



TUGAS AKHIR - VM180629

**ANALISA PERMUKAAN PADA SAMPEL IMPLAN TULANG
BERBAHAN ST-41 DENGAN PELAPIS NiCr**

**FALAS SULTHAN PAMASA
NRP. 1021160000061**

**Dosen Pembimbing 1
Dr. Atria Pradityana, ST. MT.
19851124 200912 2 008**

**Dosen Pembimbing 2
Ir. Nur Husodo, M.S.
196110421 198701 1 001**

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



TUGAS AKHIR - VM180629

**ANALISA PERMUKAAN SAMPEL IMPLAN
TULANG BERBAHAN ST-41 DENGAN
PELAPIS NiCr**

**FALAS SULTHAN PAMASA
NRP. 10211600000061**

**Dosen Pembimbing 1
Dr. Atria Pradityana, ST. MT.
19851124 200912 2 008**

**Dosen Pembimbing 2
Ir. Nur Husodo, M.S.
196110421 198701 1 001**

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



FINAL PROJECT - VM180629

**SURFACE ANALYSIS OF ST-41 BONE
IMPLANT SAMPLES WITH NiCr COATING**

FALAS SULTHAN PAMASA
NRP. 10211600000061

Counselor Lecturer 1
Dr. Atria Pradityana, ST. MT.
19851124 200912 2 008

Counselor Lecturer 2
Ir. Nur Husodo, M.S.
196110421 198701 1 001

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

PERNYATAAN TIDAK MELAKUKAN PLAGIASI

Saya yang bertanda tangan di bawah ini :

Nama : Falas Sulthan Pamasa
NRP : 1021160000061
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, 29 Desember 2019
Yang membuat
pernyataan

Falas Sulthan Pamasa
NRP. 1021160000061

**ANALISA PERMUKAAN PADA SAMPEL IMPLAN
TULANG BERBAHAN ST-41 DENGAN PELAPIS
NiCr**

TUGAS AKHIR

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

Oleh :

Falas Sulthan Pamasa
NRP. 102116000061

Disetujui oleh dosen pembimbing Tugas Akhir :

Dosen Pembimbing



Dr. Atria Pradityana, ST., MT.
NIP. 1985112420091220008

SURABAYA, 9 JANUARI 2020

Abstrak

Implan tulang merupakan suatu alat medis yang terbuat dari logam yang ditanamkan ke dalam tubuh. Fungsi dari implan untuk menggantikan struktur dan fungsi tulang.

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui laju korosi spesimen SS 316 L dan Baja ST 41 yang dilapisi Nickel Chrome (NiCr) dengan variasi perendaman 12 jam, 168 jam, 240 jam, dan 336 jam. SS 316 L merupakan material implan tulang yang sering digunakan saat ini. Jenis pengujian yang dilakukan pada penelitian ini antara lain *Potentiodynamic Polarization* (PDP), *Electrochemical Impedance Spectroscopy* (EIS), *Scanning Electron Microscope* (SEM), dan *Scanning Electron Microscope Energy Dispersive X-Ray* (SEM-EDX).

Hasil pengujian menunjukkan pola laju korosi yang sama pada kedua spesimen saat variasi perendaman selama 168 jam. Didapatkan nilai laju korosi tertinggi yaitu pada spesimen ST 41 yang dilapisi Nickel Chrome (NiCr) dengan nilai 0,024665 mm/year dan laju korosi terendah yaitu pada SS 316 L dengan nilai 0,0013166 mm/year pada variasi perendaman 336 jam.

Kata Kunci : Implan Tulang, Pelapisan, Nickel Chrome (NiCr), SS 316 L, Baja Karbon ST 41

Abstract

A bone implant is a medical device made of metal that is implanted in the body. The function of the implant is to replace the structure and function of the bone.

This study aims to determine the corrosion rate of SS 316 L specimens and ST 41 steel coated by Nickel Chrome (NiCr) with variations of immersion in 12 hours, 168 hours, 240 hours and 336 hours. SS 316 L is a bone implant material that is often used today. Types of tests conducted in this study include Potentiodynamic Polarization (PDP), Electrochemical Impedance Spectroscopy (EIS), Scanning Electron Microscope (SEM), and Scanning Electron Microscope Energy Dispersive X-Ray (SEM-EDX).

The test results showed the same pattern of corrosion rate in both specimens when soaking variation for 168 hours. The highest corrosion rate was obtained in the ST 41 specimen coated with Nickel Chrome (NiCr) with a value of 0.024665 mm / year and the lowest corrosion rate was at SS 316 L with a value of 0.0013166 mm / year on a 336 hour immersion variation.

Key Words : Bone Implant, Coating, Nickel Chrome (NiCr), SS 316 L, Carbon Steel ST 41

KATA PENGANTAR

Segala puji syukur penulis panjatkan atas kehadiran Allah SWT. yang telah melimpahkan karunia, rahmat serta hidayah-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir yang berjudul “ANALISA PERMUKAAN PADA SAMPEL IMPLAN TULANG BERBAHAN ST-41 DENGAN PELAPS NiCr”.

Penuntasan Tugas Akhir merupakan sebuah syarat kelulusan akademis dalam menempuh Bidang Studi Manufaktur di program studi D3 Teknik Mesin, Departemen Teknik Mesin Industri, Fakultas Vokasi, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya.

Dengan terselesaikannya tugas akhir ini, penulis ingin menyampaikan terima kasih kepada semua pihak yang telah membantu secara moral maupun materi, yaitu :

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. Nur Husodo, M.S.** Selaku dosen pembimbing Tugas Akhir dan Dosen Wali selama kuliah di Departemen Teknik Mesin Industri FV-ITS sehingga penulis dapat menyelesaikan Laporan Tugas Akhir ini.
4. **Ibu Dr. Atria Pradityana, S.T., M.T.** Selaku dosen pembimbing Tugas Akhir.
5. **Kedua Orang Tua** penulis yang tercinta atas segala dukungan dan doa sehingga penulis bisa belajar dan menyelesaikan pendidikan di Departemen Teknik Mesin Industri

6. **Maududi Yoga Dwi Prasetya** selaku partner tugas akhir
7. **Larasati** yang telah memberikan dukungan moral serta materi dalam pengerjaan tugas akhir
8. **Rekan Grader Laboratorium Perautan** yang telah mendukung dan memberikan doa.
9. **Rekan Grader Pneumatik & Hidrolik** yang telah memberikan ilmu dan dukungan pada penulis
10. **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 di bangku kuliah
11. **Seluruh teman-teman D3MITS** khususnya angkatan 2016 yang selalu membantu dan memberikan semangat kepada penulis.
12. Semua pihak yang belum sempat disebutkan di atas yang telah memberikan do'a, bantuan, dan dukungannya bagi penulis hingga tugas akhir ini dapat terselesaikan dengan baik.

Penulis mengharapkan kritik dan saran demi kesempurnaan tugas akhir ini. Penulis berharap dengan terselesaikannya Laporan Tugas Akhir ini dapat bermanfaat bagi pengembangan ilmu pengetahuan dan untuk kesejahteraan seluruh elemen masyarakat.

Surabaya, Desember 2019

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
TITLE PAGE	ii
LEMBAR PLAGIASI.....	iii
LEMBAR PENGESAHAN.....	iv
ABSTRAK	v
ABSTRACT	vi
KATA PENGANTAR.....	vii
DAFTAR ISI.....	ix
DAFTAR GAMBAR.....	xiii
DAFTAR TABEL.....	xv
DAFTAR SIMBOL	xvii

BAB 1

PENDAHULUAN.....	1
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Rumusan Masalah	3
1.3. Batasan Masalah.....	4
1.4. Tujuan Penelitian.....	4
1.5. Manfaat Penulisan	5
1.6. Sistematika Penulisan.....	5

BAB II

DASAR TEORI.....	7
2.1. Tinjauan Pustaka	7
2.2. Baja Tahan Karat.....	8
2.3. Baja	15
2.3.1. Baja Karbon Tinggi	16
2.3.2. Baja Karbon Sedang	16
2.3.3. Baja Karbon Rendah.....	16
2.3.3.1. Baja ST 41	16
2.4. Korosi.....	17
2.4.1. Mekanisme Korosi.....	18
2.4.2. Jenis-Jenis Korosi.....	21
2.4.2.1. Korosi Merata	21
2.4.2.2. Korosi Galvanik.....	22

2.4.2.3. Korosi Sumuran	22
2.4.2.4. Korosi Celah	23
2.4.2.5. Korosi Fatigue.....	24
2.4.2.6. Korosi Fretting.....	25
2.5. Implan Tulang.....	26
2.6. Nikel Krom.....	28
2.7. Simulated Body Fluid (SBF)	29
2.7.1. Definisi Simulated Body Fluid (SBF)	29
2.7.2. Simulated Body Fluid (SBF) Tadashi Kokubo ..	30
2.8. Electroplating	31
2.9. Pengujian Korosi	33
2.9.1. Uji Polarisasi Potensio Dinamik (PDP)	33
2.9.2. Uji Electroscopy Impedance Spectroscopy (EIS)	35
2.9.3. Uji Scanning Electron Microscope (SEM)	36
2.9.4. Uji Scanning Electron Microscope Energy Dispersive X-Ray (SEM-EDX)	38

BAB III

METODOLOGI PENELITIAN.....	41
3.1. Diagram Alir	41
3.2. Waktu Pelaksanaan Penelitian	43
3.3. Tempat Penelitian.....	43
3.4. Alat Penelitian	43
3.5. Bahan Penelitian.....	44
3.6. Langkah Percobaan	45
3.6.1. Studi Literatur.....	45
3.6.2. Proses Pemotongan Spesimen	45
3.6.3. Proses Pengeboran Spesimen	46
3.6.4. Polishing.....	46
3.6.5. Proses Electroplating NiCr	47
3.6.6. Persiapan Elektrolit Simulated Body Fluid.....	48
3.6.7. Proses Pengujian.....	49
3.6.7.1. Potensiodynamic Polarization (PDP)	49
3.6.7.2. Electroscopy Impedance Spectroscopy (EIS).....	51
3.6.7.3. Scanning Electron Microscope (SEM)	52

3.6.7.4. Scanning Electron Microscope Energy Dispersive X-Ray (SEM-EDX).....	53
3.6.8. Rancangan Tabel Pengambilan Data	54

BAB IV

HASIL DAN ANALISA.....	57
4.1. Hasil Larutan Korosif	57
4.2. Hasil Penelitian.....	57
4.2.1. Hasil Pengujian Polarisasi Potensiodinamik	58
4.2.2. Hasil Pengujian Electrochemical Impedance Spectroscopy	62
4.2.3. Hasil Pengujian SEM	68
4.2.4. Hasil Pengujian SEM-EDX	70
4.3. Pembahasan	72

BAB V

PENUTUP

5.1. Kesimpulan.....	75
5.2. Saran.....	76

DAFTAR PUSTAKA

BIOGRAFI PENULIS

LAMPIRAN

Halaman ini sengaja dikosongkan

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Mekanisme Korosi	18
Gambar 2.2 Korosi Merata	22
Gambar 2.3 Korosi Galvanik	22
Gambar 2.4 Korosi Sumuran	23
Gambar 2.5 Korosi Celah	24
Gambar 2.6 Korosi Fatigue.....	25
Gambar 2.7 Korosi Fretting	25
Gambar 2.8 Alat Implan Tulang	28
Gambar 2.9 Larutan SBF Standar Kokubo	31
Gambar 2.10 Proses Electroplating Nickel	32
Gambar 2.11 Proses Electroplating Chrome	32
Gambar 2.12 Grafik Uji Polarisasi Potensiodinamik	35
Gambar 2.13 Kurva Nyquist Z pada korosi baja.....	36
Gambar 2.14 Skema Kerja Alat <i>Scanning Electron Microscope</i>	38
Gambar 2.15 Prinsip Kerja SEM	40
Gambar 3.1 Flow Chart Diagram Penelitian	42
Gambar 3.2 Baja ST 41	45
Gambar 3.3 SS 316 L	46
Gambar 3.4 Pasca Pengeboran Spesimen	46
Gambar 3.5 Alat Polishing.....	47
Gambar 3.6 Spesimen ST 41 yang sudah Terlapis Nickel Chrome (NiCr).....	48
Gambar 3.7 Larutan <i>Simulated Body Fluid</i> (SBF)	49
Gambar 3.8 Mesin AUTOLAB.....	50
Gambar 3.9 Mesin Uji Potensiodynamic Polarization (PDP)	50
Gambar 3.10 Alat Pengujian SEM.....	53
Gambar 3.11 Alat Pengujian SEM-EDX	54
Gambar 4.1 Hasil grafik <i>Corrosion Rate</i> Pengujian Polaris	60
Gambar 4.2 Hasil Grafik Pengujian <i>Electrochemical Impedance Specstroscopy</i> Sampel <i>Nickel Chrome</i> (NiCr).....	64

Gambar 4.3 Hasil Grafik Pengujian <i>Electrochemical Impedance Spectroscopy</i> Sampel SS316L	65
Gambar 4.4 Perbandingan Grafik SS316L dengan ST 41 pelapis <i>Nickel Chrome</i> (NiCr) dengan lama perendaman 12 jam	66
Gambar 4.5 Perbandingan Grafik SS316L dengan ST 41 pelapis <i>Nickel Chrome</i> (NiCr) dengan lama perendaman 168 jam	66
Gambar 4.6 Perbandingan Grafik SS316L dengan ST 41 pelapis <i>Nickel Chrome</i> (NiCr) dengan lama perendaman 240 jam	67
Gambar 4.7 Perbandingan Grafik SS316L dengan ST 41 pelapis <i>Nickel Chrome</i> (NiCr) dengan lama perendaman 336 jam	67
Gambar 4.8 Hasil Pengujian SEM Perbesaran 200x Dengan Variabel Perendaman 12 Jam SS 316L (a) ST 41 dengan pelapis <i>Nickel Chrome</i> (NiCr) (b)	68
Gambar 4.9 Hasil Pengujian SEM Perbesaran 200x Dengan Variabel Perendaman 336 Jam SS 316L (a) ST 41 dengan pelapis <i>Nickel Chrome</i> (NiCr) (b).....	69

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Kandungan Baja Karbon ST 41	17
Tabel 2.2 Konsentrasi Ion Pada SBF (mM)	30
Tabel 2.3 Komposisi Penyusun Konsentrasi Ion Pada SBF	30
Tabel 3.1 Komposisi Kimia Baja ST 41	44
Tabel 3.2 Komposisi Kimia SS 316 L	44
Tabel 3.3 Bahan Simulated Body Fluid	48
Tabel 3.4 Pengujian Polarisasi Potensiodinamik	55
Tabel 3.5 Pengujian EIS	56
Tabel 4.1 Parameter Pengujian Polarisasi Potensiodinamik pada NiCr.....	59
Tabel 4.2 Parameter Pengujian Potensiodinamik pada SS316L.....	59
Tabel 4.3 Hasil Data Pengujian Impedansi Dengan Waktu 12-336 Jam	63
Tabel 4.4 Unsur Kimia Pada Permukaan Sampel Pengujian SEM Perbesaran 1000x NiCr.....	71

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

DAFTAR SIMBOL

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Dalam perkembangan dunia medis saat ini implant tulang merupakan suatu solusi dalam memperbaiki kerusakan pada tulang manusia. Material implant yang digunakan saat ini umumnya terbuat dari jenis logam Baja tahan karat *Stainless steel 316L* (SS 316L). Penggunaan stainless steel pada implan tulang manusia karena memiliki banyak keuntungan, menurut Alvarado J., dkk (2003) karena memiliki hambatan korosi yang tinggi, tahan panas dan api, kondisi bahan yang mudah dibersihkan, penampilan baik, sifat mekanik yang baik, dan mudah difabrikasi. Menurut Cahya S., dkk (2014) syarat yang harus dipenuhi untuk implan yaitu tidak menimbulkan pengaruh buruk pada tubuh, memiliki ketahanan terhadap korosi dan memiliki kekuatan yang baik terutama kekuatan fatik dan ketangguhan. SS 316L mencakupi sebagai implant yang baik untuk tubuh manusia sehingga dapat diterima oleh tubuh dan tidak mengalami reaksi yang dapat merugikan penggunaannya

Disisi lain baja tahan karat memiliki harga yang relatif tinggi untuk masyarakat menengah ke-bawah. Tujuan dilakukannya penelitian ini untuk mendapatkan bahan alternatif implant tulang yang terjangkau dan biokompatibel. Bahan yang digunakan untuk penelitian ini adalah baja karbon rendah ST 41 yang memiliki sifat mekanik setara dengan SS 316 L serta mudah di fabrikasi untuk pembuatan secara masal. Selain itu juga penggunaan baja karbon rendah ST 41 banyak di gunakan dalam berbagai bidang sehingga tingkat ketersediaan barangnya tinggi. Namun ST 41 memiliki kelemahan dalam ketahanan terhadap laju korosi. Sebelumnya disebutkan bahwa syarat

yang harus dipenuhi untuk implan yaitu tidak menimbulkan pengaruh buruk pada tubuh, memiliki ketahanan terhadap korosi dan memiliki kekuatan yang baik terutama kekuatan fatik dan ketangguhan sehingga salah satu solusi dalam mengatasi tingkat laju korosi yang tinggi pada baja ST 41 dilakukan pelapisan pada permukaan baja tersebut. Pada penelitian ini bahan pelapis yang digunakan pada baja ST 41 adalah pelapis *Nickel Chrome* (NiCr).

Menurut NACE (*National Association of Corrosion Engineer*) definisi dari korosi adalah penurunan mutu suatu material (biasanya baja) atau sifat-sifatnya yang diakibatkan oleh reaksi dengan lingkungannya. Sedangkan menurut *ASM Materials Engineering Dictionary* menyatakan korosi sebagai reaksi kimia atau elektrokimia antara anoda dan katoda baja dengan lingkungan elektrolit yang berakibat pada penurunan mutu material dan sifat kimianya. Dampak yang terjadi dengan adanya korosi pada material dapat menimbulkan kerusakan pada sifat mekanik material dan kerugian akibat menurunnya keamanan material.

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

Penelitian-penelitian mengenai Fe telah dilakukan sejak tahun 2002 (Ikarashi *et al.* 2002) namun konsep penggunaan Fe sebagai logam terserap tubuh baru dikemukakan sejak sebelas tahun silam oleh Hermawan & Mantovani (2009) sehingga terdapat kemungkinan yang

lebih besar bahwa besi dapat digunakan sebagai bahan implan pada tulang. Pada penelitian kali ini menggunakan baja ST 41 yang dilapisi dengan *Nickel Chrome (NiCr)*. Chrome 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 CrO₂ 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 Chrome 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 Impedance Spectroscopy (EIS)*, *Potentiodynamic Polarization (PDP)*, *Scanning Electron Microscope (SEM)* dan *Scanning Electron Microscope-Energy Dispersive X-Ray Spectrometer (SEM-EDX)*.

Dengan melakukan peningkatan lama perendaman dan pengujian dapat mengetahui lebih jauh efisiensi dari logam pelapis pelindung dan *Nickel Chrome(NiCr)* , dapat mengetahui morfologi suatu partikel dan dapat mengetahui jumlah presentase kandungan dari bahan uji sample implan tulang setelah proses perendaman dan pengujian terhadap bahan uji sample implan tulang.

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 sampel SS 316 L dan baja ST 41 yang dilapisi Nickel Chrome

- (NiCr) yang direndam dalam media Simulated Body Fluid (SBF) dengan variasi perendaman selama 12 jam, 168 jam, 240 jam, 336 jam
2. Bagaimana pola laju korosi pada baja ST 41 yang dilapisi Nickel Chrome (NiCr) dengan variasi perendaman selama 12 Jam, 168 jam, 240 jam,dan 336 jam
 3. Bagaimana karakteristik permukaan SS 316 L dan ST 41 yang dilapisi Nickel Chrome (NiCr) 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 *Nickel Chrome (NiCr)* 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 tiap sampel sebanyak 64 ml.
6. Temperatur yang digunakan pada saat perendaman adalah suhu ruangan
7. Tidak membahas tentang reaksi kimia yang terdapat pada pengujian.

1.4 Tujuan

- 1 Mengetahui perbandingan laju korosi SS 316 L dengan baja ST 41 yang dicoating dengan Nickel Chrome (NiCr).
- 2 Mengetahui pola laju korosi dengan variasi perendaman selama 12 Jam, 168 jam, 240 jam,dan 336 jam

- 3 Mengetahui karakteristik permukaan SS 316 L dan baja ST 41 yang dilapisi Nickel Chrome (NiCr) 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

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 implan logam yang dapat diserap oleh tubuh, paradigma mengenai implan yang harus tahan terhadap korosi ini dipatahkan.

Saat ini logam yang umum digunakan sebagai penyusun jenis implan tersebut antara lain baja tahan karat (*stainless steel*), titanium (Ti), dan campuran kobalt-kromium (Co-Cr alloys) (Hermawan 2011 ; Kuhlmann et al. 2013) selain itu juga 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 maupun reaksi yang merugikan penggunaannya 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.

2.2 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. Produk 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 disbanding 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 presipitat 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 temperatur 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. Molybdenum (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 ketahanan dan ketahanan korosi. Pada baja martensitic, nitrogen meningkatkan kekerasan maupun kekuatan pada baja tetapi mengurangi ketahanan.

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 dua cara. 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 ketahanan, kemudahan pembentukan dan ketahanan korosi. Pada baja tahan karat martensitik, titanium menurunkan kekerasan martensit dengan menggabungkan karbon dan meningkatkan ketahanan tempa. Pada baja penguatan presipitat, titanium digunakan untuk membentuk aduan intermetalik yang digunakan untuk meningkatkan kekuatan

8. Niobium (Nb)

Niobium kuat pada ferit maupun pembentuk karbida. Seperti titanium meningkatkan struktur feritik. Pada baja austenitik, 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 ketahanan 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

2.3 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

yanitu Mangan (Mn), Silikon (Si), Chrom (Cr), Vanadium (V), Molibdenum (Mb), dan unsur lainnya

2.3.1 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

2.3.2 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

2.3.3 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.

2.3.3.1 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 de-ngan 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

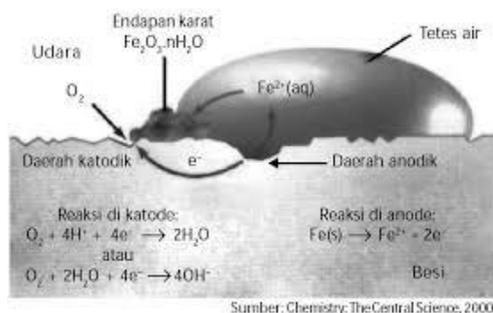
2.4 Korosi

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 H_2 dan reduksi O_2 , akibat ion H^+ dan H_2O 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

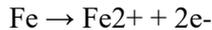
Sumber : (Chemistry, The Central Science, 2000)

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

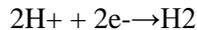
ini logam terlarut dalam larutan dan melepaskan elektron untuk membentuk ion logam yang bermuatan positif. Reaksi korosi suatu logam M dinyatakan dalam persamaan berikut:



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.

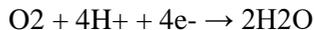
- Pelepasan H₂ dalam larutan asam dan netral evolusi hidrogen / larutan asam:



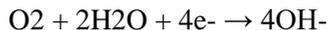
Reduksi air / larutan netral / basa:



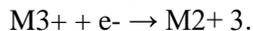
- Reduksi oksigen terlarut dalam larutan asam dan netral : Reduksi oksigen / asam:



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 disbanding 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 penembusan yang cepat pada daerah kecil pada tempat yang berlainan. Sumuran ini sangat

kecil dan mudah tertutup oleh korosi. Demikian pula serangan yang dilokalisir 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, merusak 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 penanganan 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 region radiolusensi 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 Nikel Krom

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

Paduan nikel chrome 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 :

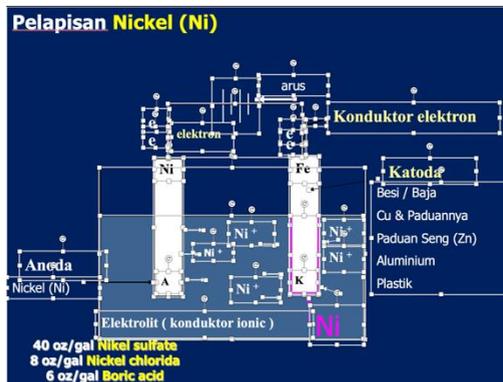


Gambar 2.9 Larutan SBF Standard Kokubo
Sumber : Dokumentasi Pribadi

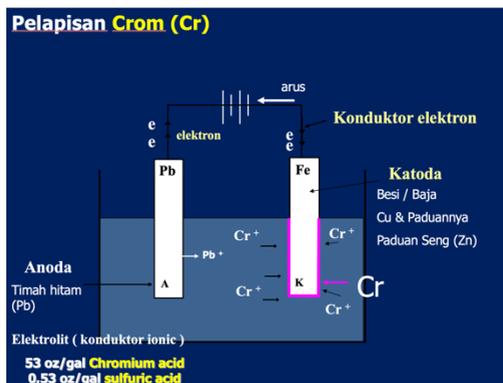
2.8 Electroplating

Proses electroplating adalah proses yang menghasilkan lapisan tipis logam di atas permukaan logam lainnya dengan cara elektrolisis. Perpindahan ion logam dengan bantuan arus listrik melalui larutan

elektrolit sehingga ion logam mengendap pada benda padat yang akan dilapisi. Ion logam diperoleh dari elektrolit maupun berasal dari pelarutan anoda logam di dalam elektrolit. Pengendapan terjadi pada benda kerja yang berlaku sebagai katoda. fenomena yang terjadi adalah oksidasi terjadi di anoda sementara di bagian katoda terjadi reduksi. Semakin tinggi arus maka semakin cepat juga proses pelapisan akan tetapi harus disesuaikan lagi dari konsentrasi logam pelapis itu sendiri. Pada dasarnya cara ini memiliki ilmu dasar yaitu elektrolisis.



Gambar 2.10 Proses Electroplating Nickel



Gambar 2.11 Proses Electroplating Chrome

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 :

$$I_{\text{corr}} = \frac{\beta\alpha\beta c}{2.303(\beta\alpha + \beta c) R_p} \dots\dots\dots(1)$$

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

Keterangan:

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

$\beta\alpha, \beta c$ = 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)

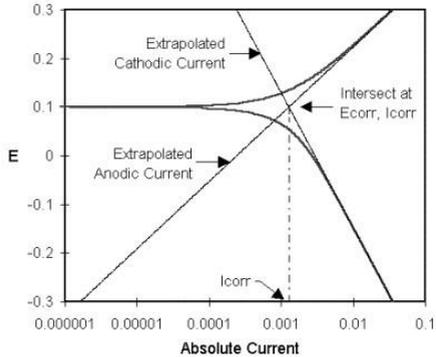
Kecepatan atau laju korosi yang terjadi pada logam dalam lingkungan elektrolit baik tanpa atau dengan adanya inhibitor korosi dapat dilakukan dengan menggunakan metode Tafel. Pengukuran dengan metode Tafel untuk

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 2.12 Grafik Uji Polarisasi Potensiodinamik
 Sumber : (ilmuwantekkim.lecture.ub.ac.id)

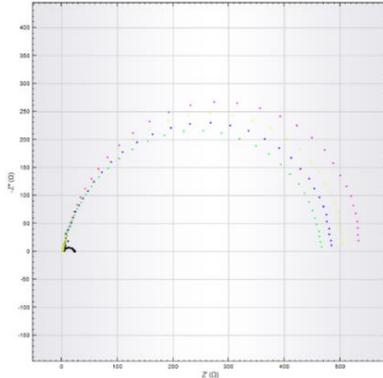
Polarisasi atau potensial lebih, adalah perubahan potensial elektroda setengah sel dari posisi kesetimbangan dengan lingkungannya pada suatu proses elektrodik. Hubungan potensial lebih dan arus dapat digunakan untuk mengungkapkan laju korosi. Untuk menghitung persentase inhibisi pada metode ini digunakan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

$$\% \text{ proteksi } (\% \text{EI}) = \frac{I_{\text{corr}0} - I_{\text{corr}i}}{I_{\text{corr}i}} \times 100\%$$

dengan %EI adalah persentase efektivitas penghambatan, $I_{\text{corr}0}$ adalah arus sebelum ditambahkan inhibitor, $I_{\text{corr}i}$ 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 2.13 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.

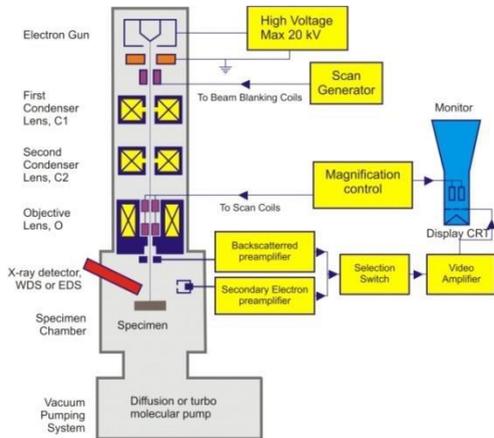
2.9.3 Uji Scanning Electron Microscope (SEM)

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 2.14 Skema Kerja Alat *Scanning Electron Microscope*

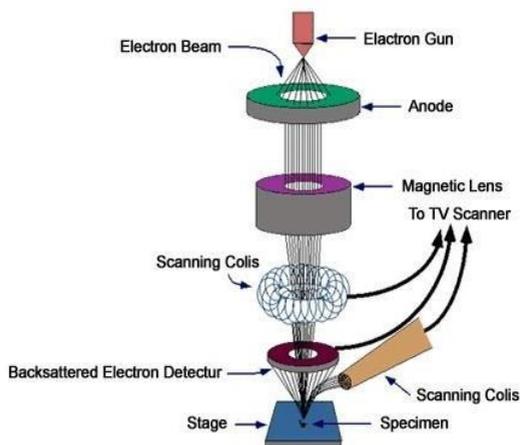
sumber : Sujatno, Agus. “Studi scanning electron microscopy (SEM) untuk karakterisasi proses oksidasi paduan zirconium.” *Jurnal Forum Nuklir (JFN)* 9:2(2015) 46.

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 tekture. Morfologi adalah kemampuan untuk menganalisa bentuk dan ukuran dari benda sampel. Komposisi adalah kemampuan menganalisa komposisi dari permukaan benda secara kuantitatif dan kualitatif.



Gambar 2.15 Prinsip kerja SEM (Schweitzer, 2014)

Sumber :

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

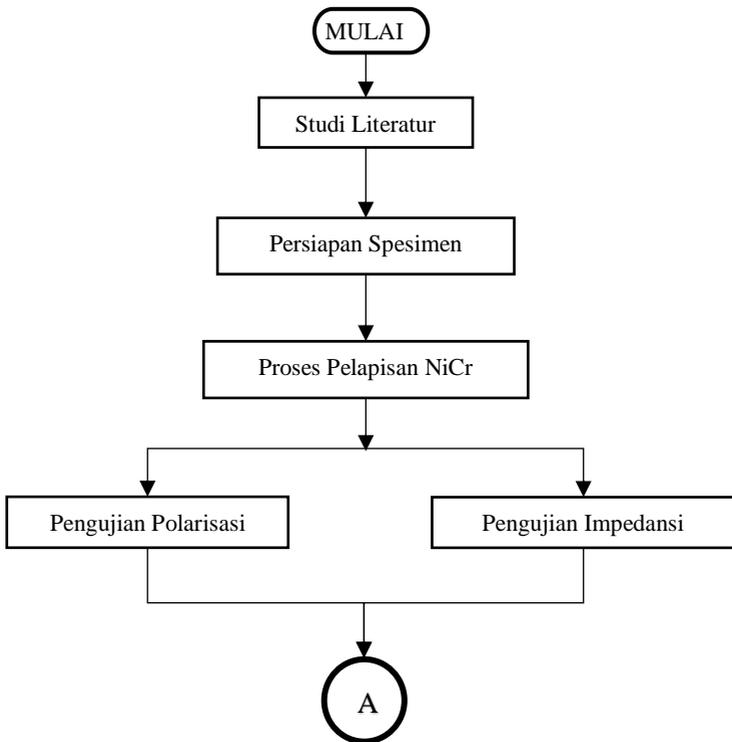
Halaman ini sengaja dikosongkan

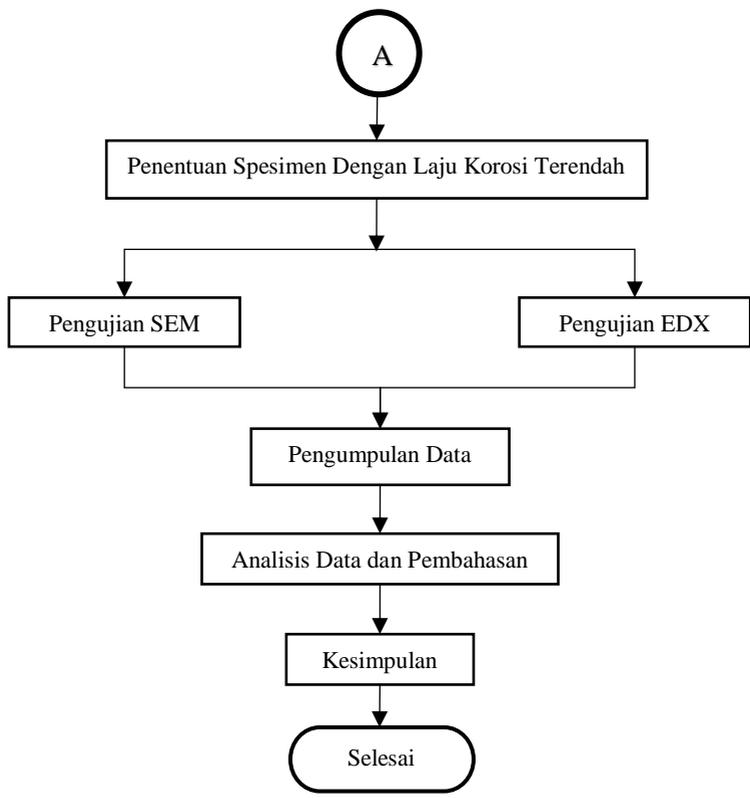
BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

Pengujian 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 *Nickel Chrome* dan SS 316L.

3.1 Diagram Alir





Gambar 3.1 Flow Chart Diagram Penelitian

Langkah pertama yang dilakukan pada saat memulai penelitian adalah observasi dan studi literatur tentang material yang akan dipakai yaitu baja karbon ST 41. Setelah observasi dan studi literatur mengenai baja karbon ST 41 adalah persiapan spesimen. Persiapan spesimen meliputi pemotongan spesimen menjadi 5 bagian dengan ukuran 20 mm x 10 mm x 4 mm. Langkah selanjutnya ialah melakukan coating *Nickel Chrome* (NiCr) pada spesimen yang sudah di amplas terlebih dahulu sampai hilang karatnya dan terlihat mengkilap. Setelah kegiatan tersebut selesai, dilakukan uji *Potensiodynamic Polarization* (PDP) dan *Electrochemical Impedance Spectroscopy* (EIS).

Setelah pengujian *Potensiodynamic Polarization* (PDP) dan *Electrochemical Impedance Spectroscopy* (EIS) dilakukan pengujian *Scanning Electron Microscope* (SEM) dan *Energy Dispersive X-Ray* (EDX)

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

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

2. Pelapisan Spesimen dengan TiN

Pelapisan spesimen ST41 dilakukan di Jl. Lumba-Lumba No. 197, Sukomangu, Bangil, Pasuruan. Pelapisan ST41 dilakukan dengan bahan pelapis NiCr atau Nickel Chrome dengan metode pelapisan Electroplating mendapatkan ketebalan 3µm
3. Larutan Media Korosif

Larutan elektrolit yang digunakan untuk media korosi pada penelitian kali ini adalah larutan *Simulated Body Fluid* sebanyak 60 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 5 mm yang dilakukan di workshop Departemen Teknik Mesin Industri, Fakultas Vokasi, ITS.



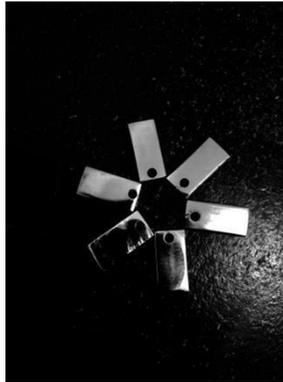
Gambar 3.2 Baja ST41



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 Electroplating NiCr

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 Terlapisi *Nickel Chrome* (NiCr)

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
NaHCO ₃	2,268 gram
KCL	0,373 gram
Na ₂ HPO ₄ 2H ₂ O	0,178 gram
MgCl ₂ 2H ₂ O	0,305 gram
CaCl ₂ H ₂ O	0,368 gram
Na ₂ SO ₄	0,071 gram
(CH ₂ OH) ₃ CNH ₂	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 paca standard ASTM G 5 -94 dan perhitungan dari *corr. rate* mengacu pada standard ASTM G 102 - 89.

Prosedur pengujian polarisasi potensiodinamik adalah sebagai berikut:

1. Mempersiapkan alat dan bahan yaitu spesimen ST 41 yang terlapisi *Nickel Chrome* (NiCr) dengan ukuran 20 mm x 10 mm x 4 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 50 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 Mesin Uji 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 deskriptif. 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 *Nickel Chrome* (NiCr) dengan ukuran 20 mm x 10 mm x 4 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 50 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)	CPE.N
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 ANALISA

4.1 Hasil Larutan Korosif

Pembuatan *Simulated Body Fluid* atau disingkat (SBF) sebagai darah buatan dan larutan korosif pada pengujian sampel disesuaikan dengan jurnal yang menjadi referensi dari penelitian ini. Jumlah dari komposisi kimia pembentuk SBF disesuaikan dengan jurnal. Tetapi, untuk HCl disesuaikan sampai pH mencapai 7,4. Pembuatan larutan SBF dilakukan pada 25 November 2019 di laboratorium Kimia Murni, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Kampus C, Universitas Airlangga, Surabaya.

Pada proses pembuatannya, larutan yang digunakan adalah :

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

Kemudian campuran dari senyawa kimia diatas 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

Didapatkan data hasil penelitian pada spesimen dengan pengujian *Potensiodynamic Polarization* (PDP), *Electrochemical Impedance Spectroscopy* (EIS), *Scanning Electron Microscope* (SEM) dan *Scanning Electron Microscope Energy Dispersive X-Ray* (SEM-EDX) yang dilakukan sesuai dengan prosedur yang ada.

4.2.1 Hasil Pengujian Polarisasi Potensiodinamik

Tujuan dari pengujian *Potensiodynamic Polarization* (PDP) adalah untuk mengetahui laju korosi yang terjadi pada sampel yang diujikan. Sampel yang diujikan pada pengujian PDP ini adalah ST 41 yang dilapisi *Nickel Chrome* (NiCr) dan SS 316L yang direndam pada larutan *Simulated Body Fluid* (SBF) masing-masing dengan variabel perendaman 12 jam, 168 jam, 240 jam, dan 336 jam. Pengujian PDP dilakukan pada tanggal 28 November 2019, 17 Desember 2019, dan 19 Desember 2019 di laboratorium Instrumentasi dan Sains Analitik, Departemen Kimia, Fakultas Sains, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya.

Data yang didapat dari pengujian PDP ini adalah laju korosi dari sampel ($\text{Corr}_{\text{rate}}$) dan ketahanan polarisasi (Ω) dari sampel ST 41 yang dilapisi *Nickel Chrome* (NiCr) dan SS 316L tanpa pelapis. Alat yang digunakan untuk pengujian ini adalah AUTOLAB dengan media korosif larutan *Simulated Body Fluid* (SBF) dan data hasil penelitian diolah dengan software Nova 1.11.

Tabel 4.1 Parameter Pengujian
Potensiodinamik pada NiCr

Elektroda Kerja	NiCr (Solid)
Equivalent Weight (g)	21.2864
Densitas (g/ml)	8.29
Luasan Terekspos (cm ²)	0.56
Counter Electrode	Grafit
Reference Electrode	HgCl
Scan Rate (mV/s)	5

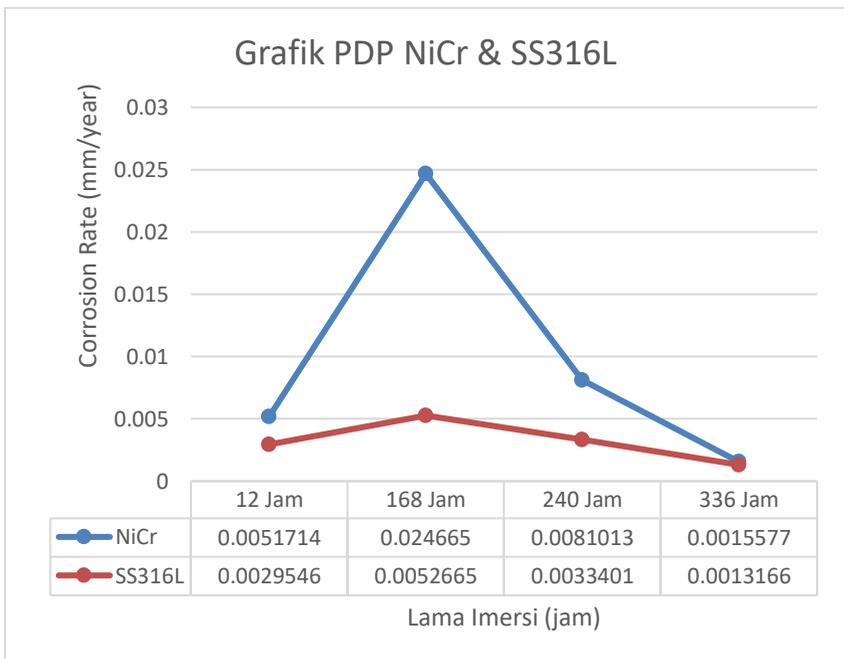
Tabel 4.2 Parameter Pengujian
Potensiodinamik pada SS316L

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 21,2864 (g/mol). Sedangkan densitas baja ST41 yang dilapisi NiCr yaitu 8,29 (g/ml) 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.

Dari pengujian polarisasi potensiodinamik dapat diketahui laju korosi dari *Sample Test* yang digunakan. Berdasarkan pengujian yang telah dilakukan pada 8 sampel pengujian dengan variabel perendaman 12 jam, 168 jam, 240 jam, dan 336 jam menggunakan mesin AUTOLAB dan diolah dengan *software* Nova 1.11 didapatkan data yang dapat dilihat pada table 4.3 sebagai berikut:



Gambar 4.1 Hasil grafik *Corrosion Rate* pengujian polarisasi

Pada gambar 4.1 hasil dari uji *Potensiodynamic Polarization*. Hasil terbaik dari masing – masing

percobaan setiap variabel waktu perendaman sebesar 12 jam, 168 jam, 240 jam dan 336 jam. Pada gambar 4.1 menunjukkan bahwa nilai *corrosion rate* pada sample bahan uji logam ST 41 dengan pelapisan *Nickel Chrome* (NiCr) dengan warna grafik berwarna merah dan SS 316 L dengan grafik berwarna putih memiliki pola grafik yang sama.

Pada grafik diatas saat perendaman spesimen selama 12 jam memiliki titik awal laju korosi yang berbeda dengan nilai laju korosi ST 41 pelapis *Nickel Chrome* (NiCr) sebesar 0,0051714 mm/year sedangkan SS316L memiliki laju korosi sebesar 0,0029546.

Puncak laju korosi tertinggi dari kedua spesimen berada di perendaman selama 168 jam. Namun ST 41 pelapis *Nickel Chrome* (NiCr) mengalami kenaikan yang drastis dari perendaman selama 12 jam ke 168 jam dengan nilai laju korosi 0.024665 mm/year sedangkan SS316L mengalami kenaikan yang lebih landai dengan nilai laju korosi 0.0052665 mm/year.

Setelah kenaikan laju korosi yang terjadi pada lama perendaman 168 jam, masing-masing spesimen mengalami penurunan. Untuk ST 41 pelapis *Nickel Chrome* (NiCr) mengalami penurunan yang besar dengan nilai laju korosi pada titik 240 jam sebesar 0.0081013 mm/year. Sedangkan SS316L penurunannya lebih stabil dan landai dengan nilai laju korosi pada titik 240 jam sebesar 0.0033401 mm/year

Pada titik perendaman 336 jam kedua spesimen memiliki laju korosi yang hampir sama setelah mengalami penurunan dari titik perendaman 240 jam ke 336 jam ST 41 pelapis *Nickel Chrome* (NiCr) dengan nilai 0.0015577 mm/year dan SS 316 L dengan nilai sebesar 0.0013166 mm/year namun belum menghasilkan laju korosi yang

terbaik dan lebih stabil.

Dapat disimpulkan bahwa kedua material memiliki pola laju korosi yang sama yaitu terjadinya kenaikan pada saat lama perendaman selama 12 jam menuju 168 jam setelah itu mengalami penurunan setelah lama perendaman 168 jam. Jika ST 41 dengan pelapis *Nickel Chrome* (NiCr) dilakukan waktu perendaman yang lebih lama dari 336 jam kemungkinan dapat menghasilkan waktu laju korosi yang lebih rendah dari SS36L dan dapat menggantikan material SS316L sebagai implant tulang pada manusia.

4.2.2 Hasil Pengujian Eelectrochemical Impedance Spectroscopy (EIS)

Pengujian *Electrochemical Impedance Spectroscopy* ini bertujuan agar dapat mengetahui perbandingan korosi. Pengujian *Electrochemical Impedance Spectroscopy* dilakukan di Laboratorium Instrumentasi & Sains Analitik, Departemen Kimia FS-ITS. Spesimen baja ST41 yang dilapisi *NiCr* digunakan untuk pengujian *Electrochemical Impedance Spectroscopy* dengan ukuran panjang 20 mm, lebar 10 mm, dan tebal 4 mm. Sample yang dibutuhkan 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.

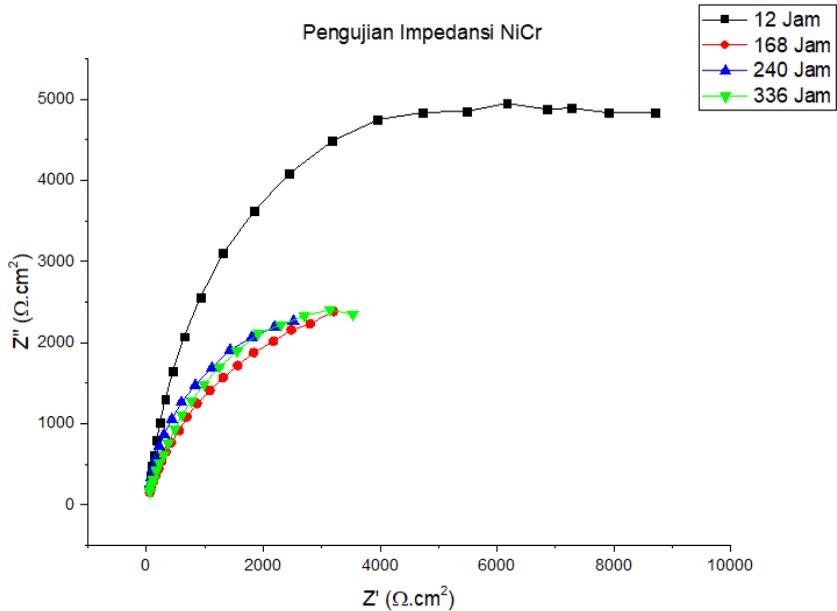
Pada pengujian *Electrochemical Impedance Spectroscopy* ini dilakukan perendaman selama 12 Jam, 168 Jam, 240 Jam, dan 336 Jam dengan iterasi pengulangan 3 kali agar mendapatkan hasil data yang maksimal. Pada data gambar pengujian *Electrochemical Impedance Spectroscopy* dibawah ini dilakukan dengan menggunakan larutan *SBF*. Hasil terbaik dari pengujian

Electrochemical Impedance Spectroscopy dapat dilihat pada tabel 4.3 sebagai berikut :

Tabel 4.3 Hasil data pengujian Impedansi dengan waktu 12-336 jam

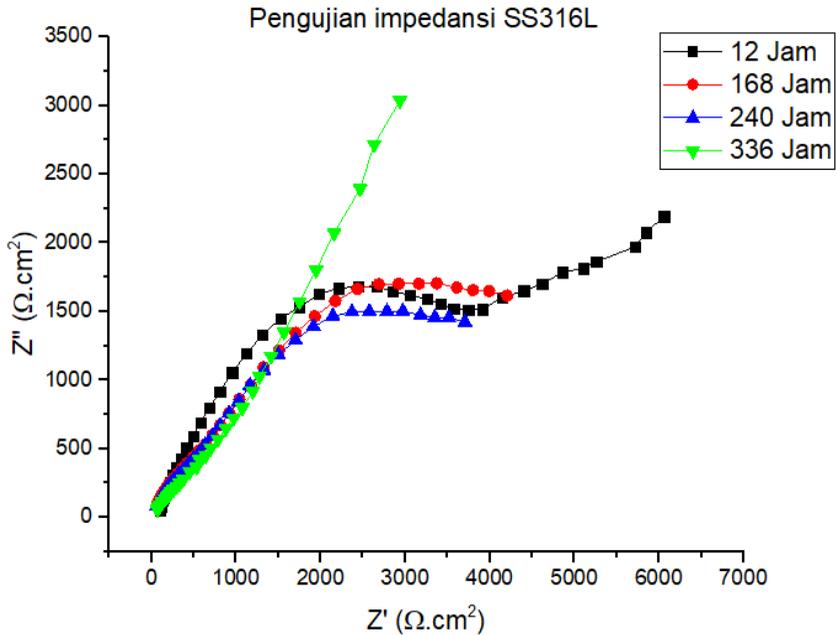
Waktu Perendaman	Bahan	CPE	Rp (Ω)	Rs (Ω)	Laju Korosi (mm/year)
12 Jam	ST 41	0,02056	20.196	35.186	0,0051714
	SS316L	0,020053	9.461,1	130,77	0,0029546
168 Jam	ST 41	0,00012039	13.220	56.147	0,99476
	SS316L	0,00012662	8965,7	130,77	0,0052665
240 Jam	ST 41	0,00015473	10.286	17.853	0.9957
	SS316L	0,41355	8.896	460,31	0,0033401
336 Jam	ST 41	0,00011336	11.867	19.165	0,99474
	SS316L	0,0000000087742	12.812	12.891	10,115

Pada tabel 4.3 didapatkan nilai laju korosi dari spesimen baja ST41 yang dilapisi *NiCr* dengan perendaman selama 12 jam, 168 jam, 240 jam, dan 336 jam. Lama perendaman pada spesimen laju korosi menunjukkan bahwa semakin lama perendaman akan berpengaruh pada laju korosi yang terjadi.



Gambar 4.2 Hasil grafik pengujian *Electrochemical Impedance Spectroscopy* sampel *Nickel Chrome* (NiCr)

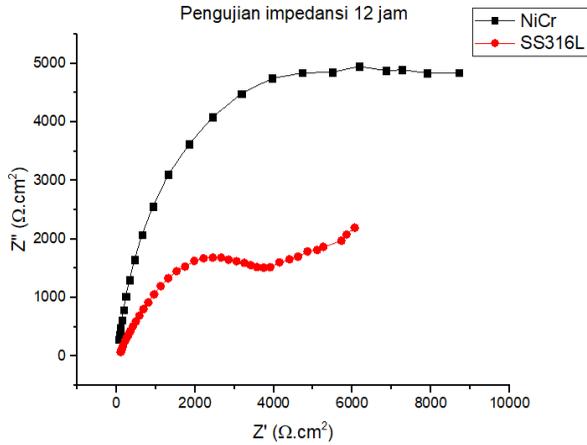
Pada gambar 4.2 dapat dilihat bahwa impedansi terkecil terlihat pada lengkungan berwarna biru dengan lama perendaman 240 jam sedangkan impedansi terbesar terlihat pada lengkungan berwarna hitam dengan lama perendaman 12 jam. Menurut (Prajitno, dkk, 2018) nilai impedansi yang tinggi menunjukkan laju korosi menurun yang disebabkan terbentuknya lapisan pasif pada permukaan. Selain itu cukup banyak faktor yang mempengaruhi hasil dari ketahanan impedansi yang ada. Salah satunya *Human error*. *Human error* yang terjadi bisa saat preparasi pengujian atau saat proses pengujian.



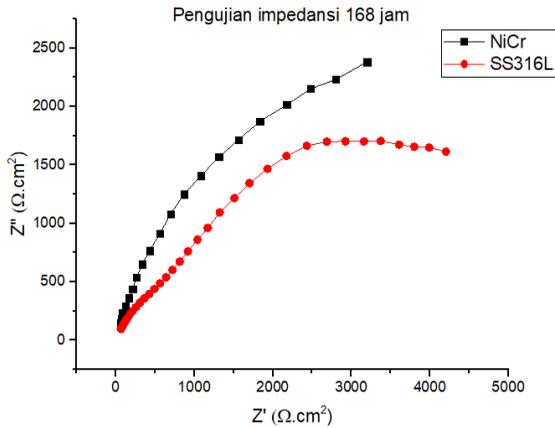
Gambar 4.3 Hasil grafik pengujian *Electrochemical Impedance Spectroscopy* sampel SS316L

Pada gambar 4.3 dapat dilihat bahwa impedansi terkecil terlihat pada lengkungan berwarna biru dengan lama perendaman 240 jam sedangkan impedansi tertinggi terlihat pada pada garis berwarna ungu dengan lama perendaman 336 jam. Pada garis ungu masih belum memiliki tingkat ketahanan impedansi terbaik atau stabilnya tahanan impedansinya namun jika dilakukan perendaman lebih lama dari 336 jam mungkin dapat terlihat tahanan impedansi dari sampel tersebut.

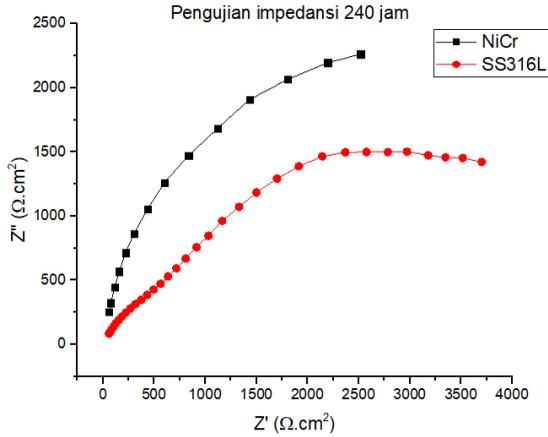
Perbandingan grafik tiap spesimen pada lama perendaman 12 jam, 168 jam, 240 jam, dan 336 jam disajikan dalam gambar berikut ini.



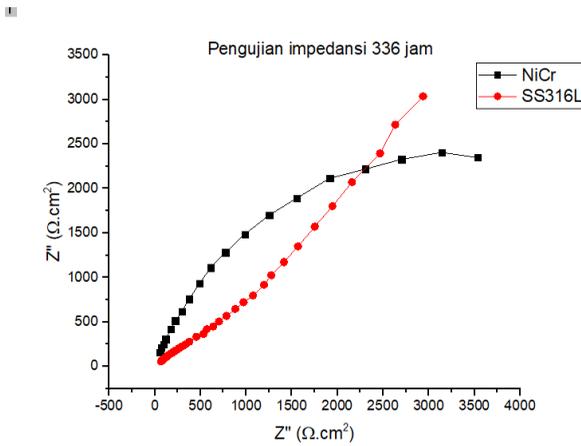
Gambar 4.4 Perbandingan grafik SS316L dengan ST 41 pelapis *Nickel Chrome* (NiCr) dengan lama perendaman 12 jam



Gambar 4.5 Perbandingan grafik SS316L dengan ST 41 pelapis *Nickel Chrome* (NiCr) dengan lama perendaman 168 jam



Gambar 4.6 Perbandingan grafik SS316L dengan ST 41 pelapis *Nickel Chrome* (NiCr) dengan lama perendaman 240 jam

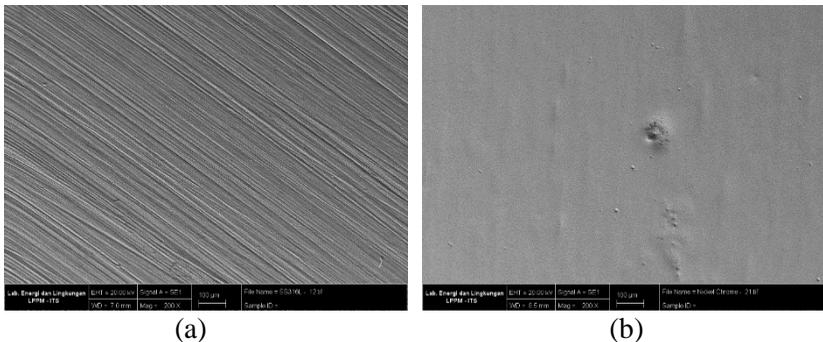


Gambar 4.7 Perbandingan grafik SS316L dengan ST 41 pelapis *Nickel Chrome* (NiCr) dengan lama perendaman 336 jam

4.2.3 Hasil Pengujian SEM

Tujuan dari pengujian *Scanning Electron Microscope* (SEM) adalah untuk mengetahui bentuk permukaan dari sampel ST 41 yang dilapisi dengan *Nickel Chrome* (NiCr) dan SS 316 L setelah direndam dengan larutan korosif dengan variabel perendaman 12 hari dan 336 hari. Pengujian SEM ini dilakukan di laboratorium Energi dan Lingkungan, LPPM-ITS. Sampel yang digunakan berukuran 20 mm x 10 mm x 4 mm. Sebelum dilakukan pengujian SEM, sampel dikeringkan dengan cara dikeringkan menggunakan oven dengan suhu 80° C selama 1-2 jam untuk menghilangkan sisa-sisa air pada sampel. Dilakukan pengeringan pada spesimen karena pada proses pengujian, sampel tidak boleh dalam kondisi basah.

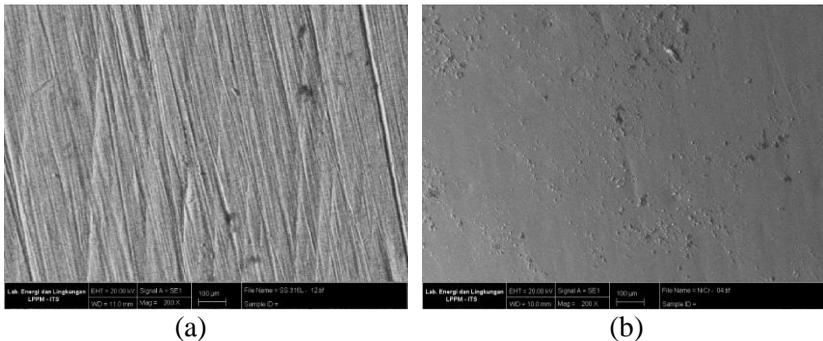
Pada Pengujian SEM ini alat yang digunakan adalah jenis Carl Zeiss Evo MA 10 . Alat yang memiliki kemampuan perbesaran elektron optikal sebesar 20-50.000 kali dan dapat di zoom sampai 12x, dengan resolusi mencapai lebih dari 14 nm, kemampuan perbesaran optik 20-135 kali, serta penggambaran dan analisis pada daya 5kV,10kV dan 15kV. Hasil dari pengujian dapat dilihat pada gambar dibawah ini :



Gambar 4.8 Hasil pengujian SEM perbesaran 200x dengan variabel perendaman 12 jam SS 316L (a) ST 41 dengan pelapis *Nickel Chrome* (NiCr) (b)

Pada gambar 4.7 hasil pengujian SEM pada sampel dengan waktu perendaman 12 jam pada larutan *Simulated Body Fluid* (SBF) dapat disimpulkan bahwa SS 316 L (a) belum terlihat kerusakan pada permukaan spesimen berupa lubang-lubang kecil maupun karat. Sedangkan pada ST 41 yang dilapisi *Nickel Chrome* (b) terdapat lubang-lubang kecil pada permukaan sampel.

Dapat disimpulkan dari hasil SEM 0 hari bahwa spesimen ST 41 yang dilapisi *Nickel Chrome* (NiCr) memiliki laju korosi yang lebih tinggi dibandingkan dengan SS 316 L pada waktu perendaman 12 jam sesuai dengan grafik laju korosi pada pengujian *Potensiodynamic Polarization* (PDP).



Gambar 4.9 Hasil pengujian SEM perbesaran 200x dengan variabel perendaman 336 jam (a) SS 316L (b) ST 41 dengan pelapis *Nickel Chrome* (NiCr)

Pada gambar 4.8 hasil pengujian SEM pada sampel dengan waktu perendaman 336 jam pada larutan *Simulated Body Fluid* (SBF) dapat disimpulkan bahwa SS 316 L (a) mulai terlihat karat berbentuk titik-titik maupun pulau yang ada di permukaan spesimen. Sedangkan pada ST 41 yang dilapisi *Nickel Chrome* (b) titik-titik karat maupun spot karat mulai bertambah dan semakin luas wilayah pengaratannya.

Dapat disimpulkan bahwa SS 316 L memiliki laju korosi

lebih rendah dibandingkan dengan ST 41 yang dilapisi *Nickel Chrome* (NiCr) karena titik karat yang ada pada permukaan spesimen lebih banyak dimiliki oleh ST 41 dibandingkan dengan SS 316 L.

4.2.4 Hasil pengujian SEM-EDX

Pada pengujian *Scanning Electron Microscope Energy Dispersive X-Ray* (SEM-EDX) didapatkan data hasil pengujian berupa persentase kandungan kimia pada permukaan spesimen dengan luasan daerah sesuai dengan pengambilan gambar pada pengujian *Scanning Electron Microscope* (SEM). Spesimen yang digunakan pada pengujian SEM-EDX adalah SS 316 L dan ST 41 yang dilapisi *Nickel Chrome* (NiCr). Masing-masing dengan variabel perendaman 12 jam dan 336 jam.

Perbesaran yang digunakan pada pengujian SEM adalah 200x, 1000x, 2000x, dan 5000x. spot yang digunakan pada spesimen pengujian SEM-EDX adalah spot dengan perbesaran 1000x pada setiap variabel perendaman. Hasil pengujian disajikan dalam data berikut ini :

Tabel 4.4 Unsur kimia pada permukaan sampel pengujian SEM perbesaran 1000x NiCr

No	Bahan	Unsur Kimia	Norm. C (%)	
			12 Jam	336 Jam
1	ST 41 (NiCr)	Fe	0,58	0,62
	SS 316L		67,38	58,97
2	ST 41 (NiCr)	Cr	0,17	0,16
	SS 316L		16,30	14,52
3	ST 41 (NiCr)	Cl	-	0,98
	SS 316L		-	-
4	ST 41 (NiCr)	Na	-	2,34
	SS 316L		-	-
5	ST 41 (NiCr)	C	4,85	2,77
	SS 316L		2,57	7,84
6	ST 41 (NiCr)	O	1,26	0,29
	SS 316L		2,29	6,05
7	ST 41 (NiCr)	S	7,67	-
	SS 316L		1,31	-
8	ST 41 (NiCr)	Si	-	-
	SS 316L		0,19	0,21
9	ST 41 (NiCr)	Ni	85,48	92,84
	SS 316L		9,95	8,48
10	ST 41 (NiCr)	Mo	-	-
	SS 316L		-	3,93

Dari data *Energy Dispersive X-Ray* (EDX) diatas dengan lama perendaman 12 Jam dan 336 Jam dengan material yang berbeda yaitu SS 316L dan *Nickel Chrome (NiCr)* didapatkan perbedaan unsur kimia yang cukup signifikan dengan perbedaan variabel lama waktu perendaman.

4.3 Pembahasan

Dari empat pengujian yang dilakukan pada spesimen SS 316 L dan ST 41 yang dilapisi *Nickel Chrome* (NiCr) didapatkan laju korosi dari data *Potensiodynamic Polarization* (PDP) dengan variabel perendaman pada spesimen yaitu 12 jam, 168 jam, 240 jam, dan 336 jam. Pada pengujian PDP pola grafik laju korosi spesimen memiliki kesamaan yaitu laju korosi meningkat dan pada puncaknya di titik perendaman 168 jam. Setelah itu laju korosi menurun dari titik perendaman 168 jam ke 336 jam. Pada variabel perendaman 12 jam spesimen SS 316 L memiliki laju korosi lebih rendah dari ST 41 yang dilapisi NiCr dengan nilai laju korosi pada SS 316 L sebesar 0,0029546 mm/year. Setelah itu laju korosi terendah pada variabel perendaman 168 jam dimiliki oleh SS 316 L sebesar 0,0052665. Pada perendaman 240 jam kedua spesimen mengalami penurunan laju korosi dengan laju korosi terendah dimiliki oleh spesimen SS 316 L sebesar 0,0033401. Puncak laju korosi terendah terjadi pada variabel perendaman 336 jam dan kedua spesimen memiliki laju korosi yang hampir sama dengan laju korosi SS 316 L sebesar 0,0013166 dan ST 41 yang dilapisi *Nickel Chrome* (NiCr) sebesar 0,0015577.

Pada pengujian Impedansi didapatkan diagram Nyquist yang menggambarkan plot impedansi imajiner (Z'') terhadap impedansi real (Z'). dari grafik impedansi didapatkan bahwa tahanan ST 41 yang dilapisi *Nickel Chrome* (NiCr) lebih tinggi dari SS 316 L pada variabel lama perendaman 12 jam, 168 jam dan 240 jam. Namun pada variabel lama perendaman 336 jam SS 316 L memiliki tahanan impedansi lebih tinggi dari ST 41 yang dilapisi *Nickel Chrome* (NiCr).

Lalu pada pengujian *Scanning Electron Microscope* (SEM) didapatkan hasil bahwa pada spesimen dengan variabel perendaman 12 jam, ST 41 yang dilapisi *Nickel Chrome*

(NiCR) terdapat sedikit titik-titik korosi pada permukaan spesimen sedangkan pada SS 316 L belum terdapat titik korosi. Jika di korelasikan dengan uji PDP dengan variabel perendaman 12 jam, ST 41 yang dilapisi dengan *Nickel Chrome* (NiCr) memiliki nilai laju korosi yang lebih tinggi dibandingkan SS 316 L. Sedangkan pada perendaman 336 jam titik-titik korosi pada permukaan spesimen meningkat dan laju korosi menurun. Sehingga dapat disimpulkan bahwa spesimen akan mengalami penurunan laju korosi jika larutan korosif mencapai titik jenuh dan/atau seluruh bagian dari spesimen sudah terkorosi sepenuhnya.

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB V

PENUTUP

5.1. Kesimpulan

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

1. Perbandingan laju korosi antara spesimen ST 41 yang dilapisi *Nickel Chrome* (NiCr) dan SS316 L dalam media korosi *Simulated Body Fluid* (SBF) dengan perendaman :
 - a. Pada variabel perendaman 12 jam didapatkan hasil laju korosi spesimen SS 316 L sebesar 0,0029546 lebih kecil dibandingkan dengan spesimen ST 41 yang dilapisi dengan *Nickel Chrome* (NiCr) sebesar 0,0051714
 - b. Pada variabel perendaman 168 jam didapatkan hasil laju korosi spesimen SS 316 L sebesar 0,0052665 lebih kecil dibandingkan dengan spesimen ST 41 yang dilapisi dengan *Nickel Chrome* (NiCr) sebesar 0,024665
 - c. Pada variabel perendaman 240 jam didapatkan hasil laju korosi spesimen SS 316 L sebesar 0,0033401 lebih kecil dibandingkan dengan spesimen ST 41 yang dilapisi dengan *Nickel Chrome* (NiCr) sebesar 0,0081013
 - d. Pada variabel perendaman 336 jam didapatkan hasil laju korosi spesimen SS 316 L sebesar 0,0013166 lebih kecil dibandingkan dengan spesimen ST 41 yang dilapisi dengan *Nickel Chrome*

(NiCr) sebesar 0,0015577

2. Pada laju korosi SS 316 L dan ST 41 yang dilapisi *Nickel Chrome* (NiCr) dengan variabel perendaman selama 12 jam, 168 jam, 240 jam, 336 jam memiliki pola grafik yang sama yaitu puncak kenaikan laju korosi tertinggi dicapai masing-masing spesimen pada variabel perendaman 168 jam dengan laju korosi tertinggi pada spesimen ST 41 yang dilapisi *Nickel Chrome* (NiCr) sebesar 0,024665 mm/year
3. Pada pengujian SEM pada masing-masing spesimen SS 316 L dan ST 41 yang dilapisi *Nickel Chrome* (NiCr) pada variabel perendaman 12 jam dan 336 jam memiliki produk korosi. Pada saat perendaman selama 12 jam spesimen ST 41 yang dilapisi *Nickel Chrome* (NiCr) memiliki produk korosi yang lebih banyak dibandingkan dengan spesimen SS 316 L. Dan pada saat perendaman 336 jam masing-masing spesimen memiliki produk korosi dan spesimen ST 41 yang dilapisi *Nickel Chrome* (NiCr) memiliki produk korosi lebih banyak. Dapat disimpulkan bahwa semakin lama waktu perendaman pada spesimen maka semakin banyak juga produk korosinya.

5.2. Saran

1. Perlu adanya penelitian lebih lanjut dengan variabel waktu perendaman yang berbeda dengan hitungan jam dan lebih dari 336 jam
2. Perlu adanya penelitian lebih lanjut dengan ketebalan pelapis yang berbeda dan dengan bahan pelapis yang lain

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Salahudin, Xander. 2014. *Analisis Perbandingan Laju Korosi Material SS 304 Lapis Ni-Cr Dengan SS 316L Terhadap Pengaruh Cairan Tubuh*. Yogyakarta : Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Tidar Magelang
- [2] Suryana, Nani. 2013. *Perbandingan Metode Pengeringan Terhadap Reabsorpsi Amnion Dalam Larutan Simulated Body Fluid (SBF)*. Batan : Pusat Aplikasi Teknologi Isotop dan Radiasi
- [3] McCafferty, E. 2010. *“Introduction to Corrosion Science”*. Springer Science+Business Media.
- [4] R. Winston Revie, 2002. *“Uhlig’s Corrosion Handbook”*. John Wiley & Sons, Inc., Publication.
- [5] Tadashi Kokubo and Hiroaki Takadama. 2006. *“How Useful Is SBF In Predicting In Vivo Bone Bioactivity?”*.
- [6] Dina Mila Tika Syahra, Munasir. 2015. *Analisis Sifat Korosi Material Pelapis PANi-SiO₂/cat Pada Medium NaCl IM Dengan Metode EIS*. Surabaya ; Jurusan Fisika Fakultas MIPA, Universitas Negeri Surabaya.
- [7] ASTM A53/A53 M – 02. *Standard Specification for Pipe, Steel, Black and Hot-Dipped, Zinc-Coated, Welded and Seamless*. ASTM International
- [8] International ASTM, *Standart Laboratory imertion Corosion Tersting of metal*. G31 – 72. 2004
- [9] International ASTM, *Standart Reference Test Method for making Potensiostatic and Potensiodynamic Polarisation Measurement*. G5 – 94. 1999
- [10] International ASTM. *Standart Reference Test Method for Electroimpedance Measurement*. G106-89. 2004

[11] Zeiss, Carl. *Scanning Electron Microscope EVO Manual Instruction*. Carl Zeuss Promenade 10, Jena. Germany. 2013

BIODATA PENULIS



Penulis merupakan anak kedua dari dua bersaudara yang lahir pada tanggal 14 Februari 1998 di Gresik, Jawa Timur. Pendidikan formal yang pernah ditempuh meliputi SDN Dr. Soetomo VII Kota Surabaya, SMPN 33 Kota Surabaya dan SMAN 4 Kota Surabaya. 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 Perautan 2017 – 2018 dan Grader Laboratorium Pneumatic dan Hydraulic 2019 – 2020. Penulis juga aktif dalam perlombaan diantaranya Juara 1 Best race, Juara 1 Best Endurance, dan Juara 1 pada perolehan poin tertinggi pada lomba *Marine Icon* kategori *Water Bike Competition* yang diadakan oleh Departemen Teknik Sistem Perkapalan FTK-ITS. Selain itu penulis juga aktif dalam organisasi mahasiswa diantaranya staff Sie Kerohanian Islam ‘Jundullah’ Himpunan Mahasiswa D3 Mesin (HMDM) FV-ITS 2017-2018. Penulis juga mengikuti pelatihan yang diadakan HMDM antara lain : Pelatihan Karya Tulis Ilmiah (PKTI), Latihan Kepemimpinan Manajemen Mahasiswa Pra-Tingkat Dasar (LKMM Pra-TD). Penulis juga pernah kerja praktek di PT. PETROKIMIA selama 1 bulan di Gresik 1 Agustus 2018-31 Agustus 2018. Bagi pembaca yang ingin mengenal lebih dengan penulis dan ingin berdiskusi lebih luas dapat menghubungi

- E-mail : falassp@gmail.com
- No. HP : (+62) 89527484653

LAMPIRAN A

Hasil 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	0,057798	0,05803	-0,14373	0,0079129	0,0066453	28380
		2	0,13079	0,13407	-0,1556	0,0177720	0,014925	28891
		3	0,057643	0,052108	-0,16576	0,0061579	0,0051714	34468
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	0,09403	0,079469	-0,22852	0,0354930	0,029807	9410,8
		2	0,0551	0,23908	-0,30491	0,0376460	0,031616	9224,7
		3	0,10378	0,082667	-0,23877	0,0029370	0,024665	12151
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	0,099887	-11,989	-0,49863	0,0763480	0,064118	11068
		2	0,086662	-0,2162	-0,52936	0,0927890	0,077925	12089
		3	0,034919	0,11177	-0,55271	0,0096466	0,0081013	21390
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	0,037819	0,052408	-0,58549	0,0130350	0,010947	13069
		2	0,013504	0,056795	-0,60624	0,0018548	0,0015577	45617
		3	0,013476	0,06245	-0,60463	0,0019593	0,0016454	43875
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

LAMPIRAN B

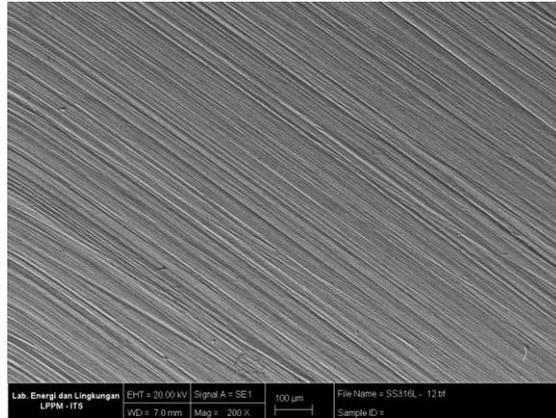
Hasil Pengujian Electrochemical Impedance

Waktu Perendaman	Bahan	Percobaan ke -	CPE (μF)	Rp (Ω)	Rs (Ω)	CPE.N
12 Jam	ST 41	1	0,17411	18249	32.001	0,99772
		2	0,02056	20196	35.186	0,99825
		3	0,20223	19844	39.008	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	0,1432	11114	- 16.472	0,99476
		2	0,12921	12318	41.332	0,99537
		3	0,12039	13220	- 56.147	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	0,16857	9441.7	- 16.929	0,9957
		2	0,15473	10286	- 17.853	0,99603

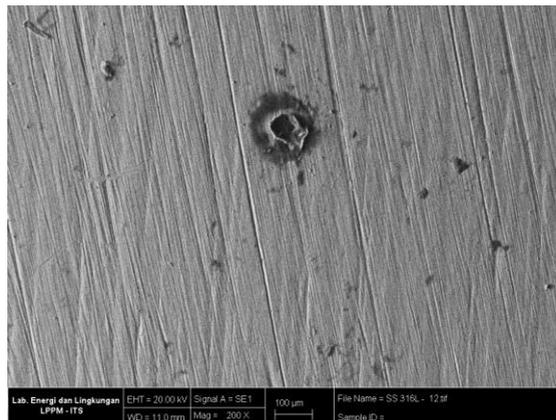
		3	0,16922	7702.3	25.959	0.99587
240 Jam	SS 316L	1	0,39546	8645	452.41	0,9943
		2	0,41355	8896	460.31	0.99474
		3	0,42377	8730.4	529.96	0.99487
336 Jam	ST 41	1	0,11336	11867	19.165	0,99474
		2	0,10974	11386	- 13.154	0,99473
		3	0,11253	11812	- 20.687	0,99458
336 Jam	SS 316L	1	0,0000000033404	10946	-11029	10,118
		2	0,0000012647	12584	-12684	10,116
		3	0,00000000087742	8512	-12891	10,115

LAMPIRAN C

Hasil Pengujian SEM



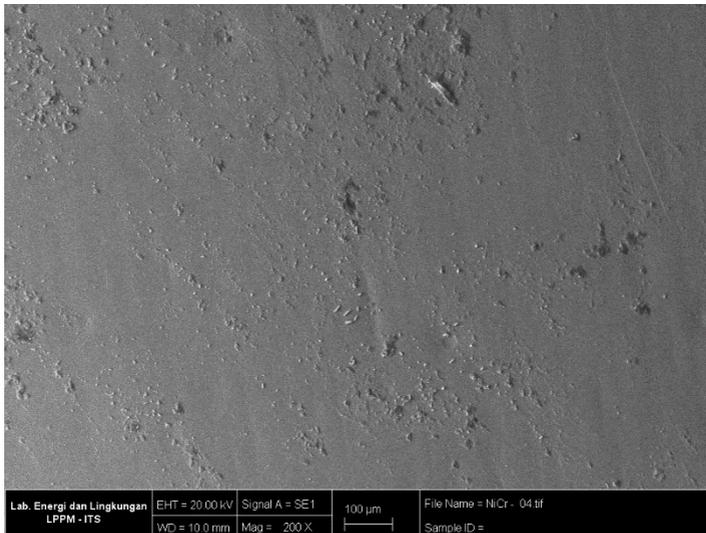
Gambar 1 Hasil pengujian SEM SS 316L perbesaran 200x waktu perendaman 12 jam



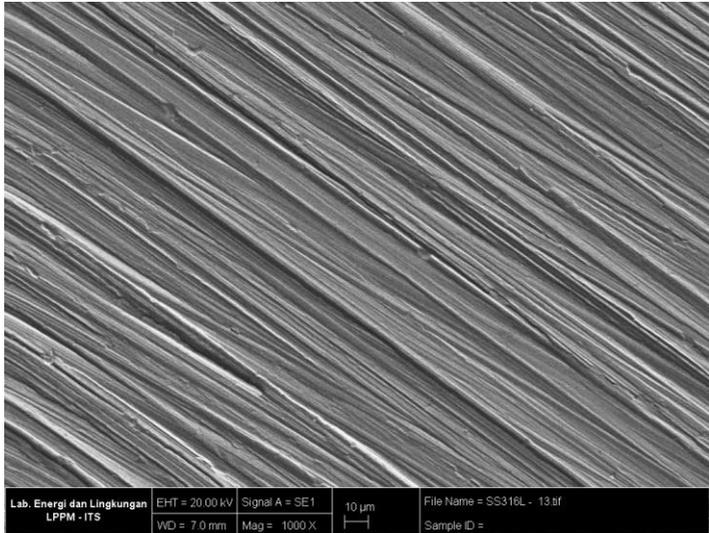
Gambar 2 Hasil pengujian SEM SS 316L perbesaran 200x waktu perendaman 336 jam



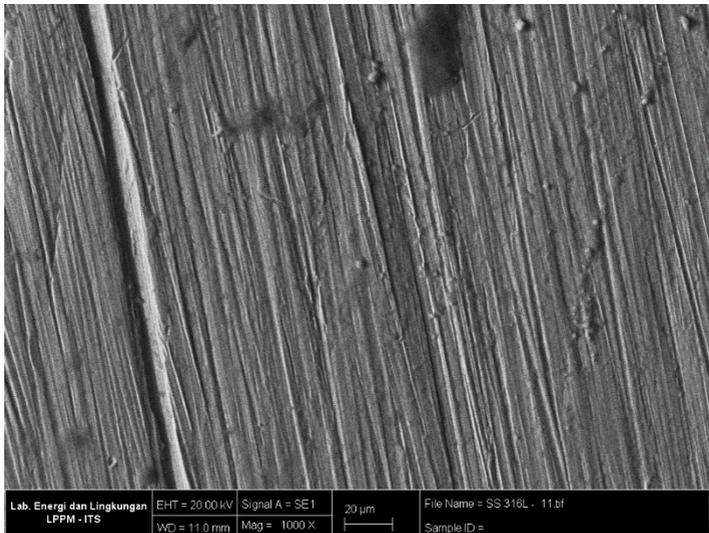
Gambar 3 Hasil pengujian SEM NiCr perbesaran 200x waktu perendaman 12 jam



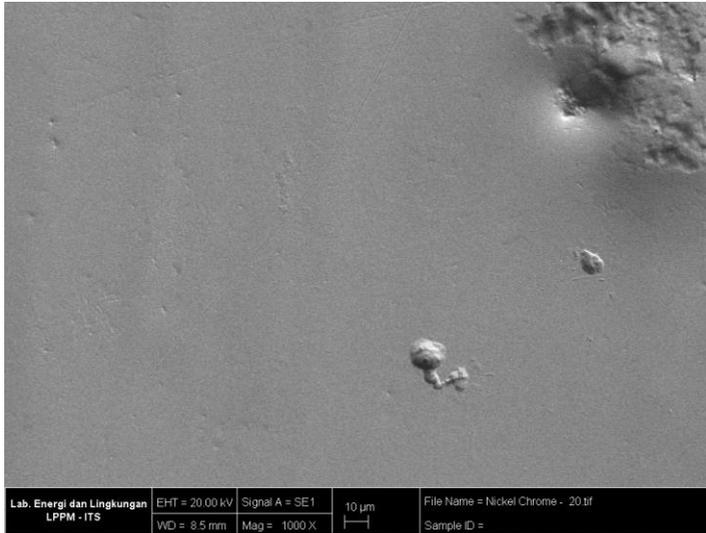
Gambar 4 Hasil pengujian SEM NiCr perbesaran 200x waktu perendaman 336 jam



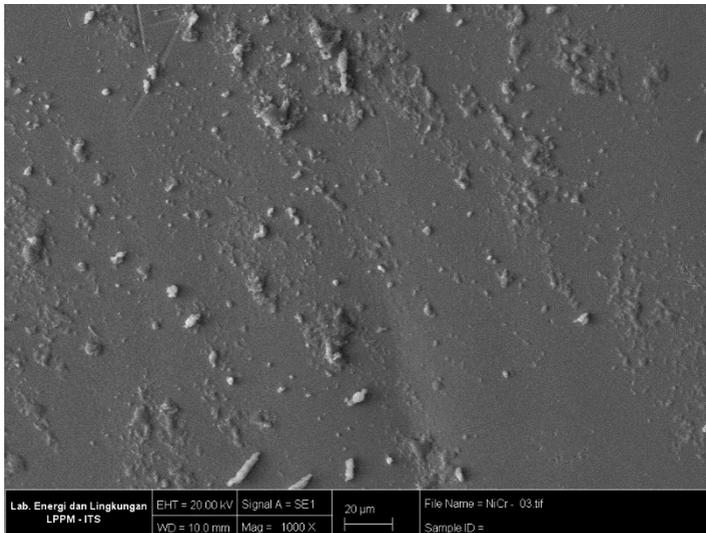
Gambar 5 Hasil pengujian SEM SS316L perbesaran 1000x waktu perendaman 12 jam



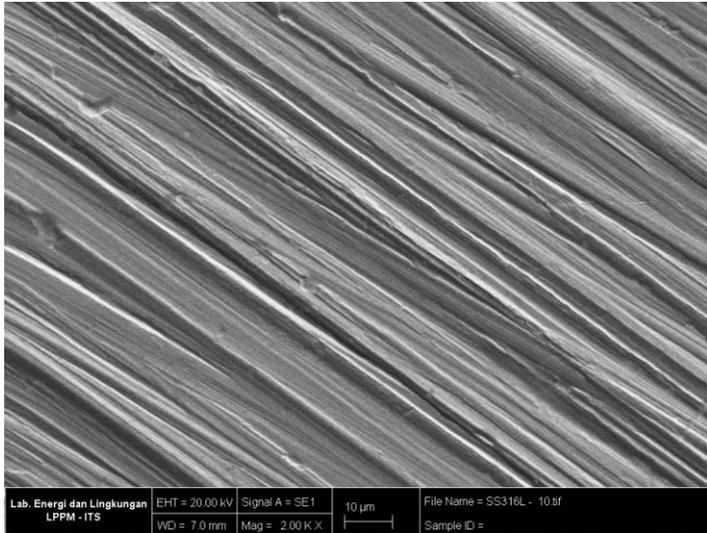
Gambar 6 Hasil pengujian SEM SS316L perbesaran 1000x waktu perendaman 12 jam



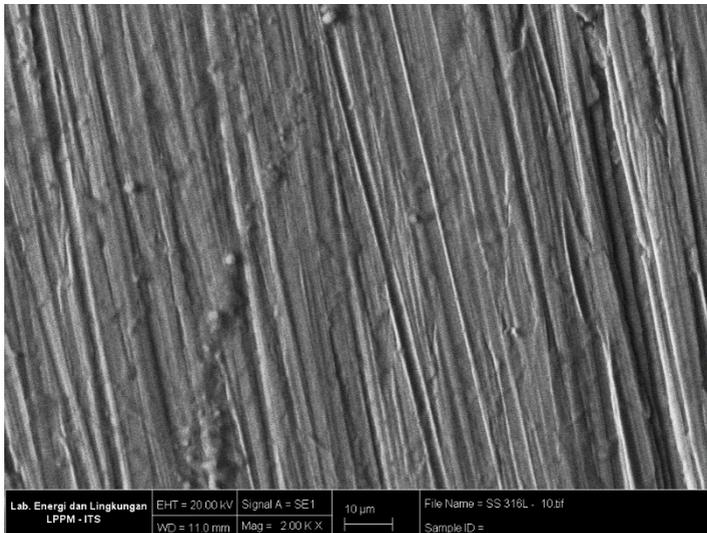
Gambar 7 Hasil pengujian SEM NiCr perbesaran 1000x waktu perendaman 12 jam



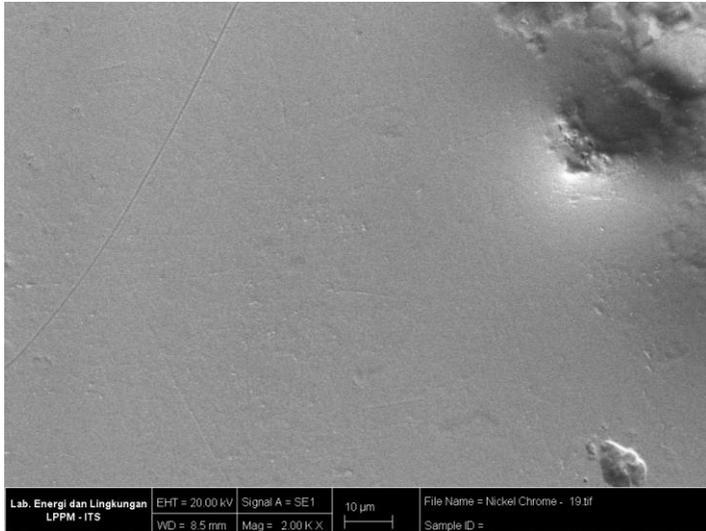
Gambar 8 Hasil pengujian SEM NiCr perbesaran 1000x waktu perendaman 336 jam



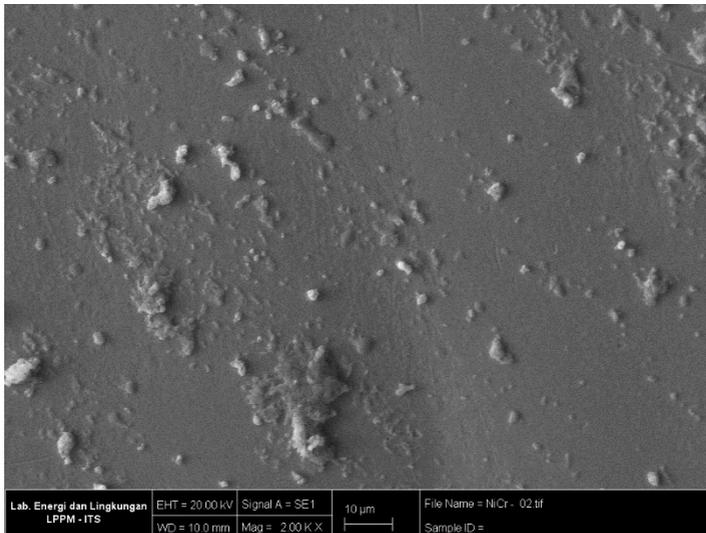
Gambar 9 Hasil pengujian SEM SS316L perbesaran 2000x waktu perendaman 12 jam



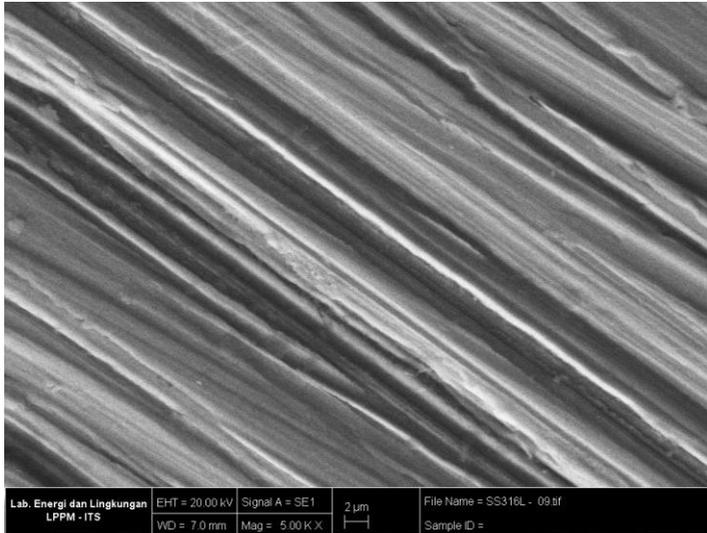
Gambar 10 Hasil pengujian SEM SS316L perbesaran 2000x waktu perendaman 336 jam



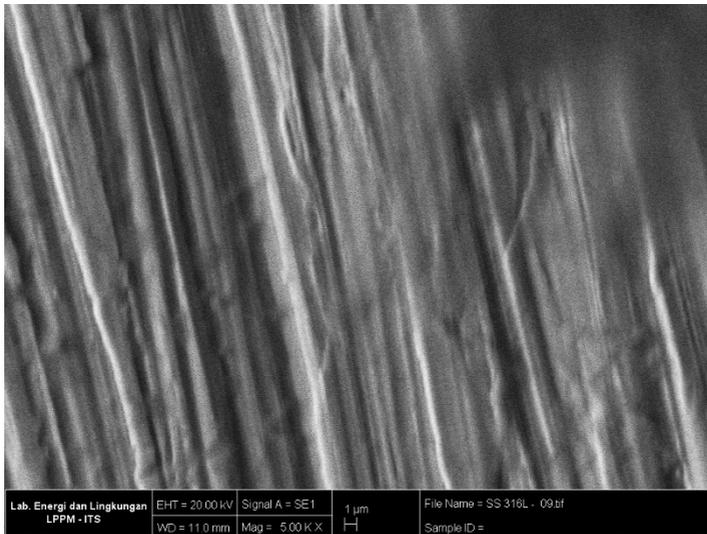
Gambar 11 Hasil pengujian SEM NiCr perbesaran 2000x waktu perendaman 12 jam



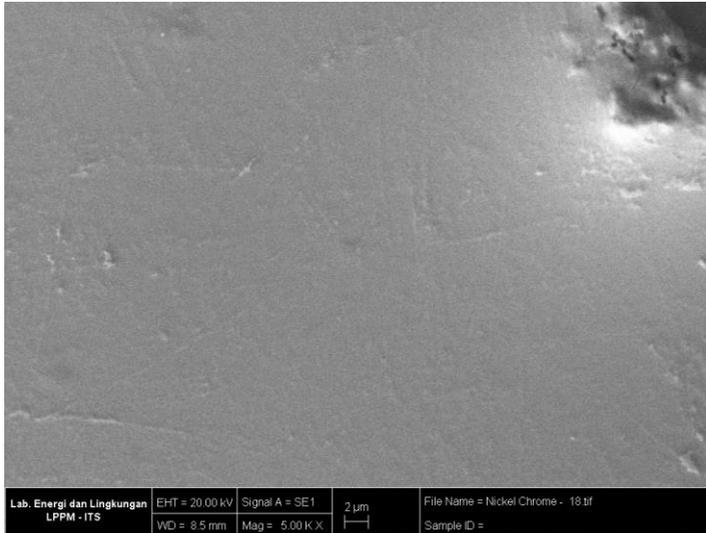
Gambar 12 Hasil pengujian SEM NiCr perbesaran 2000x waktu perendaman 336 jam



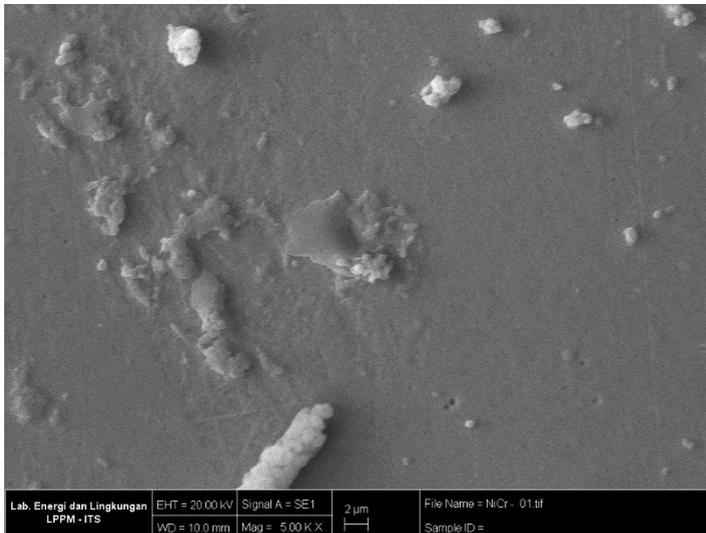
Gambar 13 Hasil pengujian SEM SS316L perbesaran 5000x waktu perendaman 12 jam



Gambar 14 Hasil pengujian SEM SS316L perbesaran 5000x waktu perendaman 336 jam



Gambar 15 Hasil pengujian SEM NiCr perbesaran 5000x waktu perendaman 12 jam



Gambar 16 Hasil pengujian SEM NiCr perbesaran 5000x waktu perendaman 336 jam

LAMPIRAN D

Hasil Pengujian SEM – EDX Pada Permukaan Sampel

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 (NiCr)	Fe	0,49	0,6	0,58	0,62	0,47	0,56	0,0	0,0
	SS 316L		63,78	53,59	67,38	58,97	37,60	41,26	1,7	1,5
2	ST 41 (NiCr)	Cr	0,14	0,16	0,17	0,16	0,15	0,16	0,0	0,0
	SS 316L		15,43	13,20	16,30	14,52	14,96	10,91	0,4	0,4
3	ST 41 (NiCr)	Cl	-	0,95	-	0,98	-	1,4	-	0,1
	SS 316L		-	-	-	-	-	-	-	-
4	ST 41 (NiCr)	Na	-	2,27	-	2,34	-	5,16	-	0,2
	SS 316L		-	-	-	-	-	-	-	-
5	ST 41 (NiCr)	C	4,13	2,68	4,85	2,77	18,4	11,69	0,7	0,5
	SS 316L		2,44	7,12	2,57	7,84	10,23	25,20	0,4	1,0
6	ST 41 (NiCr)	O	1,07	0,28	1,26	0,29	3,59	0,91	0,3	0,1

	SS 316L		2,17	5,50	2,29	6,05	6,84	14,78	0,5	0,9
7	ST 41 (NiCr)	S	6,53	-	7,67	-	10,9	-	0,3	-
	SS 316L		1,24	-	1,31	-	1,95	-	0,1	-
8	ST 41 (NiCr)	Si	-	-	-	-	-	-	-	-
	SS 316L		0,18	0,19	0,19	0,21	0,32	0,30	0,0	0,0
9	ST 41 (NiCr)	Ni	72,8	89,82	85,48	92,84	66,5	80,11	2	2,4
	SS 316L		9,42	7,71	9,95	8,48	8,10	5,65	0,3	0,2
10	ST 41 (NiCr)	Mo	-	-	-	-	-	-	-	-
	SS 316L		-	3,57	-	3,93	-	1,60	-	0,2