 1988]. Korosi merata merupakan korosi yang paling banyak terjadi pada logam dan merupakan jenis korosi yang seharusnya tidak berbahaya selama pengurangan ketebalan metal masih bisa ditolerir. Lapisan pasif pada logam-logam yang sangat reaktif merupakan produk dari korosi merata. Contohnya adalah Titanium memiliki laju korosi yang paling rendah jika dibanding dengan Stainless Steel dan paduan Cobalt Chromium.



Gambar 2.2 Korosi merata
Sumber : Data pribadi

2.4.2.2 Korosi Galvanik

Korosi ini terjadi akibat perbedaan makroskopik pada potensial elektrokimia, biasanya merupakan dampak dari berdekatnya metal yang berbeda [Jacobs,1998]. Contohnya adalah penggunaan metal yang tidak seharusnya, seperti halnya kawat Stainless Steel yang mengalami kontak metalik dengan femoral stem paduan Cobalt atau Titanium, paduan Cobalt femoral head mengalami kontak metalik dengan paduan Titanium femoral stem, dan baut paduan Titanium mengalami kontak metalik dengan lempengan Stainless Steel [Griffin,1983].



Gambar 2.3 Korosi Galvanik

Sumber : Data pribadi

2.4.2.3 Korosi Sumuran

Korosi Sumuran adalah korosi yang cepat terjadi pada daerah kecil pada tempat yang berlainan. Sumuran ini sangat kecil dan mudah tertutup oleh korosi. Demikian pula serangan yang dilokalisasi biasanya terlindung oleh celah yang ada pada bagian logam dibawah endapan antara metal dengan metal yang lain. Sumuran ini dapat dilihat secara langsung dengan mata telanjang tapi pada kasus tertentu sumuran tersebut tidak dapat dilihat, dan berbahaya karena dapat menyebabkan bentuk stress corrosion cracking (SCC). Sumuran terukur ketika sisi anodik menjadi bagian bagian yang kecil dari permukaan dikarenakan

pecahnya lapisan pasif. Perbedaan kadar oksigen menyebabkan perbedaan dari potensial elektrokimia antara sumuran dengan logam sekitar.



Gambar 2.4 Korosi Sumuran
Sumber : Data pribadi

2.4.2.4 Korosi Celah

Korosi ini terjadi bila ada salah satu sisi yang terlindungi dari lingkungan. Biasanya hal ini ditemukan pada bagian bawah dari kepala mur yang menahan plat implant atau pada lokasi yang serupa sebagai contoh daerah pertemuan antara komponen dari dua benda. Hal penting yang membuat terjadinya korosi ini adalah terjadinya celah, baik celah yang sempit, retakan dalam juga pada pertemuan antara dua jenis alat seperti pada plat dan kepala mur, atau defect seperti fatigue crack.

Mekanisme dari korosi celah adalah mula-mula terjadi korosi merata pada permukaan logam (pada celah), lalu oksigen yang ada dicelah habis untuk korosi merata sehingga tidak terbentuk lagi ion hidroxil. Selanjutnya adalah terjadinya peristiwa otokatalitik, yaitu masuknya ion ion negatif dari lingkungan kedalam celah melalui proses difusi sehingga akan terjadi serangan korosi yang lebih hebat lagi.



Gambar 2.5 Korosi Celah
Sumber : Data pribadi

2.4.2.5 Korosi Fatigue

Korosi fatigue adalah jenis kegagalan dari logam yang terjadi dari kombinasi dari reaksi elektrokimia dan beban siklik. Ketahanan terhadap korosi fatigue sangat penting untuk alat implant atau untuk logam yang digunakan untuk aplikasi gerakan siklis. Secara normal kegagalan mungkin tidak dapat diukur, tetapi keretakan dapat muncul dari dalam logam, kerusakan permukaan, serangan kimiawi dan sebab yang lain. Lingkungan korosif dapat menyebabkan serangan korosi lokal. Serangan ini dipengaruhi oleh tipe larutan, larutan pH, kandungan oksigen dan temperatur. Lingkungan dari cairan tubuh akan menurunkan dari ketahanan fatigue dari implant. Striasi dari fatigue dapat diketahui pada logam yang patah dengan “garis pantai” yang menandakan adanya korosi fatigue. Keberadaan dari sumuran akan menamba kecepatan terjadinya korosi fatigue.[Sivakumar,1994].



Gambar 2.6 Korosi *Fatigue*
Sumber : Data pribadi

2.4.2.6 Korosi Fretting

Korosi fretting terjadi bila dua permukaan yang berbeda seperti plat tulang dan kepala mur dari alat prosthetic bergesekan satu sama lain secara kontinue dalam lingkungan tubuh. Korosi ini terjadi sebagai hasil dari gerakan yang kecil antara permukaan yang saling kontak dalam lingkungan korosif, bahkan ketika tidak adanya medium korosif korosi ini dapat terjadi. Gesekan ini dapat menyebabkan partikel-partikel logam produk dari korosi ikut kedalam jaringan sekitar, atau dapat menyebabkan inisiasi dari retakan dan kegagalan patahan dari implant tersebut [Syrett,1978]. Korosi fretting pada plat tulang dan paku pada panggul dapat menyebabkan korosi lelah. Yang dapat diketahui dari lubang mur.



Gambar 2.7 Korosi *Fretting*
Sumber : Data pribadi

2.5 Implan Tulang

Implan tulang merupakan suatu alat yang digunakan sebagai penopang bagian tubuh dan penyangga tulang pada kasus patah tulang (fraktur). *Scaffold, plate, bone, screw*, dan beberapa alat lain dapat digunakan secara kombinasi menjadi penopang dan pengisi sambungan antara tulang yang patah sebelum jaringannya mengalami pertumbuhan. Untuk itulah scaffold pada area tulang akan mengalami kontak langsung dengan sel tulang, termasuk di dalamnya osteoblas, osteosit, dan osteoklas. Dan scaffold haruslah memiliki karakteristik sebaik kriteria pembebanan, serta gerak mekanik yang dimiliki tulang.

Faktor-faktor tersebut akan memengaruhi kecepatan dari pertumbuhan tulang dan peluruhan scaffold (Saito, 2011). Pada orthopedic device seperti scaffold, plate, bone screw, dll biasanya terbuat dari logam non- biodegradable. Bone screw digunakan untuk menjaga scaffold agar tetap berada pada posisinya dan tidak bergerak sehingga dapat memertahankan bentuk tulang seperti yang diinginkan. Hingga saat ini penggunaan material non-biodegradable (berupa logam dan juga polimer yang tak mampu diserap tubuh) masih sangat populer dalam praktik penanggulangan dan pengobatan fraktur. Padahal, risiko kerusakan jaringan tubuh, infeksi, dan efek trauma dari pasien akibat operasi berulang-ulang untuk penanaman dan pengambilan implan sangat besar (Olszta, 2007).

Untuk itulah diperlukan adanya solusi bahan yang biodegradable untuk menjawab risiko-risiko tersebut. Menurut Dumitrescu (2011) implan tulang ideal harus mempunyai sifat berikut:

1. Biokompatibel.
2. Mampu menjadi kerangka atau scaffold untuk pembentukan sel tulang baru.
3. Dapat diserap dalam jangka panjang dan berpotensi untuk digantikan oleh tulang induk.
4. Dapat dimanipulasi secara klinis.
5. Hidrofilik.
6. Tidak menimbulkan reaksi alergi.
7. Mempunyai kuat tekan yang tinggi.
8. Microporous dan menyediakan kekuatan tambahan untuk memperbaiki matriks tulang induk dan menjalankan fungsi perbaikan biologis.
9. Dapat beradaptasi pada berbagai situasi medis (contoh trauma, kanker, dan lain-lain).
10. Tidak mendukung pertumbuhan pathogen

Karakteristik umum dalam kesuksesan terapi implan antara lain terhadap pasien antara lain :

- (a) Tidak bergerak (immobile) : tingkat mobilitas implan dapat ditentukan dengan cara langsung (digoyang-goyang) atau diketuk (tapping) menggunakan slat dan mendengarkan bunyi yang khas ada tidaknya osseointegrasi implan.
- (b) Film sinar rontgen yang dapat menunjukkan regio radiolusensi sekitar implan.
Bila terdapat regioradiolusensi dicurigai adanya kapsul jaringan ikat fibrosa yang merupakan salah satu tanda kegagalan osseointegrasi implan.



Gambar 2.8 Alat Implan Tulang
Sumber : Data Pribadi

2.6 Titanium Nitride

Paduan dengan dasar titanium banyak digunakan untuk peralatan medis karena memiliki ketahanan korosi yang tinggi. Titanium juga memiliki sifat biokompatibilitas yang lebih baik dibanding logam lainnya. Kemampuan titanium untuk berinteraksi dengan sel atau jaringan hidup sangat baik tanpa menimbulkan reaksi toksik. Paduan titanium banyak digunakan karena titanium murni merupakan material lunak dengan ketahanan geser permukaan rendah, yang disebabkan karena terbentuknya oksida secara alami di permukaan titanium (Subramanian et.al, 2011).

Titanium adalah logam yang sangat reaktif, ketika permukaannya terekspose pada udara atau lingkungan yang lain yang mengandung oksigen lapisan oksida tipis dari Titanium terbentuk dimana kandungan utamanya adalah TiO_2 . Kehadiran lapisan oksida tipis ini membuat Titanium mempunyai ketahanan terhadap korosi yang sangat bagus didalam berbagai jenis media korosif.

Paduan titanium nitride banyak digunakan karena keunggulan sifat yang dimiliki yaitu sifat mekanik dan kimia yang baik, seperti nilai kekerasan yang tinggi, ketahanan korosi dan ketahanan aus yang tinggi. Titanium nitride banyak

digunakan sebagai bahan pelapis material untuk meningkatkan sifat pada permukaan logam (Subramanian et.al, 2011). penggunaan titanium nitride sebagai bahan pelapis selain bertujuan untuk mendapatkan perbaikan sifat pada permukaan logam, juga dapat digunakan sebagai pelapis dekoratif (Bavadi et.al, 2012).

2.7 Simulated Body Fluid (SBF)

Simulated Body Fluid adalah solusi dengan konsentrasi ion yang dekat dengan plasma darah manusia, dijaga dalam kondisi pH yang ringan dan suhu fisiologis yang identik.

2.7.1 Definisi Simulated Body Fluid (SBF)

Simulated Body Fluid yang juga dikenal sebagai Synthetic Body Fluid adalah suatu larutan yang dibuat menyerupai kondisi tubuh (darah) manusia yang sebenarnya, dengan cara mengatur konsentrasi ion – ion seperti yang terkandung di dalam tubuh manusia sehingga pH (Derajat Keasaman) nya menyerupai kondisi tubuh manusia.

Pada penelitian ini penulis menggunakan standard Kokubo. Hal ini dikarenakan pada penelitian tugas akhir salah satu seorang mahasiswa yang dibimbing oleh pembimbing penulis, sebelumnya telah menggunakan standard HBSS (Human Body Solid State) atau yang sering dikenal sebagai standard Hank's. Ada beberapa standard yang lazim digunakan untuk mengatur konsentrasi ion – ion tersebut agar menyerupai kondisi tubuh manusia. Beberapa standar yang sering digunakan adalah blood plasma, HBSS, ringer's solution dan kokubo et al. Konsentrasi ion – ion penyusunnya dapat dilihat seperti tabel di bawah ini.

Tabel 2.2 Konsentrasi Ion Pada SBF (mM)

ION	Konsentrasi Ion (mM)			
	Blood Plasma	HBSS	Ringer's sol	Kokobu et al
Na ⁺	130-155	141.7	39.1	142
K ⁺	4.0-5.6	5.7	1.4	5.0
Mg ⁺	1.6-2.2	0.8	0	1.5
Ca ⁺	4.0-5.5	1.7	0.4	2.5
Cl ⁻	100-110	145.6	40.7	147.8
HCO ₃ ⁻	24-30	4.2	0.6	4.2
HPO ₄ ²⁻	1.6-2.7	0.7	0	1.0
SO ₄ ²⁻	0.7-1.5	0.8	0	0.5

2.7.2 *Simulated Body Fluid (SBF) Tadashi Kokubo*

Untuk menghasilkan konsentrasi ion dengan standard yang sesuai pada kokubo et al[4,11,12], maka dibutuhkan reagent – reagent sebagai prekursor untuk mengontrol konsentrasi ion – ion pada larutan SBF tersebut seperti NaCl, KCl, HCl, dan trishidroksi methyl aminomethan (CH₂OH)₃CNH₂, seperti tertera pada tabel berikut :

Tabel 2.3 Komposisi Penyusun Konsentrasi Ion SBF

Nomor	Reagent	Banyaknya
1	NaCl	6.547 gram
2	NaHCO ₃	2.268 gram
3	KCl	0.373 gram
4	Na ₂ HPO ₄ .2H ₂ O	0.178 gram
5	MgCl ₂ .2H ₂ O	0.305 gram
6	CaCl ₂ .2H ₂ O	0.368 gram
7	Na ₂ SO ₄	0.071 gram
8	(CH ₂ OH) ₃ CNH ₂	6.051 gram
9	HCl	0.1 N

Simulated Body Fluid ini dibuat dengan cara mencampurkan semua bahan – bahan di atas ke dalam satu liter air pada temperatur 36.5°C, kemudian distir menggunakan stirer magnetik. Untuk mendapatkan pH 7,40 dilakukan dengan cara melarutkan zat HCl sedikit demi sedikit untuk menambah kadar asam pada SBF tersebut. Biasanya jika tanpa HCl, larutan tersebut akan bersifat basa hingga mencapai pH > 11. Oleh karena itu dengan penambahan HCl akan menurunkan sifat basa larutan tersebut. Secara sederhana pembuatan larutan SBF ini dapat dilihat pada gambar berikut ini :



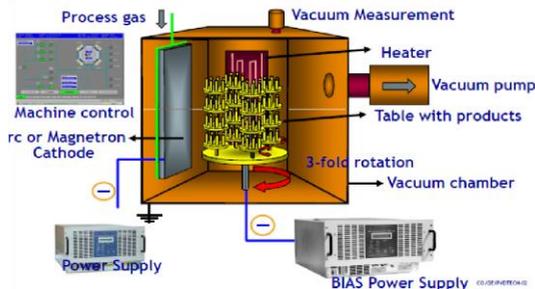
Gambar 2.9 Larutan SBF Standard Kokubo
Sumber : Dokumentasi Pribadi

2.8 Physical Vapor Depositon (PVD) Coating

PVD adalah proses utama lainnya yang digunakan untuk memproduksi pelapis alat pemotong. Dalam PVD, lapisan disimpan dalam ruang hampa. Spesies logam pelapis, diperoleh melalui penguapan atau sputtering, bereaksi dengan spesies gas (nitrogen atau amonia) di dalam bilik dan diendapkan ke substrat. Karena PVD adalah proses tekanan rendah, atom dan

molekul pelapis mengalami tabrakan yang relatif sedikit dalam perjalanan mereka ke substrat.

Oleh karena itu PVD adalah proses line-of-sight yang memerlukan perlengkapan bergerak untuk memastikan ketebalan lapisan yang seragam. Suhu pada pemrosesan PVD yang relatif rendah yaitu 500°C (930°F). Suhu pemrosesan yang lebih rendah ini menghasilkan banyak manfaat untuk pelapisan PVD. Pelapisan PVD pada dasarnya bebas dari retakan termal yang umum terjadi pada pelapisan CVD. Dalam PVD, suhu pemrosesan cukup rendah sehingga formasi eta-fase dihilangkan, memungkinkan pengendapan lapisan PVD pada tepi yang tajam. Kemampuan untuk melapisi ujung yang tajam juga ditingkatkan oleh ketipisan relatif pelapis. Lapisan mikrostruktur tergantung pada kondisi pemrosesan. Menyesuaikan parameter proses dalam PVD memungkinkan modifikasi dari kolom ke struktur yang sama. Pelapis PVD juga memiliki tekanan tekan bawaan yang sangat tinggi yang membantu mereka menahan inisiasi dan perambatan retak. Meminimalkan pembentukan dan penyebaran retak dapat membantu mencegah kegagalan alat prematur, meningkatkan keamanan tepi alat.



Gambar 2.10 Proses PVD Coating

2.9 Pengujian Korosi

2.9.1 Uji Polarisasi Potensio Dinamik (PDP)

Polarisasi potensiodinamik adalah metode untuk menentukan perilaku korosi logam berdasarkan hubungan potensial dan arus anodik atau katodik. Korosi logam terjadi jika terdapat arus anodik yang besarnya sama dengan arus katodik, walaupun tidak ada arus yang diberikan di luar sistem. Hal ini disebabkan ada perbedaan potensial antara logam dan larutan sebagai lingkungannya (Sunarya, 2008). Laju korosi dapat ditentukan dengan metode ini dengan menggunakan potensiostat dengan tiga elektroda, yaitu elektroda acuan tipe kalomel (SCE), elektroda bantu berupa platina dan elektroda kerja berupa spesimen baja. Data yang didapat dari metode ini adalah kurva polarisasi anodik/katodik yang menyatakan hubungan antara arus ($\mu\text{A}/\text{cm}^2$) sebagai fungsi potensial (mV). Menurut Kandias (2009) selanjutnya kurva tersebut diekstraposisi untuk dapat menentukan laju korosi dan arus korosi melalui persamaan sebagai berikut :

$$I_{\text{corr}} = \frac{\beta_a \beta_c}{2.303(\beta_a + \beta_c)} \frac{1}{R_p} \dots\dots\dots(1)$$

$$V_{\text{corr}} = 3,275 \times 10^{-3} \frac{A_e}{\rho} I_{\text{corr}} \dots\dots\dots(2)$$

Keterangan:

I_{corr} = Rapat arus korosi ($\mu\text{A}/\text{cm}^2$)

β_a, β_c = Slop Tafel anodik slop Tafel katodik

R_p = Hambatan polarisasi

V_{corr} = Laju korosi Faraday

A_e = Masa ekuivalen logam (g/mol.ekivalen)

P = Masa jenis logam (g/cm^3)

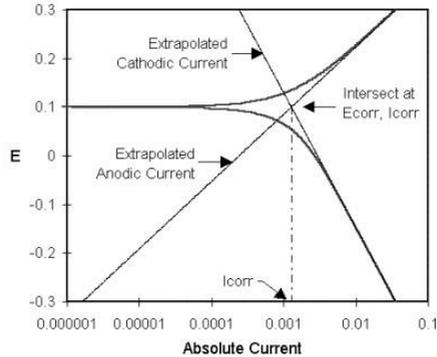
Kecepatan atau laju korosi yang terjadi pada logam dalam lingkungan elektrolit baik tanpa atau dengan adanya inhibitor korosi dapat dilakukan dengan menggunakan

metode Tafel. Pengukuran dengan metode Tafel untuk kinerja inhibisi dilakukan dalam sel elektrokimia dengan sistem tiga elektroda, yaitu sampel baja karbon sebagai elektroda kerja, elektroda Pt sebagai elektroda bantu, dan elektroda kalomel sebagai elektroda pembanding. Kinetika elektrokimia untuk korosi pada logam dapat dikarakterisasi dengan menentukan tiga parameter yaitu densitas hantaran (I_{corr}), potensial korosi (E_{corr}), dan slop Tafel katodik (β_a dan β_c). Hasil pengolahan data ketiga parameter diatas dapat menentukan harga hambatan polarisasi (R_p) serta densitas hantaran (I_{corr}) dan dari hasil kedua olahan ini dapat dinyatakan sebagai laju korosi

Faraday (V_{corr} atau CF) dalam satuan milimeter pertahun (Kandias, 2009). Hambatan polarisasi, R_p (ohm, cm^2) adalah suatu besaran yang menentukan laju korosi suatu logam dalam lingkungan larutan korosif berdasarkan kemiringan kurva potensial sebagai fungsi rapat arus disekitar potensial korosinya. R_p diasosiasikan dengan hukum Stren Geary, pada Persamaan (1). Nilai R_p ini menunjukkan laju korosi, jika nilai R_p sangat kecil maka system sangat korosif. Sedangkan β_a dan β_c merupakan kemiringan Tafel anodik dan Tafel katodik. B merupakan nilai terapan Stern Greary (Fahrurrozie, 2009).

Prinsip polarisasi Tafel adalah antaraksi antarmuka 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 kearah negatif maka polarisasi atau reaksi anodik yang berperan ditandai dengan terjadinya oksidasi pada baja karbon.

Namun jika potensial korosi bergeser kearah positif maka reaksi katodik berperan ditandai dengan terjadinya reduksi ion-ion H^+ yang banyak



Gambar 2.11 Grafik Uji Polarisasi Potensiodinamik
(ilmuwantekkim.lecture.ub.ac.id)

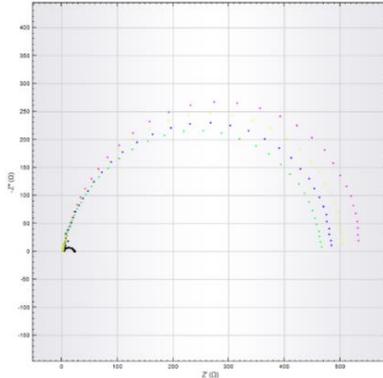
Polarisasi atau potensial lebih, adalah perubahan potensial elektroda setengah sel dari posisi kesetimbangan dengan lingkungannya pada suatu proses elektrokim. Hubungan potensial lebih dan arus dapat digunakan untuk mengungkapkan laju korosi. Untuk menghitung persentase inhibisi pada metode ini digunakan Persamaan:

$$\% \text{proteksi (\%EI)} = \frac{I_{corr0} - I_{corri}}{I_{corri}} \times 100\%$$

dengan %EI adalah persentase efektivitas penghambatan, I_{corr0} adalah arus sebelum ditambahkan inhibitor, I_{corri} adalah arus sesudah ditambahkan inhibitor

2.9.2 Uji *Electroscopy Impedance Spectroscopy* (EIS)

EIS atau electrochemical impedance spectroscopy adalah metode pengukuran untuk mengkarakterisasi suatu sistem elektrokimia. Teknik ini mengukur impedansi dari sistem dalam suatu rentang frekuensi tertentu yang akan direspon oleh sistem. Seringkali, data yang dimunculkan oleh EIS ini berupa plot bode atau Nyquist.



Gambar 2.12 Kurva Nyquist Z pada korosi baja.

Sumber : Dokumentasi Pribadi.

Impedansi berkebalikan dengan aliran AC dalam suatu sistem kompleks. Sistem elektronik sistem pasif meliputi elemen energi yang hilang (resistor) dan energi yang tersimpan (kapasitor). Hampir semua sistem fisikimia, seperti sel elektrokimia, penyimpanan dan tahanan energi yang terjadi dalam jaringan biologis dapat dianalisis dengan EIS. Salah satu penggunaan EIS adalah untuk mengetahui sistem yang terbentuk jika suatu inhibitor korosi dimasukkan ke dalam suatu sistem. Jika suatu inhibitor korosi ditambahkan kedalam suatu sistem terkorosi, maka ion ataupun elektron yang dapat menyebabkan teroksidasinya besi akan terhalangi oleh lapisan tipis yang dibentuk oleh inhibitor tersebut. Akibatnya, terdapat suatu bacaan tahanan yang terbaca oleh detektor. Penggambaran dari data tersebut berupa kurva Nyquist Z.

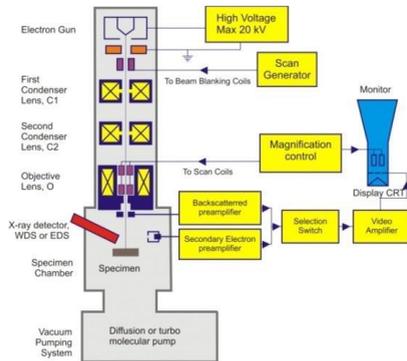
2.9.3 Uji *Scanning Electron Microscope (SEM)*

Scanning Electron Microscope (SEM) adalah sebuah mikroskop elektron yang didesain untuk menyelidiki permukaan dari objek solid secara langsung. SEM memiliki perbesaran 10 – 3000000x, *depth of field* 4 – 0.4 mm dan

resolusi sebesar 1 – 10 nm. Kombinasi dari perbesaran yang tinggi, *depth of field* yang besar, resolusi yang baik, kemampuan untuk mengetahui komposisi dan informasi kristalografi membuat SEM banyak digunakan untuk keperluan penelitian dan industri. Adapun fungsi utama dari SEM antara lain dapat digunakan untuk mengetahui informasi-informasi mengenai:

- Topografi, yaitu ciri-ciri permukaan dan teksturnya (kekerasan, sifat memantulkan cahaya, dan sebagainya).
- Morfologi, yaitu bentuk dan ukuran dari partikel penyusun objek (kekuatan, cacat pada *Integrated Circuit (IC)* dan *chip*, dan sebagainya).
- Komposisi, yaitu data kuantitatif unsur dan senyawa yang terkandung di dalam objek (titik lebur, kereaktifan, kekerasan, dan sebagainya).

Prinsip kerja SEM yaitu bermula dari *electron beam* yang dihasilkan oleh sebuah filamen pada *electron gun*. Pada umumnya *electron gun* yang digunakan adalah *tungsten hairpin gun* dengan filamen berupa lilitan *tungsten* yang berfungsi sebagai katoda. Tegangan diberikan kepada lilitan yang mengakibatkan terjadinya pemanasan. Anoda kemudian akan membentuk gaya yang dapat menarik elektron melaju menuju ke anoda. Kemudian electron beam difokuskan ke suatu titik pada permukaan sampel dengan menggunakan dua buah condenser lens. Condenser lens kedua (atau biasa disebut dengan lensa objektif) memfokuskan beam dengan diameter yang sangat kecil, yaitu sekitar 10-20 nm. Hamburan elektron, baik Secondary Electron (SE) atau Back Scattered Electron (BSE) dari permukaan sampel akan dideteksi oleh detektor dan dimunculkan dalam bentuk gambar pada layar CRT.



Gambar 2.13 Skema Kerja Alat *Scanning Electron Microscope*

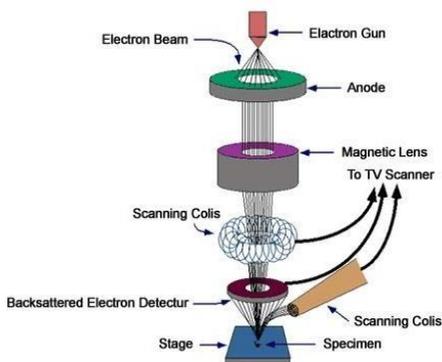
sumber : Sujatno, Agus. “Studi scanning electron microscopy (SEM) untuk karakterisasi proses oksidasi paduan zirconium.”
Jurnal Forum Nuklir (JFN) 9:2(2015) 46.

2.9.4 Uji *Scanning Electron Microscope Energy Dispersive X-Ray (SEM-EDX)*

Prinsip kerja dari SEM adalah dengan menggambarkan permukaan benda atau material dengan berkas elektron yang dipantulkan dengan energi tinggi. Permukaan material yang disinari atau terkena berkas elektron akan memantulkan kembali berkas elektron atau dinamakan berkas elektron sekunder ke segala arah. Tetapi dari semua berkas elektron yang dipantulkan terdapat satu berkas elektron berintensitas tertinggi yang dipantulkan oleh sampel yang akan dianalisis. Pengamatan sampel dilakukan dengan menembakkan berkas elektron yang berintensitas tertinggi ke permukaan sampel, kemudian scan keseluruhan permukaan material pengamatan. Karena luasnya daerah pengamatan, dapat dibatasi lokasi yang akan diamati dengan melakukan zoom-in atau zoom-out. Dengan memanfaatkan berkas pantulan dari benda tersebut maka informasi dapat diketahui dengan menggunakan program

pengolahan citra yang terdapat di dalam komputer. Untuk mengetahui komposisi kimia pada permukaan sampel, sebagian besar alat SEM dilengkapi dengan kemampuan *energy dispersive x-ray* (EDX). EDX dihasilkan dari sinar-X, yaitu dengan menembakkan sinar-X pada posisi yang ingin diketahui komposisinya. Setelah ditembakkan pada posisi yang diinginkan maka akan muncul puncak – puncak tertentu yang mewakili suatu unsur yang terkandung. Dengan EDX juga bisa membuat *elemental mapping* (pemetaan elemen) dengan memberikan warna berbeda – beda dari masing – masing elemen di permukaan sampel. EDX bisa digunakan untuk menganalisa secara kuantitatif dari persentase masing – masing elemen.

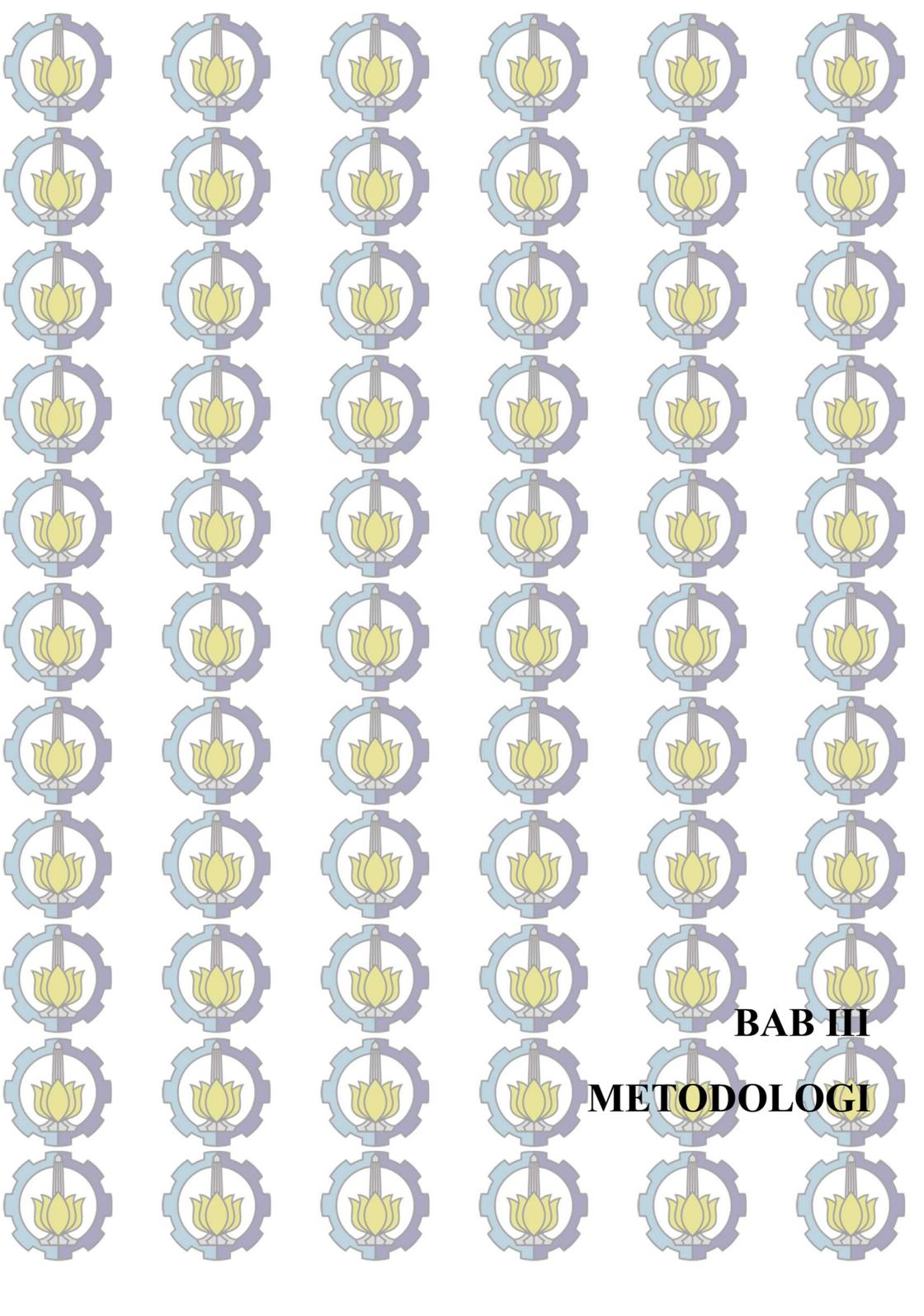
SEM-EDX dapat memberikan informasi tentang topografi, morfologi, komposisi dari sampel yang dianalisis (Girao, 2017). Topografi adalah kemampuan untuk menganalisa permukaan dan tekstur. Morfologi adalah kemampuan untuk menganalisa bentuk dan ukuran dari benda sampel. Komposisi adalah kemampuan menganalisa komposisi dari permukaan benda secara kuantitatif dan kualitatif.



Gambar 2.14 Prinsip kerja SEM (Schweitzer, 2014)

Sumber :

<http://repository.umy.ac.id/bitstream/handle/123456789>



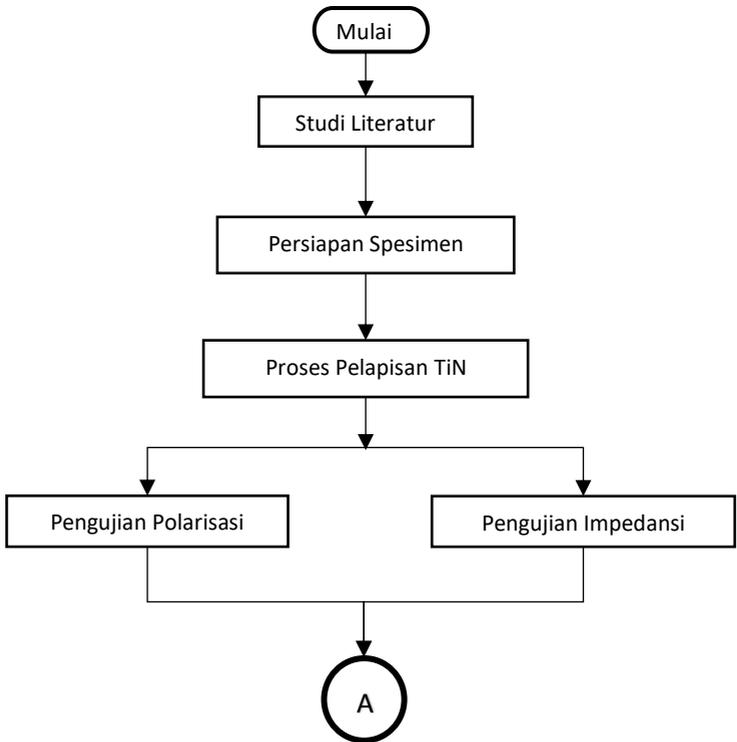
BAB III
METODOLOGI

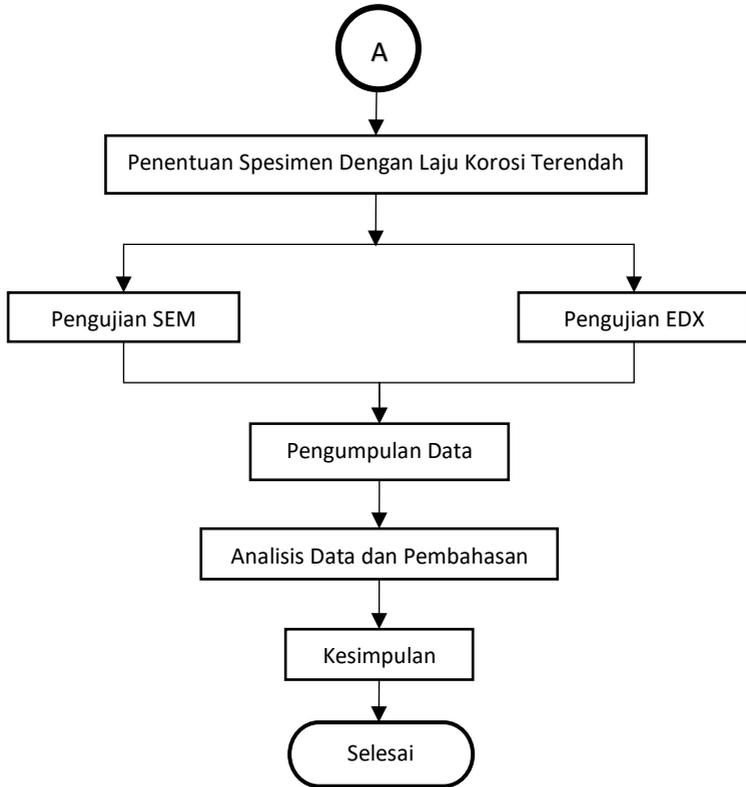
BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

Proses eksperimen yang dilakukan pada penelitian kali ini adalah Pengujian PDP (potensiodynamic polarisazation) *Electrosopy Impedance Spectroscopy* (EIS) , *Scanning Electron Microscope* (SEM), *Scanning Electron Microscope Energy Dispersive X-Ray* (SEM-EDX). Pengujian dilakukan dengan spesimen ST41 yang dilapisi *Titanium Nitride* dan SS 316L.

3.1 Diagram Alir





Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian

Saat memulai hal yang dilakukan pertama kali adalah study literatur tentang material yang akan dipakai yaitu Baja Karbon ST 41. Setelah study literatur mengenai baja karbon ST 41 tersebut kegiatan selanjutnya adalah menyiapkan spesimen. Benda uji yang telah dipotong menjadi 5 bagian dengan panjang, lebar dan tebal 20 mm x 10 mm x 4 mm. Langkah selanjutnya yaitu melakukan coating Titanium Nitride (TiN). Setelah kegiatan tersebut selesai dilakukan uji tavel untuk mengetahui laju korosi.

3.2 Waktu Pelaksanaan Penelitian

Waktu pelaksanaan penelitian ini dilakukan pada semester ganjil tahun ajaran 2019/2020 yaitu pada bulan Agustus sampai dengan Desember 2019.

3.3 Tempat Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan di Pusat Studi Kajian Halal ITS, Laboratorium Energi dan Lingkungan ITS dan Workshop Departemen Teknik Mesin Industri FV-ITS.

3.4 Alat Penelitian

1. Gelas ukur
2. Jangka sorong
3. Wadah plastik
4. Resin
5. Kabel Tembaga
6. Timah
7. Kertas Amplas
8. Lakban hitam
9. Gunting
10. Gergaji besi
11. Alat pengujian Electrochemical impedance spectroscopy
12. Alat pengujian Polarisasi Potensiodinamic
13. Alat pengujian SEM
14. Alat pengujian SEM EDX

3.5 Bahan Penelitian

1. Material
 - a. Bahan yang digunakan adalah baja ST 41 dengan komposisi kimia (% dalam berat) dan sifat mekanik dan sebagai berikut :

Tabel 3.1 Komposisi Kimia Baja ST 41

C	Si	Mn	P	S
0.19 %	0.18%	0.6 %	0.021%	0.015%

- b. Bahan kedua yang digunakan adalah SS 316L dengan komposisi kimia (% dalam berat) dan sifat mekanik dan sebagai berikut :

Tabel 3.2 Komposisi Kimia SS 316L

2. Pelapisan Spesimen dengan TiN

Pelapisan spesimen ST41 dilakukan di Jl. Nanans III/303 Pondok Candra Indah, Waru, Sidoarjo. Pelapisan ST41 dilakukan dengan bahan pelapis TiN atau Titanium Nitride dengan metode PVD Coating

Grade	C	Mn	Si	Cr	Mo	Ni	N	
SS	Min	-	-	16.0	2.0	-	-	
316L	Max	0.03	2.0	0.75	18.00	3.00	14.0	0.10

hingga mendapatkan ketebalan 3µm

3. Larutan Media Korosif

Larutan elektrolit yang digunakan untuk media korosi pada penelitian kali ini adalah larutan *Simulated Body Fluid* sebanyak 64 ml yang terdiri dari banyak campuran senyawa kimia.

3.6 Langkah Percobaan

3.6.1 Studi Literatur

Studi literatur meliputi penggalian teori-teori mengenai objek yang akan diteliti, jurnal dari penelitian sebelumnya yang berhubungan dengan masalah yang ditemui dan pernah dilakukan penelitian sebelumnya, pemahaman referensi dan

data data yang akan dijadikan dasar untuk penyelesaian masalah yang ada. Adapun referensi tersebut dapat berupa code, standart, atau handbook yang ada. Sehingga dapat menjadi penunjang untuk dijadikan referensi dalam masalah interpass temperatur dalam penelitian yang akan dibuat.

3.6.2 Proses Pemotongan Spesimen

Spesimen ST41 dan SS 316 L dipotong dengan gergaji besi hingga mencapai dimensi 20 mm x 10 mm x 4 mm yang dilakukan di workshop Departemen Teknik Mesin Industri, Fakultas Vokasi, ITS.



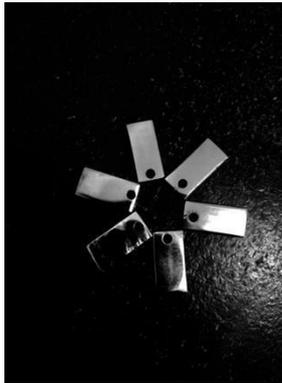
Gambar 3.2 Baja ST41



Gambar 3.3 SS 316 L

3.6.3 Proses Pengeboran Spesimen

Spesimen ST41 dan SS 316 L yang sudah dilakukan proses pemotongan kemudian dilakukan proses pengeboran dengan mesin *drill* menggunakan mata bor berdiameter 3 mm pada bagian kurang lebih $\frac{1}{4}$ dari total Panjang spesimen hingga menembus sisi lain dari bagian pengeboran dengan disiram *coolant* sebagai media pendingin.



Gambar 3.4 Pasca Pengeboran Spesimen

3.6.4 Polishing

Untuk meningkatkan kadar kehalusan yang maksimal pada benda uji maka dilakukan diproses polishing atau pemolesan. Pemolesan dilakukan secara bertahap dimulai dengan menggunakan kertas abrasive yang berukuran 180 mesh, 240 mesh, 360 mesh, 600 mesh, 800 mesh, 1500 mesh dan terakhir 2000 mesh. Selama dilakukan pemolesan perlu sesekali dicelupkan ke air untuk menghilangkan partikel abrasif dan untuk mengurangi panas yang timbul akibat pemolesan sehingga tidak terjadi perubahan struktur mikro dari spesimen.

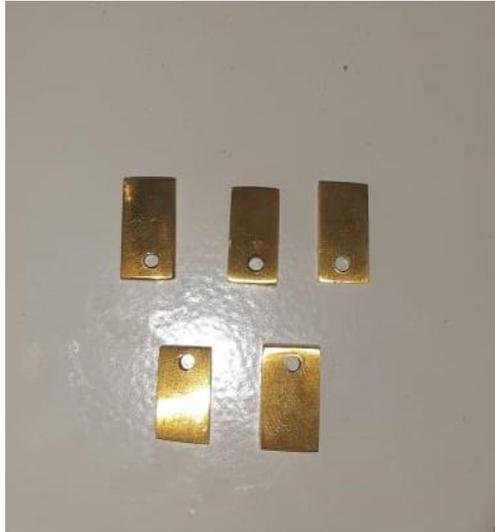


Gambar 3.5 Alat Polishing

3.6.5 Proses Pelapisan PVD TiN

Pada permukaan ST41 dilakukan dengan proses electroplating. Pada proses ini ST41 akan dikonversi dalam bentuk lapisan tipis Ni-cr setelah dicelupkan ke dalam larutan kimia yang telah diberi aliran arus listrik DC. Arus listrik DC akan dialirkan pada larutan ini sehingga ion-ion dari larutan akan menempel pada permukaan ST41.

Proses pelapisan dilakukan secara bertahap. Tahapan pertama yaitu pelapisan nikel. Kemudian tahapan kedua dilanjutkan dengan pelapisan krom. Pelapisan nikel berfungsi sebagai lapisan antara untuk pelapisan krom. Sedangkan pelapisan krom digunakan untuk memperoleh lapisan logam keras, tahan korosi, serta membuat penampilan menjadi mengkilap



Gambar 3.6 Spesimen ST 41 yang sudah Terlapis *Titanium Nitride (TiN)*

3.6.6 Persiapan Elektrolit Simulated Body Fluid

Larutan yang digunakan adalah *simulated body fluid* 64 ml yang terdiri dari beberapa senyawa kimia. Proses persiapan larutan elektrolit Simulated Body Fluid dimulai dengan mempersiapkan zat-zat sebagai berikut :

Tabel 3.3 Bahan Simulated Body Fluid

NaCl	6.547 gram
NaHCO₃	2.268 gram
KCL	0.373 gram
Na₂HPO₄2H₂O	0.178 gram
MgCl₂2H₂O	0.305 gram
CaCl₂2H₂O	0.368 gram
Na₂SO₄	0.071 gram
(CH₂OH)₃CNH₂	6.051 gram

Kemudian dilarutkan dengan aquadest steril hingga volume 1 liter, pH larutan ditepatkan dengan larutan HCL 0.1 N menjadi 7.40



Gambar 3.7 Larutan *Simulated Body Fluid* (SBF)

3.6.7 Proses Pengujian

3.6.7.1 Potensiodynamic polarisazation (PDP)

Polarisasi potensiodinamik adalah metode untuk menentukan perilaku korosi logam berdasarkan hubungan potensial dan arus anodik atau katodik jika logam berada kontak dengan larutan yang bersifat korosif. Dalam pengujian korosi digunakan potensiodinamik karena dengan ini dapat dilakukan analisis tafel untuk mendapatkan data data tentang arus korosi (I_{corr}) dan laju korosi (Corr Rate). Metode pengujian ini mengacu pada standard ASTM G 5 -94 dan perhitungan dari *corr. rate* mengacu pada standard ASTM G 102 - 89.

Prosedur pengujian polarisasi potensi dinamik adalah sebagai berikut:

1. Mempersiapkan alat dan bahan yaitu spesimen ST 41 yang terlapis *Titanium Nitride (TiN)* dengan ukuran 20 mm x 10 mm x 5 mm kemudian dilapisi resin dengan luas bidang yang tidak tertutup resin (luas bidang kontak dengan larutan korosif) 56 mm² .
2. Memasukkan larutan elektrolit kedalam gelas sebanyak 64 ml.
3. Memasang elektroda kerja pada rangkaian alat polarisasi.
4. Menjalankan pengujian polarisasi dengan bantuan mesin AUTOLAB dan *software* Nova 1.11



Gambar 3.8 Mesin AUTOLAB



Gambar 3.9 Proses Uji Potensiodynamic polarisazation (PDP)

3.6.7.2 Electroscopy Impedance Spectroscopy (EIS)

Electrochemical impedance spectroscopy (EIS) merupakan salah satu metode yang berkembang sangat cepat. Hal ini dikarenakan *Electrochemical impedance spectroscopy* (EIS) merupakan metode analisa yang penting, dimana dapat memberikan informasi berupa ketahanan terhadap korosi, massa transport dan elemen–elemen listrik yang ada pada pelapis. Teknik EIS adalah salah satu teknik non-stationary yang bersifat non destruktif. Interpretasi hasil pengukuran EIS biasanya dilakukan dengan cara menyesuaikan (fitting) data impedansi terhadap ekuivalen sirkuit listrik yang merupakan representatif dari proses fisik yang terjadi pada sistem. Kualitas fitting dinilai oleh seberapa baik korelasi antara kurva dengan spektrum asli. Dari hasil penyesuaian (fitting) akan dihasilkan ekuivalen sirkuit listrik yang akan menghasilkan satu set parameter yang dapat dikorelasikan dengan kondisi lapisan dan korosi dari substrat baja.

Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui inhibisi pada logam dengan inhibitor apakah secara kinetika dikontrol oleh transfer muatan atau transfer masa. Sebelum dilakukan pengukuran secara elektrokimia, sel elektrokimia dibiarkan selama beberapa waktu agar interaksi antarmuka spesimen dengan larutan mencapai *steady state*. Pengujian ini mengacu pada standard ASTM G 106 – 89.

Pengujian EIS memiliki langkah–langkah pengujian yang sama, yaitu sebagai berikut:

1. Mempersiapkan alat dan bahan yaitu spesimen ST 41 yang terlapis *Titanium Nitride (TiN)* dengan ukuran 20 mm x 10 mm x 5 mm kemudian dilapisi resin dengan luas bidang yang tidak tertutup resin (luas bidang kontak dengan larutan korosif) 56 mm² .

2. Memasukkan larutan elektrolit kedalam gelas sebanyak 64 ml.
3. Memasang elektroda kerja pada rangkaian alat polarisasi.

3.6.7.3 Scanning Electron Microscope (SEM)

Pengujian SEM bertujuan untuk mengetahui produk korosi maupun lapisan yang terbentuk pada permukaan material. Alat yang digunakan dalam pengujian SEM kali ini yaitu jenis Carl Zeiss (Evo MA 10) Inggris dengan kemampuan perbesaran elektron optical sebesar 25 – 50.000 kali dan dapat dizoom sampai 12 kali, dengan resolusi mencapai lebih dari 10 mikrometer serta penggambaran analisis pada daya 20 kV. Perbesaran yang diambil dalam melakukan pengujian ini adalah perbesaran 2000 kali. Mekanisme pengambilan data SEM adalah berkas elektron yang dipancarkan oleh sumber elektron, kemudian berkas elektron ini akan berinteraksi dengan material. Sebagian elektron terobsesi oleh material dan sebagian lainnya akan terpantul oleh detector secondary electron dan terhambur balik akan tertangkap oleh Back Scattered Electron (BSE). Langkah – langkah dalam pengujian ini adalah sebagai berikut:

1. Meletakkan material di dalam suatu wadah plastik yang tidak menyebabkan material bereaksi dengan lingkungan.
2. Material diletakkan diatas holder yang sebelumnya telah diletakkan dengan carbon tape. Carbon tape ini berfungsi meletakkan holder dengan sample.
3. Holder dimasukkan ke dalam mesin dan siap untuk diamati. Pada layar komputer akan tampak permukaan spesimen dalam berbagai pembesaran



Gambar 3.10 Alat Pengujian SEM

3.6.7.4 Scanning Electron Microscope Energy Dispersive X-Ray (SEM-EDX).

Pada Uji SEM – EDX ini berguna untuk mengetahui komposisi kimia pada permukaan sampel, sebagian besar alat SEM dilengkapi dengan kemampuan *energy dispersive x-ray* (EDX). EDX dihasilkan dari sinar-X, yaitu dengan menembakkan sinar-X pada posisi yang ingin diketahui komposisinya. Setelah ditembakkan pada posisi yang diinginkan maka akan muncul puncak – puncak tertentu yang mewakili suatu unsur yang terkandung. Dengan EDX juga bisa membuat *elemental mapping* (pemetaan elemen) dengan memberikan warna berbeda – beda dari masing – masing elemen di permukaan sampel. EDX bisa digunakan untuk menganalisa secara kuantitatif dari persentase masing – masing elemen.

SEM-EDX dapat memberikan informasi tentang topografi, morfologi, komposisi dari sampel yang dianalisis (Girao, 2017). Topografi adalah kemampuan untuk menganalisa permukaan dan tekstur. Morfologi adalah kemampuan untuk menganalisa bentuk dan ukuran dari benda sampel. Komposisi adalah kemampuan menganalisa komposisi dari permukaan benda secara kuantitatif dan kualitatif.

Langkah – langkah dalam pengujian ini adalah sebagai berikut:

1. Meletakkan material di dalam suatu wadah plastik yang tidak menyebabkan material bereaksi dengan lingkungan.
2. Material diletakkan diatas holder yang sebelumnya telah diletakkan dengan carbon tape. Carbon tape ini berfungsi meletakkan holder dengan sample.
3. Holder dimasukkan ke dalam mesin dan siap untuk diamati. Pada layar komputer akan tampak permukaan spesimen dalam berbagai pembesaran
4. Setelah memilih tingkat pembesaran yang di inginkan untuk mengetahui presentase permukaan pada suatu pembesaran, dilakukan proses *scanning* sehingga dihasilkan presentase kandungan dari suatu permukaan dengan pembesarannya.
5. Data hasil *scanning* ditampilkan pada layar dengan bentuk presentase.



Gambar 3.11 Alat Pengujian SEM – EDX

3.6.8 Rancangan Tabel Pengambilan Data

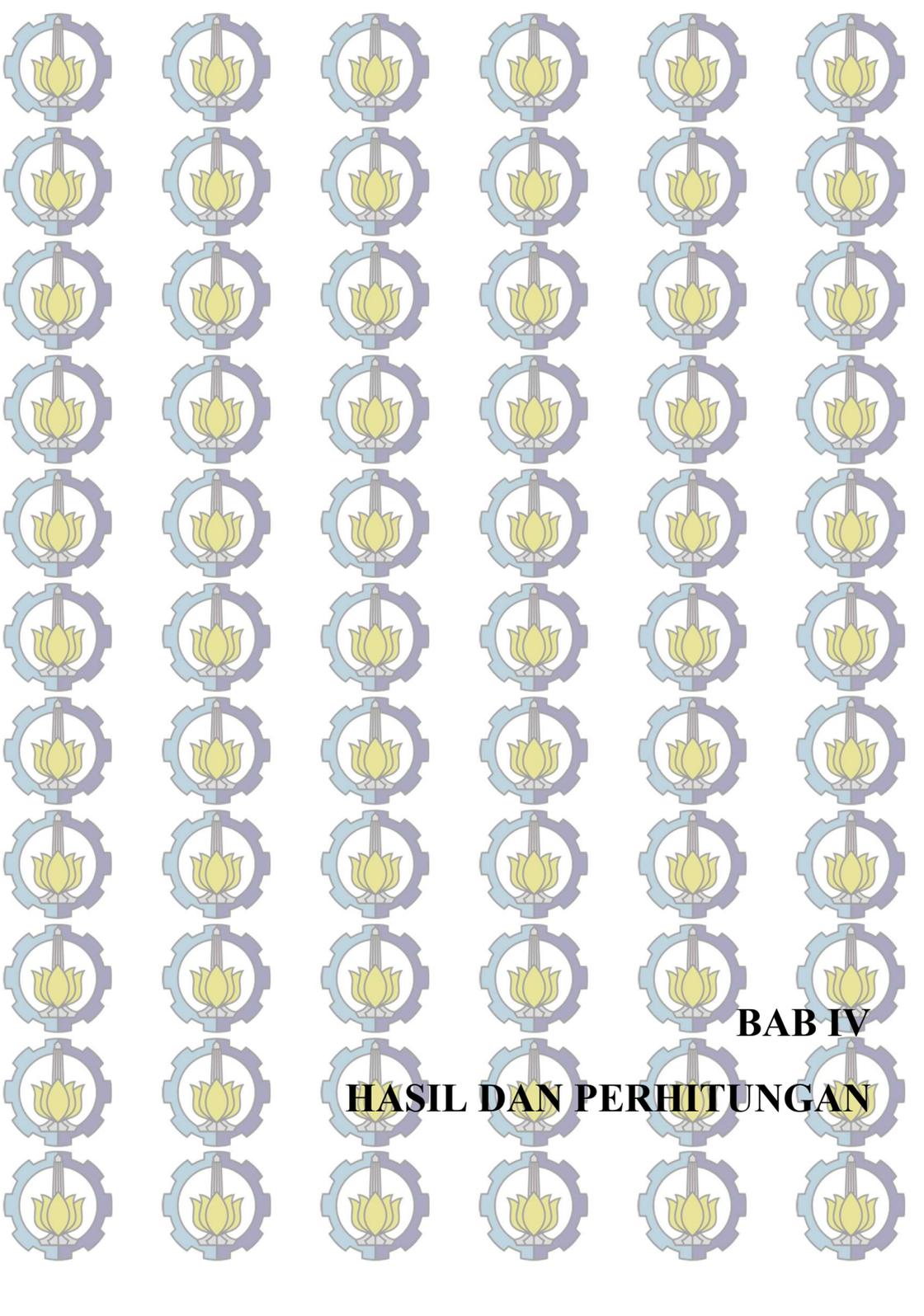
Untuk dapat memudahkan dalam mengolah dan menganalisa data yang telah didapat, maka dibuat rancangan percobaan sebagai berikut:

Tabel 3.4 Pengujian Polarisasi Potensiodinamik

Waktu Perendaman	Bahan	Percobaan ke-	ba (mV/dec)	bc (mV/dec)	Ecorr (mV)	Icorr ($\mu\text{A}/\text{cm}^2$)	CR (mm/year)	Polarization resistance (Ω) (Ω)
12 jam	ST 41	1						
		2						
		3						
12 jam	SS 316L	1						
		2						
		3						
168 jam	ST 41	1						
		2						
		3						
168 jam	SS 316L	1						
		2						
		3						
240 jam	ST 41	1						
		2						
		3						
240 jam	SS 316L	1						
		2						
		3						
336 jam	ST 41	1						
		2						
		3						
336 jam	SS 316L	1						
		2						
		3						

Tabel 3.5 Pengujian EIS

Waktu Perendaman	Bahan	Percobaan ke -	CPE (μF)	Rp (Ω)	Rs (Ω)
12 jam	ST 41	1			
		2			
		3			
12 jam	SS 316L	1			
		2			
		3			
168 jam	ST 41	1			
		2			
		3			
168 jam	SS 316L	1			
		2			
		3			
240 jam	ST 41	1			
		2			
		3			
240 jam	SS 316L	1			
		2			
		3			
336 jam	ST 41	1			
		2			
		3			
336 jam	SS 316L	1			
		2			
		3			



BAB IV
HASIL DAN PERHITUNGAN

BAB IV

HASIL DAN ANALISA

4.1 Hasil Larutan Elektrolit

Metode pembuatan elektrolit berupa Simulated Body Fluid atau disingkat SBF dilakukan sesuai dengan jurnal yang menjadi referensi dengan jumlah yang sesuai jurnal, tetapi untuk Hcl disesuaikan sampai pH mencapai 7,4. Pembuatan elektrolit dilakukan pada 25 November 2019 di laboratorium kimia murni, fakultas matematika dan ilmu pengetahuan alam, kampus c universitas airlangga.

Pada prosesnya, larutan yang digunakan adalah:

- NaCl : 6,547 gram
- MgCl₂.2H₂O : 0.305 gram
- NaHCO₃ : 2,268 gram
- CaCl₂.2H₂O : 0.368 gram
- KCl : 0,373 gram
- Na₂SO₄ : 0.071 gram
- Na₂HPO₄.2H₂O : 0, 178 gram
- (CH₂OH)₃CNH₂ : 6.051 gram

Kemudian dilarutkan dengan aquadest steril hingga volume mencapai 1 liter, pH larutan ditepatkan dengan larutan HCl 0.1 N menjadi 7.40 atau mendekati netral.

4.2 Hasil Penelitian

Hasil penelitian yang sesuai dengan prosedur penelitian pada bab sebelumnya diperoleh sejumlah data yaitu berupa perbandingan grafik laju korosi antara ST41 yang dilapisi TiN dengan SS 316L dengan polarisasi potientik dinamik, *Electro Impedance Spectroscopy*, *Scanning Electro Microscope* dan *Scanning Electron Microscope Energy Dispersive X-Ray* (SEM-EDX).

4.2.1 Hasil Pengujian Polarisasi Potensio Dinamik

Pengujian Polarisasi Potensio Dinamik bertujuan untuk mengetahui laju korosi yang terjadi pada baja ST41 yang dilapisi *Titanium Nitride(TiN)* dengan pembanding SS 316L pada masing-masing variabel 12 jam, 168 jam, 240 jam, dan 336 jam. Pengujian Polarisasi Potensio Dinamik dilakukan pada 28 November 2019, 17 Desember 2019, dan 19 Desember 2019 di Laboratorium Instrumentasi & Sains Analitik, Departemen Kimia, Fakultas Sains, Institut Teknologi Sepuluh Nopember.

Dari pengujian Polarisasi Potensio Dinamik dapat diketahui laju korosi dan Hambatan Polarisasi dari pelapis *Titanium Nitride(TiN)* yang digunakan pada baja ST 41 dan SS 316 L tanpa pelapis. Pengujian ini menggunakan mesin *Corrtest Electrochemical Instrument* dan diolah dengan software *Nova 1.11*. Berdasarkan pengujian yang telah dilakukan pada empat *sample* dengan variasi lama waktu perendaman ke larutan elektrolit *Simulated Body Fluid (SBF)* berupa satuan waktu sebesar 12 jam, 168 jam, 240 jam, dan 336 jam dengan menggunakan mesin AUTOLAB dan diolah dengan *software* *Nova 1.11*.

Tabel 4.1 Parameter Pengujian
Potensiodinamik pada TiN

Elektroda Kerja	TiN (Solid)
Equivalent Weight (g)	21.336
Densitas (g/ml)	5.22
Luasan Terekspos (cm ²)	0.56
Counter Electrode	Grafit
Reference Electrode	HgCl
Scan Rate (mV/s)	5

Tabel 4.2 Parameter Pengujian
Potensiodinamik pada SS316L

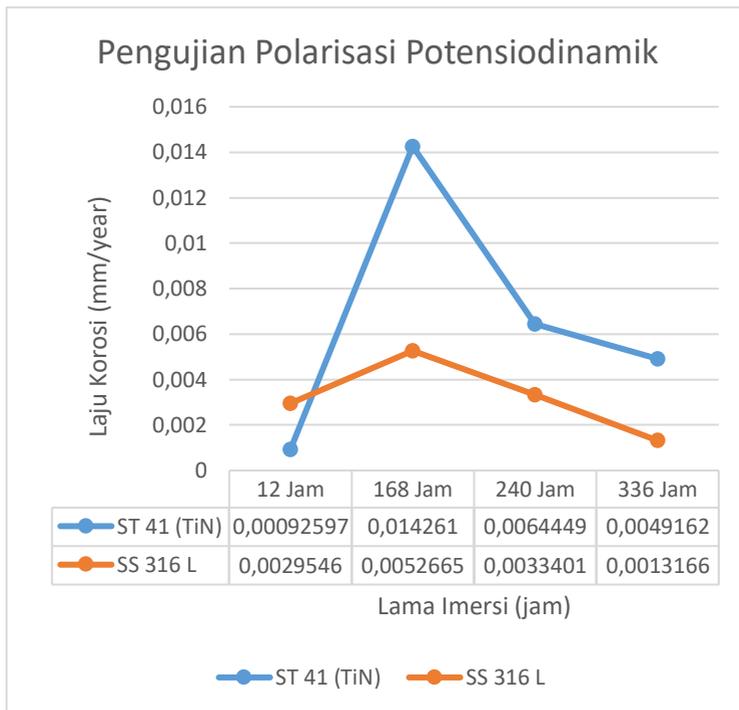
Elektroda Kerja	SS 316L (Solid)
Equivalent Weight (g)	25.50
Densitas (g/ml)	8.03
Luasan Terekspos (cm ²)	0.56
Counter Electrode	Grafit
Reference Electrode	HgCl
Scan Rate (mV/s)	5

Dari tabel diatas, parameter tersebut merupakan sifat dari material yang akan diuji dan diinputkan pada software Nova 1.11. Equivalent weight yang digunakan berdasarkan standart yaitu dengan nilai 21.336 (g/mol). Sedangkan densitas baja ST41 yang dilapisi TiN yaitu 5.22 (g/cm³) maka data tersebut yang dimasukan ke dalam parameter. Luasan material yang terekspos yaitu 0,56 cm². Didalam pengujian polarisasi, alat ini menggunakan elektroda counter yaitu grafit dan menggunakan

elektroda reference yaitu HgCl. Scan rate yang digunakan dalam pengujian ini yaitu 5 mV/s serta menggunakan start potensial -0,02 V dan finish potensial sebesar +0,02 V yang sesuai dengan standart pengujian polarisasi potensiodinamik.

Pada Pengujian polarisasi potensiodinamik spesimen yang digunakan ST41 yang dilapisi TiN dan SS 316L didapatkan masing – masing spesimen 4 hasil dengan variabel perendaman selama 12 jam, 168 jam, 240 jam dan 336 jam. Dan 3 kali pengujian pada setiap variabelnya. Dari hasil pengujian menghasilkan antara lain Tafel katodik (ba, bc), Potensial Korosi (E_{corr}), Rapat Arus (I_{corr}), laju korosi dan Polarization resistance (Ω). Dari 3 kali pengujian yang telah dilakukan pada 8 sampel dengan variabel perendaman 12 jam, 168 jam, 240 jam, dan 336 jam, akan diambil masing - masing 1 terbaik dengan nilai laju korosi terkecil. Dari hasil tersebut dijadikan grafik untuk mengetahui laju korosi terkecil dan terbesar pada setiap spesimen yaitu ST41 yang dilapisi TiN dan SS 316L.

Gambar 4.1 Hasil grafik Laju Korosi pengujian Polarisisasi Potensiodinamik



Pada gambar 4.1 hasil dari uji Polarisisasi Potensiodinamik. Pada saat perendaman selama 12 jam spesimen baja ST 41 yang dilapisi TiN memiliki nilai laju korosi sebesar 0,00092597 mm/year, nilai tersebut merupakan terendah diantara nilai laju korosi yang lain. Untuk spesimen SS 316 L memiliki nilai laju korosi sebesar 0,0029546 mm/year

Pada saat perendaman selama 168 jam spesimen baja ST 41 yang dilapisi TiN memiliki nilai laju korosi sebesar 0,014261 mm/year, nilai tersebut merupakan tertinggi diantara nilai laju

korosi yang lain dan tertinggi diantara variasi waktu perendaman untuk spesimen baja ST 41 yang dilapisi TiN, untuk spesimen SS 316 L memiliki nilai laju korosi sebesar 0,0052665 mm/year, nilai tersebut tertinggi diantara variasi waktu perendaman untuk spesimen SS 316 L. Pada waktu perendaman 168 jam ini masing – masing spesimen, ST 41 yang dilapisi TiN dan SS 316 L mengalami kenaikan drastis, dari kenaikan tersebut bernilai paling tinggi diantara waktu perendaman pada masing – masing spesimen.

Pada saat perendaman dengan waktu 240 jam spesimen baja ST 41 yang dilapisi TiN memiliki nilai laju korosi sebesar 0,0064449 mm/year, untuk spesimen SS 316 L memiliki nilai laju korosi sebesar 0,0033401 mm/year. Pada waktu perendaman 240 jam ini masing – masing spesimen, ST 41 yang dilapisi TiN dan SS 316 L mengalami penurunan cukup drastis.

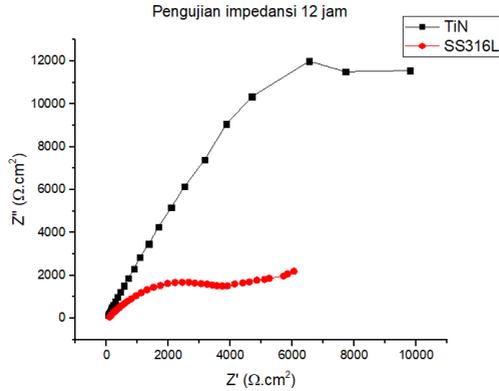
Pada saat perendaman selama waktu 336 jam spesimen baja ST 41 yang dilapisi TiN memiliki nilai laju korosi sebesar 0,0049162 mm/year, untuk spesimen SS 316 L memiliki nilai laju korosi sebesar 0,0013166 mm/year, nilai laju korosi tersebut merupakan terendah diantara nilai laju pada spesimen SS 316 L. Pada waktu perendaman 336 jam ini masing – masing spesimen, ST 41 yang dilapisi TiN dan SS 316 L mengalami penurunan.

4.2.2 Hasil Pengujian Electrochemical Impedance Spectroscopy (EIS)

Pengujian ini bertujuan agar dapat mengetahui ketahanan spesimen terhadap media korosi. Pengujian Impedansi dilakukan di Laboratorium Instrumentasi & Sains Analitik, Departemen Kimia FS-ITS. Spesimen baja ST41 yang dilapisi *TiN* digunakan untuk pengujian Impedansi berukuran 20 mm x 10 mm dengan ketebalan 4 mm. Sample yang digunakan pada pengujian ini sebanyak 8 sampel dan sampel harus terendam seluruhnya didalam media larutan korosif berupa *Simulated Body Fluid* agar mendapatkan hasil yang maksimal dalam mencari laju korosinya.

Pada pengujian Impedansi ini dilakukan perendaman selama 12 jam, 168 jam, 240 jam, dan 336 jam dengan pengulangan 3 kali agar mendapatkan hasil data yang maksimal. Berikut adalah data gambar hasil pengujian Impedansi. sebagai berikut :

Gambar 4.2 Hasil pengujian impedansi dengan waktu perendaman selama 12 Jam



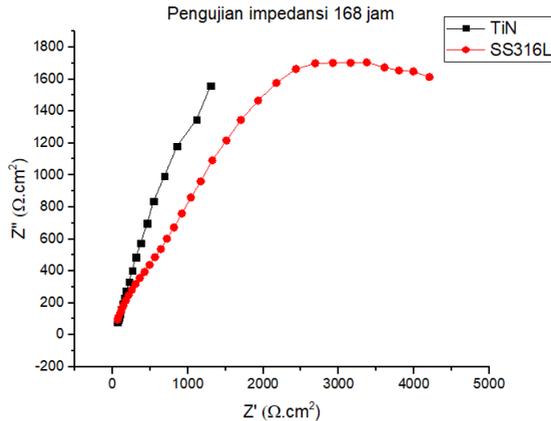
Pada Gambar 4.2 diatas spesimen dengan waktu perendaman di SBF selama 12 jam, didapati nilai impedansi dari spesimen ST 41 yang dilapisi TiN lebih tinggi dari spesimen SS 316 L.

Tabel 4.3 Hasil data pengujian Impedansi 12 jam

Waktu Perendaman	Bahan	CPE	Rp (Ω)	Rs (Ω)	Laju Korosi (mm/year)
12 jam	ST 41	0,19021	83676	50,08	0,00092597
	SS 316 L	0,024006	8965,7	132	0,0029546

Laju korosi pada EIS dapat dilihat dari nilai Rp. Semakin besar nilai Rp, semakin kecil laju korosinya. Pada pengujian Impedansi, nilai Rp spesimen ST 41 yang dilapisi TiN pada perendaman selama 12 jam memiliki nilai sebesar 83676 Ω. Sedangkan nilai Rp dari SS 316 sebesar 8965,7 Ω.

Gambar 4.3 Hasil grafik pengujian impedansi dengan waktu perendaman selama 168 jam.



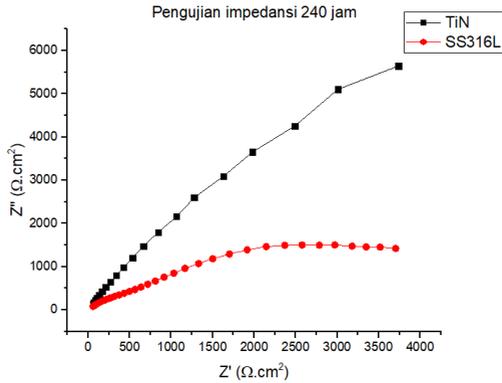
Pada Gambar 4.3 pengujian impedansi dengan waktu perendaman di SBF selama 168 jam, didapatkan nilai impedansi dari spesimen ST 41 yang dilapisi TiN lebih rendah dari spesimen SS 316 L.

Tabel 4.4 Hasil data pengujian Impedansi dengan waktu perendaman 168 jam

Waktu Perendaman	Bahan	CPE	Rp (Ω)	Rs (Ω)	Laju Korosi (mm/year)
168 Jam	ST 41	0.00010453	7227	38,456	0,014261
	SS 316 L	0.00012662	8965.7	130.77	0,0052665

Pada pengujian Impedansi ini, nilai Rp spesimen ST 41 yang dilapisi TiN pada perendaman selama 168 jam memiliki nilai sebesar 7227 Ω. Sedangkan nilai Rp dari SS 316 sebesar 8965.7 Ω.

Gambar 4.4 Hasil grafik pengujian Impedansi dengan waktu perendaman 240 jam



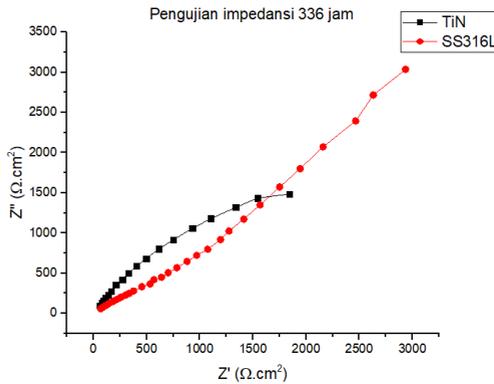
Pada gambar 4.4 menunjukkan hasil dari pengujian impedansi yang berbentuk lengkungan. Pada lengkungan tersebut menunjukkan bahwa didapatkan nilai impedansi dari spesimen ST 41 yang dilapisi TiN lebih tinggi dari spesimen SS 316 L.

Tabel 4.5 Hasil data pengujian Impedansi dengan waktu perendaman 240 jam

Waktu Perendaman	Bahan	CPE	Rp (Ω)	Rs (Ω)	Laju Korosi (mm/year)
240 jam	ST 41	0,26638	59747	18,768	0,0064449
	SS 316 L	0,41355	8896	460.31	0,0033401

Pada pengujian Impedansi ini, nilai Rp spesimen ST 41 yang dilapisi TiN pada perendaman selama 240 jam memiliki nilai sebesar 59747 Ω. Sedangkan nilai Rp dari SS 316 sebesar 8896 Ω.

Gambar 4.5 Hasil grafik pengujian Impedansi dengan waktu perendaman 336 jam



Pada gambar 4.5 menunjukkan hasil dari pengujian impedansi yang berbentuk lengkungan. Pada lengkungan tersebut menunjukkan bahwa didapatkan nilai impedansi dari spesimen ST 41 yang dilapisi TiN lebih rendah dari spesimen SS 316 L.

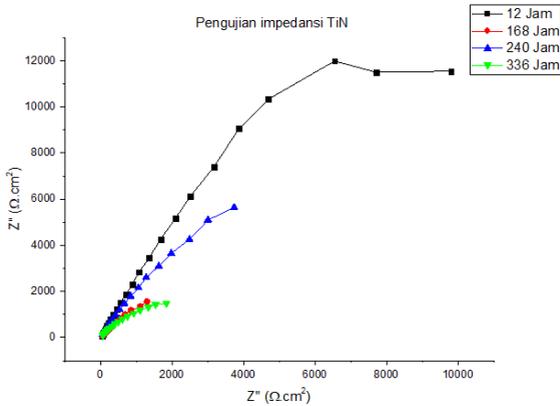
Tabel 4.6 Hasil data pengujian Impedansi dengan waktu perendaman 336 jam

Waktu Perendaman	Bahan	CPE	Rp (Ω)	Rs (Ω)	Laju Korosi (mm/year)
336 jam	ST 41	0,00016377	9718.2	17,166	0,0049162
	SS 316 L	0,0000012647	12584	12684	0,0013166

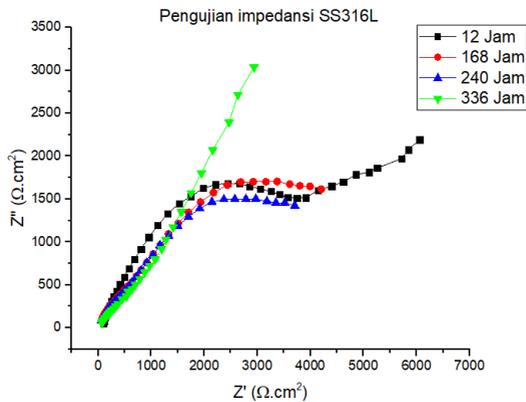
Laju korosi pada EIS dapat dilihat dari nilai Rp. Semakin besar nilai Rp, semakin kecil laju korosinya. Pada pengujian Impedansi, nilai Rp spesimen ST 41 yang dilapisi TiN pada perendaman selama 336 jam memiliki nilai

sebesar 9718.2Ω . Sedangkan nilai Rp dari SS 316 sebesar 12584Ω .

Gambar 4.6 Hasil grafik pengujian Impedansi Spesimen ST 41 yang dilapisi TiN dengan waktu perendaman 12 jam – 336 jam



Gambar 4.7 Hasil grafik pengujian Impedansi Spesimen SS 316 L dengan waktu perendaman 12 jam – 336 jam.



Pada gambar 4.6 dapat dilihat nilai impedansi terkecil terlihat pada lengkungan merah dengan nilai laju korosi 0,014261 mm/year sedangkan nilai impedansi terbesar terlihat pada lengkungan hitam dengan nilai laju korosi 0,00092597 mm/year. Sedangkan Pada gambar 4.7 dapat dilihat nilai impedansi terkecil terlihat pada lengkungan biru dengan nilai laju korosi 0,0033401 mm/year sedangkan nilai impedansi terbesar terlihat pada lengkungan hijau dengan nilai laju korosi 0,0013166 mm/year.

Tabel 4.7 Hasil data pengujian Impedansi dengan waktu 12 jam – 336 jam

Waktu Perendaman	Bahan	CPE	Rp (Ω)	Rs (Ω)	Laju Korosi (mm/year)
12 jam	ST 41	0,19021	83676	50,08	0,00092597
	SS 316 L	0,024006	8965.7	132	0,0029546
168 jam	ST 41	0.00010453	15227	38,456	0,014261
	SS 316 L	0.00012662	8965.7	130.77	0,0052665
240 jam	ST 41	0,26638	59747	18,768	0,0064449
	SS 316 L	0,41355	8896	460.31	0,0033401
336 jam	ST 41	0.00016377	9718.2	17,166	0,0049162
	SS 316 L	0,0000012647	12584	12684	0,0013166

Dari tabel 4.7 didapatkan hasil pengujian EIS dengan 4 variasi waktu perendaman dengan berbagai parameter yang didapat dari pengujian

EIS, diantaranya yaitu CPE (kapasitansi lapis rangkap listrik), tahanan polarisasi (R_p) dan tahanan larutan (R_s). Dari hasil pengujian didapatkan bahwa Semakin besar nilai R_p , semakin kecil laju korosinya dan semakin lama perendaman maka nilai laju korosi akan semakin tinggi.

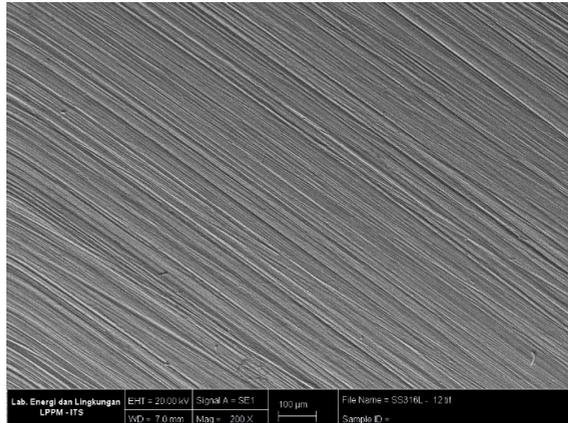
4.2.3 Hasil Pengujian SEM

Pada pengujian *Scanning Electron Microscope* (SEM) ini bertujuan untuk mengetahui morfologi pada permukaan spesimen Baja ST 41 yang dilapisi oleh *Titanium Nitride(TiN)* dan SS316 L. Pengujian *Scanning Electron Microscope* (SEM) ini dilakukan di Laboratorium Energi dan Lingkungan, LPPM-ITS. Spesimen baja ST-41 yang dilapisi *Titanium Nitride(TiN)* digunakan untuk pengujian *Scanning Electron Microscope* berukuran 20 mm x 10 mm x 4 mm. Sampel yang digunakan pada pengujian ini sebanyak 4 sampel dengan waktu perendaman selama 12 jam sejumlah 2 spesimen dengan bahan ST 41 yang dilapisi *Titanium Nitride(TiN)* dan SS 316 L masing – masing 1. Saat sampel akan dilakukan pengujian *Scanning Electron Microscope* (SEM) sampel terlebih dibersihkan dengan air bersih terlebih dahulu, setelah itu spesimen dikeringkan di dalam sebuah tempat yang kedap udara, spesimen harus benar-benar kering sebelum dilakukan pengujian.

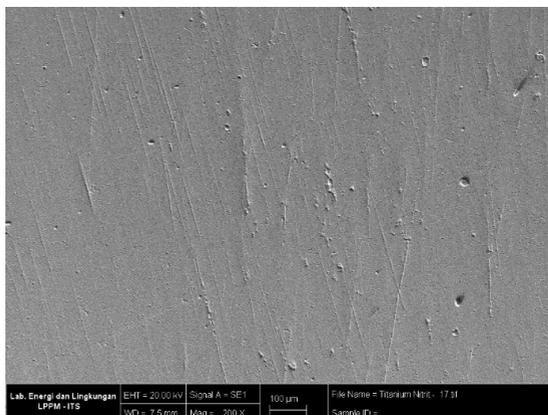
Pada Pengujian SEM ini alat yang digunakan adalah jenis Carl Zeiss Evo MA 10 . Alat yang memiliki kemampuan perbesaran elektron optikal sebesar 20-50.000 kali dan dapat di zoom sampai 12x, dengan resolusi mencapai lebih dari 14 nm, kemampuan perbesaran optik 20-135 kali, serta

penggambaran dan analisis pada daya 5kV,10kV dan 15kV. Hasil dari pengujian dengan menggunakan alat SEM Carl Zeiss dapat dilihat pada gambar dibawah ini :

Gambar 4.8 Hasil Pengujian SEM spesimen SS 316L variabel 12 jam dengan perbesaran 200x



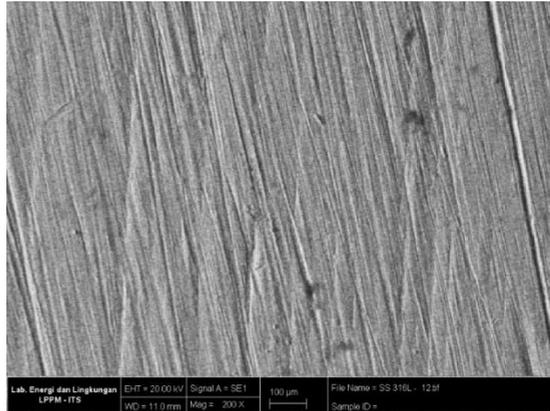
Gambar 4.9 Hasil Pengujian SEM spesimen TiN variable 12 jam dengan perbesaran 200x



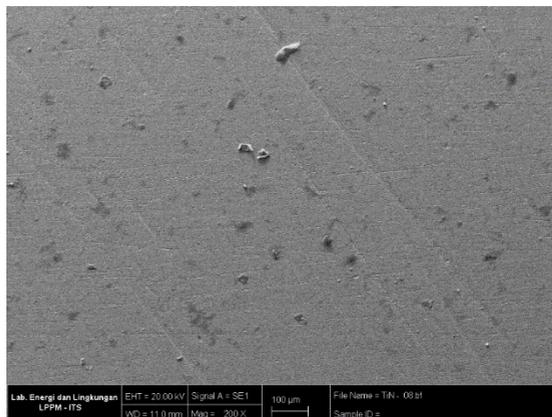
Berdasarkan gambar 4.8 tersebut, terlihat bahwa spesimen SS 316 L dengan waktu perendaman kedalam Larutan *Simulated Body Fluid (SBF)* selama 12 jam dengan tingkat perbesaran 200x belum terlihat kerusakan berupa lubang – lubang kecil. Sedangkan pada gambar 4.9, terlihat bahwa material ST 41 yang dilapisi *Titanium Nitride (TiN)* terdapat kerusakan berupa lubang-lubang kecil dan beberapa produk korosi berbentuk pulau-pulau yang menyelimuti seluruh permukaan material ST 41 yang dilapisi *Titanium Nitride (TiN)*.

Pada proses tersebut menandakan bahwa spesimen baja ST 41 yang dilapisi *Titanium Nitride (TiN)* dan SS 316 mengalami jenis korosi sumuran. Yaitu jenis korosi yang terjadi pada daerah kecil pada tempat yang berlainan.

Gambar 4.10 Hasil Pengujian SEM specimen SS 316L Specimen 336 jam dengan perbesaran 200x



Gambar 4.11 Hasil Pengujian SEM Specimen TiN variable 336 jam dengan perbesaran 200x.



Berdasarkan gambar 4.10 tersebut, terlihat bahwa spesimen SS 316 L dengan waktu perendaman kedalam Larutan *Simulated Body Fluid* (SBF) selama 336 jam dengan tingkat perbesaran 200x terlihat kerusakan berupa lubang – lubang

kecil beberapa produk korosi berbentuk pulau-pulau yang hampir menjadi lubang. Sedangkan pada gambar 4.11, terlihat bahwa material ST 41 yang dilapisi *Titanium Nitride (TiN)* terdapat kerusakan berupa beberapa produk korosi berbentuk pulau-pulau yang akan membentuk lubang pada seluruh permukaan material ST 41 yang dilapisi *Titanium Nitride (TiN)*.

Pada proses tersebut menandakan bahwa spesimen baja ST 41 yang dilapisi *Titanium Nitride (TiN)* dan SS 316 mengalami jenis korosi sumuran. Yaitu jenis korosi yang terjadi pada daerah kecil pada tempat yang berlainan.

4.2.4 Hasil pengujian SEM-EDX

Dari hasil pengujian *scanning electron microscope* (SEM) didapat hasil berupa gambar morfologi permukaan sampel spesimen SS 316L dan ST 41 yang dilapisi *Titanium Nitride (TiN)* dengan variabel perendaman 12 jam dan 336 jam. Dari hasil pengujian *scanning electron microscope (SEM)* tersebut yang digunakan untuk *energy dispersive x-ray* (EDX).

Dari hasil Pengujian SEM dengan pembesaran masing – masing 200 x , 1000x, 2000x, dan 5000x. Dari keempat perbesaran tersebut hasil yang digunakan untuk pengujian *energy dispersive x-ray* (EDX) adalah perbesaran 1000x pada setiap variabel. Pada pengujian tersebut didapatkan berupa persentase komposisi kimia yang ada pada permukaan sampel SS 316L dan *Titanium Nitride (TiN)* dengan perbesaran tersebut. Hasil pengujian sebagai berikut:

Tabel 4.8 Data hasil Uji SEM – EDX Unsur kimia pada permukaan sampel pengujian SEM perbesaran 1000x TiN

No	Bahan	Unsur Kimia	Norm. C (wt %)	
			12 jam	336 jam
1	ST 41 (TiN)	Fe	0,89	1,20
	SS 316L		67,38	58,97
2	ST 41 (TiN)	Cr	-	-
	SS 316L		16,30	14,52
3	ST 41 (TiN)	Ti	58,50	66,50
	SS 316L		-	-
4	ST 41 (TiN)	N	39,75	30,86
	SS 316L		-	-
5	ST 41 (TiN)	C	-	1,44
	SS 316L		2,57	7,84
6	ST 41 (TiN)	O	-	-
	SS 316L		2,29	6,05
7	ST 41 (TiN)	S	0,26	-
	SS 316L		1,31	-
8	ST 41 (TiN)	Si	-	-

	SS 316L		0,19	0,21
9	ST 41 (TiN)	Ni	0,60	-
	SS 316L		9,95	8,48
10	ST 41 (TiN)	Mo	-	-
	SS 316L		-	3,93

Pada tabel 4.8 data hasil pengujian SEM - EDX diatas dengan variasi perendaman 12 Jam dan 336 Jam dengan material yang berbeda yaitu SS 316L dan ST 41 yang dilapisi *Titanium Nitride* (TiN) didapatkan perbedaan unsur kimia yang cukup signifikan dengan perbedaan variabel lama waktu perendaman.

Dari tabel 4.8 diketahui bahwa pada permukaan ST 41 yang dilapisi *Titanium Nitride* (TiN) dengan waktu perendaman 12 jam memiliki kandungan 58,50% Ti, 39,75% N, 0,89%Fe, 0,60% Ni dan 0,26% S. Pada spesimen yang sama yaitu ST 41 yang dilapisi *Titanium Nitride* (TiN) dengan perendaman selama 336 Jam diketahui bahwa permukaan memiliki kandungan 66,50 % Ti, 30,86% N, 1,20%Fe, dan 1,44% C. Pada perendaman selama 12 jam dan 336 Jam ditunjukkan bahwa persentase Ti dan N yang merupakan komponen pelapis spesimen mengalami pengurangan persentase dari yang awal 100 % akibat teroksidasi oleh air. Berikut reaksi kimia ketika TiN bereaksi dengan media korosif:



Dari tabel 4.8 diketahui bahwa pada permukaan SS 316L dengan waktu perendaman 12 jam memiliki kandungan 67,38% Fe, 16,30% Cr, 9,95% Ni, 2,57% C, 2,29% O, 1,31% S dan 0,19% Si. Pada spesimen yang sama yaitu SS 316L dengan perendaman selama 336 jam diketahui bahwa permukaan memiliki kandungan 58,97% Fe, 14,52% Cr, 8,48% Ni, 7,84% C, 6,05% O, 3,93% Mo dan 0,21% Si.

4.3 Pembahasan

Pada pengujian Polarisasi Potensio Dinamik. memiliki hasil dengan nilai laju korosi pada sample bahan uji logam ST 41 dengan pelapisan TiN tertinggi terjadi pada percobaan dengan waktu perendaman 168 Jam dengan nilai laju korosi sebesar 0,014261 mm/year. Dan nilai terendah terjadi pada percobaan dengan waktu perendaman 12 jam dengan nilai laju korosi sebesar 0,00092597 mm/year. Pada spesimen SS 316 L. Nilai tertinggi terjadi pada percobaan dengan waktu perendaman 168 jam dengan nilai laju korosi sebesar 0,0052665 mm/year. Dan nilai terendah terjadi pada percobaan dengan waktu perendaman 336 Jam dengan nilai laju korosi sebesar 0,0013166 mm/year. Dan untuk nilai tertinggi pada antara kedua spesimen, ST 41 yang dilapisi Titanium Nitride (TiN) dan SS 316 L memiliki nilai laju korosi sebesar 0,014261 mm/year pada spesimen ST 41 yang dilapisi TiN dengan waktu perendaman selama 168 jam, sedangkan nilai terendahnya memiliki nilai laju korosi sebesar 0,00092597 mm/year pada spesimen ST 41 yang dilapisi Titanium Nitride (TiN) dengan waktu perendaman selama 12 jam

Untuk spesimen yang dilapisi NiCr pada pengujian Polarisasi Potensio Dinamik. memiliki hasil

dengan nilai laju korosi masing – masing pada variabel perendaman selama 12 jam memiliki nilai 0,0051714 mm/year, pada variabel perendaman selama 168 jam memiliki nilai laju korosi sebesar 0.024665 mm/year, pada variabel perendaman selama 240 jam memiliki nilai sebesar 0.0081013 mm/year, untuk variasi perendaman selama 336 jam memiliki nilai laju korosi sebesar 0.0015577 mm/year.

Jika diurutkan berdasarkan tingkat laju korosi pada pengujian Polarisasi Potensiodinamik antara masing – masing spesimen ST 41 yang dilapisi NiCr,SS 316 L, dan ST 41 yang dilapisi TiN, tingkat korosi tertinggi terjadi pada spesimen ST 41 yang dilapisi NiCr dengan nilai laju korosi tertinggi, kemudian SS 316 L dan tingkat korosi terendah terjadi pada spesimen ST 41 yang dilapisi TiN.

Pada saat perendaman selama 168 jam terjadi kenaikan yang cukup tinggi karena pada saat setelah perendaman 168 jam larutan Simulated Body Fluid mengalami pengurangan senyawa – senyawa yang menyebabkan terjadinya korosi pada spesimen, disebabkan karena larutan Simulated Body Fluid (SBF) memiliki titik jenuh larutan, sehingga pada saat 169 jam mengalami kenaikan yang cukup tinggi. Kemudian pada saat dari waktu 168 jam mengalami penurunan hingga waktu percobaan selama 336 jam, tetapi dimungkinkan akan terjadi kenaikan pada saat setelah waktu 336 jam dikarenakan larutan belum mencapai titik maksimum untuk mengoksidasi spesimen benda kerja.

Berdasarkan penelitian sebelumnya yang telah dilakukan oleh Yasmi Mauludin (2019) dan Dimitri Arsenna D (2019) menggunakan baja ST 41 yang dilapisi *Titanium Nitride(TiN)* dan *Nickel*

Chrome(NiCr) dengan variasi perendaman selama 0 hari,3 hari,7 hari. Pada penelitian yang dilakukan oleh Yasmi Mauludin (2019) dimana melakukan pengujian Polarisasi Potensio Dinamik. memiliki hasil dengan nilai laju korosi pada sample bahan uji logam ST 41 dengan pelapisan TiN tertinggi terjadi pada percobaan dengan waktu perendaman selama 3 hari dengan nilai laju korosi sebesar 0,00643715 mm/year. Dan nilai terendah terjadi pada percobaan dengan waktu perendaman 7 hari dengan nilai laju korosi sebesar 0,0005780152 mm/year. Pada spesimen *SS 316 L*. Nilai tertinggi terjadi pada percobaan dengan waktu perendaman selama 7 hari dengan nilai laju korosi sebesar 0,05061025 mm/year. Dan nilai terendah terjadi pada percobaan dengan waktu perendaman 0 hari dengan nilai laju korosi sebesar 0,0034094 mm/year. Dan untuk nilai tertinggi antara kedua spesimen, ST 41 yang dilapisi Titanium Nitride (TiN) dan SS 316 L memiliki nilai laju korosi sebesar 0,05061025 mm/year pada spesimen SS 316 L dengan waktu perendaman selama 7 hari, sedangkan nilai terendahnya memiliki nilai laju korosi sebesar 0,0005780152 mm/year pada spesimen ST 41 yang dilapisi Titanium Nitride (TiN) dengan waktu perendaman selama 7 hari. Pada percobaan yang dilakukan Yasmi Mauludin (2019) dan Dimitri Arsenna D (2019) larutan Simulated Body Fluid juga belum mencapai titik maksimum untuk mengoksidasi spesimen benda kerja dikarenakan waktu perendaman yang belum cukup lama.

Pada pengujian Impedansi Menurut (Prajitno, dkk, 2018), nilai impedansi yang tinggi menunjukkan laju korosi menurun. Jika dihubungkan antara tahanan polarisasi pada pengujian impedansi dan hasil dari

pengujian Polarisasi Potensio Dinamik dimana nilai laju korosi terendah antara kedua spesimen , spesimen baja ST 41 yang dilapisi Titanium Nitride (TiN) dan SS 316L terjadi pada ST 41 yang dilapisi Titanium Nitride (TiN) dengan perendaman selama 12 jam dengan nilai laju korosi 0,00092597 mm/year dan jika dilihat dari nilai tertinggi tahanan antara kedua sample, pada percobaan impedansi spesimen baja ST 41 yang dilapisi *Titanium Nitride (TiN)* dan SS 316L terjadi pada spesimen baja ST 41 yang dilapisi *Titanium Nitride (TiN)* pada saat waktu perendaman selama 12 jam dengan nilai tahanan 83676 Ω .

Dari hasil pengujian SEM didapatkan hasil bahwa pada spesimen ST 41 yang dilapisi Titanium Nitride (TiN) dan SS 316L pada waktu perendaman 12 jam muncul beberapa lubang-lubang kecil dan beberapa produk korosi berbentuk pulau-pulau. Pada waktu perendaman selama 336 jam. Sehingga kesimpulan bahwa semakin lama waktu perendaman maka akan menimbulkan kerusakan berupa lubang-lubang kecil dan beberapa produk korosi berbentuk pulau-pulau yang menyelimuti seluruh permukaan sample spesimen.

Untuk spesimen yang dilapisi NiCr pada pengujian SEM didapatkan hasil bahwa pada spesimen ST 41 yang dilapisi NiCr dan SS 316L pada waktu perendaman 12 jam muncul beberapa lubang-lubang kecil dan beberapa produk korosi berbentuk pulau-pulau. Pada waktu perendaman selama 336 jam. Sehingga kesimpulan bahwa semakin lama waktu perendaman maka akan menimbulkan kerusakan berupa lubang-lubang kecil dan beberapa produk korosi berbentuk pulau-pulau yang menyelimuti seluruh permukaan sample spesimen.

Jika diurutkan berdasarkan pada pengujian SEM antara masing – masing spesimen ST 41 yang dilapisi NiCr, SS 316 L, dan ST 41 yang dilapisi TiN, lubang – lubang atau pulau kecil pada perendaman 12 jam paling banyak terdapat pada permukaan spesimen ST 41 yang dilapisi NiCr, kemudian pada spesimen ST 41 yang dilapisi TiN dan yang paling sedikit lubang – lubang dan terbentuk pulau – pulau kecil terjadi pada permukaan SS 316 L. Untuk waktu perendaman selama 336 jam lubang – lubang atau pulau kecil paling banyak terdapat pada permukaan spesimen ST 41 yang dilapisi NiCr, kemudian pada spesimen ST 41 yang dilapisi TiN dan yang paling sedikit lubang – lubang dan terbentuk pulau – pulau kecil terjadi pada permukaan SS 316 L. Sehingga dapat disimpulkan pada pengujian SEM ini spesimen yang paling sedikit terbentuk lubang – lubang dan pulau kecil terdapat pada permukaan SS 316 L.

Pada pengujian SEM – EDX didapatkan hasil bahwa pada permukaan ST 41 yang dilapisi *Titanium Nitride* (TiN) pada saat perendaman selama 12 jam memiliki kandungan antara lain: 58,50% Ti, 39,75% N, 0,89% Fe, 0,60% Ni dan 0,26% S. Pada saat perendaman selama 336 jam memiliki kandungan antara lain: 66,50 % Ti, 30,86% N, 1,20% Fe, dan 1,44% C.

Pada spesimen permukaan SS 316L dengan waktu perendaman 12 jam memiliki kandungan 67,38% Fe 16,30% Cr, 9,95% Ni, 2,57% C, 2,29% O, 1,31% S dan 0,19% Si. Pada spesimen yang sama yaitu SS 316L dengan perendaman selama 336 jam diketahui bahwa permukaan memiliki kandungan 58,97% Fe, 14,52% Cr, 8,48% Ni, 7,84% C, 6,05% O, 3,93% Mo dan 0,21% Si.

(Halaman ini sengaja dikosongkan)



BAB V

PENUTUP

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Dari penelitian yang telah dilakukan, didapatkan beberapa kesimpulan sebagai berikut ini :

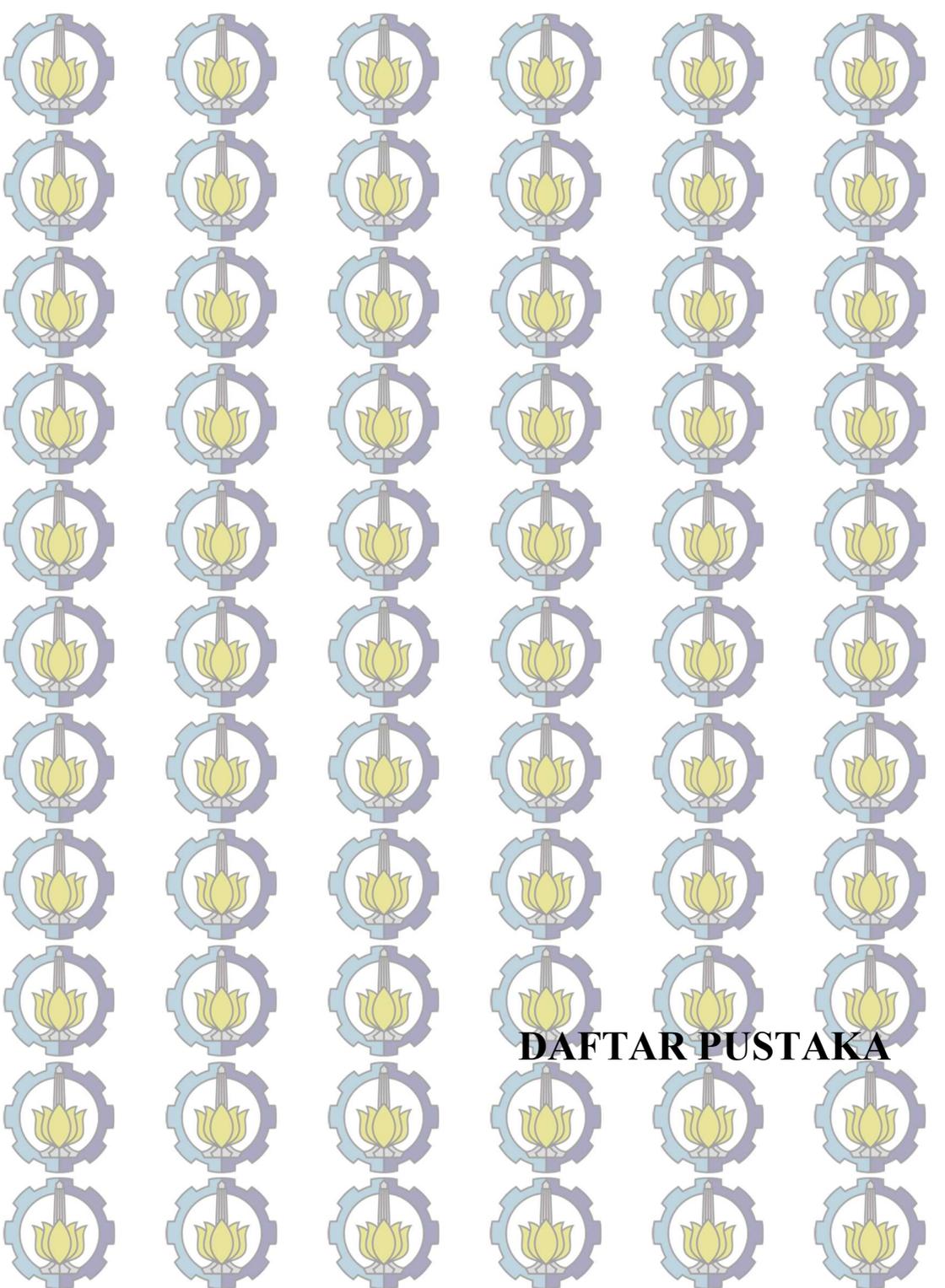
1. Perbandingan laju korosi antara SS 316 L dan baja ST 41 yang dilapisi Titanium Nitride (TiN) dalam media Simulated Body Fluid (SBF) dalam setiap waktu perendaman sebagai berikut:
 - a. Pada pengujian selama 12 jam didapatkan hasil laju korosi lebih kecil pada baja ST 41 yang dilapisi Titanium Nitride (TiN) dibanding SS 316 L dengan nilai 0,00092597 mm/year.
 - b. Pada pengujian selama 168 jam didapatkan hasil laju korosi lebih besar pada baja ST 41 yang dilapisi Titanium Nitride (TiN) disbanding SS 316 L dengan nilai 0,014261 mm/year.
 - c. Pada pengujian dengan waktu perendaman selama 240 jam didapatkan hasil bahwa laju korosi SS 316 L lebih kecil dari pada baja ST 41 yang dilapisi Titanium Nitride (TiN) dengan nilai laju korosi sebesar 0,0033401 mm/year.
 - d. Pada pengujian dengan waktu perendaman selama 336 jam didapatkan hasil bahwa laju korosi SS 316 L lebih kecil dari pada baja ST 41 yang dilapisi Titanium Nitride

(TiN) dengan nilai laju korosi 0,0013166 mm/year.

2. Laju korosi pada baja ST 41 yang dilapisi Titanium Nitride (TiN) dengan variasi perendaman selama 12 jam, 168 jam, 240 jam, dan 336 jam memiliki kecenderungan pola menurun, kecuali pada saat perendaman selama 168 jam, memiliki kecenderungan naik. Laju korosi tertinggi dicapai pada saat waktu perendaman 168 jam dengan nilai laju korosi 0,014261 mm/year.
3. Pada pengujian SEM pada masing – masing spesimen ST 41 yang dilapisi TiN dan SS 316 L pada saat perendaman 12 jam dan 336 jam , masing – masing memiliki produk korosi. Pada saat perendaman selama 12 jam spesimen ST 41 yang dilapisi TiN menghasilkan produk korosi lebih banyak daripada spesimen SS 316 L. Pada saat perendaman 336 spesimen ST 41 yang dilapisi TiN lebih banyak daripada spesimen SS 316 L. Dapat diambil kesimpulan bahwa semakin lama waktu perendaman maka akan menimbulkan semakin banyak produk korosi.

5.2 Saran

1. Perlu adanya penelitian lebih lanjut dengan variabel waktu yang berbeda seperti jam yang lebih dari 336 jam.
2. Perlu adanya penelitian lebih lanjut yang menggunakan bahan dasar serta pelapis yang lain dengan variasi ketebalan yang berbeda.

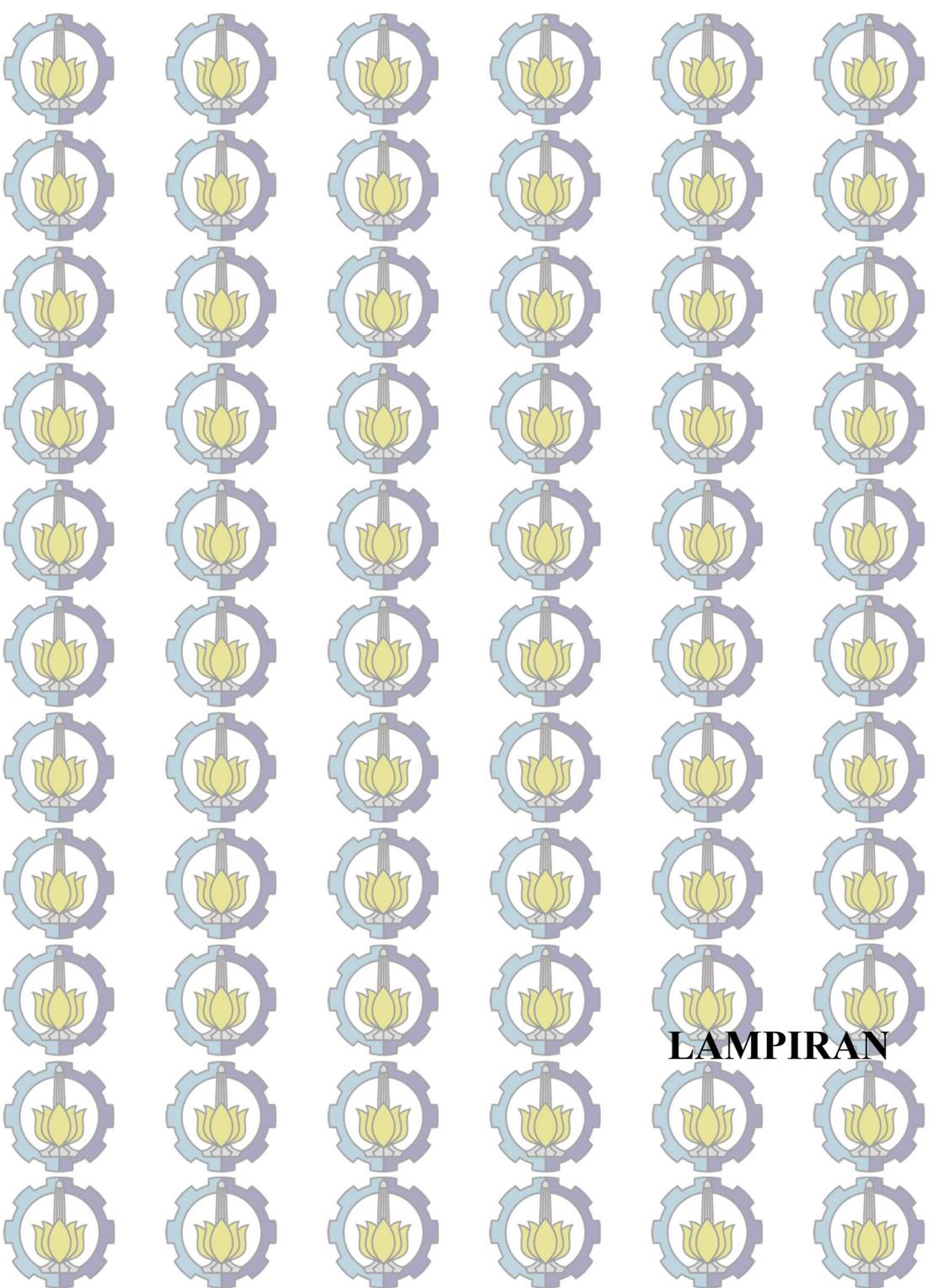


DAFTAR PUSTAKA

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Tadashi Kokubo, Hiroaki Takadama. 2006. *How useful is SBF in predicting in vivo bone bioactivity?* Matsumoto, Kasugai, Aichi, Jepang. : Department of Biomedical Sciences, College of Life and Health Sciences, Chubu University.
- [2] Dina Mila Tika Syahra, Munasir. 2015. *Analisis Sifat Korosi Material Pelapis PANi-SiO₂/cat Pada Medium NaCl IM Dengan Metode EIS*. Surabaya : Fisika, FMIPA, UNESA.
- [3] A. Shah, S. Izman, Siti Nurul Fasehah Ismail, Mas Ayu, H., R. Daud and Mohammed Rafiq Abdul-Kadir. 2018. *PHYSICAL VAPOUR DEPOSITION ON CORROSION RESISTANCE: A REVIEW*. Johor, Malaysia. : Faculty of Mechanical Engineering, Universiti Teknologi Malaysia, Skudai.
- [4] Nasser Al-Aqeeli and Ihsan-ul-Haq Toor. 2013. *Comparison of Corrosion Behavior of Electrochemically Deposited Nano-Cobalt-Coated Ni Sheet*. Saudi Arabia : Department of Mechanical Engineering, King Fahd University of Petroleum and Minerals (KFUPM), Dhahran 31261
- [5] Yong Wang, Mei Wei, Jiacheng Gao, Jinzhu Hu, Yan Zhang. 2007. *Corrosion process of pure magnesium in simulated body fluid*. China, USA : College of Materials Science & Engineering, Chongqing University, Chongqing, 400045, The Institute of Materials Science, University of Connecticut, Storrs, CT 06269, USA College of Materials Science and Engineering, Southwest University, Chongqing.

- [6] Jones, Denny A. 1992. "***Principles and Prevention of Corrosion***". New York; Macmillan Publishing Company, New York
- [7] Roberge, Pierre R., 2000, "***Handbook of Corrosion Engineering***", McGraw-Hill Companies, Inc., New York
- [8] A, Grossman. ***Corrosion Problem and Solution in Oil, Gas and Petrochemical Industry***, Israeli Institute of Technology. Israel
- [9] Roberge, Pierre R., 2000. ***Handbook of Corrosion Engineering***. New York: McGraw-Hill
- [10] Ardhi Sudradjat, A.P Bayuseno. ***ANALISIS KOROSI DAN KERAK PIPA NICKEL ALLOY N06025 PADA WASTE HEAT BOILER***. Semarang : Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro.
- [11] Pierre R. Roberge. 2008. ***Corrosion Engineering Principles and Practice***. The McGraw-Hill Companies Inc. USA.
- [12] International ASTM, ***Standard Laboratory Immersion Corrosion Testing of metal***. G31-72. 2004
- [13] International ASTM, ***Standard Reference Test Method for making Potentiostatic and Potentiodynamic Polarisation Measurements***. G5-94. 1999
- [14] International ASTM. ***Standard Reference Test Method for Electroimpedance Measurements***. G106-89. 2004
- [15] Zeiss, Carl. ***Scanning Electron Microscope EVO Manual Instruction***. Carl Zeiss Promenade 10, Jena. Germany. 2013

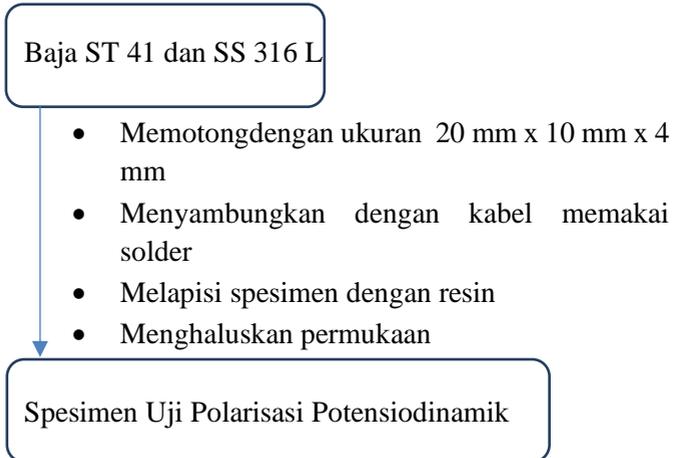


LAMPIRAN

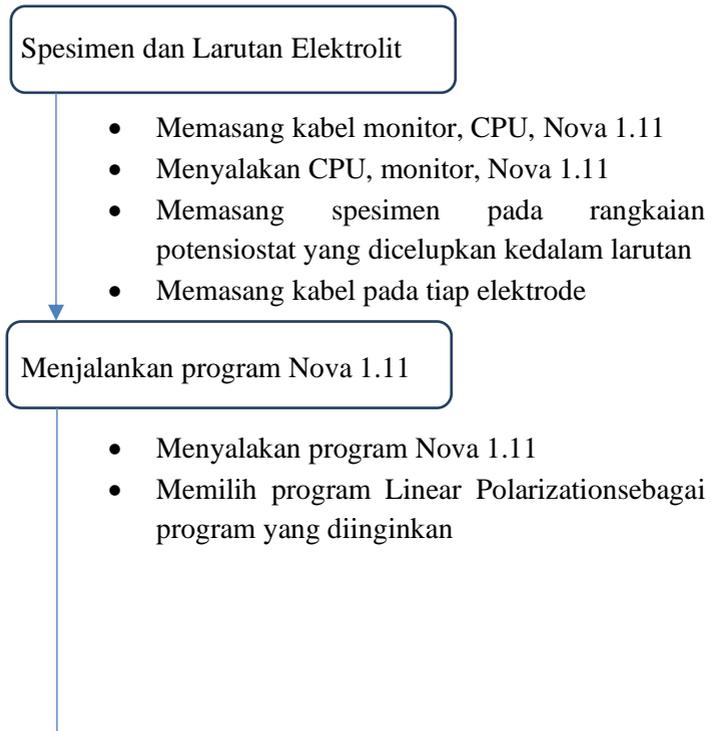
LAMPIRAN A

Skema Kerja

1. Pembuatan Spesimen Uji Polarisasi Potensiodinamik



2. Prosedur Uji Polarisasi Potensiodinamik



- Memasukkan parameter parameter pengujian yang diperlukan, seperti densitas, range pengujian dan lain lain.
- Melakukan pengujian dengan mengklik *run*
- Didapatkan kurva polarisasi
- Melakukan fitting pada kurva polarisasi untuk menentukan nilai E_{corr} , I_{corr} , Laju korosi, Beta katodik, dan Beta anodik

Diperoleh data korosi yang diperlukan

3. Prosedur Uji Electrochemical Impedance Spectroscopy (EIS)

Spesimen dan Larutan Elektrolit

- Memasang kabel monitor, CPU, Nova 1.11
- Menyalakan CPU, monitor, Nova 1.11
- Memasang spesimen pada rangkaian potensiostat yang dicelupkan kedalam larutan
- Memasang kabel pada tiap elektrode

Menjalankan program Nova 1.11

- Menyalakan program Nova 1.11
- Memilih program FRA Impedance Galvanostatic sebagai program yang diinginkan
- Memilih *setup view* lalu pilih *measurement impedance* untuk mengisi parameter pada EIS
- Memulai program Nova 1.11 dengan mengklik *start measurement*

- Setelah selesai klik *analysis view*, maka akan muncul grafik EIS
- Pilih Nyquist plot
- Klik kanan FRA Measurement Galvanostatis, klik *add analysis*, lalu klik *Electrochemical Circle Fit*
- Fitting di tiga titik tertentu, sehingga muncul kurva fitting. Klik kanan *Electrochemical Circle Fit*, Klik *Copy As Equivalent Circuit*.
- Klik kanan FRA Measurement Galvanostatis, klik *add analysis*, lalu klik *Fit and Simulation*, Klik edit, pada *blank page* klik kanan *Paste* maka akan didapatkan ekuivalen sirkuit dan parameter elektrokimia dari analisis *Electrochemical Circle Fit*
- Klik *Fit and Simulation*, lalu klik edit, dan masukkan parameter parameter elektrokimia secara manual, lalu klik *Ok*. Sehingga didapatkan ekuivalen sirkuit dan parameter elektrokimia dari analisis *Fit and Simulation*.



Equivalent circuit dan Parameter

4. Prosedur Uji SEM – EDX

Spesimen dalam keadaan basah

- Melakukan Pengeringan terhadap spesimen, dengan dibersihkan dengan tisu kering dan keringkan hingga kadar air di spesimen hilang
- Melakukan pelapisan untuk menutup bagian yang tidak di ekspose ketika pengujian SEM
- Memasang spesimen pada rangkaian alat
- Menyalakan komputer dan aplikasi

Menjalankan program Carl Zeiss Evo MA 10

- 
- Menyalakan program Carl Zeiss Evo MA 10
 - Memfokuskan kamera untuk pengujian
 - Memilih perbesaran berapa yang akan dipilih (Pada penelitian ini menggunakan perbesaran 200x,500x,1000x,5000x)
 - Memulai melakukan *scanning* gambar oleh program Carl Zeiss Evo MA 10
 - Setelah selesai maka akan muncul gambar dengan masing – masing perbesaran.

Proses Pengujian EDX

- Pilih perbesaran yang ingin diketahui kandungan pada permukaan.(Untuk penelitian ini memilih perbesaran 1000x,karena sesuai dengan prosedur jurnal Kokubo)
- Aplikasi Carl Zeiss Evo MA 10 melakukan scanning terhadap persentase jumlah senyawa yang tampak pada permukaan spesimen
- Setelah proses scanning selesai, akan muncul persentase jumlah senyawa yang tampak pada permukaan spesimen.

LAMPIRAN B

Data Hasil Percobaan

Tabel 1.1 Tabel Hasil Uji *Potensiodynamic Polarisazion*

Waktu Perendaman	Bahan	Percobaan ke-	ba (mV/dec)	bc (mV/dec)	Ecorr (mV)	Icorr ($\mu\text{A}/\text{cm}^2$)	CR (mm/year)	Polarization resistance (Ω) (Ω)
12 Jam	ST 41	1	0,048026	0,033606	-0.35148	0,00038789	0,00092597	221370
		2	0,055351	0,041146	-0.37741	0,00049217	0,0011749	208260
		3	0,056901	0,065588	-0.38607	0,00041882	0,0009998	315940
12 Jam	SS 316L	1	0,019019	0,031323	-0,28055	0,0014501	0,0029546	35441
		2	0,7863	0,11088	-0,16084	0,0082226	0,016754	51328
		3	0,067212	0,036128	-0,14328	0,0028603	0,0058279	35677
168 Jam	ST 41	1	0,067323	0,15716	-0,57546	0,059739	0,014261	11452
		2	0,011727	0,18561	-0,57438	0,00000812	0,014262	11794
		3	0,014821	0,17869	-0,57324	0,081796	0,014263	10788
168 Jam	SS 316L	1	0.026077	0.053253	-0.26837	0,0031411	0,0052665	28816
		2	0.026283	0.037369	-0.26837	0,00077786	0,095954	35441
		3	0.015914	0.042989	-0.40386	0,00070989	0,0052567	36636
240 Jam	ST 41	1	0.058682	0.11045	-0.65381	0,0031104	0,004158	95553
		2	0.048058	0.11844	-0.60224	0,0048211	0,0064449	54993
		3	0.081282	0.15174	-0.63999	0,0048479	0,0064808	84673
240 Jam	SS 316L	1	0.024125	0.045759	-0.26837	0,0018009	0,0033401	38094
		2	0.034244	0.053253	-0.26903	0,0031411	0,0058257	28816
		3	0.026077	0.042989	-0.26508	0,0019241	0,0035686	36636
336 Jam	ST 41	1	0.21051	0.2301	-0.65409	0,079195	0,10586	10766
		2	0.1784	0.20023	-0.64988	0,071405	0,095452	10246

		3	0.099548	0.11681	-0.65601	0,036777	0,0049162	11333
336 Jam	SS 316L	1	0.015914	0.02671	-0.40386	0,00070989	0,0013166	61008
		2	0.018155	0.037369	-0.40552	0,00077786	0,0014427	68219
		3	0.026283	0.070627	-0.39913	0,0011736	0,0021767	70884

Tabel 1.2 Data Pengujian *Electrochemical Impedance Spectroscopy*

Waktu Perendaman	Bahan	Percobaan ke -	CPE (μF)	Rp (Ω)	Rs (Ω)	CPE.N
12 Jam	ST 41	1	0,24699	64437	37,909	0.99772
		2	0,24862	64017	40,434	0.99825
		3	0,19021	83676	50,08	0.99741
12 Jam	SS 316L	1	0,001951	7773.2	131.33	0.99515
		2	0,020053	12812	130.77	0.99519
		3	0,024006	8965.7	132	0.99507
168 Jam	ST 41	1	0.00010453	7227	38,456	0,99476
		2	0.00012662	7069	66,801	0,99537
		3	0.00011363	7007	42,016	0,99498
168 Jam	SS 316L	1	0.00012662	8965.7	130.77	0.99474
		2	0,42377	8896	460.31	0.99519
		3	0,024006	7771.2	452.41	0,9943
240 Jam	ST 41	1	0,26638	59747	18,768	0.9957

		2	0,31694	50216	20,972	0,99603
		3	0,29663	53655	11,482	0,99587
240 Jam	SS 316L	1	0,39546	8645	452,41	0,9943
		2	0,41355	8896	460,31	0,99474
		3	0,42377	8730.4	529,96	0,99487
336 Jam	ST 41	1	0.00017198	9254.6	15,806	0,99474
		2	0.00016377	9718.2	17,166	0,99473
		3	0.00016713	9523.1	15,624	0,99458
336 Jam	SS 316L	1	0,0000000033404	10946	-11029	10,118
		2	0,0000012647	12584	-12684	10,116
		3	0,00000000087742	8512	-12891	10,115

Tabel 1.3 Data hasil Uji SEM – EDX Unsur kimia pada permukaan sampel pengujian SEM perbesaran 1000x
TiN

No	Bahan	Unsur Kimia	Unn. C (%)		Norm. C (%)		Atom. C (%)		Error (%)	
			12 jam	336 jam	12 jam	336 jam	12 jam	336 jam	12 jam	336 jam
1	ST 41 (TiN)	Fe	1,10	1,35	0,89	1,20	0,39	0,58	0,1	0,1
	SS 316L		63,78	53,59	67,38	58,97	37,60	41,26	1,7	1,5
2	ST 41 (TiN)	Cr	-	-	-	-	-	-	-	-
	SS 316L		15,43	13,20	16,30	14,52	14,96	10,91	0,4	0,4

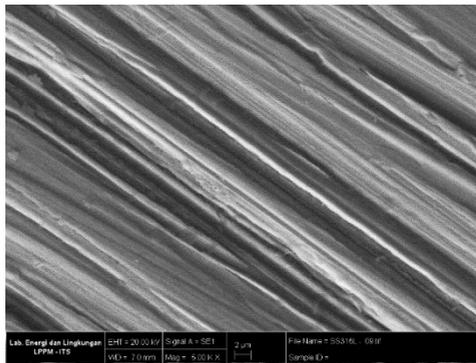
3	ST 41 (TiN)	Ti	72,33	34,75	58,50	66,50	29,84	37,20	2,0	2,1
	SS 316L		-	-	-	-	-	-	-	-
4	ST 41 (TiN)	N	49,15	34,75	39,75	30,86	69,32	59,02	18,6	19,6
	SS 316L		-	-	-	-	-	-	-	-
5	ST 41 (TiN)	C	-	1,62	-	1,44	-	3,21	-	0,3
	SS 316L		2,44	7,12	2,57	7,84	10,23	25,20	0,4	1,0
6	ST 41 (TiN)	O	-	-	-	-	-	-	-	-
	SS 316L		2,17	5,50	2,29	6,05	6,84	14,78	0,5	0,9
7	ST 41 (TiN)	S	0,33	-	0,26	-	0,20	-	0,0	-
	SS 316L		1,24	-	1,31	-	1,95	-	0,1	-
8	ST 41 (TiN)	Si	-	-	-	-	-	-	-	-
	SS 316L		0,18	0,19	0,19	0,21	0,32	0,30	0,0	0,0
9	ST 41 (TiN)	Ni	0,74	-	0,60	-	0,25	-	0,1	-
	SS 316L		9,42	7,71	9,95	8,48	8,10	5,65	0,3	0,2
10	ST 41 (TiN)	Mo	-	-	-	-	-	-	-	-
	SS 316L		-	3,57	-	3,93	-	1,60	-	0,2

LAMPIRAN C

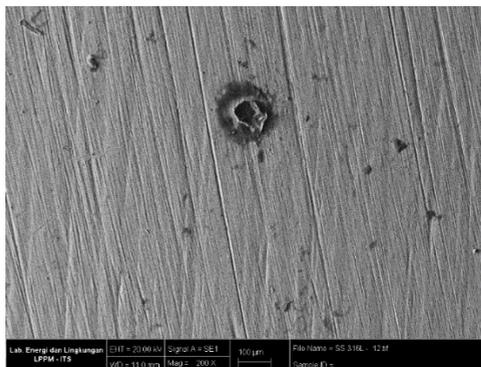
Hasil Gambar Pengujian

1. Hasil Pengujian *Scanning Electron Microscopy*

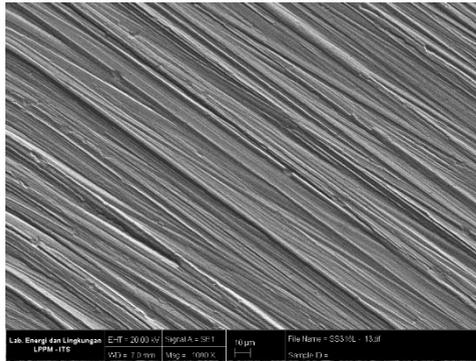
Gambar 1. Hasil Pengujian SEM SS 316 L Perbesaran 200x waktu perendaman 12 jam



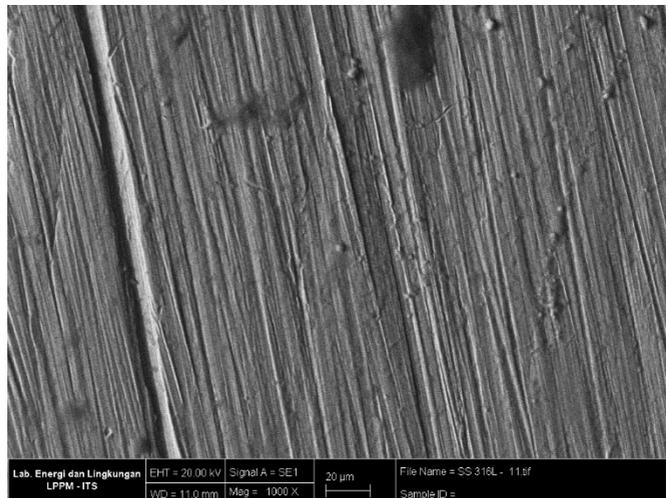
Gambar 2. Hasil Pengujian SEM SS 316 L Perbesaran 200x waktu perendaman 336 jam



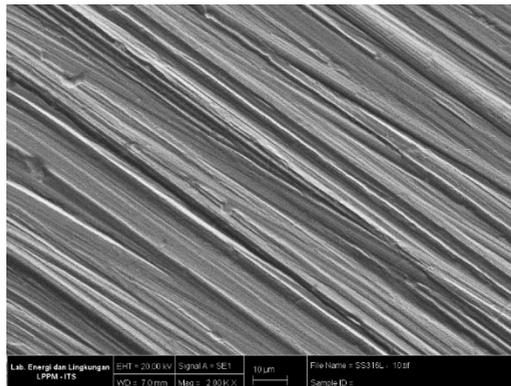
Gambar 3. Hasil Pengujian SEM SS 316 L perbesaran 1000x waktu perendaman 12 jam



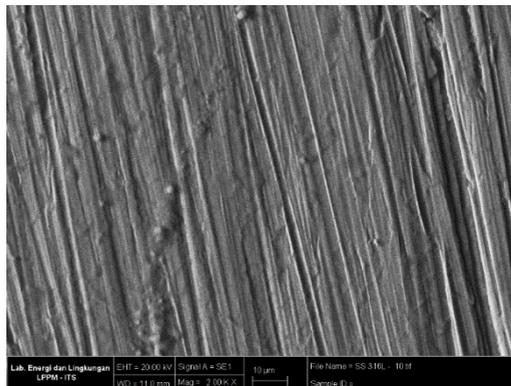
Gambar 4. Hasil Pengujian SEM SS 316 L perbesaran 1000x waktu perendaman 336 jam



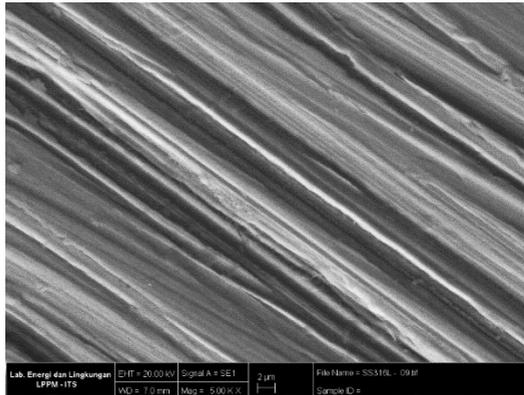
Gambar 5. Hasil Pengujian SEM SS 316 L perbesaran 2000x waktu perendaman 12 jam



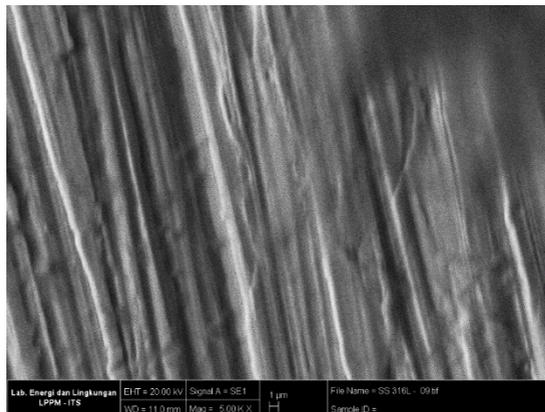
Gambar 6 Hasil Pengujian SEM SS 316 L perbesaran 2000x waktu perendaman 336 jam



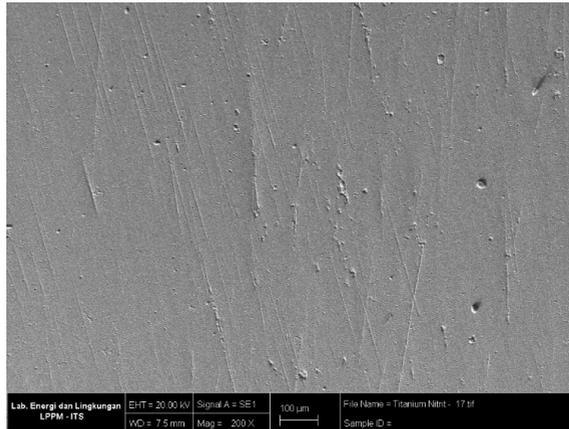
Gambar 7. Hasil Pengujian SEM SS 316 L
perbesaran 5000x



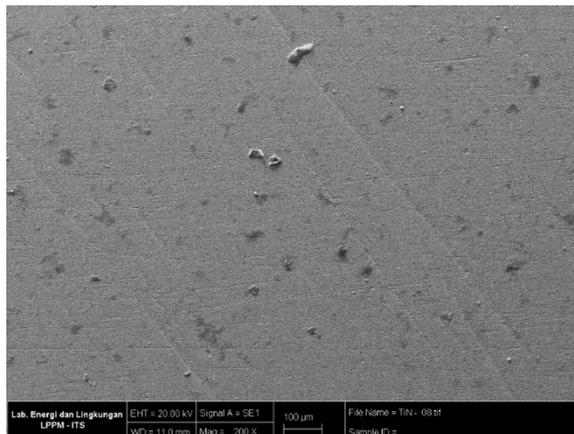
Gambar 8. Hasil Pengujian SEM SS 316 L
perbesaran 5000x



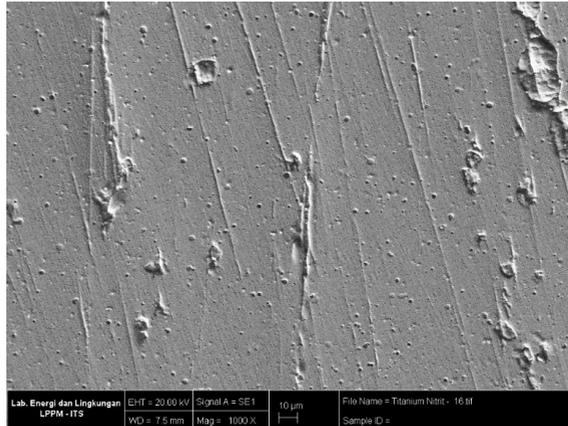
Gambar 9. Hasil Pengujian SEM ST 41 Yang Dilapisi TiN perbesaran 200x perendaman 12 jam



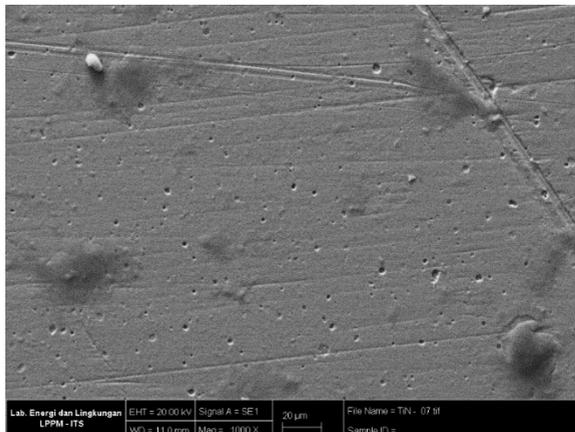
Gambar 10. Hasil Pengujian SEM ST 41 Yang Dilapisi TiN perbesaran 200x perendaman 336 jam



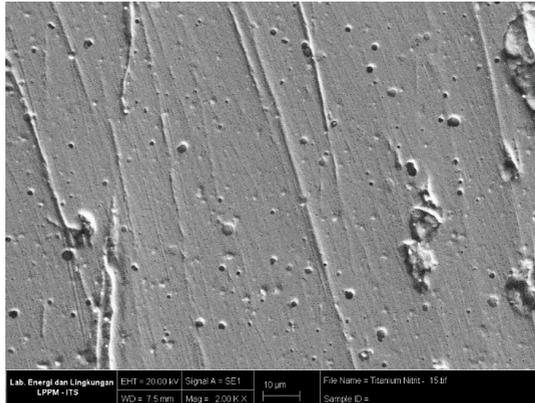
Gambar 11. Hasil Pengujian SEM ST 41 Yang Dilapisi TiN perbesaran 1000x waktu perendaman 12 jam



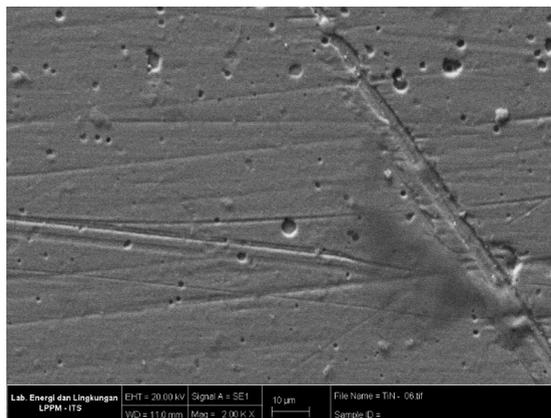
Gambar 12. Hasil Pengujian SEM ST 41 Yang Dilapisi TiN perbesaran 1000x waktu perendaman 336 jam



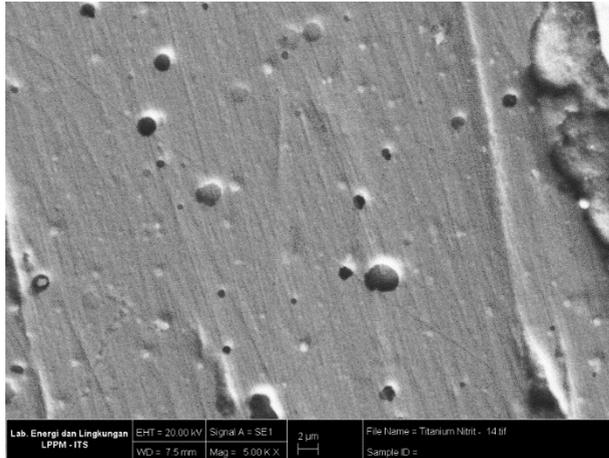
Gambar 13. Hasil Pengujian SEM ST 41 Yang Dilapisi TiN perbesaran 2000x waktu perendaman 12 jam



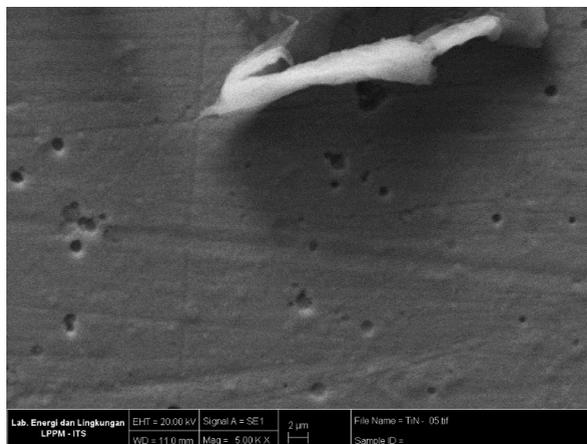
Gambar 14. Hasil Pengujian SEM ST 41 Yang Dilapisi TiN perbesaran 2000x waktu perendaman 336 jam



Gambar 15. Hasil Pengujian SEM ST 41 Yang Dilapisi TiN perbesaran 5000x waktu perendaman 12 jam

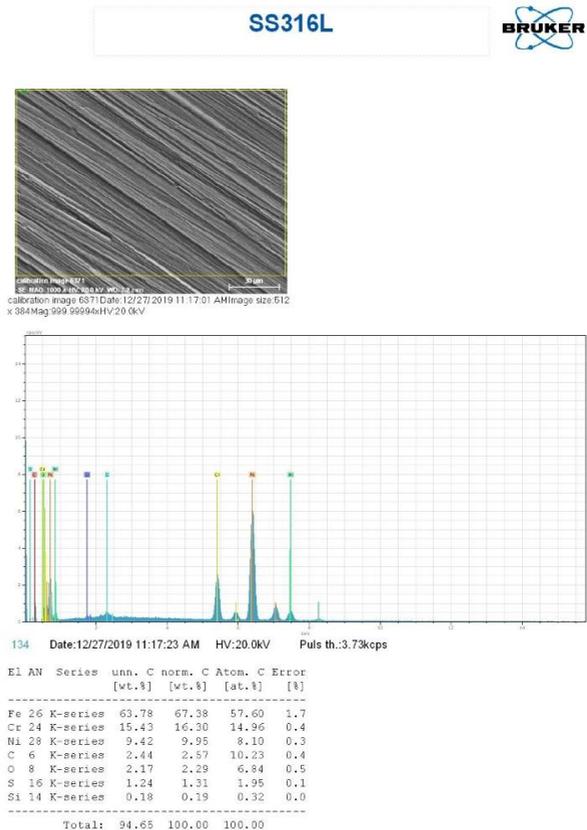


Gambar 16. Hasil Pengujian SEM ST 41 Yang Dilapisi TiN perbesaran 5000x waktu perendaman 336 jam



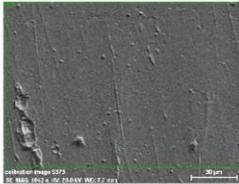
2. Hasil Pengujian *Scanning Electron Microscopy - Energy dispersive x-ray*

Gambar 17. Hasil Pengujian SEM – EDX Spesimen SS 316 L perbesaran 1000x waktu perendaman 12 jam

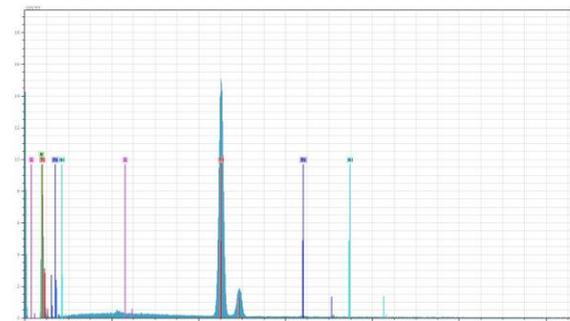


Gambar 18 Hasil Pengujian SEM – EDX Spesimen ST 41 yang dilapisi TiN perbesaran 1000x waktu perendaman 12 jam

Titanium Nitrit



calibration image 6373 Date:12/27/2019
11:33:57 AM Image size:512 x
384 Mag:1042.46582x HV:20.0kV

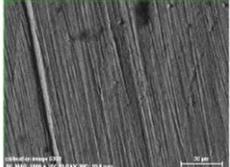


134 Date:12/27/2019 11:34:23 AM HV:20.0kV Puls th:4.34kcps

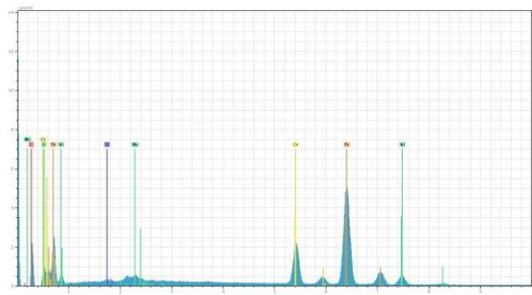
El	AN	Series	unn.	C	norm.	C	Atom.	C	Error
			[wt. %]		[wt. %]		[at. %]		[%]
Ti	22	K-series	72.33	58.50	29.84	2.0			
N	7	K-series	49.15	39.75	69.32	18.6			
Fe	26	K-series	1.10	0.89	0.39	0.1			
Ni	28	K-series	0.74	0.60	0.25	0.1			
S	16	K-series	0.33	0.26	0.20	0.0			
Total:			123.64	100.00	100.00				

Gambar 19. Hasil Pengujian SEM – EDX Spesimen SS 316 L perbesaran 1000x waktu perendaman 336 jam

SS 316L



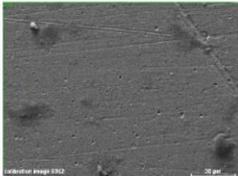
calibration image 6363Date:12/19/2019
 11:15:42 AMImage size:512 x
 384Mag:999.99994xHV:20.0kV



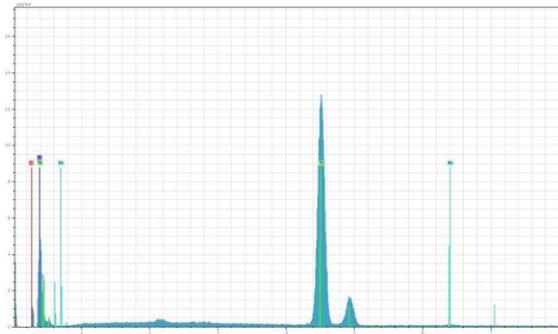
El	AN	Series	unn. [wt.%]	norm. [wt.%]	Atom. [at.%]	C Error [%]
Fe	26	K-series	53.59	59.97	41.26	1.5
Cr	24	K-series	13.20	14.52	10.91	0.4
Ni	28	K-series	7.71	8.48	5.65	0.2
C	6	K-series	7.12	7.84	25.50	1.0
O	8	K-series	5.50	6.05	14.78	0.9
Mo	42	L-series	3.57	3.93	1.60	0.2
Si	14	K-series	0.19	0.21	0.30	0.0
Total:			90.89	100.00	100.00	

Gambar 20 Hasil Pengujian SEM – EDX Spesimen ST 41 yang dilapisi TiN perbesaran 1000x waktu perendaman 336 jam

TiN 

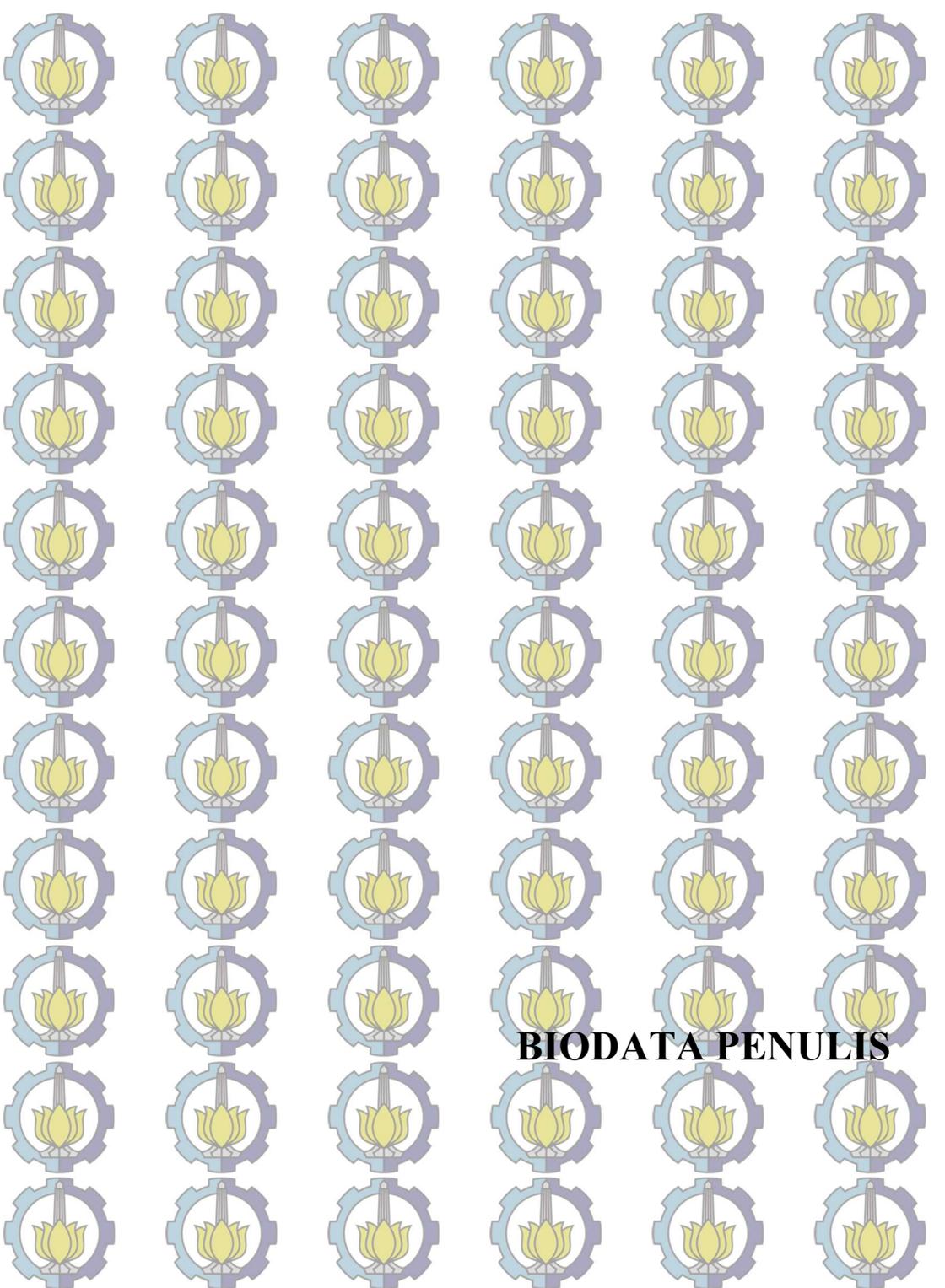


calibration image 6362Date:12/19/2019
10:57:23 AMImage size:512 x
384Mag:999.99994kHV:20.0kV



132 Date:12/19/2019 10:57:38 AM HV:20.0kV Puls th.:3.69kcpv

El	AN	Series	unn.	C norm.	C Atom.	C Error
			[wt.%]	[wt.%]	[at.%]	[%]
Ti	22	K-series	74.87	66.50	37.20	2.1
N	7	K-series	34.75	30.86	59.02	19.6
C	6	K-series	1.62	1.44	3.21	0.3
Fe	26	K-series	1.35	1.20	0.58	0.1
Total:			112.59	100.00	100.00	



BIODATA PENULIS

BIODATA PENULIS



Penulis merupakan anak kedua dari dua bersaudara yang lahir pada tanggal 9 April 1998 di Pasuruan, Jawa Timur. Pendidikan formal yang pernah ditempuh meliputi SDN Bangilan Kota Pasuruan, SMPN 1 Kota Pasuruan dan SMAN 1 Kota Pasuruan. Setelah itu pada tahun 2016 penulis meneruskan pendidikan pada tingkat perguruan tinggi di Departemen Teknik Mesin Industri, Fakultas Vokasi – Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya.

Selama masa pendidikan di perkuliahan penulis menjadi Grader Laboratorium Pneumatic and Hydraulic 2019 - 2020. Penulis juga aktif dalam organisasi diantaranya staff Akesma Himpunan Mahasiswa D3 Mesin (HMDM) FV- ITS 2017 - 2018 kemudian mengikuti menjadi Staff BEM ITS Kabinet GELORA AKSI tahun 2018 - 2019 sebagai Staff di Kemeterian Advokasi Kesejahteraan Mahasiswa kemudian berlanjut menjadi Direktorat Jenderal Advokasi Kebijakan Kampus dan Pelaksana Tugas (PLT) Wakil Menteri di Kementerian Advokasi Kesejahteraan Mahasiswa Kabinet KOLABORAPI 2019 - 2020 . Penulis juga mengikuti pelatihan yang diadakan HMDM antara lain : Pelatihan Karya Tulis Ilmiah (PKTI). Selain itu, penulis juga mengikuti pelatihan di fakultas yaitu Pelatihan LKMM Pra-TD. Dan penulis juga pernah kerja praktek di PT. RISVATAMA LARAS selama 1 bulan di Bogor 1 Juli 2018 -1 Agustus 2018. Bagi pembaca yang ingin lebih mengenal penulis dan ingin berdiskusi lebih luas lagi dapat menghubungi E-mail: maududi09@gmail.com