TUGAS AKHIR –TL184834

REVIEW PENGARUH ANODIZING DENGAN VARIASI BEDA POTENSIAL DAN KONSENTRASI ELEKTROLIT TERHADAP MORFOLOGI DAN KETEBALAN LAPISAN PASIF ZnO UNTUK APLIKASI HOT-DIP GALVANIZED STEEL

MUHAMMAD GHILMAN BARRAN
NRP. 02511640000144

Dosen Pembimbing
Dr. Agung Purniawan, S.T., M.Eng
Vania Mitha Pratiwi, S.T., M.T.

DEPARTEMEN TEKNIK MATERIAL DAN METALURGI
Fakultas Teknologi Industri dan Rekayasa Sistem
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2020

TUGAS AKHIR−TL 184834

REVIEW PENGARUH ANODIZING DENGAN VARIASI BEDA POTENSIAL DAN KONSENTRASI ELEKTROLIT TERHADAP MORFOLOGI DAN KETEBALAN LAPISAN PASIF ZnO UNTUK APLIKASI HOT-DIP GALVANIZED STEEL

MUHAMMAD GHILMAN BARRAN
NRP. 02511640000144

Dosen Pembimbing
Dr. Agung Purniawan, S.T., M.Eng
Vania Mitha Pratiwi, S.T., M.T

DEPARTEMEN TEKNIK MATERIAL DAN METALURGI
Fakultas Teknologi Industri dan Rekayasa Sistem
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2020

(*Halaman ini sengaja dikosongkan*)

FINAL PROJECT−TL 184834

A REVIEW OF ANODIZING EFFECT WITH DIFFERENT VARIATIONS OF VOLTAGE AND ELECTROLYTE CONCENTRATION ON MORPHOLOGY AND THICKNESS ZnO PASSIVE LAYERS FOR HOT-DIP GALVANIZED STEEL APPLICATIONS

MUHAMMAD GHILMAN BARRAN
NRP. 02511640000144

Advisor
Dr. Agung Purniawan, S.T., M.Eng
Vania Mitha Pratiwi, S.T., M.T.

MATERIALS AND METALLURGICAL ENGINEERING DEPARTMENT
Faculty of Industrial Technology and System Engineering
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2020

(*The page is intentionally left blank*)

REVIEW PENGARUH ANODIZING DENGAN VARIASI BEDA POTENSIAL DAN KONSENTRASI ELEKTROLIT TERHADAP MORFOLOGI DAN KETEBALAN LAPISAN PASIF ZnO UNTUK APLIKASI HOT-DIP GALVANIZED STEEL

TUGAS AKHIR

Diajukan untuk Memenuhi Salah Satu Syarat
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik
pada
Program Studi S-1 Departemen Teknik Material dan Metalurgi
Fakultas Teknologi Industri dan Rekayasa Sistem
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh:
MUHAMMAD GHILMAN BARRAN
NRP 02511640000144

Disetujui Oleh Tim Penguji Tugas Akhir:

1. Dr. Agung Purniawan, S.T., M.Eng..... (Pembimbing 1)
2. Vania Mitha Pratiwi, S.T., M.T. ..... (Pembimbing 2)

KEMENTERIAN PENDIDIKAN DAN KEBUDAYAAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI DAN REKAYASA SISTEM
DEPARTEMEN
TEKNIK MATERIAL DAN METALURGI

SURABAYA
Agustus 2020

(*Halaman ini sengaja dikosongkan*)

REVIEW PENGARUH ANODIZING DENGAN VARIASI BEDA POTENSIAL DAN KONSENTRASI ELEKTROLIT TERHADAP MORFOLOGI DAN KETEBALAN LAPISAN PASIF ZnO UNTUK APLIKASI HOT-DIP GALVANIZED STEEL

Nama	**: Muhammad Ghilman Barran**
NRP	**: 02511640000144**
Departemen	**: Teknik Material**
Dosen Pembimbing	**: Dr. Agung Purniawan, S.T., M.Eng**
Co-Pembimbing	**: Vania Mitha Pratiwi, S.T., M.T.**

Abstrak

Korosi merupakan masalah yang perlu dihadapi khususnya bagi peralatan yang menggunakan logam sebagai material utamanya, sehingga perlu cara untuk memperlambat laju korosi tersebut. Galvanized steel merupakan pelapisan baja menggunakan zinc sebagai proteksi katodik. Namun pada lingkungan laut yang korosif membuat korosi lebih cepat terjadi, sehingga perlu metode untuk meningkatkan ketahanan korosi pada baja galvanis tersebut. Anodizing merupakan metode untuk meningkatkan ketahanan korosi dengan membentuk lapisan oksida pada permukaan substrat. Review ini dilakukan dengan tujuan untuk menganalisis pengaruh beda potensial dan konsentrasi larutan elektrolit pada anodizing terhadap morfologi dan ketebalan lapisan anodik. Proses anodizing dilakukan dengan variasi dari beda potensial dan konsentrasi larutan elektrolit. Karakterisasi meliputi XRD, SEM, dan untuk mengetahui laju korosi yang dihasilkan digunakan uji Tafel dan Weight Loss. Dari hasil paper review didapatkan struktur dari material adalah ZnO, semakin tinggi beda potensial maka semakin tebal lapisan pasif yang dihasilkan, jumlah zinc yang terdisolusi lebih banyak dan terjadi porositas dan fenomena retak, sementara pada peningkatan konsentrasi elektrolit, semakin tebal lapisan pasif yang dihasilkan,

jumlah zinc yang terdisolusi lebih banyak, dan terdapat lebih banyak lubang pada permukaan, dan untuk laju korosi yang dihasilkan pada pada penggunaan anodizing akan memperlambat laju korosi.

Kata Kunci : *Anodizing, Zinc, Konsentrasi Elektrolit, Morfologi, Beda Potensial*

A REVIEW OF ANODIZING EFFECT WITH DIFFERENT VARIATIONS OF VOLTAGE AND ELECTROLYTE CONCENTRATION ON MORPHOLOGY AND THICKNESS ZnO PASSIVE LAYERS FOR HOT-DIP GALVANIZED STEEL APPLICATIONS

Student Name : Muhammad Ghilman Barran
NRP : 02511640000144
Department : Material dan Metallurgical Engineering
Advisor : Dr. Agung Purniawan, S.T., M.Eng
Co-Advisor : Vania Mitha Pratiwi, S.T., M.T.

Abstract

Corrosion is a major problem for tools that use metal as the main material, a method is needed to minimize the corrosion rate of the metal. Galvanized steel is a steel coating using zinc as a cathodic protection. However, in a corrosive marine environment that makes corrosion more rapid, a method is needed to increase the corrosion resistance of the galvanized steel. Anodizing is a method for increasing corrosion resistance by forming an oxide layer on the surface of the substrate. This review was conducted with the aim of analyzing the effect of voltage and electrolyte concentration solutions of anodizing on the morphology and thickness of anodic layers. The anodizing process is carried out with variations of the voltage and concentration of the electrolyte solution. From the paper review results obtained the structure of the material is ZnO, the higher the potential difference, the thicker passive layer produced, the more amount of zinc dissolved and porosity and cracking phenomenon, while the increase in electrolyte concentration, the thicker the passive layer produced, the amount more zinc is dissolved, and more holes on the surface, and the rate of corrosion that results in the use of anodizing will decrease corrosion rate.

Keywords : *Anodizing, Zinc, Electrolyte Concentration Morphology, Voltage*

(*The page is intentionally left blank)*

KATA PENGANTAR

Assalamualaikum Wr. Wb.

Terima kasih kepada Allah SWT, yang telah memberikan berkat dan anugerahNya, sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir pada jurusan Tenik Material dan Metalurgi FTIRS-ITS yang berjudul:

"REVIEW PENGARUH ANODIZING DENGAN VARIASI BEDA POTENSIAL DAN KONSENTRASI ELEKTROLIT TERHADAP MORFOLOGI DAN KETEBALAN LAPISAN PASIF ZnO UNTUK APLIKASI HOT-DIP GALVANIZED STEEL"

Tugas Akhir disusun untuk melengkapi syarat kelulusan untuk memperoleh gelar Sarjana di jurusan Teknik Material dan Metalugi FTIRS-ITS. Berkat bantuan dari berbagai pihak dan dukungan yang diberikan, sehingga Tugas Akhir ini dapat diselesaikan. Oleh karena itu penulis ingin mengucapkan terima kasih kepada semua pihak yang telah memberikan bantuan, dukungan, ataupun bimbingan hingga Tugas Akhir ini dapat diselesaikan.

Dengan penuh rasa terima kasih, penulis ingin mengucapkan banyak terima kasih kepada pihak yang sudah bersumbangsih besar terhadap terselesaikannya Tugas Akhir ini.

1. Allah SWT yang telah memberikan berkat dan anugerahNya.
2. Kedua orang tua penulis, Syamsul Zukri dan Rahmawita yang tela memberikan dukungan serta motivasi untuk dapat menyelesaikan Tugas Akhir ini.
3. Kakak dan adik penulis, Atika Fadhillah Qanit dan M.Nurran Azka.
4. Bapak Dr. Agung Purniawan, S.T., M.Eng, selaku pembimbing penulis yang selalu menyempatkan waktu untuk untuk membimbing penulis.

5. Ibu Vania Mitha Pratiwi, S.T, M.T, selaku pembimbing penulis yang memberikan masukan dan saran agar dapat menyelesaikan Tugas Akhir dengan baik.
6. Bapak Suwirja Dinata selaku Ketua Asosiasi Galvanis Indonesia yang mengenalkan *hot-dip galvanizing*.
7. Sahabat penulis angkatan 2016 Teknik Material dan Metalurgi FTIRS-ITS, yang telah memberikan semangat kepada penulis.
8. Sahabat kontrakan penulis, Abiyyu, Ical, Farhan, Kemal, dan Oji yang telah menghibur penulis dalam penyelesaian Tugas Akhir.
9. Seluruh mahasiswa Teknik Material dan Metalurgi yang telah memberikan doa dan dukungan kepada penulis.
10. Seluruh jajaran Departemen Dalam Negri HMMT yang telah memberikan dukungan kepada penulis.

Penulis berharap Tugas Akhir ini dapat memberikan manfaat kepada pihak yang telah membacanya. Penulis sadar masih ada kekurangan dalam penulisan Tugas Akhir ini . pennulis menerima kritik dan masukan yang diberikan dari pembaca demi menghasilkan hasil yang lebih baik lagi kedepannya.

Surabaya, 23 Juli 2020
Penulis

Muhammad Ghilman Barran
02511640000144

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL i
LEMBAR PENGESAHAN v
Abstrak vii
Abstract ix
KATA PENGANTAR xi
DAFTAR ISI xiii
DAFTAR GAMBAR xv
DAFTAR TABEL xix
1 BAB I PENDAHULUAN 1
1.1 Latar Belakang.....1
1.2 Perumusan Masalah 2
1.3 Batasan Masalah 3
1.4 Tujuan Penelitian.....3
1.5 Manfaat Penelitian.....3
2 BAB II TINJAUAN PUSTAKA 5
2.1 Seng 5
2.2 Korosi.....6
2.3 Hot-dip Galvanizing 10
2.4 Lapisan Fe Zn 13
2.5 *Anodizing* 19
2.6 Lapisan Pasif Seng Oksida (ZnO) 21
3 BAB III METODOLOGI PENELITIAN.....25
3.1 Diagram Alir 25
3.2 Proses Anodizing.....26
3.3 Persiapan Review.....27
3.4 Metode Review 27
3.5 Pengujian 28
3.6 Rancangan Penelitian 30
4 BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN 31
4.1 Pengaruh Peningkatan Konsentrasi Elektrolit pada Anodizing 31
4.2 Pengaruh Peningkatan Beda Potensial pada Anodizing.....48

4.3 Laju Korosi 63
5 BAB V KESIMPULAN DAN SARAN 68
5.1 Kesimpulan 69
5.2 Saran 69
DAFTAR PUSTAKA 71
BIODATA PENULIS 77

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Pembentukan Sel Korosi 7
Gambar 2. 2 Sel Galvanik..... 8
Gambar 2. 3 Reduksi Hidrogen pada Elektrolit Asam 9
Gambar 2. 4 Arus Mengalir pada Sel Elektrokimia.....10
Gambar 2. 5 Proses Hot-dip Galvanizing 11
Gambar 2. 6 Hubungan Komposisi Baja, Waktu Pencelupan, dan Ketebalan Pelapisan 12
Gambar 2.7 Ketahanan Korosi Galvanized Steel pada Berbagai Lingkungan 13
Gambar 2. 8 Diagram Kesetimbangan Fe-Zn 14
Gambar 2. 9 Struktur dari Lapisan Galvanizing 16
Gambar 2. 10 Permukaan Zinc Akibat Kontak dengan Udara Terbuka 18
Gambar 2. 11 Skema Proses Anodizing 19
Gambar 2. 12 Cross Section lapisan Anodik pada Hot-Dip Galvanized Steel 23
Gambar 3. 1 Diagram Alir 25
Gambar 3. 2 Alat Anodizing 26
Gambar 3. 3 Alat Uji SEM dan EDX 28
Gambar 3. 4 Alat Uji XRD 29
Gambar 3. 5 Alat Uji Korosi.....29
Gambar 4. 1 Pengaruh Konsentrasi Elektrolit pada Pelarutan Anodik Seng 31
Gambar 4. 2 XRD Anodized Zinc (a) Oxalic Acid dan (b) NaOH Elektrolit pada 10V selama 60 menit 32
Gambar 4. 3 SEM *Anodized Zinc* dengan (a) 0,1 M (b) 0,3 M (c) 0,5 M NaOH dan Tegangan 10V selama 60 menit.....33
Gambar 4. 4 SEM *Anodized Zinc* dengan (a) 0,1 M (b) 0,3 M (c) 0,5 M Oxalic Acid dan Tegangan 10V selama 60 menit.....33
Gambar 4. 5 XRD Hasil Anodizing Zinc 35

Gambar 4. 6 FESEM Cross-section Lapisan Anodik pada 12V selama 60 menit dengan Beda Konsentrasi NaOH (a) 0.05 M (b) 0.1 M dan (c) 0.2 M 36
Gambar 4. 7 Morfologi *Cross-section* pada 20°C selama 15 menit (a) 0.04 M NaOH, 50 V, (b) 0.1 M NaOH, 50 V, (c) 0.3 M NaOH, 6 V, (d) 0.3 M NaOH, 4 V, (e) 0.3 M KOH, 6 V, dan (f) 0.3 M KOH, 4 V 38
Gambar 4. 8 XRD Lapisan Tipis ZnO dari Anodizing Zinc pada (a) 0.3 M, (b) 0.5 M, dan (c) 1 M Oxalic Acid..... 40
Gambar 4. 9 FESEM Lapisan Tipis ZnO pada 0.3 M (a,b), 0.5 M (c,d) dan 1 M (e,f). 42
Gambar 4. 10 Pengaruh Konsentrasi Elektrolit terhadap Ketebalan Lapisan 44
Gambar 4. 11 Ukuran Lubang pada Hasil Anodisasi (a) 0,1 M (b) 0,3 M (c) 0,5 M NaOH dan Tegangan 10V selama 60 menit 46
Gambar 4. 12 Pengaruh Kepadatan Arus terhadap Pelarutan Zinc secara Anodik..... 48
Gambar 4. 13 SEM Metalografi Cross-section (a,c) dan Permukaan (b,d) Anodisasi Zinc pada 50V (a,b) dan 200V (c,d) dalam 0.05 M KOH selama 15 Menit..... 49
Gambar 4. 14 FESEM Cross-section Lapisan Tipis Anodik pada 0.1 M NaOH selama 60 Menit dengan Variasi Beda Potensial (a) 5V (b) 7V (c) 9V dan (d) 12V..... 50
Gambar 4. 15 FESEM Cross-section Lapisan Anodik pada 0.1 M NaOH selama 6 menit pada 40V..... 51
Gambar 4. 16 2D dan 3D AFM Anodized Zinc dengan Variasi Beda Potensial (a) 0V (b) 2V (c) 4V (d) 6V (e) 8V (f) 10V..... 53

Gambar 4. 17 Morfologi *Cross-section* pada 20°C selama 15 menit (a) 0.04 M NaOH, 50 V, (b) 0.1 M NaOH, 50 V, (c) 0.3 M NaOH, 6 V, (d) 0.3 M NaOH, 4 V, (e) 0.3 M KOH, 6 V, dan (f) 0.3 M KOH, 4 54
Gambar 4. 18 FESEM Anodizing Zinc selama 1 Menit pada 0.005M $NaHCO_3$ pada Perbedaan Beda Potensial 55
Gambar 4. 19 Grafik Rapat Arus terhadap Beda Potensial Anodizing 56
Gambar 4. 20 Rata-rata Ketebalan Lapisan Anodik yang Terbentuk oleh Anodizing Zinc pada 0.005 M $NaHCO_3$, pada Variasi Beda Potensial (A), dan Rata-rata Laju Pertumbuhan pada Variasi Beda Potensial (B). 57
Gambar 4. 21 Struktur $NaHCO_3$. 57
Gambar 4. 22 Pengaruh Konsentrasi Elektrolit terhadap Ketebalan Lapisan 60
Gambar 4. 23 Ketebalan Lapisan pada Penggunaan Elektrolit $NaHCO_3$.. 60
Gambar 4. 24 Laju Korosi Anodized Coating pada Bath A dengan Beda Potensial 25V dan 30V 65
Gambar 4. 25 SEM Cross-section Lapisan Anodik pada Baja Hot-dip Galvanizing.....65
Gambar 4. 26 Perbandingan Laju Korosi pada Metode yang Berbeda 66

(*Halaman ini sengaja dikosongkan*)

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Komposisi Setiap Layer Hot-Dip Galvanizing.....17
Tabel 2. 2 Perbandingan antara Pelapisan DC Anodizing dan Plasma Electrolytic Oxidation (PEO).....20
Tabel 3. 1 Rancangan Penelitian 30
Tabel 4. 1 Parameter Proses Anodisasi.....37
Tabel 4. 2 SEM-EDX Komposisi Kimia Lapisan yang Dihasilkan 38
Tabel 4. 3 Pengaruh sinar UV selama Anodizing pada Ukuran Kristal dan Ukuran Pori 41
Tabel 4. 4 Ketebalan Lapisan Tipis ZnO dengan dan Tanpa UV 43
Tabel 4. 5 Hasil Ketebalan Lapisan Pasif pada Jurnal.....43
Tabel 4. 6 Hasil Morfologi Lapisan Pasif pada Jurnal. 45
Tabel 4. 7 Ketebalan Lapisan pada Variasi Beda Potensial.....52
Tabel 4. 8 Nilai Kekasaran Anodized Zinc pada Perbedaan Beda Potensial 52
Tabel 4. 9 Ketebalan Lapisan Pasif pada Jurnal. 59
Tabel 4. 10 Hasil Morfologi Lapisan Pasif pada Jurnal. 61
Tabel 4. 11 Komposisi Kimia Zinc Murni.....63
Tabel 4. 12 Laju Korosi Anodizing Zinc pada Beda Potensial 63
Tabel 4. 13 Komposisi Larutan Anodizing.....64

(*Halaman ini sengaja dikosongkan*)

BAB I
PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Indonesia merupakan suatu negara kepulauan terbesar di dunia. Indonesia sendiri memiliki 17.499 pulau dari Sabang sampai Merauke. Luas total wilayah Indonesia sebesar 7,81 juta km^2 yang terdiri dari 2,01 juta km^2 daratan, 3,25 juta lautan, dan 2,55 juta km^2 Zona Ekonomi Eksklusif (ZEE), oleh karenanya Indonesia disebut Negara Maritim (Junef, 2017). Luasnya wilayah Indonesia membuat perlunya banyak pembangunan di seluruh Indonesia, pembangunan ini memerlukan banyak pertimbangan baik dari segi material, *lifetime*, *cost*, ataupun kondisi dimana material tersebut akan diaplikasikan.

Baja ringan dan baja karbon tinggi diklasifikasikan sebagai *ferrous metals*. Baja karbon pada dasarnya adalah campuran besi-karbon. Baja karbon dibagi menjadi beberapa rentang kandungan karbon, meliputi: (a) baja karbon ringan atau rendah (0,08-0,30% karbon) (b) baja karbon sedang (0,30-0,50% karbon) dan (c) baja karbon tinggi (0,55-1,40% karbon). Saat ini baja ringan banyak digunakan dalam aplikasi teknik seperti produksi komponen mobil, lembaran yang digunakan pada saluran pipa, bangunan, pabrik, jembatan, dan kaleng (Ahmed et al., 2017)

Korosi adalah reaksi kimia antara metal dengan bahan kimia atau reaksi elektrokimia dengan lingkungannya. Sebagian besar bahan logam yang terpapar air laut akan hancur akibat korosi. Air laut dianggap yang paling korosif dari semua elektrolit yang terjadi secara alami. Parameter yang paling signifikan yang menentukan korosifitas air laut adalah kandungan oksigen terlarut, temperatur, laju aliran, salinitas dan pH. Di Indonesia, karena luasnya penggunaan dari baja ringan, seng, dan besi galvanis, dianggap perlu untuk mempelajari perilaku korosi material ini di laut. Karena sifat mekanik yang sangat baik dan harga yang relatif murah. Namun, baja ringan memiliki ketahanan korosi yang sangat rendah untuk sebagian besar lingkungan dan menyebabkan pembentukan

karat dan hilangnya beberapa sifat mekanik. Proses pelapisan (*coating*) adalah metode paling umum digunakan untuk melindungi baja dari agresifitas air laut dimana banyak diaplikasikan. Dimana coating akan mengisolasi komponen baja atau kontruksi dari lingkungan (Prifiharni et al., 2018). Terdapat beberapa metode pelapisan, salah satunya yaitu *hot-dip galvanizing* dan *anodizing*.

Galvanized sheet adalah jenis pelapisan yang terdiri dari baja ringan sebagai logam dasar dan dilapisi dengan seng baik melalui *hot-dip galvanizing* atau proses pelapisan logam. Baja hot-dip galvanizing semakin banyak digunakan dalam industri sebagai alternatif dari baja *non-galvanized colled rolled* karena peningkatan ketahanan terhadap korosi. Seng banyak digunakan untuk perlindungan korosi baja karena potensi redoksnya yang menjadi lebih negatif (kurang mulia daripada baja dalam kondisi yang sama, endapan seng berperilaku sebagai anoda korban dan membuat perlindungan katodik ke substrat baja (Diaconu et al., 2015). *Anodizing* adalah proses pasivasi elektrolitik yang digunakan untuk meningkatkan ketebalan dan mengatur sifat lapisan oksida pada permukaan logam. Setelah terpapar udara awal, permukaan seng dengan cepat membentuk lapisan tipis ZnO yang menjadi lapisan pasif untuk meningkatkan ketahanan korosi (Imam et al., 2011). Hal yang mempengarui dari pelapisan anodizing diantaranya, beda potensial, rapat arus, lama pencelupan yang dapat menentukan tingkat hasil dari lapisan oksida.

Adapun review ini menganalisa tentang pengaruh variabel beda potensial dan konsentrasi elektrolit pada hasil *anodizing zinc*.

1.2 Perumusan Masalah

Adapun rumusan masalah yang dibahas dalam review ini adalah sebagai berikut:

1. Bagaimana pengaruh beda potensial dan konsentrasi elektrolit pada *anodizing* terhadap morfologi lapisan oksida ZnO?

2. Bagaimana pengaruh beda potensial dan konsentrasi larutan elektrolit pada *anodizing* terhadap ketebalan lapisan pasif lapisan oksida ZnO?
3. Bagaimana pengaruh *anodizing* terhadap laju korosi substrat?

1.3 Batasan Masalah

Adapun batasan masalah yang digunakan pada review ini agar tidak menyimpang dari permasalahan yang ditinjau adalah sebagai berikut:

1. Perbedaan parameter pada *anodizing* diabaikan.
2. Perlakuan sebelum *anodizing* tidak dipertimbangkan..

1.4 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan dari review yang dilakukan adalah:

1. Menganalisis pengaruh beda potensial dan konsentrasi larutan elektrolit pada *anodizing* terhadap morfologi *anodized zinc*.
2. Menganalisis pengaruh beda potensial dan konsentrasi larutan elektrolit pada *anodizing* terhadap ketebalan lapisan pasif *anodized zinc*.
3. Menganalisis pengaruh *anodizing* terhadap laju korosi substrat.

1.5 Manfaat Penelitian

Dengan dilakukannya review ini, diharapkan dapat menambah wawasan terutama pada bidang *anodizing coating*. Sehingga nantinya dapat dijadikan acuan sebagai dasar dalam melakukan penelitian selanjutnya. Hasil dari penelitian ini diharapkan dapat memberi manfaat yaitu sebagai referensi untuk metode pelapisan pada *hot-dip galvanized steel* dengan variasi beda potensial dan konsentrasi larutan elektrolit untuk meningkatkan ketahanan korosi *hot-dip galvanized steel.*

(*Halaman ini sengaja dikosongkan*)

BAB II
TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Seng

Seng merupakan unsur dengan jumlah terbanyak ke-23 dalam kerak bumi, sekitar 0.013%. Seng salah satu logam yang paling banyak digunakan selain besi, aluminium, dan tembaga. Seng berwarna perak keabu-abuan dengan titik leleh relatif rendah 419.5 ^{o}C dan titik didih 907 ^{o}C. Kekuatan dan kekerasan seng murni lebih besar dari timah tetapi jauh lebih rendah dibanding aluminium dan tembaga. Aplikasi seng dapat digunakan pada berbagai kategori seperti pelapisan, paduan *casting*, elemen paduan pada kuningan dan paduan lainnya, paduan seng tempa, seng oksida, dan bahan kimia seng (garam). Penggunaan seng paling penting yaitu pada perlindungan korosi baja, yaitu dalam bentuk pelapis, karena ketahanan korosi yang baik pada baja berlapis seng di lingkungan alami. Di sebagian besar lingkungan alami, ketahanan korosi seng sekitar 10 sampai 100 kali lebih lambat dari baja. Korosi logam memiliki berbagai bentuk dan mekanisme seperti korosi seragam, galvanik, *pitting*, retak, intergranular korosi. Bentuk korosi yang paling umum ditemui oleh seng dan paduannya adalah korosi seragam. Bentuk korosi yang ditemui pada pelapisan seng yaitu: korosi seragam, galvanik korosi, *pitting* korosi, intergranular korosi (Cramer & Covino Jr, 2005).

a) Korosi seragam adalah bentuk korosi yang paling umum. Terjadi karena reaksi kimia atau elektrokimia yang berlangsung secara seragam di seluruh permukaan yang terbuka. Logam menjadi tipis dan akhirnya hancur. Contoh pada seng yang dicelupkan pada asam sulfat encer akan larut seragam pada seluruh permukaannya (Fontana, 1987).
b) Korosi galvanik terjadi ketika dua logam berbeda direndam dalam larutan korosif. Korosi terjadi karena

adanya perbedaan potensial dan menghasilkan elektron. Logam yang kurang tahan menjadi anodik, sementara logam yang lebih tahan menjadi katodik (Fontana, 1987). Galvanik adalah proses yang sangat penting untuk aplikasi paduan seng dan seng, baik sebagai pelapis, anoda, atau cat. Tidak seperti logam lain, korosi seng akibat galvanik menjadi penting, karena menghasilkan perlindungan pada logam berpasangan, biasanya baja. Peran seng dalam perlindungan galvanik karena posisinya yang rendah pada seri galvanik. Seng juga merupakan anoda pengorban yang efisien untuk perlindungan baja (Cramer & Covino Jr, 2005).

c) *Pitting* korosi merupakan korosi yang terjadi secara lokal menghasilkan lubang. Pada seng banyak terjadi dalam air panas, tidak baik digunakan pada tanki air panas baja galvanis (Cramer & Covino Jr, 2005).

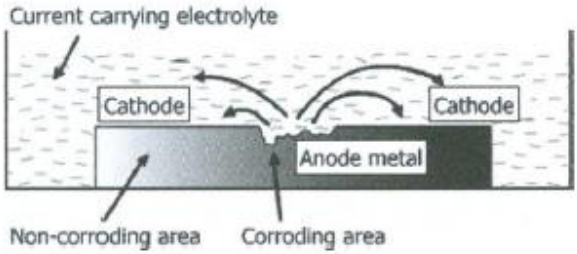
d) Intergranular korosi dapat terjadi pada paduan seng di lingkungan berbeda: atmosfer, air, larutan, dan beton. Seng dengan kemurnian tinggi tidak rentan terhadap korosi jenis ini. Kehadiran elemen lain, terutama aluminium, sebagai elemen paduan atau pengotor dapat menyebabkan intergranular korosi (Cramer & Covino Jr, 2005).

2.2 Korosi

Korosi merupakan degradasi sifat material karena interaksi dengan lingkungannya dan korosi pada logam sebagian besar tidak dapat dihindari, terutama terkait dengan logam, semua jenis bahan dapat terkorosi. Korosi baja pada lingkungan air dan industri adalah sesuatu yang rumit, karena tiga pertimbangan yang terlibat yaitu (Anthony et al., 2016):

1. Komposisi dan kondisi permukaan baja
2. Kualitas air

3. Kondisi operasi



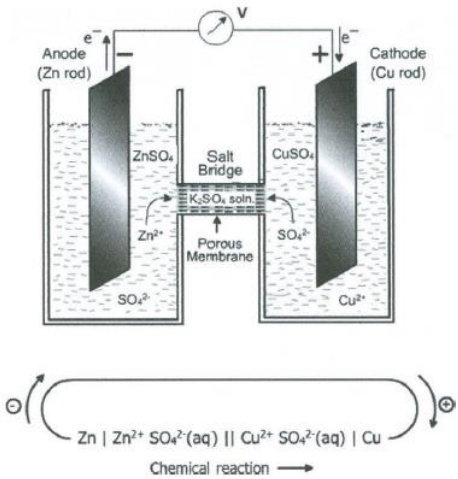
Gambar 2. 1 Pembentukan Sel Korosi (Ahmad, 2006)

Istilah korosi biasanya didefinisikan sebagai pembentukan logam oksida, sulfida, atau senyawa hidroksida pada permukaan logam, sebagai hasil dari proses oksidasi kimia. Korosi terjadi ketika logam besi terpapar pada agen oksida yang lebih kuat dari Fe^{2+} atau lingkungan yang mengandung air dan oksigen. Proses tersebut dibantu dengan bantuan asam dan garam organik yang ada di sekitarnya. Pada dasarnya, sebagian besar asam organik, garam, sulfur, dan senyawa sulfur aktif yang ada cenderung menyebabkan korosi logam tetapi tergantung pada komposisi kimia logam tersebut dengan kondisi lingkungan terutama temperatur (Aluvihara & Premachandra, 2018).

Untuk terjadinya korosi, pembentukan sel korosi sangat penting. Sel korosi pada dasarnya terdiri dari empat komponen berikut yaitu (Ahmad, 2006) :

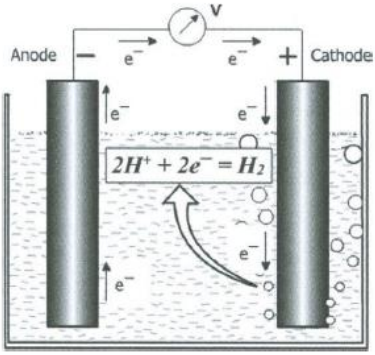
1. Anoda
   Anoda merupakan salah satu elektroda logam dalam sel elektrokimia, sebagai elektroda negatif. Elektron dilepas melalui anoda, yang merupakan logam yang lebih reaktif. Elektron akan bergerak melalui koneksi

kawat ke katoda. Misalnya, *zinc* bertindak sebagai anoda di dalam baterai. Dan pada sel galvanik, *zinc* merupakan anoda karena oksidasi terjadi dan elektron dilepaskan.



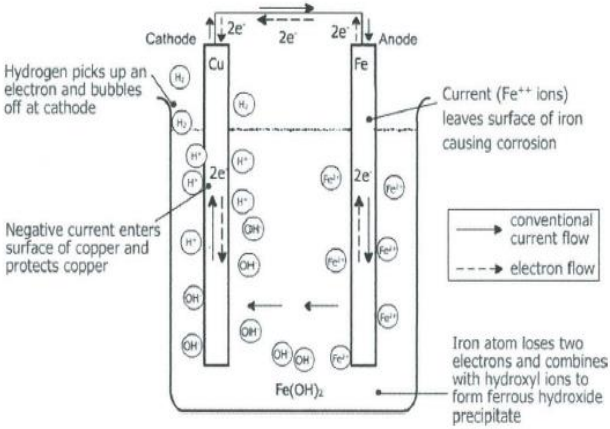
Gambar 2. 2 Sel Galvanik (Ahmad, 2006)

2. Katoda
   Katoda merupakan salah satu elektoda yang merupakan elektroda positif dalam sel elektrokimia. Katoda mengalami reduksi dan elektron dikonsumsi. Contohnya, elektroda karbon pada baterai, dan elektoda tembaga pada sel galvanik. Gambar 2.3 menunjukan reduksi ion hidrogen. Elektron akan selalu bertindak sebagai agen pereduksi.



Gambar 2. 3 Reduksi Hidrogen pada Elektrolit Asam (Ahmad, 2006)

3. Elektrolit
   Elektrolit merupakan larutan konduktif listrik (contoh larutan garam NaCl). Arus mengalir dari anoda ke katoda melalui elektrolit sebagai kation, contoh, ion Zn^{2+} larut dari anoda seng kemudian membawa arus positif, melalui elektrolit cair.
4. Kontak Metalik
   Kedua elektroda dihubungkan secara eksternal oleh konduktor logam. Dalam konduktor logam, arus konvensional mengalir dari (+) ke (-) yang sebenarnya merupakan elektron yang mengalir dari (-) ke (+). Logam menyediakan jalur untuk aliran arus konvensional yang sebenarnya merupakan jalur elektron dalam arah yang berlawanan.



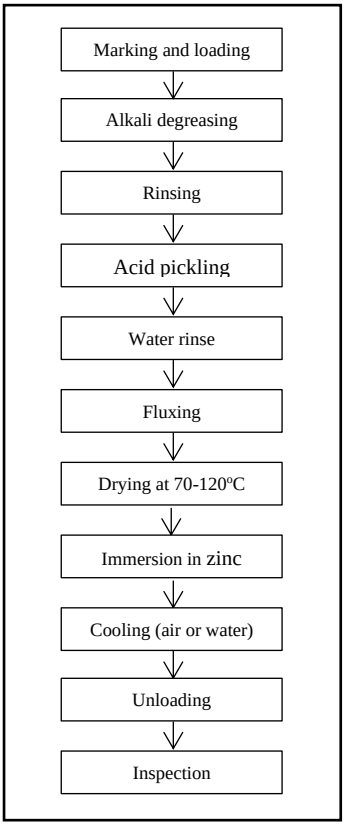
Gambar 2. 4 Arus Mengalir pada Sel Elektrokimia (Ahmad, 2006)

2.3 Hot-dip Galvanizing

Pelapisan *hot dip* diterapkan pada logam dengan perendaman didalam logam cair dari logam dengan titik leleh rendah, seperti *zinc*, timah, dan aluminium. Hot dipping merupakan salah satu metode pelapisan yang tertua. Contohnya yaitu baja galvanis. Ketebalan *coating* baja galvanis jauh lebih besar dari *electroplates* karena lapisan yang sangat tipis sulit untuk dilakukan (Fontana, 1987).

Hot dip galvanizing adalah proses dimana bagian-bagian baja dicelupkan kedalam zinc cair pada suhu antara 440°C hingga 465°C. Proses galvanizing tidak hanya dilakukan pada benda-benda kecil seperi baut, mur, sekrup, tetapi juga bagian besar hingga panjang 6 meter (Eijnsbergen, 1994). Kondisi awal untuk galvanisasi yang baik adalah pembersihan yang sempurna dari bagian yang akan dilapisi *zinc*. Oleh karena itu bagian yang ingin di galvanisasi dilakukan perlakuan kimia awal sebelum di galvanisasi untuk mencapai permukaan logam yang murni. Bagian-bagiannya pertama-tama dilakukan

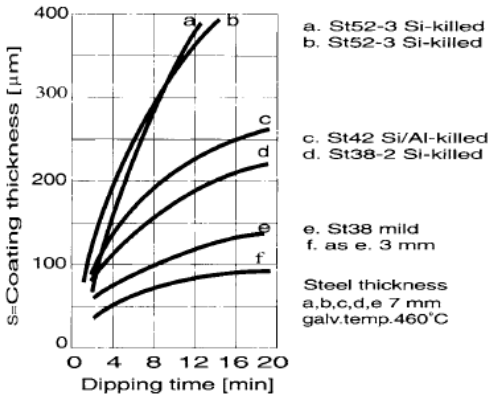
degreasing dan kemudian diasamkan. Pengasaman dilakukan untuk menghilangkan oksida, produk korosi, dan kemungkinan kotoran terlarut lainnya dari permukaan. Sebelum perendaman dalam *zinc*, *fluxes* diaplikasikan pada komponen dengan pencelupan ke dalam rendaman *fluxes*, kemudian akan di drying untuk mengurangi kandungan air untuk mencegah terjadinya ledakan pada saat pencelupan ke dalam *zinc bath* (Kuklík & Kudláĉek, 2016).



Gambar 2. 5 Proses Hot-dip Galvanizing (Eijnsbergen, 1994).

Pada proses galvanisasi, bagian pertama di *degreasing* dalam larutan alkali dan di *rinsing* engan air panas dan dingin. Kerak dan karat dihilangkan dengan pencelupan dalam larutan HCl 14%, diikuti dengan *rinsing* dalam air. Kemudian bagian dicelupkan dalam larutan *fluxes* cair yang mengandung *zinc-ammonium* klorida. Lapisan film tipis dikeringkan pada 75°C-120°C, tergantung pada jenis *fluxes* yang digunakan, dan memastikan permukaan logam bebas dari kotoran untuk mendapatkan kondisi pembasahan yang optimal selama pencelupan dalam *zinc bath*. Ketebalan lapisan bergantung pada (Eijnsbergen, 1994):

a. Jenis dan kekasaran permukaan baja
b. Komposisi permukaan baja
c. Waktu pencelupan
d. Temperatur galvanisasi

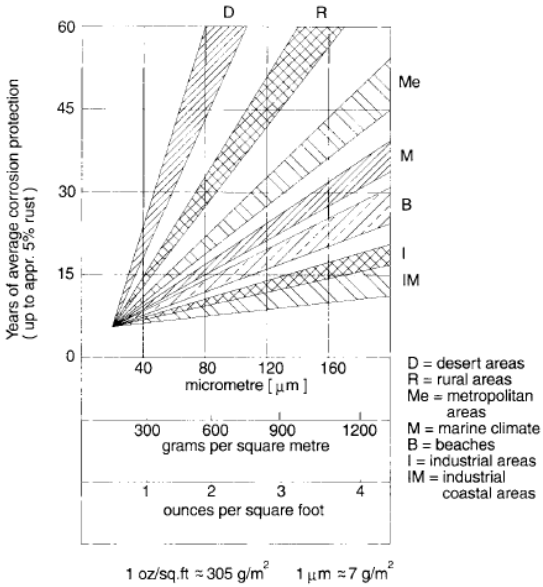


Gambar 2. 6 Hubungan Komposisi Baja, Waktu Pencelupan, dan Ketebalan Pelapisan (Eijnsbergen, 1994).

Pada Gambar 2.6 terlihat pengaruh dari waktu pencelupan dalam *zinc bath* terhadap ketebalan lapisan seng, semakin lama

waktu pencelupan akan semakin tebal lapisan seng yang dihasilkan.

Daya tahan pada hot dip galvanizing terhadap korosi bisa dibilang cukup baik, dengan biaya yang cukup murah dibandingkan dengan metode lain. Pada Gambar 2.7, dapat ditarik hasil untuk mencapai ketahanan umur pakai selama 30 tahun pada lingkungan laut, maka ketebalan yang diperlukan dalam proses hot dip galvanizing adalah sekitar 160 μm.



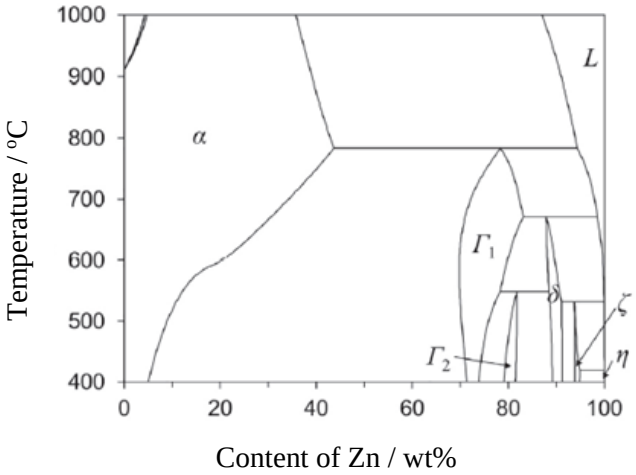
Gambar 2.7 Ketahanan Korosi Galvanized Steel pada Berbagai Lingkungan (Eijnsbergen, 1994).

2.4 Lapisan Fe Zn

Pelapisan menggunakan seng sebagian besar digunakan untuk meningkatkan ketahanan korosi pada lingkungan air,dengan menggunakan dua metode yaitu: *barrier* proteksi

dan galvanik proteksi. Dalam barrier proteksi, lapisan seng akan terkorosi terlebih dahulu sebelum lingkungan korosif mencapai baja. Dalam galvanik proteksi, seng kurang mulia atau anodik terhadap besi, dan akan terkorosi untuk melindungi baja atau substrat, bahkan jika sebagian baja terpapar seperti goresan pada lapisan. Metode yang umum digunakan dalam memproduksi seng *coating* yaitu *hot-dip galvanizing*, *thermal spraying*, dan elektrodeposisi (Marder, 2000).

Unutk membandingkan fase yang diamati yang dihasilkan oleh reaksi Fe-Zn dengan fase kesetimbangan, diagram fase kesetimbangan Fe-Zn dibuat. Diamati bahwa fase kesetimbangan bergantung pada temperatur dan sebagian besar senyawa intermetalik Fe-Zn mengandung kisaran Zn tertentu. Berikut merupakan diagram fasa Fe-Zn, dimana L adalah fasa *liquid*, η seng murni, ζ, δ, Γ_1, Γ_2 adalah senyawa Fe-Zn intermetalik dan α adalah *ferrite* (Kang et al., 2019).

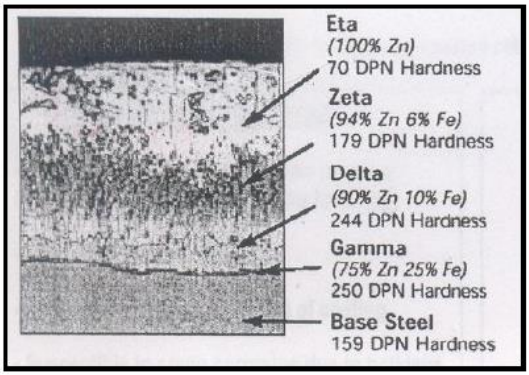


Gambar 2. 8 Diagram Kesetimbangan Fe-Zn (Raghavan, 2003).

Kandungan besi dalam lapisan paduan menurun menuju ke permukaan. Lapisan Fe-Zn yang ada mempunyai perbedaan komposisi dan ketebalan. Diantaranya yaitu *gamma* (Γ), *gamma*$_1$ (Γ_1), *delta* (δ), *zeta* (ζ), dan kadang *eta* (η) (Pokorny et al., 2015).

1. Eta (η)
   Lapisan paling atas yang mengandung seng murni dan terbentuk dari pemadatan seng leleh. Kandungan Fe sekitar 0,03 wt. %. Struktur kristal pada fase ini adalah *hexagonal system* (hcp).
2. Zeta (ζ)
   Terdiri dari fasa Fe dan Zn. Kandungan Fe pada fasa ini adalah sekitar 5-6,2 wt. %. Fase ini terbentuk oleh peritectic reaksi antara fase delta dan *zinc melt* pada temperatur sekitar 530°C. Struktur kristal pada fasa ini adalah monoklinik.
3. Delta (δ)
   Terdiri dari fasa Fe dan Zn. Kandungan Fe pada fasa ini adalah sekitar 7-11,5 wt. %. Fasa delta stabil sampai pada temperatur sekitar 670°C. Struktur kristal pada fasa ini adalah hexagonal
4. Gamma (Γ)
   Terdiri dari fasa Fe dan Zn. Kandungan Fe pada fasa ini adalah sekitar 23,5-28 wt. %. Fasa ini terbentuk oleh reaksi *peritectic* antara *α-ferite* dan *zinc melt* pada temperatur 782°C. Struktur kristal pada fasa ini adalah *body center cubic* (bcc).

Pada hot-dip galvanizing, kandungan Fe pada lapisan Fe-Zn paling besar berada pada lapisan yang paling terdekat dengan substrat atau baja, semakin lapisan menuju ke permukaan semakin ecil kandungan Fe paa lapisan tersebut. Pada Gambar 2.9 dapat terlihat susunan dari lapisan Fe-Zn



Gambar 2. 9 Struktur dari Lapisan Galvanizing (Deshmukh & Patil, 2012)

Berdasarkan Gambar 2.9 dapat terlihat persebaran fasa Fe-Zn. Dapat dilihat pula kandungan dari Zn pada setiap lapisan serta besarnya kekerasan pada tiap fasa. Pada Gambar 2.10 dapat semakin ke permukaan maka kekerasan dari lapisan semakin berkurang, sebanding dengan kandungan Fe yang semakin berkurang menuju ke permukaan.

Tabel 2. 1 Komposisi Setiap Layer Hot-Dip Galvanizing (Eijnsbergen, 1994).

Type of layer	Total layer composition			
	Eta Zinc η	Zeta alloy Z	Delta alloy Δ	Gamma alloy Γ
Stoichiometric composition	Zn	Zn13Fe	Zn7Fe	Zn21Fe5
Percentage iron	-	5,8-6,2	7-12	21-28
Crystal structure	hexagonal	monoclinic	Hexagonal	Cubic
Coating Thickness (µm)	8-12	10-25	30-40	0,1-0,2
Flexibility	Good	Poor	Poor	Poor
Hardness and abrasion resistance	High	Very high	Very high	Very high

Dalam media netral (pH=7), permukaan seng bereaksi dengan oksigen dan uap air pada udara, membentuk seng hidroksida. Hidroksida ini bereaksi dengan karbon dioksida dan uap air, menghasilkan pembentukan patina seng yang sifatnya *insoluble* (tidak larut). Waktu yang dibutuhkan untuk pembentukan seng patina adalah antara 3-12 bulan. Diantara waktu ini, produk korosi seng, "white rust" terbentuk. Produk ini dapat merusak adhesi cat yang menyebabkan lapisan cat harus dihilangkan. Reaksi utama produk yang terbentuk selama berada di ruangan terbuka, termasuk lingkungan laut dan *industrial atmosphere*, yaitu (Eijnsbergen, 1994):

a) Oksidasi

$$2Zn + O_2 \rightarrow 2ZnO \quad (2.1)$$

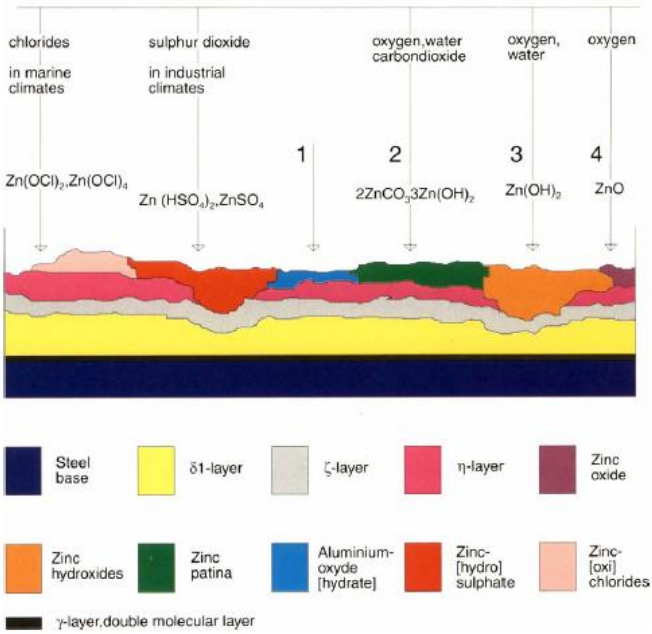
b) Hidrasi

$$2Zn + 2H_2O + O_2 \rightarrow 2Zn(OH)_2 \quad (2.2)$$

c) Karbonasi
$5Zn(OH)_2 + 2CO_2 \longrightarrow 2ZnCO_3.3Zn(OH)_2 + 2H_2O$.....(2.3)

d) Lingkungan laut
$6Zn + 4CO_2 + 8NaCl + 7O_2 + 6H_2O \longrightarrow 4Zn(OCl)_2+2Zn(HCO_3)_2+8NaOH$.....(2.4)

e) Lingkungan industri
$Zn+O_2+SO_2 \longrightarrow ZnSO_4$.....(2.5)



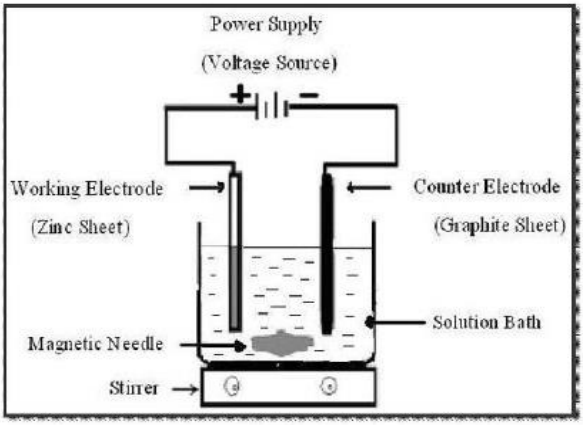
Gambar 2. 10 Permukaan Zinc Akibat Kontak dengan Udara Terbuka (Eijnsbergen, 1994).

Berdasarkan Gambar 2.10 dapat diperkirakan senyawa yang akan terbentuk ketika seng bereaksi dengan lingkungan tertentu seperti; klorida, sulfur dioksida, oksigen, dan air.

Ketika zinc bereaksi dengan lingkungan tertentu akan membentuk senyawa baru, dan bereaksi membentuk warna tertentu sesuai dengan lingkungan yang ditempatinya.

2.5 *Anodizing*

Proses Anodisasi, metode yang mudah dilakukan, telah banyak digunakan untuk menghasilkan film oksida yang seragam dan sangat rekat dengan struktur yang berbeda atau bahkan film yang tahan aus atau korosi. Fleksibilitas ini hanya dapat diperoleh dengan menyesuaikan parameter proses yang menyebabkan berbagai struktur dan sifat. Fleksibilitas yang luar biasa ini memungkinkan untuk pengenalan metodologi yang mudah untuk pembuatan material baru dalam berbagai aplikasi (Ravanbakhsh et al., 2018).



Gambar 2. 11 Skema Proses Anodizing (Ajeel & Ahmed, 2017)

Gambar 2.11 menunjukkan skema penerapan tegangan antara anoda dan katoda yang dicelupkan didalam larutan elektrolit. Prinsipnya adalah pengangkutan ion logam atau

oksigen melalui film, yang akan membuat film akan tumbuh, dibantu oleh medan listrik yang terbentuk dalam film oleh tegangan yang diberikan (DELL'OCA et al., 1971).

Tabel 2. 2 Perbandingan antara Pelapisan DC Anodizing dan Plasma Electrolytic Oxidation (PEO) (Li et al., 2013)

Properties	**Anodizing**	**PEO**
Cell voltage	20-80	120-300
Current density (A/dm^2)	<10	<30
Substate pretreatment	Critical	Less critical
Common electrolytes	Sulfuric, chromic,phosphoric	Neutral/alkaline
Coating thickness	<10	<200
Coating hardness	Moderate	Relatively high
Adhesion to substrate	Moderate	Very high
Temperature control	Critical	Not so important

Beberapa alasan mengapa penggunaan metode anodizing sebagai pelapis substrat adalah sebagai berikut (ASM International Handbook Committee, 1994):

1. Meningkatkan ketahanan korosi
2. Meningkatkan ketahanan abrasi
3. Meningkatkan adhesi cat
4. Memberikan dekorasi pada permukaan substrat

2.6 Lapisan Pasif Seng Oksida (ZnO)

Pasifitas adalah kemampuan logam untuk melawan korosi meskipun ada kecenderungan termodinamik dari logam untuk bereaksi dengan lingkungan korosif. Pasifitas juga merupakan keadaan logam yang laju korosinya menurun akibat reaksi dengan lingkungannya melalui pembentukan lapisan pelindung permukaan, biasanya oksida / hidroksida. Permukaan oksida dapat lebih melindungi di bawah polarisasi anodik (potensi mulia) dan mempertahankan kerapatan arus anodik yang rendah, yang secara signifikan memperlambat pelarutan logam. Permukaan oksida / hidroksida biasanya meningkatkan kemuliaannya dan karenanya tahan terhadap korosi. Lapisan pasif biasanya merupakan lapisan oksida semikonduktor (Örnek et al., 2019). Secara umum, pasif terjadi ketika pelarutan logam menghasilkan situasi di mana kelarutan garam atau hidroksida dalam elektrolit di dekat permukaan elektroda dilampaui dan terbentuk lapisan padat. Sebagai hasil dari pembentukan film, ion harus pindah dari fase logam ke film permukaan agar pelarutan lebih lanjut dari logam terjadi. Setidaknya ada tiga proses yang terlibat dalam disolusi pasivasi: (i) transfer ion logam dari fase logam ke film permukaan; (ii) transfer ionik dari fase larutan ke lapisan permukaan permukaan; dan (iii) transfer dan hidrasi ion logam melintasi antarmuka film / solusi (Zhang, 1996).

Seng oksida dapat dibuat menjadi beberapa bentuk skala nano seperti partikel nano, film tipis, dan mikro/struktur nano lainnya. Diantaranya, film tipis yang memiliki manfaat yang tinggi karena banyaknya aplikasi baru yang dapat ditawarkan. Berbagai pendekatan seperti sputtering frekuensi radio,sol-gel, cathodic deposition, dan anodisasi telah digunakan untuk membuat film tipis ZnO berstruktur nano. Sintesis elektrokimia telah menarik perhatian paling besar dalam beberapa dekade terakhir karena fleksibilitas dan efisiensi biaya bahkan untuk skala besar dan fabrikasi industri (Ravanbakhsh et al., 2018).

Mekanisme perkembangan dari lapisan pasif ZnO, mekanisme pertumbuhan, dari pembentukan lapisan ZnO pada permukaan substrat Zn terjadi pada pengaruh tegangan konstan yang diberikan. Ketika larutan asam digunakan sebagai elektrolit, mekanisme yang terjadi adalah sebagai berikut (Gilani et al., 2016):

$$H_2O \longrightarrow H^+ + OH^- \quad (2.6)$$

$$Zn \longrightarrow Zn^{2+} + 2e^- \quad (2.7)$$

$$Zn^{2+} + 2OH^- \longrightarrow Zn(OH)_2 \quad (2.8)$$

Proses *thermal annealing* untuk melakukan konversi *hydrozincite* menjadi ZnO (Batista-Grau et al., 2020)

$$Zn(OH) \longrightarrow ZnO+H_2O \quad (2.9)$$

Lembaran seng (anoda) dikonversi menjadi ion Zn^{2+} dengan melepaskan dua elektron yang bergerak menuju katoda. Molekul air diionisasi menjadi ion H^+ dan OH^-. H_2 dibebaskan di katoda, karenanya pH larutan diubah dari yang asam menjadi basa. Akhirnya, ion-ion OH^- yang tersisa bergerak menuju anoda yang menghasilkan pembentukan Zn(OH)2. Namun didalam media basa (NaOH), mekanisme yang terjadi adalah sebagai berikut (Gilani et al., 2016):

$$Zn^{2+} + 4OH^- \longrightarrow Zn(OH)^{2-}{}_4\,(aq) \quad (2.10)$$

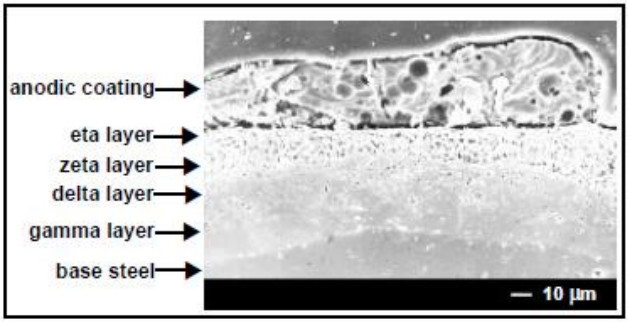
$$Zn(OH)^{2-}{}_4\,(aq) \longrightarrow Zn(OH)_2\,(s) + 2OH^- \quad (2.11)$$

Proses *thermal annealing* untuk melakukan konversi *hydrozincite* menjadi ZnO (Batista-Grau et al., 2020).

$$Zn(OH)_2 \longrightarrow ZnO+H_2O \quad .....(2.12)$$

Fase awal reaksi adalah disolusi aktif Zn, yang berasal dari pembentukan $Zn(OH)^{2-}_4$. Ketika konsentrasi $Zn(OH)^{2-}_4$ melebihi kelarutan produk $Zn(OH)_2$, presipitasi lapisan $Zn(OH)_2$ akan terjadi pada permukaan anoda. Akhirnya, ZnO akan terbentuk (Gilani, Ghorbanpour, & Jadid, 2016). Adhesi antarmuka yang lebih tinggi dapat diperoleh setelah perlakuan dalam elektrolit NaOH daripada dalam elektrolit asam (Sun et al., 2019).

Setelah proses *anodizing*, dilakukan proses *thermal annealing* untuk melakukan konversi *hydrozincite* menjadi ZnO (Batista-Grau et al., 2020) pada persamaan 2.9 dan 2.12. Proses *annealing* dilakukan pada 250°C selama 60 menit (Mah et al., 2016).



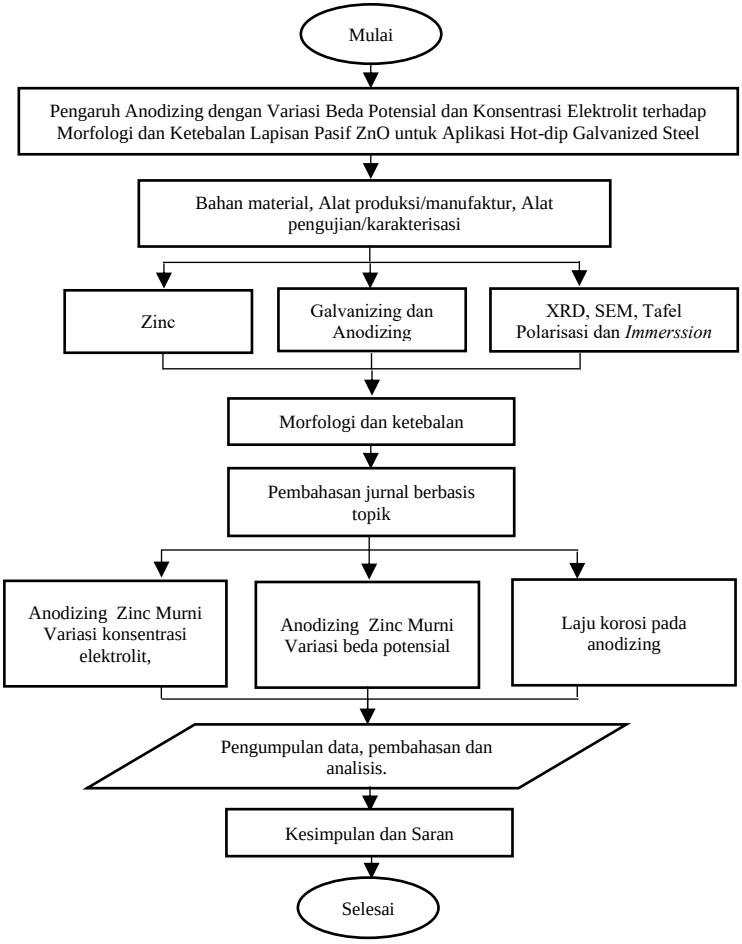
Gambar 2. 12 Cross Section lapisan Anodik pada Hot-Dip Galvanized Steel (Cheng et al., 1994)

Pada Gambar 2.12, dapat terlihat lapisan dari hasil *anodizing galvanize steel* yang berada diatas fasa dari *hot-dip galvanize steel*, lapisan ini yang merupakan ZnO yang akan melindungi lapisan *galvanized steel* dan substrat.

Pengaruh dari potensial yang mempengaruhi dari ketebalan lapisan *anodizing*, ketebalan dari ZnO meningkat dengan meningkatnya potensial yang diaplikasikan. Biasanya ketebalan lapisan oksida meningkat ke nilai maksimum dimana tegangan yang lebih tinggi akan meningkatkan reaksi oksigen dengan seng murni. Ini mengindikasikan bahwa peningkatan tegangan anodizing akan mempengaruhi peningkatan laju pertumbuhan ketebalan anodik film ketika komposisi pembuatan lapisan film pada Zn proses anodisasi menggunakan silikat sebagai elektrolit (Ajeel & Ahmed, 2017).

BAB III
METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Diagram Alir



Gambar 3. 1 Diagram Alir

3.2 Proses Anodizing

Anodisasi adalah proses oksidasi elektrokimia untuk meningkatkan ketebalan lapisan oksida pada permukaan logam atau semikonduktor (Lee, 2010).

Berbeda dengan elektroplatting, proses anodisasi dilakukan dengan menempatkan logam yang akan dioksidasi sebagai anoda. Anodisasi dilakukan menggunakan penyearah arus (*rectifier*), elektroda inert katoda, dan anoda.

Gambar 3. 2 Alat Anodizing (Ajeel & Ahmed, 2017).

Sebelum proses anodisasi, material biasanya akan dilakukan pembersihan menggunakan asam atau alkali (pada jurnal banyak menggunakan *acetone* atau alkohol) untuk menghilangkan kotoran dan minyak. Pada proses anodisasi, *rectifier* dihubungkan dengan katoda dan anoda menggunakan kabel. Anoda merupakan logam yang akan dioksidasi, dan katoda merupakan elektroda penghantar. Anoda dan katoda dicelupkan kedalam larutan elektrolit yang telah disiapkan. Anodisasi dilakukan menggunakan variasi beda potensial dan konsentrasi larutan elektrolit. Pada review ini beda potensial yang dipakai yaitu dengan rentang 2 V – 200 V dan untuk konsentrasi berkisar antara 0.05 M – 0.2 M tergantung juga dengan jenis elektrolit yang dipakai.

3.3 Persiapan Review

Pada review ini, dilakukan beberapa langkah untuk dapat memulai review, yaitu:

1. **Pengumpulan Jurnal**
   Langkah pertama yaitu pengumpulan jurnal. Jurnal disini berhubungan dengan topik yaitu pada pengaruh beda potensial dan konsentrasi elektrolit pada proses *anodizing.* Percarian jurnal dapat dilakukan melalui *daring.*

2. **Analisa Jurnal**
   Analisa dilakukan terhadap jurnal yang telah dikumpulkan. Analisa dapat dilakukan terhadap data yang diambil yang kemudian dibahas lebih mendalam sehingga dapat diambil kesimpulan dari tiap jurnal yang ada.

3. **Komparasi Jurnal**
   Data yang diambil pada tiap jurnal dilakukan komparasi. Ini dilakukan untuk mengetahui perbandingan dari tiap jurnal terhadap parameter yang digunakan.

3.4 Metode Review

Dalam review ini terdapat beberapa tahapan proses yang dilakukan.

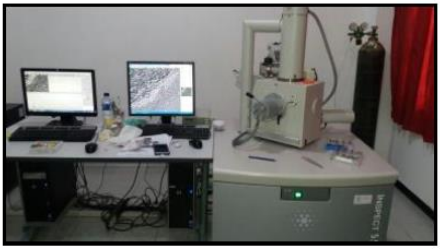
1. **Studi Literatur**
   Metode ini berdasarkan pada jurnal, buku-buku tentang penelitian serupa tentang *Anodizing* pada *Galvanized Steel* yang meneliti pengaruh beda potensial dan rapat arus terhadap hasil *Anodizing* pada *Galvanized Steel.*
2. **Diskusi**
   Tahap ini dilakukan untuk menambah wawasan terkait penelitian yang akan dilakukan, dengan diskusi kepada pihak-pihak yang berhubungan langsung dengan penelitian ini

3.5 Pengujian

Pada review ini jurnal banyak menggunakan beberapa proses karakterisasi untuk mendukung penelitian tersebut serta melihat apakah penelitian tersebut dianggap berhasil atau tidak. Pengujian-pengujian tersebut yaitu:

1. ***Scanning Electron Microscopy (SEM) & Energy Dispersive X-Ray (EDX)***

Pengujian *Scanning Electron Microscopy* (SEM) digunakan untuk mendapatkan morfologi permukaan dan penampang melintang dari spesimen yang sudah di *anodizing* dengan pengaplikasian beda potensial dan konsentrasi elektrolit yang berbeda-beda, sedangkan Energy Dispersive X-Ray (EDX) merupakan salah satu pengujian yang ada pada alat SEM yang digunakan untuk mengetahui komposisi unsur secara kuantitatif dari permukaan spesimen.



Gambar 3. 3 Alat Uji SEM dan EDX

2. ***X-Ray Diffraction (XRD)***

Alat *X-Ray Diffraction* (XRD) berfungsi untuk mengetahui fasa kristalin yang terbentuk pada spesimen yang di galvanize dan spesimen yang di galvanize dan dianodize. XRD memanfaatkan radiasi *x-ray* yang ditembakkan oleh *x-ray source* ke arah sampel yang kemudian terpantul ke *x-ray detector* dan direkam dalam bentuk grafik hubungan intensitas terhadap 2θ. Kemudian 3 intensitas tertinggi (*peak)* akan digunakan untuk mengetahui unsur

yang terkandung di lapisan oksida yang terbentuk dengan menggunakan aplikasi tertentu.

Gambar 3. 4 Alat Uji XRD

3. Corrosion Test

Pengujian ini dilakukan bertujuan untuk mengetahui ketahanan korosi suatu material. Pengujian dilakukan dengan menggunakan metode *potentiodynamic* ataupun *immersion*. Pengujian dilakukan untuk mengetahui pengaruh deposisi lapisan tipis ZnO terhadap laju korosi anoda korban.

Gambar 3. 5 Alat Uji Korosi

3.6 Rancangan Penelitian

Tabel 3. 1 Rancangan Penelitian

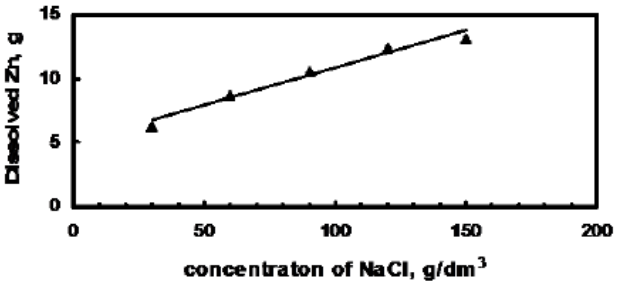
Topik	Jurnal	Material	Elektrolit	Hasil Penelitian		
				Morfologi	Ketebalan	Laju Korosi
Pengaruh Konsentrasi Elektrolit	(Gilani et al., 2016)	Zn	NaOH dan Oxalic Acid	V	-	-
	(Dong et al., 2016)	Zn	NaOH	V	V	-
	(Remešová et al., 2017)	ZnTi2	NaOH	V	V	-
	(Basu et al., 2008)	Zn	Oxalic Acid	V	V	
Pengaruh Beda Potensial	(Rocca et al., 2015)	Zn	KOH	V	V	-
	(Dong et al., 2016)	Zn	NaOH	V	V	-
	(Ajeel & Ahmed, 2017)	Zn	NH_4F	V	V	-
	(Remešová et al., 2017)	ZnTi2	NaOH dan KOH	V	V	-
	(Zaraska et al., 2017)	Zn	$NaHCO_3$	V	V	
Laju Korosi	(Ajeel & Ahmed, 2017)	Zn	-	-	-	V
	(Imam et al., 2011)	Zn	-	-	-	V

BAB IV
HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Pengaruh Peningkatan Konsentrasi Elektrolit pada Anodizing

Zinc oxide sulit dibentuk dengan bentuk morfologi yang seragam karena ketidakstabilannya dalam elektrolit asam dan alkali, namun struktur nano ZnO dapat dilakukan melalui anodisasi (Dong et al., 2016).

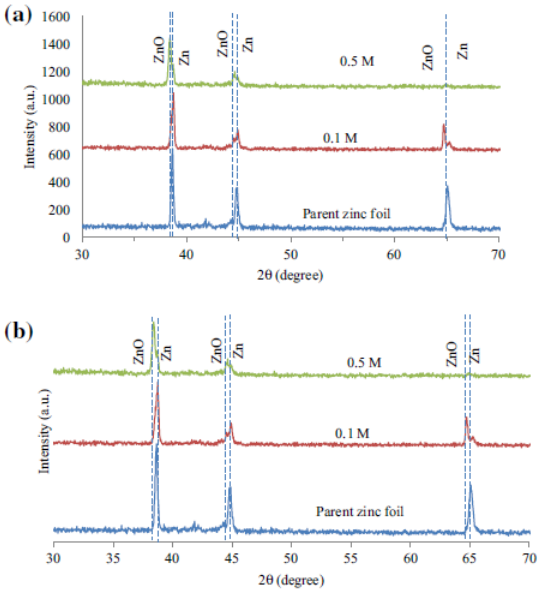
Pada penelitian yang dilakukan oleh (Ismail et al., 2013) pada anodisasi seng murni dengan variasi peningkatan konsentrasi elektrolit menggunakan larutan NaCl 30-150g/dm^3, dengan beda potensial 5,5V selama 120 menit. Hasil didapat pada peningkatan konsentrasi NaCl, jumlah Zn yang larut pada substrat juga ikut meningkat.



Gambar 4. 1 Pengaruh Konsentrasi Elektrolit pada Pelarutan Anodik Seng (Ismail et al., 2013)

Pada Gambar 4.1 penelitian tersebut terlihat ketika konsentrasi dari elektrolit ditingkatkan, jumlah jumlah Zn yang terlarut juga ikut meningkat. Ini merupakan hasil dari peningkatan konsentrasi ion klorida, yang merupakan ion agresif pada lapisan pasif yang terbentuk pada permukaan anoda, sehubungan dengan ion hidroksida yang merupakan ion yang memicu pada pembentukan lapisan pasif. Pada konsentrasi ion klorida yang tinggi, penguraian

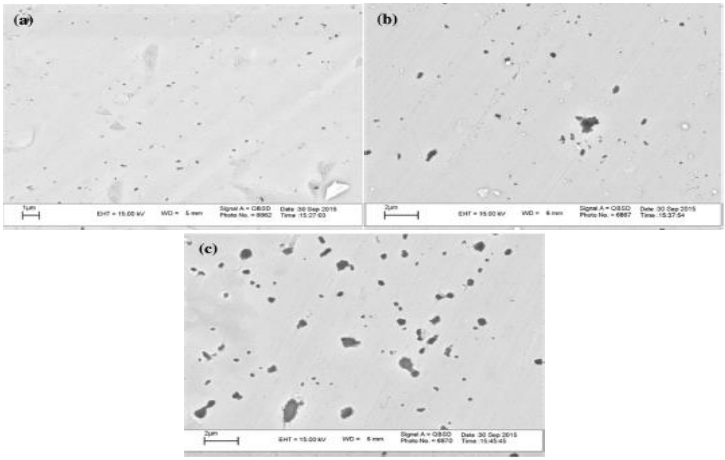
lapisan pasif lebih mudah dan permukaan baru anoda seng mengalami pelarutan (Ismail et al., 2013).



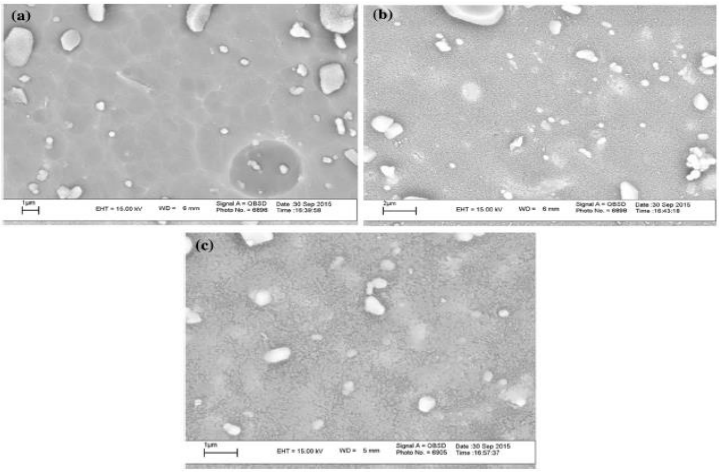
Gambar 4. 2 XRD Anodized Zinc (a) Oxalic Acid dan (b) NaOH Elektrolit pada 10V selama 60 menit (Gilani et al., 2016)

Pada Gambar 4.2 hasil XRD dari anodisasi Zn dengan dua jenis elektrolit, dimana hasil XRD menunjukan *peak* ditujukan pada keberadaan Zn dan ZnO. Keberadaan Zn disebabkan karena plat Zn yang digunakan sebagai substrat. Hasil XRD identik pada fasa *hexagonal* dengan struktur *wurtzite* (Gilani et al., 2016).

Pada penelitian yang dilakukan oleh (Gilani et al., 2016) melakukan uji SEM pada permukaan material *anodized zinc foil.* Anodisasi dilakukan menggunakan dua jenis elektrolit yaitu NaOH dan *oxalic acid* pada 10V selama 60 menit, menggunakan variasi konsentrasi elektrolit.



Gambar 4. 3 SEM *Anodized Zinc* dengan (a) 0,1 M (b) 0,3 M (c) 0,5 M NaOH dan Tegangan 10V selama 60 menit (Gilani et al., 2016)



Gambar 4. 4 SEM *Anodized Zinc* dengan (a) 0,1 M (b) 0,3 M (c) 0,5 M Oxalic Acid dan Tegangan 10V selama 60 menit (Gilani et al., 2016)

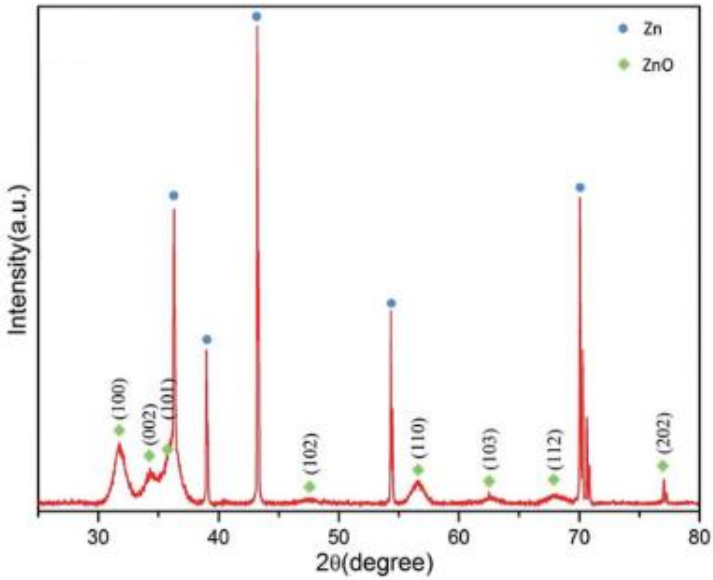
Pada Gambar 4.3 dan 4.4 merupakan hasil SEM anodisasi seng pada NaOH dan *oxalic acid*, pada hasil anodisasi menggunakan NaOH, ZnO nano dan lubang mikro terbentuk, sementara pada *oxalic acid* terbentuk susunan *nanoporous*..

Pada penggunaan NaOH sebagai elektrolit, pada Gambar 4.3 terlihat bahwa morfologi dari anodisasi seng dipengaruhi oleh konsentrasi elektrolit. Beberapa lubang terdapat pada permukaan hasil anodisasi, lubang ini menyebar secara acak pada permukaan anodisasi. Ukuran dari lubang tersebut meningkat ketika konsentrasi dari elektrolit ditingkatkan. Ini menandakan bahwa konsentrasi elektrolit sangat berpengaruh terhadap ukuran lubang.

Pada Gambar 4.4 partikel nano ZnO terbentuk pada 0.1, 0.3, dan 0.5 M *oxalic acid* dengan beda potensial 10V, pada anodisasi menggunakan *oxalic acid* tidak terbentuk lubang pada permukaan, melainkan struktur *nanoporous* yang terbentuk pada permukaan anodisasi.

Sesuai dengan hasil penelitian, terlihat pada penggunaan NaOH dapat menyebabkan korosi karena sifatnya yang tinggi terhadap korosi. NaOH adalah basa kuat dan dapat menyebabkan lubang pada permukaan seng. Sementara *oxalic acid* adalah asam organik lemah, dan kurang dapat mempengaruhi permukaan seng.

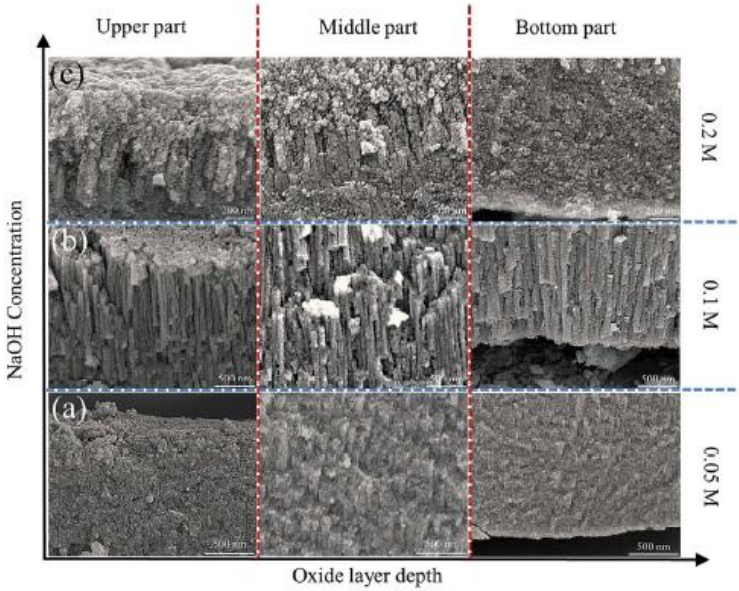
Penelitian terhadap morfologi dari anodisasi seng juga dilakukan oleh (Dong et al., 2016) dimana penelitian ini membahas morfologi *cross-section* dari anodisasi seng murni. Anodisasi dilakukan menggunakan elektrolit NaOH dengan beda potensial 12V selama 60 menit.



Gambar 4. 5 XRD Hasil Anodizing Zinc (Dong et al., 2016).

Hasil XRD material terlihat pada Gambar 4.5. XRD digunakan untuk mengkonfirmasi struktur kristal dari lapisan. *Peak* difraksi terdapat pada tanda biru dan hijau, dimana *peak* menunjukan kristal Zn dan ZnO. *Peak* difraksi menunjukan (100), (002), dan (101) *lattice planes.* Ini mengidentifikasikan sifat polikristalin dari lapisan anodik ZnO.

Hasil dari FESEM *cross-section* adalah sebagai berikut:



Gambar 4. 6 FESEM Cross-section Lapisan Anodik pada 12V selama 60 menit dengan Beda Konsentrasi NaOH (a) 0.05 M (b) 0.1 M dan (c) 0.2 M (Dong et al., 2016)

Pada Gambar 4.5 terlihat adanya susunan nanopartikel pada permukaan semua lapisan anodik dari variasi konsentrasi, namun morfologi yang didapat tidaklah sama. Pada saat meningkatnya konsentrasi NaOH, terjadi fenomena retak dan bahkan terdapat pori-pori. Terdapat pula perbedaan pada hasil struktur nano yang dihasilkan. Dengan meningkatnya NaOH menjadi 0.1 M, gumpalan nanostruktur terbentuk menjadi nanorod yang selaras. Namun pada hasil NaOH dengan konsentrasi 0.2 M tidak dapat menghasilkan lapisan ZnO yang tebal dan teratur. Nanorod ter-etsa permukaannya menjadi struktur granular seperti Gambar 4.5c. Fenomena ini terjadi karena disebabkan oleh jumlah ion OH^- yang bereaksi selama proses anodisasi. Pada konsentrasi rendah 0.05 M,

pasokan ion OH^- yang kurang akan menghasilkan lapisan oksida yang tipis. Laju oksidasi akan melampaui laju disolusi, penebalan lapisan oksida terjadi dan mengasilkan gumpalan nanostruktur. Dengan meningkatnya konsentrasi, ion OH^- lebih banyak bereaksi dan karenannya akan memperkuat laju oksidasi dan disolusi, sehingga menghasilkan kesetimbangan antara proses oksidasi dan disolusi.

Oleh karena itu, gumpalan nanostruktur akan ter-etsa menjadi nanorod yang halus. Namun, laju pertumbuhan lapisan oksida sangat cepat pada larutan dengan konsentrasi yang tinggi sehingga ketebalannya akan meningkat dengan cepat, membuat proses disolusi melampaui proses oksidasi. Akibatnya ketebalan lapisan oksida berkurang.

Pada penelitian oleh (Remešová et al., 2017), anodisasi dilakukan menggunakan material *zinc-titanium alloy*, dengan elektrolit KOH dan NaOH, parameter dari anodisasi diperlihatkan pada Tabel 4.1.

Tabel 4. 1 Parameter Proses Anodisasi (Remešová et al., 2017).

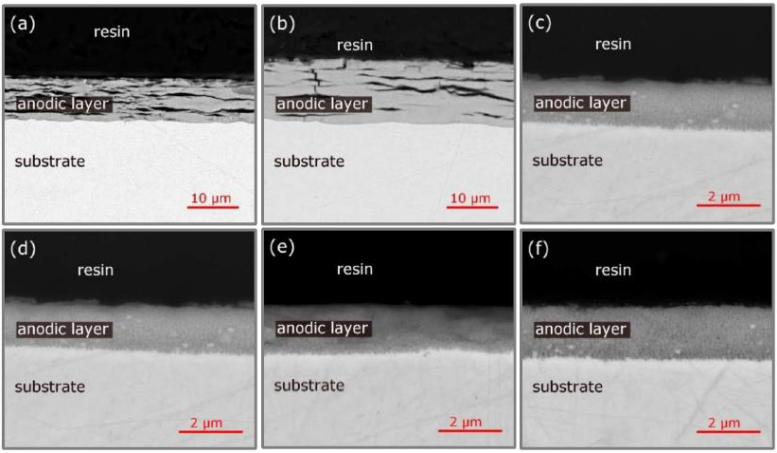
Sampel No.	Elektrolit	pH	Beda Potensial (V)	Waktu (menit)
1	0.04 M NaOH	12.6	50	15
2	0.10 M NaOH	13.0	50	15
3	0.30 M NaOH	13.3	6	15
4	0.30 M NaOH	13.3	4	15
5	0.30 M KOH	13.3	6	15
6	0.30 M NaOH	13.3	4	15

Tabel 4. 2 SEM-EDX Komposisi Kimia Lapisan yang Dihasilkan (Remešová et al., 2017)

	Base Material	1	2	3	4	5	6
Zn	91.7	55.5	56.2	61.6	61.8	60.6	61.8
O	6.5	44.5	43.8	38.4	38.2	39.4	38.2
Ti	< 1.8	Nb*	Nb*	Nb*	Nb*	Nb*	Nb*

*Nb = tidak terdeteksi

Dari data Tabel 4.2, hanya seng dan oksigen yang terdeteksi. Rendahnya konsentrasi oksigen pada sampel 3-6 disebabkan oleh rendahnya ketebalan lapisan yang dihasilkan.

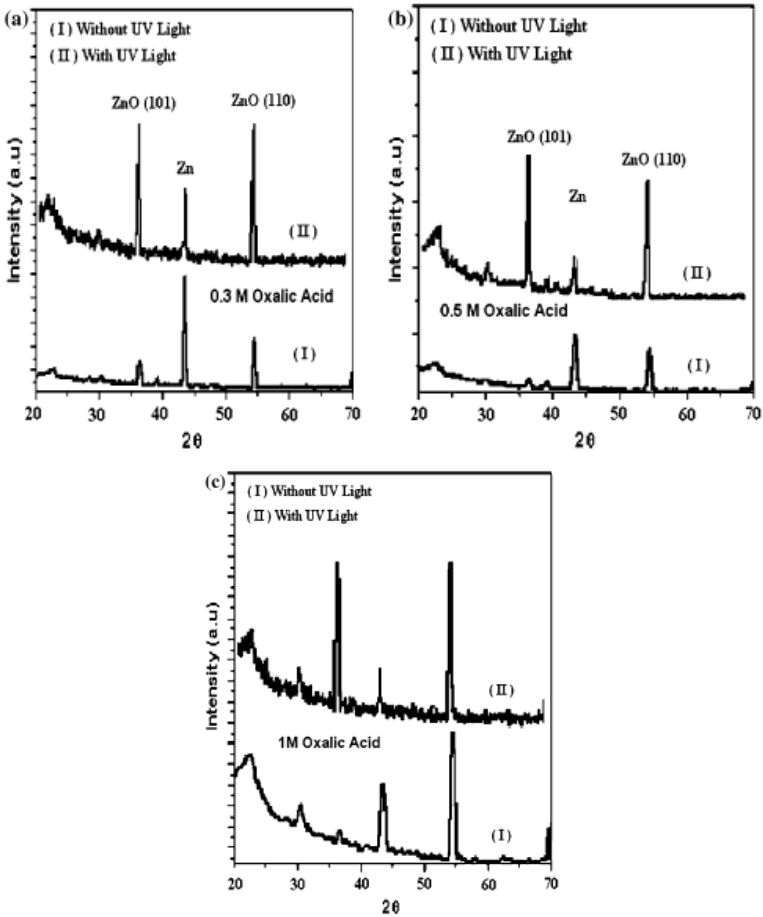


Gambar 4. 7 Morfologi *Cross-section* pada 20°C selama 15 menit (a) 0.04 M NaOH, 50 V, (b) 0.1 M NaOH, 50 V, (c) 0.3 M NaOH, 6 V, (d) 0.3 M NaOH, 4 V, (e) 0.3 M KOH, 6 V, dan (f) 0.3 M KOH, 4 V (Remešová et al., 2017).

Pengaruh konsentrasi elektrolit terhadap ketebalan lapisan pasif dapat dilihat dari hasil morfologi *cross-section* Gambar 4.6a dan 4.6b, pada penggunaan anodisasi menggunaan elektrolit NaOH dengan beda konsentrasi elektrolit yaitu 0.04 M NaOH dan 0.10 M

NaOH dengan beda potensial 50 V selama 15 menit. Ketebalan lapisan yang didapat pada proses anodisasi dengan parameter tersebut adalah 8.4 μm untuk konsentrasi 0.04 M NaOH dan 11.0 μm untuk konsentrasi 0.1 M NaOH. Ketika beda potensial yang tinggi digunakan, ketebalan lapisan menjadi lebih tebal dan terbentuk *microcracks.*

Pada penelitian lain oleh (Basu et al., 2008), penelitian ini membahas morfologi dan ketebalan yang dihasilkan oleh anodisasi seng pada beda lingkungan yaitu pada kondisi pencahayaan dan kondisi tanpa pencahayaan. Penelitian menggunakan material seng murni 99% sebagai anoda dan platina sebagai katoda. Anodisasi dilakukan pada variasi konsentrasi elektrolit *oxalic acid* (0,3 M, 0,5 M, dan 1 M) dengan beda potensial 10 V.



Gambar 4. 8 XRD Lapisan Tipis ZnO dari Anodizing Zinc pada (a) 0.3 M, (b) 0.5 M, dan (c) 1 M Oxalic Acid (Basu et al., 2008)

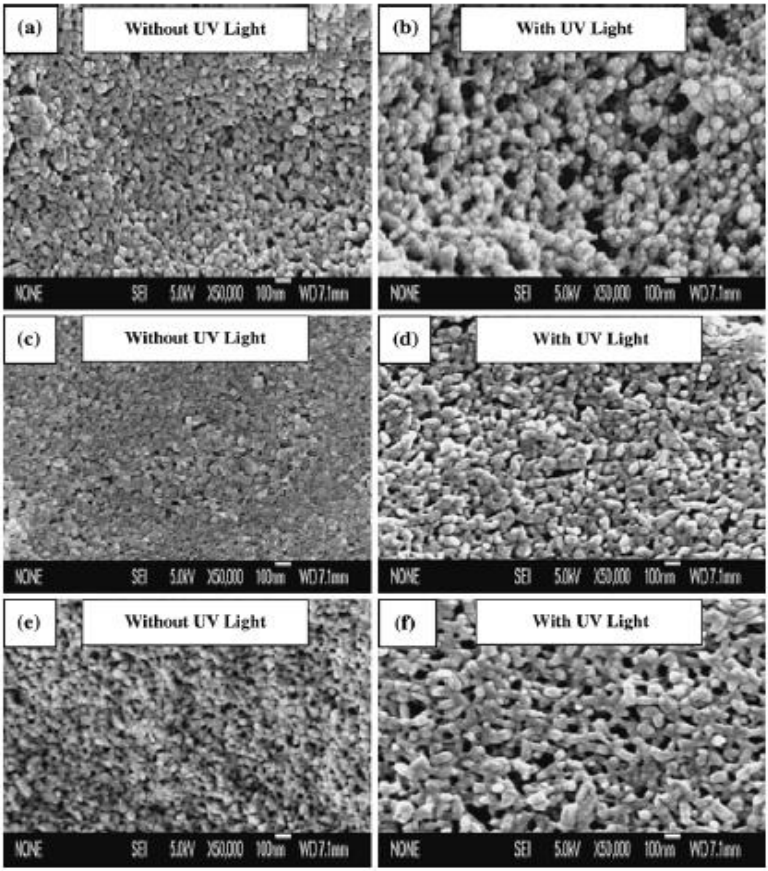
Pada Gambar 4.8 menunjukkan keberadaan fasa polikristalin dengan orientasi (101) dan (110). *Peak* (101) dan (110) pada keadaan sinar UV cenderung lebih tinggi intensitasnya. Peningkatan intensitas film yang dihasilkan oleh adanya sinar UV

terutama disebabkan oleh pertumbuhan kristal yang disebabkan oleh peningkatan laju oksidasi.

Tabel 4. 3 Pengaruh Sinar UV selama Anodizing pada Ukuran Kristal dan Ukuran Pori (Basu et al., 2008)

Konsentrasi Oxalic Acid (M)	Tanpa UV		UV	
	Ukuran Kristal (nm)	Diameter Pori (nm)	Ukuran Kristal (nm)	Diameter Pori (nm)
0.3	2.41	19-35	2.67	40-45
0.5	3.02	45-70	3.38	50-96
1	5.22	70-90	8.06	135-140

Ukuran rata-rata kristal dan diameter pori ditunjukkan pada Tabel 4.3. terlihat jelas pada Tabel dan Gambar 4.9 sinar UV memiliki peran pada pembentukan ukuran kristal dan pori lapisan tipis ZnO. Ukuran butir yang lebih besar pada konsentrasi *oxalic acid* yang lebih tinggi disebabkan oleh pertumbuhan butir yang lebih tinggi.



Gambar 4. 9 FESEM Lapisan Tipis ZnO pada 0.3 M (a,b), 0.5 M (c,d) dan 1 M (e,f) (Basu et al., 2008).

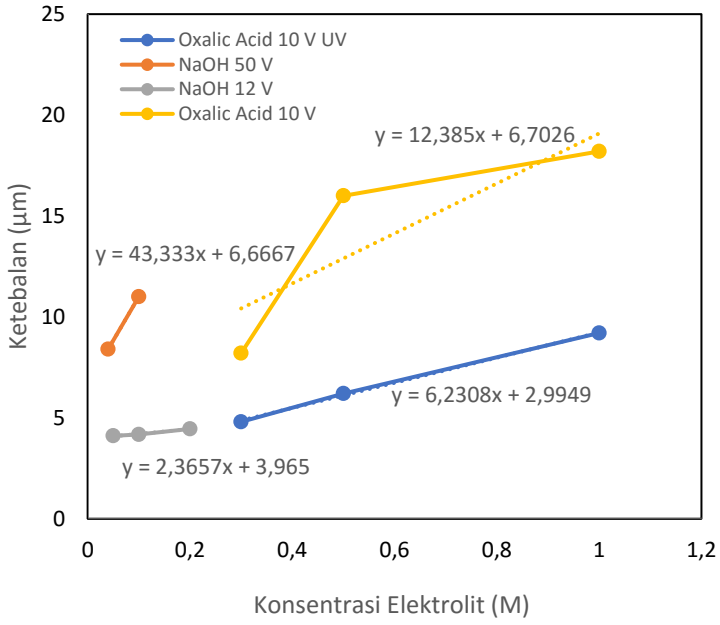
Tabel 4. 4 Ketebalan Lapisan Tipis ZnO dengan dan Tanpa UV (Basu et al., 2008)

Konsentrasi Oxalic Acid (M)	Tanpa UV	UV
	Ketebalan (μm)	Ketebalan (μm)
0.3	8.2	4.8
0.5	16	6.2
1	18.2	9.2

Dari Tabel 4.4 didapat bahwa pertumbuhan lapisan ZnO dengan sinar UV akan memiliki ketebalan yang lebih rendah. Pada peningkatan konsentrasi elektrolit terjadi peningkatan ketebalan pada lapisan ZnO.

Tabel 4. 5 Hasil Ketebalan Lapisan Pasif pada Jurnal.

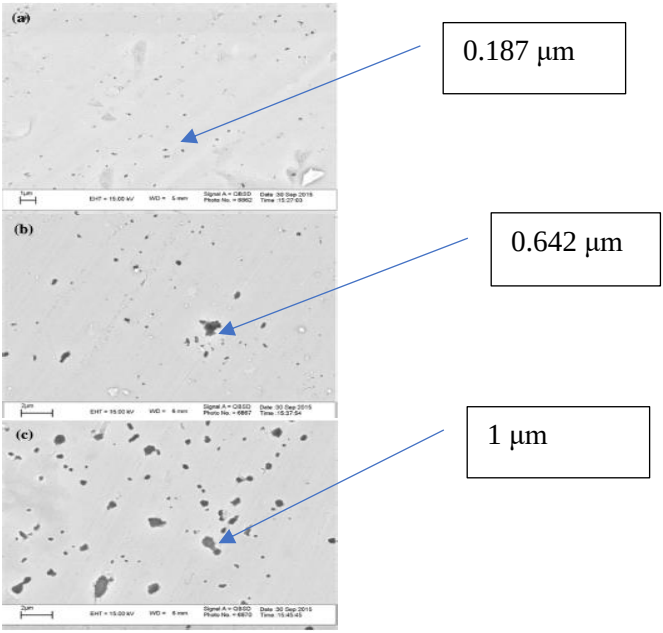
Jurnal	**Konsentrasi Elektrolit**	**Beda Potensial (V)**	**Ketebalan (μm)**	
(Dong et al., 2016)	0,05 M NaOH	12	4,103	
	0,10 M NaOH		4,172	
	0,2 M NaOH		4,448	
(Remešová et al., 2017)	0,04 M NaOH	50	8,4	
	0,10 M NaOH		11,0	
(Basu et al., 2008)	0,3 M Oxalic Acid	10	8,2	4,8 (UV)
	0,5 M Oxalic Acid		16	6,2 (UV)
	1 M Oxalic Acid		18,2	9,2 (UV)



Gambar 4. 10 Pengaruh Konsentrasi Elektrolit terhadap Ketebalan Lapisan

Tabel 4. 6 Hasil Morfologi Lapisan Pasif pada Jurnal.

Jurnal	Konsentrasi Elektrolit	Beda Potensial (V)	Morfologi
(Gilani et al., 2016)	0.1 M NaOH	10	Lubang terbentuk pada permukaan morfologi lapisan oksida. Lubang meningkat seiring dengan meningkatnya konsentrasi elektrolit.
	0.3 M NaOH		
	0.5 M NaOH		
	0.1 M Oxalic Acid	10	Terbentuk *nanoporous* pada permukaan morfologi lapisan oksida.
	0.3 M Oxalic Acid		
	0.5 M Oxalic Acid		
(Dong et al., 2016)	0.05 M NaOH	12	Menghasilkan gumpalan nanostruktur
	0.1 M NaOH		Struktur menjadi *nanorod* yang selaras.
	0.2 M NaOH		Lapisan tebal, tetapi struktur yang dihasilkan tidak teratur.
(Remešová et al., 2017)	0.04 M NaOH	50	Terbentuk *microcracks* pada morfologi *cross-section* lapisan.
	0.1 M NaOH		
(Basu et al., 2008)	0.3 M Oxalic Acid	10	19-45 nm pori.
	0.5 M Oxalic Acid		45-96 nm pori.
	1 M Oxalic Acid		70-140 nm pori.



Gambar 4. 11 Ukuran Lubang pada Hasil Anodisasi (a) 0,1 M (b) 0,3 M (c) 0,5 M NaOH dan Tegangan 10V selama 60 menit

Dari hasil pengaruh konsentrasi elektrolit yang didapat dari beberapa peneliti diatas, dapat dianalisis terdapat beberapa pengaruh konsentrasi elektrolit dari hasil penelitian tersebut, dimana pada penelitian yang dilakukan oleh (Ismail et al., 2013) pada pengaruh konsentrasi elektrolit menggunakan NaCl terhadap jumlah *zinc* yang terlarut didapat ketika konsentrasi elektrolit ditingkatkan, maka jumlah *zinc* yang terlarut akan ikut meningkat. Ini selaras pada hasil penelitian morfologi ketika konsentrasi elektrolit tinggi maka proses disolusi pada persamaan 4.2 akan lebih cepat terjadi sehingga substrat akan ter-etsa menghasilkan lapisan yang tidak teratur dan bahkan ketebalannya tidak dapat lebih tinggi. Pada Tabel 4.5 dan Gambar 4.10 dapat terlihat pengaruh dari konsentrasi elektrolit terhadap ketebalan lapisan

yang dihasilkan, dari Tabel dan grafik tersebut terlihat pada peningkatan konsentrasi elektrolit akan meningkatkan ketebalan pada lapisan pasif secara linier, namun dari hasil tersebut dapat terlihat bahwa ketebalan yang dihasilkan bukan hanya disebabkan oleh konsentrasi elektrolit tetapi juga dapat dipengaruhi oleh beda potensial dan waktu anodisasi. Ketika pada penggunaan 0.1 M NaOH ketebalan yang dihasilkan berbeda, ini dapat disebabkan karena perbedaan dari beda potensial dan waktu yang digunakan. Ini terjadi karena pertumbuhan lapisan oksida sangat cepat pada konsentrasi dan beda potensial yang tinggi, sehingga reaksi seng dengan OH^- atau reaksi oksidasi akan lebih cepat, dan menghasilkan lapisan yang lebih tebal. Ketebalan yang dihasilkan juga dapat berbeda pada penggunaan elektrolit yang berbeda, ini terlihat ketika penggunaan elektrolit *oxalic acid* 12 V dapat menghasilkan ketebalan yang lebih tinggi dibanding NaOH 50 V.

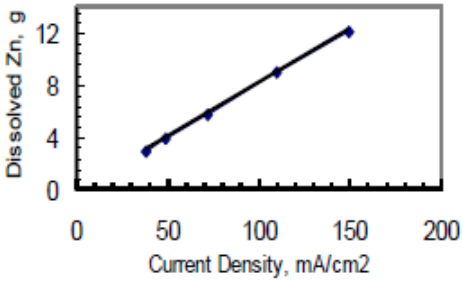
Pada pengaruh konsentrasi elektrolit terhadap morfologi yang dihasilkan, pada Tabel 4.6 terlihat pada peningkatan konsentrasi elektrolit akan mempengaruhi morfologi yang dihasilkan oleh anodisasi seng. Pada Gambar 4.11 terlihat morfologi dari permukaan anodisasi, terlihat pada penggunaan NaOH atau basa kuat ketika konsentrasi NaOH ditingkatkan maka lubang yang terbentuk akan lebih besar. Namun berbeda hasil ketika penggunaan *oxalic acid* pada peningkatan konsentrasi tidak terlalu berpengaruh terhadap permukaan morfologi yang dihasilkan, pada penggunaan *oxalic acid* terbentuk *nanoporous* pada permukaan lapisan. Hasil ini juga sejalan dengan hasil pada Gambar 4.9 oleh (Basu et al., 2008) dimana pada peningkatan konsentrasi elektrolit dapat menghasilkan *nanoporous* yang lebih besar pada permukaan lapisan anodik. Dari hasil tersebut jenis elektrolit dapat menghasilkan perbedaan pada hasil morfologi permukaan yang dihasilkan. Pada penelitian oleh (Dong et al., 2016) dan (Remešová et al., 2017) morfologi *cross-section* yang dihasilkan terdapat perbedaan pada penggunaan 0.1 M NaOH dimana pada penelitian (Dong et al., 2016) dihasilkan nanostruktur yang selaras, tetapi pada penelitian oleh (Remešová et al., 2017)

morfologi terjadi *micro-cracks*, ini terjadi karena pengaruh dari beda potensial yang digunakan dimana *micro-cracks* terjadi pada beda potensial yang tinggi.

4.2 Pengaruh Peningkatan Beda Potensial pada Anodizing

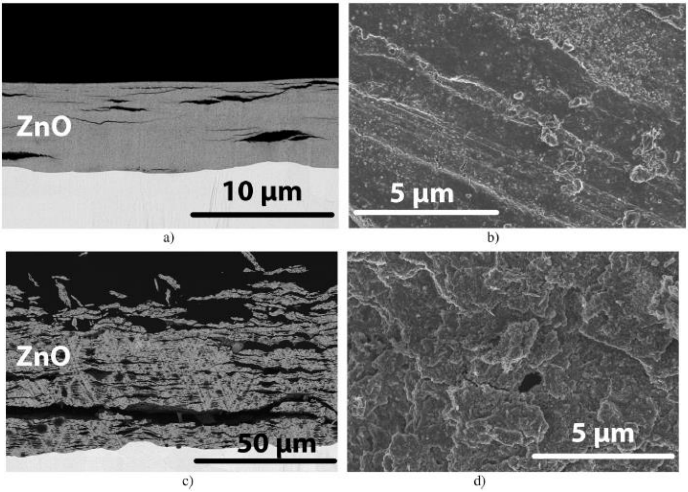
Morfologi dari lapisan tipis ZnO sangat dipengaruhi oleh beda potensial pada *anodizing* (Gilani et al., 2016). Pada tegangan rendah, beberapa proses anodisasi seng dalam media alkali banyak dilakukan untuk sifat anti korosi dan aplikasi fotokatalik (Rocca et al., 2015).

Pada penelitian oleh (Ismail et al., 2013) untuk mengetahui pengaruh dari kepadatan arus terhadap Zn yang terlarut, didapat data grafik seperti pada Gambar 4.12 dimana pada grafik menunjukan bahwa pada peningkatan kepadatan arus akan meningkatkan pula massa dari Zn yang terlarut. Penelitian dilakukan pada konsentrasi NaCl 90 g/l, temperatur 25°C, pH = 13, dan menggunakan katoda *stainless steel*.



Gambar 4. 12 Pengaruh Kepadatan Arus terhadap Pelarutan Zinc secara Anodik (Ismail et al., 2013)

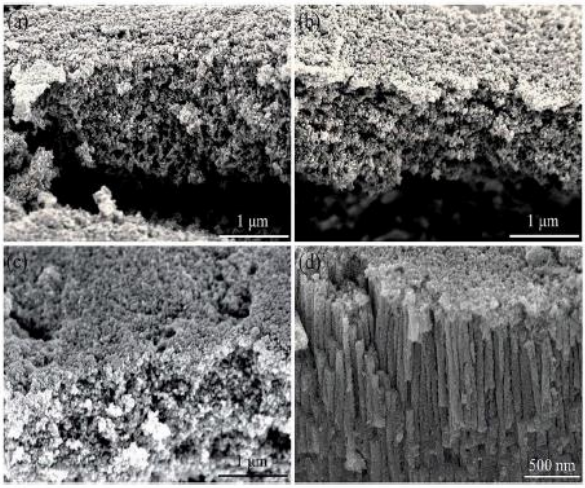
Pengaruh morfologi dijelaskan oleh (Rocca et al., 2015), melakukan penelitian pada morfologi *cross-section* anodisasi seng dengan variasi beda potensial pada 0.05 M KOH selama 15 menit. Hasil dari penelitian tersebut didapat hasil metalografi sebagai berikut:



Gambar 4. 13 SEM Metalografi Cross-section (a,c) dan Permukaan (b,d) Anodisasi Zinc pada 50V (a,b) dan 200V (c,d) dalam 0.05 M KOH selama 15 Menit (Rocca et al., 2015)

Pada Gambar 4.13 metalografi *cross-section* dengan 50V, lapisan homogen setebal 6 µm terbentuk setelah proses anodisasi, dan hanya terbentuk kristal *zincite.* Retak banyak terjadi pada hasil anodisasi, tetapi distribusi seng oksida merata, dan sangat teratur pada permukaan. Pada anodisasi menggunakan beda potensial 200 V selama 15 menit, lapisan oksida terbentuk yaitu ZnO, tetapi jauh lebih tebal yaitu sekitar 50 µm. Pada 200V ini struktur terlihat terkelupas dan berlubang, yang dapat disebabkan oleh cepatnya reaksi dengan oksigen dan *micro-arcs* yang terjadi pada kondisi tersebut.

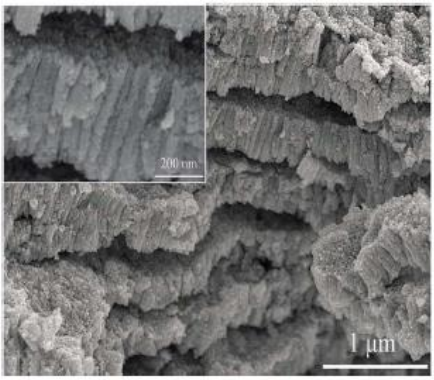
Pada penelitian lain yang membahas morfologi nanostruktur dari *anodized zinc* oleh (Dong et al., 2016) didapat data hasil SEM sebagai berikut:



Gambar 4. 14 FESEM Cross-section Lapisan Tipis Anodik pada 0.1 M NaOH selama 60 Menit dengan Variasi Beda Potensial (a) 5V (b) 7V (c) 9V dan (d) 12V (Dong et al., 2016)

Pada Gambar 4.14 nanopartikel terbentuk pada permukaan lapisan anodik ZnO, tetapi morfologi dibawah lapisan granular dari masing-masing beda potensial berbeda. Pada Gambar 4.14a-c menunjukan morfologi berpori yang diperoleh dari 5V, 7V, dan 9V memiliki ketebalan rata-rata 1,6 μm. Ketika beda potensial dinaikkan hingga 12V, sel lurus dengan ketebalan 6-7 μm terbentuk.

Ketika beda potensial dinaikkan hingga 20, 30, dan 40V, lapisan ZnO menjadi lebih tebal, namun terjadi retakan pada area *cross-section* seperti pada Gambar 4.15 ketidakaturan dari lapisan anodik disebabkan oleh cepatnya pertumbuhan lapisan dan cepatnya produksi dari oksigen selama anodisasi. Proses anodisasi sangat cepat pada beda potensial tinggi, oksigen terlepas dengan cepat.



Gambar 4. 15 FESEM Cross-section Lapisan Anodik pada 0.1 M NaOH selama 6 menit pada 40V (Dong et al., 2016)

Evolusi oksigen yang cepat dapat mengganggu tekanan lokal dari antarmuka oksida/substrat. Lebih banyak celah atau retakan yang terjadi didalam lapisan dengan meningkatnya beda potensial, karena jumlah pembebasan oksigen yang lebih besar.

Pada penelitian yang dilakukan oleh (Ajeel & Ahmed, 2017) untuk menentukan pengaruh dari variasi beda potensial terhadap ketebalan, kekasaran, dan laju korosi yang dihasilkan. Penelitian dilakukan menggunakan material seng murni 99.98%, dengan konsentrasi larutan 15% NH_4F selama 10 menit.

Hasil ketebalan didapat data berupa Tabel yang didapat dengan hasil sebagai berikut:

Tabel 4. 7 Ketebalan Lapisan pada Variasi Beda Potensial (Ajeel & Ahmed, 2017)

No.	Beda Potensial Volt	Ketebalan Lapisan µm
1	as	0
2	2	197
3	4	232
4	6	240
5	8	270
6	10	285

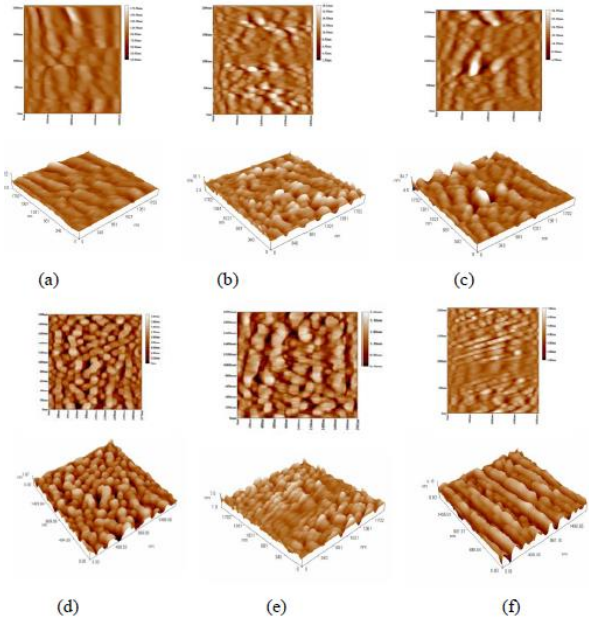
Tabel 4.7 menunjukkan semakin tinggi beda potensial yang diaplikasikan maka semakin tebal lapisan pasif yang terbentuk pada hasil anodisasi. Peningkatan beda potensial akan meningkatkan laju pertumbuhan ketebalan lapisan anodik (Diomidis & Celis, 2005). Ketebalan ZnO meningkat dengan meningkatnya beda potensial, ketebalan lapisan oksida meningkat ke nilai maksimum dimana beda potensial yang tinggi akan mempercepat reaksi oksigen dengan seng untuk menciptakan seng oksida.

Tabel 4. 8 Nilai Kekasaran Anodized Zinc pada Perbedaan Beda Potensial (Ajeel & Ahmed, 2017)

No	Beda Potensial Volt	Kekasaran Permukaan nm
1	As	0.2
2	2	0.9
3	4	1.3
4	6	1.7
5	8	2.2
6	10	2.9

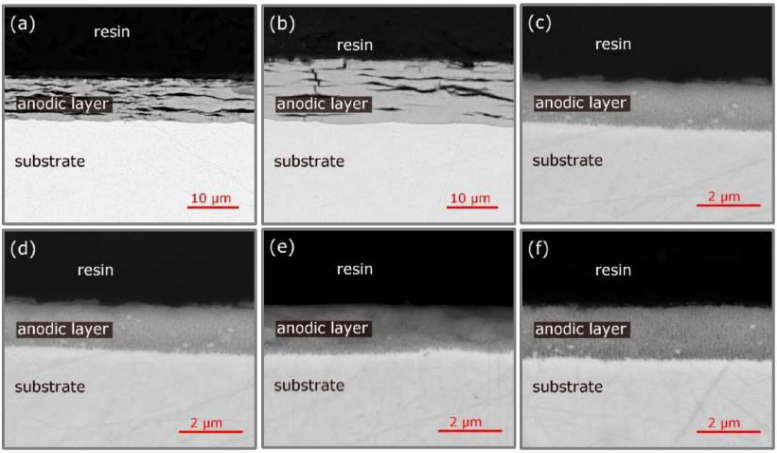
Kekasaran pada permukaan lapisan diperoleh dari *Atomic Force Microscope* (AFM) pada Gambar 4.16. pada Gambar AFM dapat terlihat lapisan kasar terbentuk pada permukaan *zinc* setelah anodisasi. Kekerasan meningkat seiring dengan lamanya waktu karena terbentuknya lapisan anodik pada permukaan.

Kekasaran meningkat dengan meningkatnya beda potensial pada anodisasi. Pada Tabel 4.8 menunjukan pengaruh beda potensial pada anodisasi terhadap kekasaran yang dihasilkan. Ini terjadi karena cepatnya pertumbuhan lapisan pasif yang akan memicu pertumbuhan dari lapisan tipis *nanoporous*. Peningkatan kekasaran permukaan lapisan tipis disebabkan oleh permukaan lapisan yang menjadi *nanoporous* setelah proses elektrokimia (Achour et al., 2014)



Gambar 4. 16 2D dan 3D AFM Anodized Zinc dengan Variasi Beda Potensial (a) 0V (b) 2V (c) 4V (d) 6V (e) 8V (f) 10V (Ajeel & Ahmed, 2017).

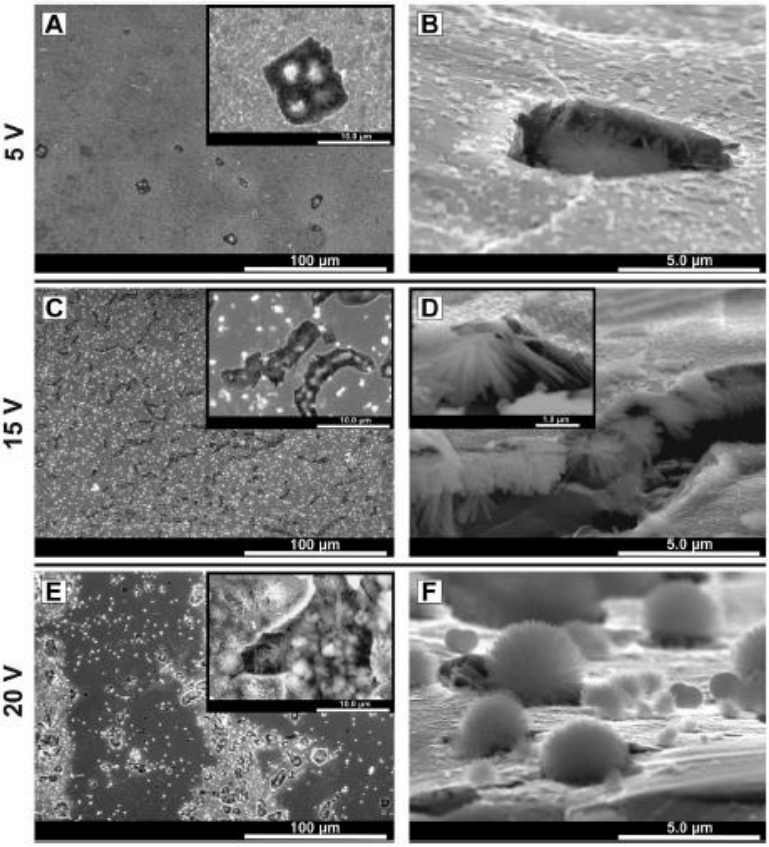
Pada penelitian lain oleh (Remešová et al., 2017) anodisasi dilakukan menggunakan material *zinc-titanium alloy*, dengan elektrolit KOH dan NaOH, parameter dari anodisasi diperlihatkan pada Tabel 4.1 dan hasil morfologi *cross-section* pada Gambar 4.17.



Gambar 4. 17 Morfologi *Cross-section* pada 20°C selama 15 menit (a) 0.04 M NaOH, 50 V, (b) 0.1 M NaOH, 50 V, (c) 0.3 M NaOH, 6 V, (d) 0.3 M NaOH, 4 V, (e) 0.3 M KOH, 6 V, dan (f) 0.3 M KOH, 4 V (Remešová et al., 2017)

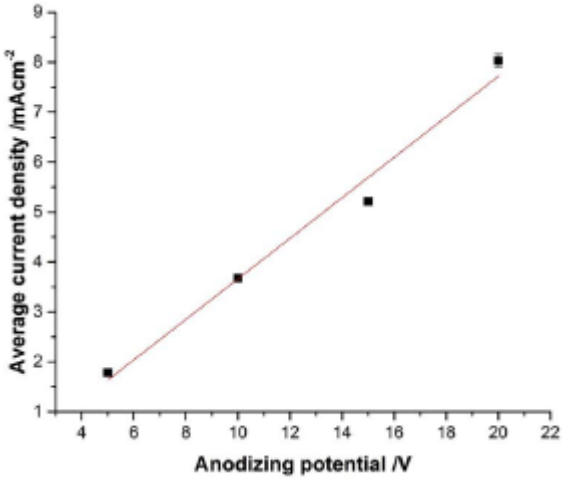
Pengaruh parameter anodisasi terhadap ketebalan lapisan terlihat pada Gambar 4.17 morfologi *cross-section.* Ketebalan lapisan dipengaruhi oleh parameter proses yaitu beda potensial dan konsentrasi elektrolit. Pada Gambar 4.6 terlihat apabila beda potensial yang lebih tinggi digunakan, akan menghasilkan lapisan yang lebih tebal. Peningkatan beda potensial dari 4 V ke 6 V menggunakan 0.3 M NaOH, akan meningkatkan ketebalan lapisan dari 1.1 µm menjadi 1.4 µm. Ketika beda potensial yang tinggi digunakan, ketebalan lapisan menjadi lebih tebal dan terbentuk *microcracks.*

Pada penelitian lainnya oleh (Zaraska et al., 2017), melakukan *anodizing* pada larutan elektrolit bikarbonat. Penelitian menggunakan substrat seng murni 99.95%yang dipotong menjadi spesimen berukuran 2.5 cm x 1.5 cm sebagai anoda dan platina sebagai katoda.

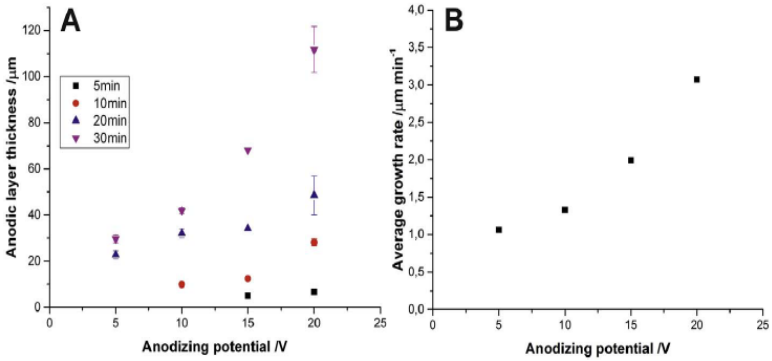


Gambar 4. 18 FESEM Anodizing Zinc selama 1 Menit pada 0.005M $NaHCO_3$ pada Perbedaan Beda Potensial (Zaraska et al., 2017).

Pada Gambar 4.18 merupakan hasil FESEM dari *anodizing* selama 1 menit dengan variasi beda potensial 5, 15, dan 20 V. Pada Gambar terlihat pada penggunaan 5 V terdapat beberapa lubang yang terbentuk setelah perlakuan. Pada penggunaan potensial rendah akan menurunkan nilai dari rapat arus, sehingga hasil dari anodik disolusi dari Zn akan rendah. Dapat terlihat pada peningkatan beda potensial akan menghasilkan lubang yang lebih banyak pada permukaan Zn. Ini terjadi karena pada peningkatan beda potensial akan meningkatkan rapat arus dan laju disolusi dari logam. Seperti pada Gambar 4.19 hubungan beda potensial pada *anodizing* terhadap rapat arus.



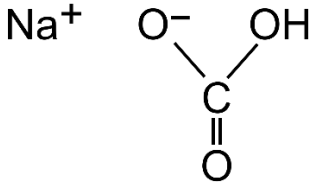
Gambar 4. 19 Grafik Rapat Arus terhadap Beda Potensial Anodizing (Zaraska et al., 2017).



Gambar 4. 20 Rata-rata Ketebalan Lapisan Anodik yang Terbentuk oleh Anodizing Zinc pada 0.005 M $NaHCO_3$, pada Variasi Beda Potensial (A), dan Rata-rata Laju Pertumbuhan pada Variasi Beda Potensial (B) (Zaraska et al., 2017).

Lebih cepatnya laju pertumbuhan struktur lapisan pada beda potensial yang tinggi dikonfirmasi dengan nilai dari ketebalan lapisan anodik dan rata-rata laju pertumbuhan pada Gambar 4.20. Pada penggunaan beda potensial yang terlalu tinggi dapat menghasilkan formasi struktur lapisan anodik yang pecah/retak yang disebabkan oleh evolusi gas oksigen pada anoda (Miles et al., 2015).

Reaksi pembentukan ZnO pada elektrolit $NaHCO_3$ (Batista-Grau et al., 2020)



Gambar 4. 21 Struktur $NaHCO_3$.

$Zn \rightarrow Zn^{2+} + 2e^{-}$.....(4.1)

$Zn^{2+} + H_2O \leftrightarrow Zn(OH)^{+} + H^{+}$.....(4.2)

$5Zn(OH)^{+} + 2\ HCO_3^{-} + H2O \leftrightarrow Zn_5(OH)_6(CO_3)_2 + 3\ H^{+}$...(4.3)

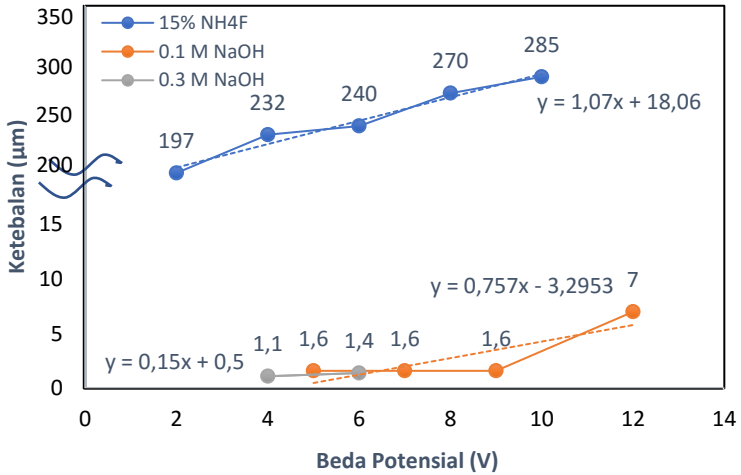
$2H^{+} + 2e^{-} \rightarrow H_2\ (g)$.....(4.4)

$Zn_5(OH)_6(CO_3)_2 \rightarrow 5\ ZnO + 3\ H_2O + 2\ CO_2$.....(4.5)

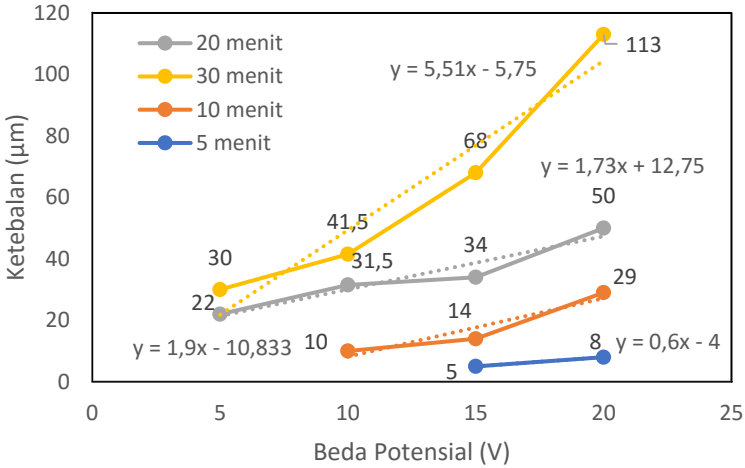
Oksidasi terjadi pada anoda pada persamaan 4.1, kemudian terjadi hidrolisasi Zn^{2+} membentuk *hydroxyl complex* pada keberadaan ion HCO_3^{-} membentuk *Hydrozincite* pada persamaan 4.2 dan 4.3. Sementara pada katoda proton membentuk gas hidrogen pada persamaan 4.4. Setelah proses *anodizing* dilakukan *thermal annealing* untuk mengkonversi *hydrozincite* menjadi ZnO dengan reaksi pada persamaan 4.5 (Batista-Grau et al., 2020).

Tabel 4. 9 Ketebalan Lapisan Pasif pada Jurnal.

Jurnal	Konsentrasi Elektrolit	Beda Potensial (V)	Ketebalan (µm)
(Rocca et al., 2015)	0.05 M KOH	50	6
		200	50
(Dong et al., 2016)	0.1 M NaOH	5	1,6
		7	1,6
		9	1,6
		12	7
(Ajeel & Ahmed, 2017)	15% NH_4F	2	197
		4	232
		6	240
		8	270
		10	285
(Remešová et al., 2017)	0.3 M NaOH	4	1,1
		6	1,4
(Zaraska et al., 2017)	0.005 M $NaHCO_3$ 30 menit	5	30
		10	41,5
		15	68
		20	113
	0.005 M $NaHCO_3$ 20 menit	5	22
		10	31,5
		15	34
		20	50
	0.005 M $NaHCO_3$ 10 menit	10	10
		15	14
		20	29
	0.005 M $NaHCO_3$ 5 menit	15	5
		20	8



Gambar 4. 22 Pengaruh Konsentrasi Elektrolit terhadap Ketebalan Lapisan



Gambar 4. 23 Ketebalan Lapisan pada Penggunaan Elektrolit $NaHCO_3$..

Tabel 4. 10 Hasil Morfologi Lapisan Pasif pada Jurnal.

Jurnal	Konsentrasi Elektrolit	Beda Potensial (V)	Morfologi
(Rocca et al., 2015)	0.05 M KOH	50	Retak terjadi, tetapi distribusi seng oksida merata dan teratur.pada permukaan
		200	Terjadi fenomena struktur berlubang dan terkelupas.
(Dong et al., 2016)	0.1 M NaOH	5	Morfologi berpentuk pori-pori.
		7	
		9	
		12	Terbentuk sel lurus dan teratur.
(Ajeel & Ahmed, 2017)	15% NH_4F	2	Kekasaran meningkat seiring dengan meningkatnya beda potensial. Terbentuknya struktur *nanoporous.*
		4	
		6	
		8	
		10	
(Remešová et al., 2017)	0.04 mol/L NaOH	50	Pada beda potensial yang tinggi yaitu 50 V terbentuk retak pada permukaan lapisan oksida.
	0.3 mol/L NaOH	4	
		6	

Pada Tabel 4.9, Gambar 4.22 dan 4.23 terlihat pengaruh dari beda potensial yang digunakan terhadap ketebalan lapisan pasif yang terbentuk. Dari 5 jurnal tersebut didapat ketika peningkatan beda potensial terjadi maka ketebalan dari lapisan akan meningkat secara linier. Ini terjadi karena pada beda potensial yang tinggi, reaksi oksigen dan seng akan lebih cepat terjadi sehingga lapisan yang dihasilkan akan lebih tebal dibandingkan dengan potensial

rendah. Tetapi ketika beda potensial yang tinggi digunakan, maka disolusi seng akan lebih cepat terjadi sehingga dapat menyebabkan permukaan lapisan menjadi tidak teratur dan menyebabkan ketebalan lapisan tidak meningkat. Terlihat pada Tabel 4.9 pada penggunaan 0.05 M KOH terhadap 0.1 M NaOH dan 0.3 M NaOH bahwa beda potensial mengambil peranan penting dalam pembentukan ketebalan lapisan pasif meskipun dari konsentrasi yang digunakan lebih rendah tetapi ketebalan yang dihasilkan lebih tinggi. Data lain yang didapat yaitu jenis elektrolit dan konsentrasi sangat dapat mempengaruhi ketebalan lapisan yang dihasilkan, ini terlihat dari data Tabel 4.9 pada penggunaan 15% NH_4F yang menghasilkan ketebalan yang sangat tinggi dibanding yang lainnya meskipun pada penggunaan beda potensial rendah. Hasil lainnya yaitu pada pengunaan 0.1 M NaOH dan 0.3 M NaOH, hasil yang didapat yaitu ketebalan lapisan pada penggunaan 0.1 M NaOH lebih tinggi, walaupun beda potensial yang digunakan kurang lebih sama, tetapi faktor lainnya yaitu pada lamanya waktu anodisasi. Pada penggunaan 0.1 M NaOH waktu yang digunakan yaitu 60 menit dibanding 0.3 M NaOH yang menggunakan waktu selama 15 menit. Begitupun pada hasil Gambar 4.23 dimana waktu dan beda potensial mengambil peranan penting dalam pembentukan lapisan oksida yang lebih tebal secara linier.

Pada Tabel 4.10 dapat terlihat dari masing-masing jurnal pengaruh beda potensial terhadap morfologi yang terbentuk. Dari jurnal-jurnal tersebut terlihat bahwa semakin tinggi beda potensial yang digunakan hasil dari morfologi yang dihasilkan menjadi tidak teratur, dan terjadi *crack*. Pada data Tabel 4.10 didapat pada penggunaan beda potensial dibawah 10 V struktur yang dihasilkan belum sempurna dan terbentuk pori. Ketika beda potensial yang digunakan tinggi yaitu diatas 50 V, terlihat pada 3 data yang menggunakan beda potensial tersebut hasil yang didapat yaitu terbentuk retak pada morfologi lapisan. Hasil ini didukung oleh data dimana semakin tinggi beda potensial maka akan semakin kasar permukaan lapisan akibat semakin besarnya *nanoporous* yang terbentuk.

4.3 Laju Korosi

Korosi adalah proses alami yang mengurangi ikatan energi dalam logam dengan hasil akhir logam teroksidasi ketika logam kehilangan elektron (Anthony et al., 2016). Laju korosi disebabkan karena adanya kation dan anion pada air seperti klorida, sulfat, kalsium, magnesium, dan sodium. Korosi logam pada lingkungan air disebabkan oleh jumlah oksigen terlarut (Kapupara et al., 2011).

Pada penelitian yang dilakukan oleh (Ajeel & Ahmed, 2017) menggunakan metode *anodizing* pada material *pure zinc* menggunakan variasi beda potensial, dengan perhitungan laju korosi menggunakan metode *potentiodynamic*. *Anodizing* dilakukan menggunakan larutan 15% NH_4F.

Tabel 4. 11 Komposisi Kimia Zinc Murni (Ajeel & Ahmed, 2017)

Logam	Zn	Al	Si	P	Cu
Zinc murni	98.81	0.22	0.06	0.26	0.65

Tabel 4. 12 Laju Korosi Anodizing Zinc pada Beda Potensial (Ajeel & Ahmed, 2017)

No	Voltase	Time (menir)	I_{corr} mA/cm2	E_{corr} mv	C.R. Mpy	C.R Mdd
1	0	10	1,65	-1018	0,976	4,849
2	2	10	1,59	-1019	0,941	4,676
3	4	10	1,54	-1062	0,911	4,526
4	6	10	1,05	-1028	0,621	3,086
5	8	10	0,145	-999	0,086	0,427
6	10	10	0,005	-31,8	0,003	0,0149

Pada Tabel 4.12, terlihat pada penambahan beda potensial proses *anodizing* akan menurunkan icorr dan laju korosi. Tingkat penurunan icorr dan laju korosi disebabkan pada peningkatan beda

potensial yang diaplikasikan pada *anodizing.* Semakin tinggi beda potensial, semakin rendah pula icorr dan laju korosi.

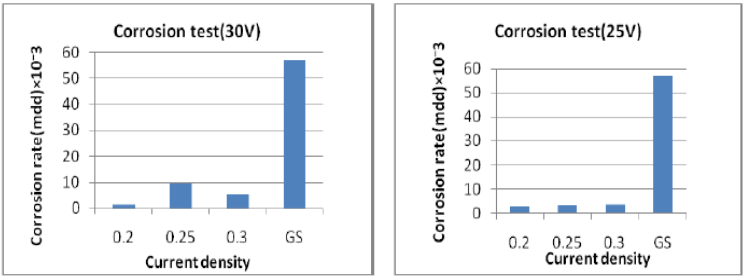
Semakin rendahnya laju korosi bisa disebabkan juga oleh tebalnya lapisan oksida yang terbentuk, pada kasus peningkatan beda potensial, lapisan oksida yang terbentuk akan semakin tebal (Dong et al., 2016), ini disebabkan ketika beda potensial meningkat maka akan semakin cepat reaksi yang terjadi pada *anodizing.* Lapisan tersebut yang akan memperlambat korosi yang terjadi pada material.

Pada penelitian oleh (Imam et al., 2011) menggunakan baja *hot-dip galvanized* kemudian dilakukan *double coating* menggunakan metode *anodizing. Anodizing* dilakukan menggunakan tiga jenis larutan yang berbeda dengan komposisi;

Tabel 4. 13 Komposisi Larutan Anodizing (Imam et al., 2011)

Bath A	Bath B	Bath C
$Na_2Si_2O_3$.9H2O 0.75M	Na2Si2O3.9H2O 0.75M	Na2Si2O3.9H2O 0.75M
NaOH 0.75 M	NaOH 0.20 M	NaOH 0.20 M
$Na_2B_2O_7.10H_2O$ 0.2 M	NaOH 0.20 M	NaNO2 0.75 M
		NiSO4.9H2O Trace

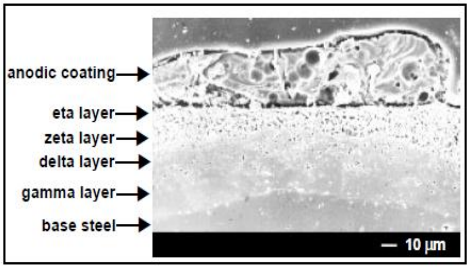
Laju korosi dilakukan menggunakan standar *immersion* pada larutan 5 wt.% NaCl. Hasil laju korosi ditampilkan dalam bentuk mg/dm^2/day pada Gambar 4.24.



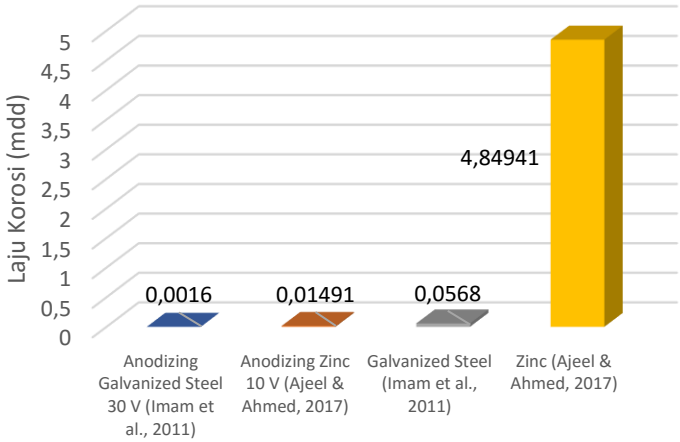
Gambar 4. 24 Laju Korosi Anodized Coating pada Bath A dengan Beda Potensial 25V dan 30V (Imam et al., 2011)

Hasil data laju korosi menunjukan ketahanan korosi dari hasil sampel *anodizing coating* lebih tinggi sekitar 6-15 kali dibanding pelapisan yang hanya menggunakan *galvanizing*. Lapisan pasif yang terbentuk selama *anodizing* yang menyebabkan peningkatan ketahanan korosi (Imam et al., 2011).

Laju korosi pada hasil *anodizing galvanizing steel* didapat lebih rendah karena adanya dua lapisan yang menahan korosi pada substrat baja, sehingga perlu waktu yang lebih lama untuk mengkorosikan material tersebut. Lapisan *anodizing* tersebut terbentuk diatas lapisan *zinc* hasil proses *galvanizing*, seperti terlihat pada Gambar 4.25.



Gambar 4. 25 SEM Cross-section Lapisan Anodik pada Baja Hot-dip Galvanizing (Cheng et al., 1994)



Gambar 4. 26 Perbandingan Laju Korosi pada Metode yang Berbeda.

Pada metode *anodizing*, dapat meningkatan ketahanan korosi terlihat pada Tabel 4.12 pada peningkatan beda potensial laju korosi yang dihasilkan akan semakin rendah, metode ini dapat meningkatkan ketahanan korosi karena terbentuknya lapisan pasif ZnO pada permukaan substrat. Pada metode lain menggunakan *anodizing galvanized steel*, terlihat pada Gambar 4.24 perbandingan ketika metode yang digunakan hanya *galvanizing* dan *anodizing galvanized steel*, ketika dilakukan dua metode akan meningkatkan ketahanan korosi dari substrat baja, ini karena adanya dua lapisan pada penggunaan dua metode tersebut. Terlihat pada Gambar 4.25 merupakan Gambar hasil metode *anodizing galvanized steel*, dimana terdapat lapisan yang terbentuk pada proses *galvanizing* dan proses *anodizing.*

Pada Gambar 4.26 terlihat perbandingan laju korosi pada beda metode yang digunakan. Dari hasil yang didapat penggunaan metode *anodizing* dan *galvanizing* menghasilkan laju korosi yang lebih rendah dibanding dua metode lainnya sesuai perlakuan yang digunakan pada Gambar.

Dari review jurnal yang dilakukan, terdapat beberapa data hasil uji pengujian/karakterisasi yang tidak dicantumkan dan dijelaskan secara rinci oleh peneliti, sehingga menimbulkan beberapa kesulitan dalam proses review. Oleh karena itu diperlukan data tambahan dari jurnal lainnya sehingga kekurangan dan kelebihan dari masing-masing data pengujian dapat saling melengkapi. Pada tiap jurnal terdapat beberapa yang membahas hasil uji SEM, TEM, laju korosi dan XRD, namun ada beberapa jurnal juga yang pembahasannya hampir sama dengan jurnal tersebut tidak ada salah satu dari hasil uji tersebut. Sehingga sulit untuk membandingan hasil dari tiap jurnal tersebut

(*Halaman ini sengaja dikosongkan*)

BAB V
KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Adapun kesimpulan dari review jurnal yang dilakukan adalah:

1. Pada pengaruh beda potensial yang diaplikasikan, didapat ketika beda potensial dinaikkan, maka akan lebih tebal lapisan pasif yang terbentuk, tetapi ketika beda potensial sangat tinggi akan lebih banyak *zinc* yang terdisolusi sehingga morfologi dari lapisan pasif yang terbentuk menjadi tidak teratur dan terbentuk retak pada morfologi yang dihasilkan.
2. Pada pengaruh konsentrasi elektrolit, didapat ketika konsentrasi elektrolit ditingkatkan, maka lebih tebal lapisan pasif yang terbentuk, tetapi ketika konsentrasi elektrolit sangat tinggi maka akan mempercepat proses disolusi sehingga ketebalan lapisan pasif tidak dapat lebih tinggi. Pada pengaruh morfologi ketika konsentrasi elektrolit terlalu rendah akan terbentuk nanostruktur yang tidak sempurna, namun ketika terlalu tinggi konsentrasi elektrolit maka akan terjadi fenomena retak bahkan pori-pori pada nanostruktur. Nanostuktur yang selaras merupakan nanostruktur yang baik yang dapat dihasilkan.
3. Pada pengaruh laju korosi, didapat laju korosi setelah perlakuan *anodizing* akan berkurang dibanding tanpa *anodizing*. Pada penggunaan *double coating* yaitu *anodizing galvanized steel*, laju korosi cenderung lebih rendah karena adanya dua lapisan pelindung pada substrat seperi Gambar 4.25, sehingga laju korosi yang dihasilkan lebih rendah.

5.2 Saran

Adapun saran yang dapat diberikan pada review jurnal ini adalah:

1. Dibutuhkan penggunaan konsentrasi eletrolit ataupun beda potensial yang tidak terlalu tinggi untuk mendapatkan hasil morfologi dan ketebalan yang baik untuk *anodizing zinc*. Sehingga perlu adanya pengujian eksperimen untuk mengetahui hal tersebut.
2. Perlunya data pendukung lain untuk melengkapi data yang ada sebagai acuan untuk perbandingan dari tiap jurnal.

DAFTAR PUSTAKA

Achour, A., Soussou, M. A., Ait Aissa, K., Islam, M., Barreau, N., Faulques, E., Le Brizoual, L., Djouadi, M. A., & Boujtita, M. (2014). Nanostructuration and band gap emission enhancement of ZnO film via electrochemical anodization. *Thin Solid Films*, *571*(P1), 168–174. https://doi.org/10.1016/j.tsf.2014.10.061

Ahmad, Z. (2006). *Principles of Corrosion Engineering and Corrosion Control*. ELSEVIER.

Ahmed, M. I., Islam, M. A., & Ali, M. N. (2017). Determination of Corrosion Rate of Mild Steel in Different Medium Measruing Current Density. *4th International Conference on Mechanical Engineering and Renewable Energy ICMERE 2017*, *December*, 1–5.

Ajeel, S. A., & Ahmed, B. (2017). Corrosion Behavior of Anodized Pure Zinc in Sea Water. *Engineering and Technology Journal*, *35*(9).

Aluvihara, S., & Premachandra, J. K. (2018). Fundamental Corrosive Properties of Crude Oils and their Effect on the Ferrous Metals. *Journal of Chemical Engineering & Process Technology*, *09*(04), 1–7. https://doi.org/10.4172/2157-7048.1000390

Anthony, U., Ikenna, M., Ufuma, O. B., & Dt, E. (2016). Corrosion Rates and its Impact on Mild Steel in Some Selected Environments. *Journal of Scientific and Engineering Research*, *3*(1), 34–43. http://jsaer.com/download/vol-3-iss-1-2016/JSAER2016-03-01-34-43.pdf

ASM International Handbook Committee. (1994). *Surface Enginering*. ASM International.

Basu, P. K., Saha, N., Maji, S., Saha, H., & Basu, S. (2008). Nanoporous ZnO thin films deposited by electrochemical anodization: Effect of UV light. *Journal of Materials Science: Materials in Electronics*, *19*(6), 493–499. https://doi.org/10.1007/s10854-008-9604-6

Batista-Grau, P., Sánchez-Tovar, R., Fernández-Domene, R. M., & García-Antón, J. (2020). Formation of ZnO nanowires by anodization under hydrodynamic conditions for photoelectrochemical water splitting. *Surface and Coatings Technology*, *381*, 125197. https://doi.org/10.1016/j.surfcoat.2019.125197

Cheng, J. R., Tan, T. R., Qio, J. Z., Wu, M. Y., & Shih, H. O. (1994). Preparation and characterization of a colored anodic coating on hot dip galvanized steel. *Plating and Surface Finishing*, *81*(12), 59–64.

Cramer, S. D., & Covino Jr, B. S. (2005). *ASM Handbook Volume 13B: Corrosion: Materials* (Vol. 13).

DELL'OCA, C. J., PULFREY, D. L., & YOUNG, L. (1971). Anodic Oxide Films. In *Physics of Thin Films: Advances in Research and Development* (Vol. 6). ACADEMIC PRESS, INC. https://doi.org/10.1016/b978-0-12-533006-0.50008-6

Deshmukh, B. D., & Patil, A. P. (2012). Optimization of exposure time for hot dip galvanizing and study the effects of preflux bath additives on the microstructures of galvanized steel. *International Journal of Emerging Technology and Advanced Engineering*, *2*(7), 71–75.

Diaconu, A., Solomon, C., Benea, L., Dumitraşcu, V., & Mardare, L. (2015). Corrosion Resistance of Zinc Coated Steel in Sea Water Environment. *The Annals of "Dunarea De Jos" University of Galati. Fascicle Ix. Metallurgy and Materials Science*, *3*, 34–39.

Diomidis, N., & Celis, J. P. (2005). Effect of hydrodynamics on zinc anodizing in silicate-based electrolytes. *Surface and Coatings Technology*, *195*(2–3), 307–313. https://doi.org/10.1016/j.surfcoat.2004.07.100

Dong, J., Liu, Z., Dong, J., Ariyanti, D., Niu, Z., Huang, S., Zhang, W., & Gao, W. (2016). Self-organized ZnO nanorods prepared by anodization of zinc in NaOH electrolyte. *RSC Advances*, *6*(77), 72968–72974. https://doi.org/10.1039/c6ra16995c

Eijnsbergen, J. F. H. van. (1994). *Duplex Systems Hot-dip Galvanizing plus Painting* (Issue July). ELSEVIER.

Fontana, M. G. (1987). Corrosion Engineering. In *Aerospace Materials*. McGraw-Hill. https://doi.org/10.1201/9781420034721

Gilani, S., Ghorbanpour, M., & Parchehbaf, A. (2016). Antibacterial activity of ZnO films prepared by anodizing. *Journal of Nanostructure in Chemistry*, *6*(2), 183–189. https://doi.org/10.1007/s40097-016-0194-1

Imam, M. A., Moniruzzaman, M., & Mamun, M. A. (2011). Anodizing of zinc for improved surface properties. *18th International Corrosion Congress 2011*, *1*(January 2011), 199–206.

Ismail, I. M., Abdel-Salam, O. E., Ahmed, T. S., Soliman, A., Khattab, I. A., & Al-Ebrahim, M. F. (2013). Investigation of the anodic dissolution of zinc in sodium chloride electrolyte - A green process. *Portugaliae Electrochimica Acta*, *31*(4), 207–219. https://doi.org/10.4152/pea.201304207

Junef, M. (2017). PENEGAKAN HUKUM DALAM RANGKA PENATAAN RUANG GUNA MEWUJUDKAN PEMBANGUNAN BERKELANJUTAN. *Jurnal Penelitian Hukum*, *17*(3), 373–390.

Kang, J. H., Kim, D., Kim, D. H., & Kim, S. J. (2019). Fe-Zn reaction and its influence on microcracks during hot tensile deformation of galvanized 22MnB5 steel. *Surface and Coatings Technology*, *357*(August), 1069–1075. https://doi.org/10.1016/j.surfcoat.2018.08.010

Kapupara, P. P., Dholakia, S. P., Patel, V. P., & Suhagia, B. N. (2011). Journal of Chemical and Pharmaceutical Research preparations. *Journal of Chemical and Pharmaceutical Research*, *3*(4), 287–294.

Kuklík, V., & Kudláĉek, J. (2016). Hot-Dip galvanizing of steel structures. In *Hot-Dip Galvanizing of Steel Structures*. ELSEVIER. https://doi.org/10.1016/C2014-0-03512-5

Lee, W. (2010). The anodization of aluminum for nanotechnology

applications. *Jom*, *62*(6), 57–63. https://doi.org/10.1007/s11837-010-0088-5

Li, Q., Liang, J., & Wang, Q. (2013). Plasma Electrolytic Oxidation Coatings on Lightweight Metals. *Modern Surface Engineering Treatments*. https://doi.org/10.5772/55688

Mah, C. F., Beh, K. P., Yam, F. K., & Hassan, Z. (2016). Rapid Formation and Evolution of Anodized-Zn Nanostructures in NaHCO 3 Solution . *ECS Journal of Solid State Science and Technology*, *5*(10), M105–M112. https://doi.org/10.1149/2.0061610jss

Marder, A. R. (2000). The metallurgy of zinc-coated steel. *Pergamon*, *45*.

Miles, D. O., Cameronb, P. J., & Mattia, D. (2015). Hierarchical 3D ZnO Nanowire Structures via Fast Anodization of Zinc. *Materials Chemistry A*. https://doi.org/10.1039/C5TA03578C

Örnek, C., Leygraf, C., & Pan, J. (2019). Passive film characterisation of duplex stainless steel using scanning Kelvin probe force microscopy in combination with electrochemical measurements. *Npj Materials Degradation*, *3*(1), 1–8. https://doi.org/10.1038/s41529-019-0071-8

Pokorny, P., Kolisko, J., Balik, L., & Novak, P. (2015). Description of structure of Fe-Zn intermetalic compounds present in hot-dip galvanized coatings on steel. *Metalurgija*, *54*(4), 707–710.

Prifiharni, S., Nuraini, L., Priyotomo, G., Sundjono, Gunawan, H., & Purawiardi, I. (2018). Corrosion performance of steel and galvanized steel in Karangsong and Limbangan sea water environment. *AIP Conference Proceedings*, *1964*(May), 0–6. https://doi.org/10.1063/1.5038320

Raghavan, V. (2003). Fe-Zn (Iron-Zinc). *Journal of Phase Equilibria*, *24*(6), 544–545.

Ravanbakhsh, A., Rashchi, F., Sohi, M. H., Nekouei, R. K., & Samarin, M. M. (2018). Synthesis and characterization of porous zinc oxide nano-flakes film in alkaline media. *Journal*

of Ultrafine Grained and Nanostructured Materials, *51*(1), 32–42. https://doi.org/10.22059/JUFGNSM.2018.01.05

Remešová, M., Klakurková, L., Čelko, L., Sládková, L., Jech, D., & Kaiser, J. (2017). Anodizing of zinc-titanium alloy in NaOH and KOH baths. *Solid State Phenomena*, *258 SSP*, 399–402. https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/SSP.258.399

Rocca, E., Veys-Renaux, D., & Guessoum, K. (2015). Electrochemical behavior of zinc in KOH media at high voltage: Micro-arc oxidation of zinc. *Journal of Electroanalytical Chemistry*, *754*, 125–132. https://doi.org/10.1016/j.jelechem.2015.06.021

Sun, Y., Lu, Y., & Yang, C. (2019). Stripping mechanism of PAN-based carbon fiber during anodic oxidation in NaOH electrolyte. *Applied Surface Science*, *486*(January), 128–136. https://doi.org/10.1016/j.apsusc.2019.05.018

Zaraska, L., Mika, K., Syrek, K., & Sulka, G. D. (2017). Formation of ZnO nanowires during anodic oxidation of zinc in bicarbonate electrolytes. *Journal of Electroanalytical Chemistry*, *801*(July), 511–520. https://doi.org/10.1016/j.jelechem.2017.08.035

Zhang, X. G. (1996). Passivation and Surface Film Formation. *Corrosion and Electrochemistry of Zinc*, 65–91. https://doi.org/10.1007/978-1-4757-9877-7_3

(*Halaman ini sengaja dikosongkan*)

BIODATA PENULIS

Nama penulis adalah M. Ghilman Barran. Penulis lahir dan berasal dari Jakarta, lahir pada tanggal 14 Desember 1997, dan merupakan anak kedua dari tiga bersaudara. Penulis pernah mengenyam pendidikan formal di SDIT Al-Hikmah, SMP Negeri 41 Jakarta, dan SMA Negeri 28 Jakarta, hingga akhirnya memilih minatnya pada bidang material dan metalurgi di Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya. Penulis juga aktif dalam kegiatan berorganisasi yaitu menjadi Staff Departemen Dalam Negeri Himpunan Mahasiswa Teknik Material dan Metalurgi (HMMT),fungsionaris Departemen Dalam Negeri Himpunan Mahasiswa Teknik Material dan Metalurgi (HMMT), dan Staff *Event Organizer* ITS *Material Advantage Student Chapter*. Penulis aktif dalam kegiatan olahraga futsal dan beberapa kali mengikuti kompetisi pada ajang fakultas, institut, maupun nasional antar mahasiswa material dan metalurgi. Penulis melaksanakan Kerja Praktik di PT. Universal Tekno Reksajaya (UTR). Pada Tugas Akhir ini penulis mengambil bidang manufaktur, dengan topik pelapisan. Penulis dapat dihubungi melalui alamat *e-mail:* barranghilman@gmail.com dan nomor telepon: 081311455630.