



TUGAS AKHIR – TL184834

REVIEW PENGARUH KONSENTRASI ADITIF Na_2SiO_3 DAN WAKTU *ANODIZING* TERHADAP KETAHANAN KOROSI DAN *MICROHARDNESS* PADA LOGAM PADUAN ZINC

**BARTHOLOMEUS MARCEL
NRP. 0251164000051**

**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 KONSENTRASI ADITIF Na_2SiO_3
DAN WAKTU *ANODIZING* TERHADAP KETAHANAN
KOROSI DAN *MICROHARDNESS* PADA LOGAM
PADUAN ZINC**

BARTHOLOMEUS MARCEL
NRP. 0251164000051

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 Na_2SiO_3 ADDITIVE CONCENTRATION
AND ANODIZING TIME EFFECT FOR IMPROVED
CORROSION RESISTANCE AND MICROHARDNESS OF
ZINC ALLOY**

BARTHOLOMEUS MARCEL
NRP. 0251164000051

Supervisor
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

(This page is intentionally left blank)

**REVIEW PENGARUH KONSENTRASI ADITIF Na_2SiO_3
DAN WAKTU ANODIZING TERHADAP KETAHANAN
KOROSI DAN MICROHARDNESS PADA LOGAM
PADUAN ZINC GS JIS G3101**

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:

BARTHOLOMEUS MARCEL

NRP 0251164000051

Disetujui Oleh Tim Penguji Tugas Akhir:

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



**SURABAYA
Juni 2020**

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

**REVIEW PENGARUH KONSENTRASI ADITIF Na_2SiO_3
DAN WAKTU ANODIZING TERHADAP KETAHANAN
KOROSI DAN MICROHARDNESS PADA LOGAM
PADUAN ZINC GS JIS G3101**

Nama : Bartholomeus Marcel
NRP : 0251164000051
Departemen : Teknik Material
Dosen Pembimbing 1 : Dr. Agung Purniawan, S.T., M.Eng
Dosen Pembimbing 2 : Vania Mitha Pratiwi, S.T., M.T.

Abstrak

Korosi merupakan peristiwa degradasi material karena adanya kontak dengan lingkungan. Salah satu metode untuk menghambat korosi adalah anodizing, yaitu metode perlindungan logam terhadap korosi dengan membentuk dan mempertebal lapisan pasif pada logam. Zinc adalah salah satu logam dengan kemampuan menciptakan lapisan pasif tergantung dari lingkungannya. Lapisan pasif pada zinc ini akan membantu menghambat laju korosi yang terjadi pada zinc, namun lapisan pasif alami pada logam zinc relatif tipis, sehingga sifat ini dapat dikembangkan dengan perlakuan anodizing. Review paper kali ini membahas logam paduan zinc yang diberi perlakuan anodizing dengan variasi konsentrasi aditif Na_2SiO_3 dan variasi waktu anodizing untuk menguji pengaruh variasi tersebut dalam sifat ketahanan korosi dan microhardness. Dalam menguji sifat sifat tersebut, digunakan pengujian microhardness test dan tafel test. Adapun hasil dari review paper yang dilakukan ialah terdapat konsentrasi aditif Na_2SiO_3 dan waktu anodizing yang optimum untuk mendapatkan sifat ketahanan korosi yang baik. Pengaruh konsentrasi aditif Na_2SiO_3 terhadap microhardness logam paduan zinc tidak bersifat linear karena ada titik optimum konsentrasi Na_2SiO_3 untuk mendapatkan microhardness tertinggi, sedangkan pengaruh waktu anodizing terhadap microhardness logam paduan zinc bersifat linear.

Kata Kunci : *Logam paduan zinc, Anodizing, Microhardness, Ketahanan Korosi*

**REVIEW OF THE EFFECT OF Na₂SiO₃ ADDITIVE
CONCENTRATION AND ANODIZING TIME FOR
CORROSION RESISTANCE AND MICROHARDNESS OF
ZINC ALLOY GS JIS G 3101**

Student Name : Bartholomeus Marcel
NRP : 0251164000051
Department : Material and Metallurgical Engineering
Supervisor : Dr. Agung Purniawan, S.T., M. Eng.
Co-Supervisor 1 : Vania Mitha Pratiwi, S.T., M.T.

Abstract

Corrosion is a material degradation phenomenon that is caused by contact with environment. One of the method to inhibit the process of corrosion is by using anodizing, which is a method to protect metal from corossion by creating and thickens the passive layer of certain metal. Zinc is one of the few metals that has the ability to create natural passive layer depends on its environment, but the passive layer created naturally by zinc is relatively thin, so it can be improved by the application of anodizing. This paper review is going to discuss about zinc alloy that undergoes anodizing with variance of Na₂SiO₃ additive concentration and variance of time of anodization to examine their effect on corrosion resistance and microhardness. To test the improved property, tafel test and microhardness test is done. The result of the review is that there is an optimum concentration of Na₂SiO₃ additive and time of anodization to get the best corrosion resistance. The effect of Na₂SiO₃ toward microhardness of zinc alloy does not linear, as there is an optimum concentration of Na₂SiO₃ to achieve highest microhardness, while the effect of anodization time toward microhardness is linear.

Keywords: *Zinc alloy, Anodizing, Corrosion resistance, Microhardness*

(This page is intentionally left blank)

KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan kepada Tuhan Yang Maha Esa atas segala berkat dan anugrahNya, sehingga penulis dapat menyelesaikan laporan tugas akhir yang berjudul “Review Pengaruh Konsentrasi Aditif Na_2SiO_3 dan Waktu Anodizing terhadap Ketahanan Korosi dan *Microhardness* pada logam paduan Zinc”

Laporan ini disusun dan diajukan untuk memenuhi sebagian persyaratan studi di Departemen Teknik Material dan Metalurgi, Fakultas Teknologi Industri dan Rekayasa Sistem, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya.

Penulis juga menyampaikan terima kasih kepada seluruh pihak yang telah mendukung penulis dari awal pelaksanaan tugas akhir, penentuan topik laporan hingga selesainya penyusunan laporan tugas akhir ini, diantaranya :

1. Tuhan Yesus Kristus yang selalu memberkati penulis dan memberikan kelancaran dalam proses mengerjakan Tugas Akhir.
2. Kedua orang tua penulis, Elizabeth Fatmawati dan Johanes Supardi, dan adik penulis, Dionysius Mario yang telah memberikan dukungan dan motivasi terbesar dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini.
3. Bapak Sigit Tri Wicaksono, S.Si., M.Si., Ph.D selaku Ketua Departemen Teknik Material dan Metalurgi.
4. Bapak Dr. Agung Purniawan, S.T., M.Eng, selaku pembimbing penulis yang selalu menyempatkan waktu untuk membimbing penulis dalam mengerjakan Tugas Akhir.
5. Ibu Vania Mitha Pratiwi, S.T, M.T, selaku pembimbing penulis yang selalu membimbing penulis dengan memberikan masukan dan arahan agar dapat menyelesaikan Tugas Akhir dengan baik.

6. Seluruh sahabat penulis angkatan 2016 Teknik Material dan Metalurgi FTIRS-ITS, yang telah memberikan semangat kepada penulis.
7. Seluruh mahasiswa Teknik Material dan Metalurgi yang telah memberikan doa dan dukungan kepada penulis.
8. Semua pihak yang secara langsung maupun tidak langsung memberikan dukungan dan membantu kelancaran proses tugas akhir ini.

Dalam menyusun laporan tugas akhir ini, penulis menyadari masih banyak kekurangan dan jauh dari sempurna. Dengan kerendahan hati, semua saran dan kritik yang dapat membangun sangat penulis harapkan. Demikian semoga laporan ini dapat bermanfaat bagi pembaca.

Surabaya, 13 Juli 2020
Penulis

A handwritten signature in black ink, appearing to read 'B. MARCEL', with a horizontal line underneath the name.

Bartholomeus Marcel

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.....	2
1.4 Tujuan Review Paper.....	3
1.5 Manfaat Review Paper.....	3
2 BAB II TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1 Zinc.....	5
2.2 Korosi.....	6
2.2.1 Klasifikasi Korosi berdasarkan Kelembaban Lingkungan.....	7
2.2.2 Klasifikasi Korosi berdasarkan Bentuk Visual.....	8
2.2.3 Korosi Air Laut.....	21
2.2.4 Mekanisme Korosi pada Senyawa Zinc.....	22
2.2.5 Pengujian Korosi terhadap logam Zn.....	24
2.3 Hot Dip Galvanizing.....	25
2.4 Lapisan Fe-Zn.....	31
2.5 Anodizing.....	37
2.6 Lapisan ZnO.....	41
2.7 ZnSi ₂ O ₅	44
3 BAB III METODOLOGI	47
3.1 Diagram Alir.....	47
3.2 Persiapan Review.....	48
3.2.1 Persiapan Jurnal.....	48

3.2.2	Analisa Jurnal	48
3.2.3	Komparasi Jurnal.....	48
3.3	Metode Review Paper	48
3.4	Pengujian.....	49
3.4.1	Pengujian Microhardness	49
3.4.2	Corrosion Test	50
3.5	Rancangan Penelitian.....	50
4	BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	55
4.1	Hasil.....	55
4.1.1	Ketahanan korosi dari lapisan coating.....	55
4.1.2	Microhardness dari lapisan Coating	71
4.2	Pembahasan Komparasi Jurnal	86
4.2.1	Pembahasan Jurnal Pengaruh Konsentrasi Aditif Na ₂ SiO ₃ terhadap Ketahanan Korosi	86
4.2.2	Pembahasan Jurnal Pengaruh Waktu <i>Anodizing</i> terhadap Ketahanan Korosi	90
4.2.3	Pembahasan Jurnal Pengaruh Waktu <i>Anodizing</i> terhadap <i>Microhardness</i>	93
4.2.4	Pembahasan Jurnal Pengaruh Konsentrasi Aditif Na ₂ SiO ₃ terhadap <i>Microhardness</i>	96
4.3	Kritisasi Jurnal.....	99
5	BAB V KESIMPULAN DAN SARAN.....	101
5.1	Kesimpulan	101
5.2	Saran	102
	DAFTAR PUSTAKA	103
	LAMPIRAN	107
	BIODATA PENULIS	110

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1	Sel Korosi (Wahyuningsih, 2017).....	7
Gambar 2. 2	Korosi seragam pada pipa ballast (Utomo, 2009).....	10
Gambar 2. 3	Korosi lubang (Utomo, 2009).....	11
Gambar 2. 4	Korosi erosi pada pipa (Utomo, 2009).....	13
Gambar 2. 5	Potongan baterai sel kering (Fontana, 1987)	15
Gambar 2. 6	Contoh insulasi yang baik pada sambungan bergelang (Fontana, 1987).....	16
Gambar 2. 7	Potongan melintang terhadap korosi tegangan pada <i>stainless steel</i> (Fontana, 1987).....	17
Gambar 2. 8	Korosi celah pada pipa <i>stainless steel</i> (Fontana, 1987).....	20
Gambar 2. 9	Proses <i>hot dip galvanizing</i> (Eijnsbergen, 1994)	27
Gambar 2. 10	Skema Proses Galvanizing (Committee, Zinc Coating, 2006)	29
Gambar 2. 11	Pengaruh komposisi baja dan waktu pencelupan terhadap tebal coating (Eijnsbergen, 1994)	30
Gambar 2. 12	Ketahanan korosi pada kondisi iklim yang beragam (Eijnsbergen, 1994).....	31
Gambar 2. 13	Grafik hubungan ketebalan <i>coating</i> dengan umur pemakaian (Committee, Zinc Coating, 2006).....	35
Gambar 2. 14	Lapisan pada Potongan Melintang Galvanized Steel (Committee, Zinc Coating, 2006).....	36
Gambar 2. 15	Diagram fasa Fe-Zn (Ji, 2015).....	36
Gambar 2. 16	Perbandingan gambar nano partikel dari a) ZnO, b) CuO, c) ZrO ₂ (Batez, 2008)	42
Gambar 2. 17	Hasil pengujian SEM yang dilakukan oleh Diomidis (Diomidis 2004).....	45

Gambar 2. 18	(a) hasil pengujian SEM dengan perbesaran hingga 2 μ m, (b) analisis EDX untuk daerah terang, (c) analisis EDX untuk daerah gelap (Diomidis 2004).....	46
Gambar 4. 1	Hasil pengujian kurva polarisasi anodic yang dilakukan Fukuda terhadap parameter <i>anodizing</i> 3M KOH (Bath 1), 3M KOH dan 1M Na ₂ SiO ₃ (Bath 2) dan 3M KOH dan 5M Na ₂ SiO ₃ (Bath 3) (Fukuda et al., 2004)	55
Gambar 4. 2	Hasil pengujian ketebalan yang dilakukan oleh Fukuda terhadap lapisan pasif pada konsentrasi Na ₂ SiO ₃ yang bervariasi (Fukuda et al., 2004)	56
Gambar 4. 3	Hasil pengujian potensiodinamik yang dilakukan Salami pada larutan SBF dengan temperatur 37°C (Salami et al., 2014).....	57
Gambar 4. 4	Hasil pengujian potensiodinamik yang dilakukan oleh Wang dengan larutan SBF (Wang et al., 2019)	60
Gambar 4. 5	Hasil pengujian ketebalan dan laju pertumbuhan lapisan pasif yang dilakukan oleh Wang (Wang et al., 2019).....	62
Gambar 4. 6	Hasil pengujian potensiodinamik yang dilakukan oleh Spathis dengan larutan 3,5% NaCl (Spathis et al., 1995).....	63
Gambar 4. 7	Sifat polarisasi potensiodinamik pada bath 3,5% NaCl pada logam AZ91D (a) tanpa perlakuan, <i>anodizing</i> pada bath KMnO ₄ trace, 2 M NaOH, 0,1 M Na ₃ PO ₄ dan 0,1 M Na ₂ SiO ₃ selama (b) 1 menit, (c) 2 menit, (d) 3 menit, dan (e) 4 menit (Kim et al., 2013)	65
Gambar 4. 8	Hasil dari pengujian SEM yang dilakukan oleh Kim, waktu <i>anodizing</i> (a) 1 menit, (b) 2	

	menit, (c) 3 menit, (d) 4 menit (Kim et al., 2013).....	67
Gambar 4. 9	Hasil pengujian potensiodinamik yang dilakukan oleh Hailan pada larutan 3,5% NaCl (Hailan et al., 2007).....	68
Gambar 4. 10	Hasil pengujian ketebalan yang dilakukan Hailan (Hailan et al., 2007)	70
Gambar 4. 11	Hasil pengujian <i>microhardness</i> yang dilakukan oleh Pamungkas pada spesimen dengan jeda waktu 5 menit (Pamungkas et al., 2015).....	71
Gambar 4. 12	Hasil pengujian ketebalan yang dilakukan oleh Pamungkas dengan waktu <i>anodizing</i> yang berbeda (Pamungkas et al., 2015).....	73
Gambar 4. 13	Hasil pengujian <i>microhardness</i> yang dilakukan oleh Ahmed pada spesimen dengan jeda waktu 10 menit (Ahmed, 2015).....	74
Gambar 4. 14	Hasil pengujian ketebalan lapisan oksida oleh Ahmed (Ahmed, 2015).....	75
Gambar 4. 15	Hasil pengujian <i>microhardness</i> yang dilakukan oleh Kim pada <i>anodizing</i> dengan bath KMnO_4 trace, 2 M NaOH, 0,1 M Na_3PO_4 dan 0,1 M Na_2SiO_3 (a) Tanpa perlakuan (b) <i>anodizing</i> 1 menit (c) <i>anodizing</i> 2 menit (d) <i>anodizing</i> 3 menit (e) <i>anodizing</i> 4 menit (Kim et al., 2013).....	76
Gambar 4. 16	Grafik peningkatan <i>microhardness</i> spesimen uji Kim pada tahun 2013 (Kim et al., 2013).....	78
Gambar 4. 17	Hasil pengujian SEM yang dilakukan Aktug untuk menganalisa morfologi lapisan pasif dari spesimen yang menggunakan aditif (a) 4 g/L, (b) 8 g/L (Aktug et al., 2015).....	80
Gambar 4. 18	Hasil pengujian <i>microhardness</i> logam dengan variasi Na_2SiO_3 (Rehman et al., 2017).....	81

Gambar 4. 19	Hasil dari pengujian intensitas senyawa pada lapisan pasif yang dilakukan oleh Rehman (Rehman et al., 2017).....	83
Gambar 4. 20	Hasil pengujian <i>microhardness</i> yang dilakukan oleh Ahn (Ahn et al., 2013).....	84
Gambar 4. 21	Hasil dari pengujian morfologi menggunakan SEM yang dilakukan oleh Ahn pada spesimen dengan konsentrasi aditif (a) 2 g/L, (b) 8 g/L, (c) 12 g/L, (d) 20 g/L (Ahn et al., 2013).....	86
Gambar 4. 22	Perbandingan hasil rapat arus korosi dengan variasi konsentrasi Na ₂ SiO ₃	89
Gambar 4. 23	Perbandingan potensial korosi dengan variasi konsentrasi Na ₂ SiO ₃	89
Gambar 4. 24	Perbandingan hasil rapat arus korosi dengan variasi waktu <i>anodizing</i>	92
Gambar 4. 25	Perbandingan hasil <i>microhardness</i> dengan variasi waktu <i>anodizing</i>	95
Gambar 4. 26	Perbandingan hasil <i>microhardness</i> dengan variasi konsentrasi Na ₂ SiO ₃	99

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Tabel karakteristik Zinc (Goodwin 1998)	5
Tabel 2. 2 Pengaruh paduan terhadap ketahanan korosi lubang pada <i>stainless steel</i> (Fontana, 1987).....	12
Tabel 2. 3 Lingkungan yang mampu mengakibatkan korosi tegangan pada beberapa logam dan paduannya (Fontana, 1987)	18
Tabel 2. 4 Sifat <i>zinc</i> (Reuter, 2002).....	32
Tabel 2. 5 Sifat dan aplikasi zinc (Reuter, 2002).....	33
Tabel 2. 6 Sifat paduan Fe-Zn (Eijnsbergen, 1994).....	37
Tabel 2. 7 Contoh proses <i>electrobrightening</i> (Gabe, 1978).....	39
Tabel 2. 8 Proses <i>anodizing</i> pada logam lain (Gabe, 1978)	40
Tabel 4. 1 Hasil pengujian potensiodinamik Salami (Salami et al., 2014).....	58
Tabel 4. 2 Hasil pengujian konduktivitas listrik pada larutan dengan variasi konsentrasi Na_2SiO_3 (Salami et al., 2014).....	59
Tabel 4. 3 Hasil pengujian potensiodinamik Wang (Wang et al., 2019).....	61
Tabel 4. 4 Hasil Pengujian Potensiodinamik Spathis terhadap spesimen yang dianodize dengan pencahayaan (Spathis et al., 1995)	64
Tabel 4. 5 Hasil pengujian potensiodinamik Hailan dengan variasi waktu (Hailan et al., 2007)	69
Tabel 4. 6 Hasil pengujian <i>microhardness</i> oleh Pamungkas (Pamungkas et al., 2015).....	72
Tabel 4. 7 Nilai kekerasan permukaan oleh pengujian <i>microhardness</i> oleh Ahmed (Ahmed, 2015)	74
Tabel 4. 8 Hasil kekerasan permukaan dari pengujian <i>microhardness</i> Vickers (Kim et al., 2013)	77
Tabel 4. 9 Hasil pengujian <i>microhardness</i> oleh Aktug (Aktug et al., 2015).....	79

Tabel 4. 10	Hasil pengujian <i>microhardness</i> Vickers (Rehman et al., 2017).....	82
Tabel 4. 11	Hasil pengujian <i>microhardness</i> oleh Ahn (Ahn et al., 2013)	85
Tabel 4. 12	Tabel perbandingan hasil jurnal pengaruh konsentrasi aditif Na ₂ SiO ₃ terhadap ketahanan korosi.....	88
Tabel 4. 13	Tabel perbandingan hasil jurnal pengaruh waktu <i>anodizing</i> terhadap ketahanan korosi.....	92
Tabel 4. 14	Tabel perbandingan hasil jurnal pengaruh waktu <i>anodizing</i> terhadap <i>microhardness</i>	95
Tabel 4. 15	Tabel perbandingan hasil jurnal pengaruh konsentrasi aditif Na ₂ SiO ₃ terhadap <i>microhardness</i>	98

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Korosi dapat didefinisikan sebagai peristiwa degradasi bahan akibat kontak terhadap lingkungan di sekitarnya yang biasanya dalam bentuk zat cair. Pada logam, korosi dimulai akibat adanya reaksi elektrokimia, degradasi kemudian dapat menyebar kedalam materi (Afandi, 2015). Metode yang kerap dipakai untuk mengatasi korosi di dunia industri ialah dengan memberikan lapisan pelindung atau *coating* terhadap logam yang ingin dilindungi. Salah satu metode *coating* yang dipakai untuk melindungi baja ialah *Hot Dip Galvanizing*. *Hot Dip Galvanizing* ialah metode pelapisan menggunakan logam zinc cair sebagai logam pelapis baja. Proses pelapisan dilakukan dengan metode pencelupan baja ke dalam *zinc* cair pada temperatur 420°C. Metode ini banyak digunakan di dunia industri karena sifat khusus material zinc yang mudah dibentuk, memiliki kekuatan tinggi, ringan, juga memiliki ketahanan tinggi terhadap korosi. (Ojahan, 2017).

Baja galvanis atau *galvanized steel* memiliki sifat ketahanan korosi yang sangat baik, hal ini dikarenakan zinc memberikan proteksi katodik terhadap baja yang dilindunginya, sehingga ketika *galvanized steel* mengalami goresan atau kerusakan pada bagian permukaan, zinc akan berfungsi sebagai anoda korban terhadap baja. Mekanisme korosi pada *galvanized steel* dibagi menjadi 3 tahap. Tahap pertama ialah lapisan zinc pelindung terkorosi, lalu zinc yang terkorosi memiliki produk korosi yaitu lapisan pasif yang melindungi baja dari korosi, sampai akhirnya *galvanized steel* habis terkorosi. (Zhang, 2019).

Baja Galvanis banyak dipakai sebagai material dasar pembuatan atap (*roofing*) atau pembuatan pagar (*fencing*) di rumah rumah daerah perkotaan. Lapisan *coating* zinc pada baja karbon rendah melindungi baja sebagai anoda tumbal dari korosi terutama pada baja yang diaplikasikan di daerah pesisir. *Anodizing* adalah proses elektrolisis terhadap logam untuk mempertebal lapisan

oksida alami dari permukaan logam logam khusus, salah satunya ialah zinc. Pada paparan awal udara terhadap zinc, permukaan zinc membentuk lapisan tipis zinc hidroxide atau $Zn(OH)_2$ yang merupakan produk dari hasil korosi zinc, $Zn(OH)_2$ kemudian akan terurai menjadi ZnO seiring dengan pemanasan, dengan melepas molekul air ke lingkungan. Untuk menahan korosi atmosfer pada zinc, berbagai proses *anodizing* telah dilakukan untuk mensintesa lapisan pelindung. Pada review paper kali ini, akan membahas pengaruh penggunaan variasi konsentrasi aditif Na_2SiO_3 dan variasi waktu *anodizing* terhadap sifat sifat lapisan pasif yang terbentuk seperti ketahanan korosi dan *microhardness* yang meningkat setelah diaplikasikan *anodizing* dengan variasi yang telah disebutkan.

1.2 Perumusan Masalah

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

1. Bagaimana pengaruh variasi konsentrasi Na_2SiO_3 dan variasi waktu *anodizing* terhadap ketahanan korosi logam paduan zinc?
2. Bagaimana pengaruh variasi konsentrasi Na_2SiO_3 dan variasi waktu *anodizing* terhadap *microhardness* logam paduan zinc?

1.3 Batasan Masalah

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

1. Perbedaan parameter *anodizing* yang digunakan oleh jurnal diabaikan
2. Perbedaan material yang digunakan oleh jurnal diabaikan

1.4 Tujuan Review Paper

Adapun tujuan dari review paper yang dilakukan adalah:

1. Menganalisis pengaruh variasi konsentrasi Na_2SiO_3 dan variasi waktu *anodizing* terhadap ketahanan korosi logam paduan zinc.
2. Menganalisis pengaruh variasi konsentrasi Na_2SiO_3 dan variasi waktu *anodizing* terhadap *microhardness* logam paduan zinc

1.5 Manfaat Review Paper

Hasil dari review paper ini diharapkan dapat memberi manfaat sebagai berikut:

1. Menjadi referensi dalam pemilihan parameter yang digunakan pada *anodizing* logam paduan zinc
2. Menjadi salah satu metode pilihan perlakuan logam paduan zinc

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Zinc

Zinc atau seng adalah unsur yang dapat ditemukan pada permukaan bumi. Karena sifat reaktivitas zinc, maka zinc murni tidak dapat ditemukan di alam. Terdapat berbagai bentuk mineral dari zinc, beberapa yang penting dalam dunia industri ialah sphalerite (ZnS), smithsonite ($ZnCO_3$), hemimorphite ($Zn_4Si_2O_7(OH_2)H_2O$). Pada tabel periodic, zinc dapat ditemukan di grup IIB dan memiliki 2 kondisi oksidasi, Zn (0) dan Zn (+2).

Zinc biasanya ditemukan di alam dengan bentuk sulfida, namun bentuk oksida, karbonat, dan silikat juga banyak ditambang di alam. Zinc merupakan unsur yang memiliki gaya gerak listrik unsur yang cukup tinggi, sehingga membentuk senyawa yang cukup stabil. Ikatan yang terbentuk biasanya merupakan ikatan kovalen, seperti pada senyawa sulfida dan oksida. Zinc bersifat amphoteric, sehingga dapat membentuk garam dengan bereaksi dengan asam ataupun basa. (Goodwin 1998)

Tabel 2. 1 Tabel karakteristik Zinc (Goodwin 1998)

Sifat	Logam Zinc
Klasifikasi	Logam transisi
Warna	Perak kebiruan
Berat atom	65,41
Bentuk pada temperatur ruang	Padat
Titik leleh	419,53°C
Titik didih	910°C
Elektron	30
Proton	30
Konfigurasi electron	[Ar] 3d ¹⁰ 4s ²
Berat jenis pada temperatur ruang	7,14 g/cm ³

2.2 Korosi

Korosi adalah proses degradasi, deteorisasi, atau perusakan material yang disebabkan oleh adanya kontak lingkungan terhadap material. (Utomo, 2009). Kontak lingkungan yang menyebabkan korosi dimaksud dengan reaksi redoks antara logam dan berbagai zat di lingkungannya. Pada dasarnya, semua lingkungan bersifat korosif pada derajat tertentu. Beberapa contoh dari lingkungan korosif ialah keberadaan udara dan kelembaban pada air bersih, air suling, air laut, atau air pada daerah tambang, atmosfer perkotaan, pedesaan ataupun daerah industrial, dan keberadaan berbagai macam gas yang dapat menyebabkan korosi seperti *hydrochloric, sulfuric, nitric gases*. Secara umum, material anorganik bersifat lebih korosif bila dibandingkan dengan material organik. Sebagai contoh, korosi pada industri perminyakan lebih diakibatkan oleh keberadaan NaCl, sulfur, dan asam lainnya daripada oli, bensin, atau nafta. (Fontana, 1987).

Secara sederhana korosi dapat terjadi bila memenuhi kondisi tertentu. 4 kondisi dimana korosi dapat terjadi ialah :

1. Keberadaan Anoda

Aliran listrik terbentuk disebabkan oleh adanya beda potensial. Elektron mengalir dari potensial rendah ke potensial tinggi, sedangkan arus mengalir pada arah sebaliknya. Anoda adalah elektroda yang memiliki biloks lebih rendah dari katoda, sehingga elektron mengalir melalui kontak metalik menuju katoda

2. Keberadaan Katoda

Elektron yang mengalir dari anoda kemudian akan diterima oleh katoda dan beraksi. Reaksi yang terjadi ialah reaksi katodik, dimana electron akan bereaksi dengan ion positif yang ada di elektrolit. Contoh dari reaksi katodik ini ialah reaksi elektron dengan ion H^+ yang membentuk molekul H_2 yang berupa gelembung gas sehingga katoda akan terlindungi dari korosi.

3. Larutan Elektrolit

Larutan elektrolit berfungsi sebagai media penghantar listrik. Keberadaan elektrolit dibutuhkan sebagai penghantar arus dari katoda menuju anoda.

4. Adanya Kontak Metalik

Kontak metalik berfungsi untuk memfasilitasi perpindahan electron yang dibutuhkan dalam proses terjadinya korosi. Elektron tidak bisa mengalir di dalam elektrolit, dan hanya dapat mengalir melalui kontak metalik.

Pada Gambar 2.1 dapat dilihat sel korosi dengan persyaratan akan terjadinya fenomena korosi tersebut.

(Wahyuningsih, 2017)



Gambar 2. 1 Sel Korosi (Wahyuningsih, 2017)

2.2.1 Klasifikasi Korosi berdasarkan Kelembaban Lingkungan

Korosi dapat diklasifikasikan dengan beberapa metode. Salah satu metode untuk mengklasifikasikan korosi ialah dengan pembagian jenis korosi menjadi korosi temperatur rendah dan korosi temperatur tinggi. Metode klasifikasi lainnya ialah membagi jenis korosi menjadi kelompok korosi korosi langsung atau korosi oksidasi dan korosi elektrokimia. Jenis klasifikasi korosi lainnya ialah korosi basah (*wet corrosion*) dan korosi

kering (*dry corrosion*) seperti yang akan dijelaskan sebagai berikut (Fontana, 1987).

1. *Wet Corrosion*

Wet Corrosion atau korosi basah ialah jenis korosi yang terjadi bila ada keberadaan zat cair. Jenis korosi seperti ini berkaitan dengan adanya *aqueous solution* atau larutan atau elektrolit pada lingkungan dan menjadi penyebab utama terjadinya korosi. Contoh paling umum korosi basah ialah terkorosinya baja oleh air disekitarnya.

2. *Dry Corrosion*

Dry Corrosion atau korosi kering ialah korosi yang terjadi tanpa adanya keberadaan zat cair atau korosi yang terjadi diatas titik embun lingkungan (*dew point*). Korosi kering biasa terjadi disebabkan oleh uap dan gas zat kimia yang bersifat korosif. Korosi kering seringkali dihubungkan dengan korosi temperatur tinggi. Contoh dari korosi kering ialah serangan korosi terhadap *furnace*.

Keberadaan dari kelembaban dapat berpengaruh besar terhadap kejadian suatu korosi. Contohnya ialah *dry chlorine* (klor kering) tidak bersifat korosif terhadap baja, namun *moist chlorine* (klor lembab) atau *dissolved chlorine* (larutan klor) bersifat sangat korosif terhadap sebagian besar logam termasuk baja. Kasus lainnya ialah peristiwa korosi terhadap titanium, dimana *dry chlorine gas* (gas klor kering) bersifat lebih korosif terhadap titanium dibandingkan *wet chlorine* (klor basah) (Fontana, 1987).

2.2.2 Klasifikasi Korosi berdasarkan Bentuk Visual

Mengklasifikasikan korosi berdasarkan bentuk visual merupakan salah satu metode klasifikasi yang menggunakan analisa visual pada korosi yang terjadi pada logam. Sebagian bentuk korosi dapat dianalisa menggunakan mata telanjang, dan sebagian bentuk korosi dapat dianalisa dengan bantuan alat

magnifikasi. Menggunakan analisa bentuk visual dari korosi, didapat berbagai informasi yang berguna, terutama untuk mencari penyebab kegagalan suatu logam dan mencari solusi untuk suatu jenis korosi (Fontana, 1987).

Bentuk visual dari korosi tersebut memiliki bentuk unik yang berbeda, namun dapat saling berhubungan. Beberapa jenis korosi berdasarkan bentuk visualnya ialah :

1. *Uniform Corrosion*

Uniform corrosion atau disebut korosi seragam adalah salah satu tipe korosi yang paling banyak terjadi pada logam. Biasanya korosi seragam bercirikan daerah hasil korosi oleh reaksi kimia atau elektro kimia pada sebagian besar permukaan logam atau bahkan seluruh permukaan logam. Logam yang terserang korosi seragam menjadi semakin tipis seiring dengan waktu dan pada akhirnya mengalami kegagalan. Sebagai contoh ialah baja yang dicelupkan pada asam sulfur akan larut pada laju yang konstan di seluruh permukaannya.

Korosi seragam menunjukkan degradasi logam dalam skala yang cukup besar, dan pada industri dapat menunjukkan kehilangan logam pada skala ton. Namun korosi jenis ini tidak menjadi permasalahan yang kritis pada sudut pandang teknis, karena peralatan yang terserang korosi seragam dapat dihitung umur pemakaiannya dengan tes yang cukup mudah. Seringkali menguji logam dengan larutan yang berkaitan akan menghasilkan umur pemakaian logam tersebut dengan cukup akurat. Korosi seragam dapat dicegah atau dihambat dengan pemilihan material yang baik, penggunaan *coating*, penggunaan inhibitor, ataupun dengan proteksi katodik. Contoh dari fenomena korosi seragam dapat dilihat pada Gambar 2.2 (Fontana, 1987).



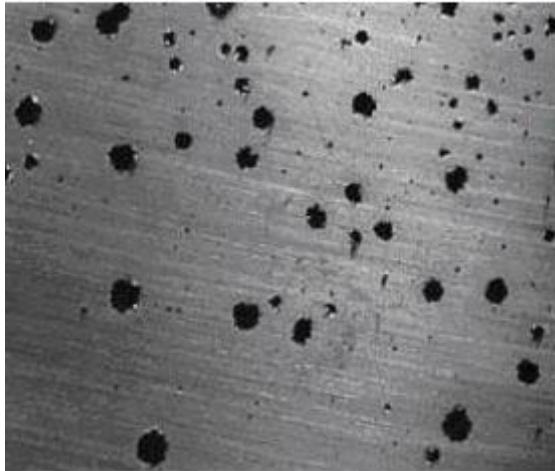
Gambar 2. 2 Korosi seragam pada pipa ballast (Utomo, 2009)

2. *Pitting Corrosion*

Pitting corrosion atau korosi lubang merupakan jenis korosi yang bercirikan serangan korosi yang terfokus pada suatu titik. Lubang yang dihasilkan oleh korosi lubang dapat berdiameter kecil ataupun besar, namun pada kasus pada umumnya lubang yang dihasilkan berdiameter kecil. Pada umumnya, lubang yang dihasilkan memiliki kedalaman sama dengan atau kurang dari diameter lubang.

Korosi lubang adalah salah satu jenis korosi yang sangat berbahaya dalam dunia industri. Hal ini disebabkan oleh gagalnya material atau logam yang diakibatkan oleh lubang dengan persentase *mass loss* yang rendah. Korosi lubang sulit terdeteksi karena ukurannya yang relatif kecil dibandingkan dengan seluruh permukaan material, dan seringkali korosi lubang tertutup oleh produk korosi. Korosi lubang juga sulit diukur, hal ini disebabkan karena variasi kedalaman lubang dan jumlah lubang yang bervariasi pada material pada kondisi yang identik, hal ini menyebabkan *pitting* sulit untuk diprediksi oleh uji laboratorium. Korosi lubang memiliki dampak yang

tinggi karena korosi lubang merupakan jenis korosi lokal, maka dari itu kegagalan suatu material oleh korosi lubang seringkali terjadi secara tiba-tiba dan membuatnya sulit untuk diprediksi. Contoh dari fenomena korosi lubang dapat dilihat pada Gambar 2.3 (Fontana, 1987).



Gambar 2. 3 Korosi lubang (Utomo, 2009)

Salah satu metode untuk melawan korosi lubang ialah dengan pemilihan material, dengan menggunakan paduan logam yang tepat, dampak dan kemungkinan terjadinya korosi lubang dapat dikurangi. Menurut penelitian, *stainless steel* atau baja anti karat terbukti memiliki ketahanan korosi lubang yang lebih rendah dibandingkan baja biasa. Hal ini dapat disebabkan oleh perbedaan paduan yang terdapat pada kedua logam tersebut. (Fontana, 1987).

Tabel 2. 2 Pengaruh paduan terhadap ketahanan korosi lubang pada *stainless steel* (Fontana, 1987)

Unsur	Pengaruh terhadap ketahanan korosi lubang
Krom	Meningkat
Nikel	Meningkat
Molybdenum	Meningkat
Silicon	Menurun, meningkat hanya pada keberadaan Molybdenum
Titanium dan Columbium	Menurun terhadap FeCl ₃ , media lain tidak berpengaruh
Sulfur dan Selenium	Menurun
Carbon	Menurun, terutama pada keadaan sensitasi
Nitrogen	Meningkat

3. *Erosion Corrosion*

Erosion corrosion atau korosi erosi adalah percepatan atau peningkatan laju degradasi logam karena adanya pergerakan zat cair yang bersifat korosif terhadap permukaan logam. Secara umum pergerakan zat cair pada korosi erosi berlangsung cepat, dan berkaitan dengan abrasi dan ketahanan aus logam. Logam terlepas dari permukaan material sebagai ion logam yang terlarut oleh larutan, atau membentuk produk korosi padat yang mengikuti arus zat cair.

Korosi erosi dikarakterisasikan dengan adanya alur, parit, gelombang yang memiliki pola searah dengan arah arus zat cair. Pada berbagai kasus, kegagalan yang diakibatkan oleh korosi erosi terjadi pada waktu yang singkat, dan daerah korosi pada logam biasanya cukup luas, karena beberapa pengujian korosi pada logam dilaksanakan pada keadaan statis dan tidak memperhitungkan efek dari erosi.

Sebagian besar logam rentan terhadap korosi erosi. Beberapa logam bergantung pada lapisan pasif logam

untuk melawan korosi seperti aluminium, *stainless steel*, timbal. Korosi erosi terjadi saat permukaan lapisan tersebut rusak atau tergores, dan logam diserang pada laju cepat. Logam-logam lunak seperti timbal lebih mudah terserang korosi erosi, hal ini disebabkan oleh ketahanan aus yang rendah membuat logam tersebut lebih mudah tergores dan terserang oleh aliran zat cair. Banyak media dapat menyebabkan korosi erosi. Aliran gas, larutan, sistem organik, atau logam cair dapat menyebabkan korosi erosi. Padatan berupa suspensi pada zat cair (*slurry*) dapat berdampak besar terhadap sudut pandang korosi erosi. Contoh dari fenomena korosi erosi dapat dilihat pada Gambar 2.4 (Fontana, 1987).



Gambar 2. 4 Korosi erosi pada pipa (Utomo, 2009)

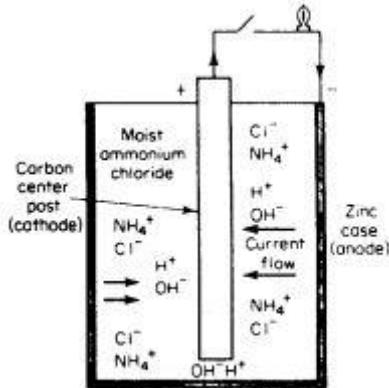
Korosi erosi dapat diatasi dengan beberapa metode. Salah satu metode yang sering dipakai ialah pemilihan material dengan sifat mekanik yang lebih baik. Hal ini menyediakan ketahanan aus yang lebih tinggi sehingga mengurangi atau mencegah terjadinya korosi erosi pada logam. Cara lain ialah mengubah desain dari logam terutama pada aplikasi perpipaan. Dengan

meningkatkan diameter pipa, kecepatan arus zat cair akan turun, mencegah atau mengurangi kemungkinan terjadinya korosi erosi. Cara lain ialah dengan mempertebal material tersebut. Dengan mempertebal material, maka akan meningkatkan kekuatan dan resistansi terhadap kegagalan akibat terserangnya pipa oleh aliran arus zat cair. (Fontana, 1987).

4. *Galvanic Corrosion*

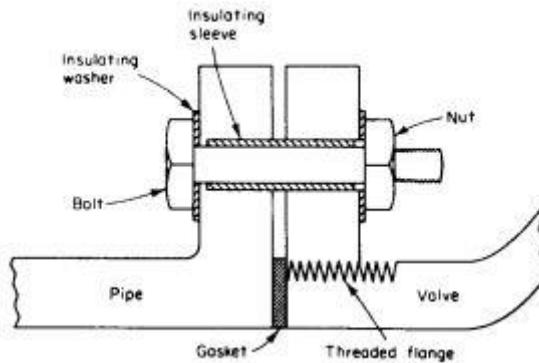
Galvanic corrosion atau korosi galvanis ialah korosi yang terjadi akibat adanya kontak antara 2 logam yang memiliki perbedaan potensial reduksi. Perbedaan potensial antara 2 logam ini terjadi apabila kedua logam berada pada larutan yang bersifat korosif atau konduktif. Perbedaan potensial akan mengakibatkan aliran elektron diantara kedua logam tersebut. Korosi terhadap logam dengan resistansi korosi lebih rendah akan meningkat, sedangkan logam dengan resistansi korosi lebih tinggi akan mengalami proteksi katodik dan terkorosi dengan laju yang lambat atau tidak sama sekali.

Sumber dari aliran arus dan korosi galvanis ialah perbedaan potensial yang terbentuk antara 2 logam. Salah satu contoh peristiwa korosi galvanis ialah *dry-cell battery* atau baterai sel kering seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.5. Elektroda karbon berperan sebagai material yang tahan korosi atau katoda, dan zinc sebagai anoda yang terkorosi. *Moist paste* atau pasta lembab ammonium klorida bersifat konduktif dan korosif, dan menjadi media penghantar arus.



Gambar 2. 5 Potongan baterai sel kering (Fontana, 1987)

Terdapat beberapa cara untuk mencegah terjadinya korosi galvanis. Pemilihan material dengan urutan terdekat pada seri galvanik membantu mengurangi perbedaan potensial yang terbentuk. Melakukan insulasi secara keseluruhan pada logam yang berkontak sama lain juga dapat mencegah terjadinya korosi galvanis, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.6. Penting bahwa insulasi menutupi seluruh bagian logam yang berkontak satu sama lain, karna bila terdapat kontak walaupun sedikit saja pada bagian logam tersebut, maka akan terjadi reaksi galvanis. (Fontana, 1987).



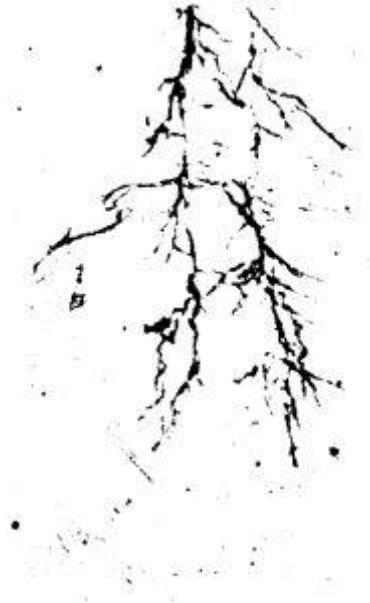
Gambar 2. 6 Contoh insulasi yang baik pada sambungan bergelang (Fontana, 1987)

5. *Stress Corrosion*

Stress corrosion (korosi tegangan) atau *stress corrosion cracking* (korosi tegangan retak) ialah keretakan yang diakibatkan oleh keberadaan tegangan yang serentak dengan keberadaan media korosif. Banyak penelitian yang sudah dilakukan untuk menginvestigasi kegagalan akibat keretakan pada media korosif, termasuk kegagalan akibat *hydrogen embrittlement* atau penggetasan hidrogen, namun kedua kegagalan ini memiliki respon berbeda terhadap variabel lingkungan. Sebagai gambaran, proteksi katodik merupakan salah satu metode yang efektif dalam mengatasi korosi tegangan, namun mempercepat pengaruh penggetasan hidrogen. Maka dari itu penting bahwa kedua peristiwa tersebut didefinisikan secara terpisah.

Ketika korosi tegangan terjadi, seluruh permukaan paduan logam atau paduan sebenarnya tidak terkena serangan korosi, sedangkan retakan halus merambat ke dalam material. Fenomena retakan ini memiliki dampak yang serius karena dapat terjadi pada dibawah

batasan tegangan desain logam, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.7 (Fontana, 1987).



Gambar 2.7 Potongan melintang terhadap korosi tegangan pada *stainless steel* (Fontana, 1987)

Korosi tegangan merupakan kombinasi dari keberadaan tegangan yang cukup dan media korosif pada lingkungan. Peningkatan tegangan pada logam berakibat percepatan terhadap korosi tegangan. Ada beberapa dugaan yang didasari oleh temperatur, komposisi logam paduan, dan lingkungan korosif terhadap tegangan minimum untuk mencegah terjadinya korosi tegangan. Untuk setiap kombinasi paduan-lingkungan, terdapat tegangan minimum efektif atau batasan tegangan supaya SCC dapat terjadi.

Batasan ini harus digunakan dengan hati hati, sebab kondisi lingkungan dapat berubah dari waktu ke waktu. Pada Tabel 2.3 dapat diamati lingkungan yang dapat mengakibatkan korosi tegangan pada logam dan paduannya.

Tabel 2. 3 Lingkungan yang mampu mengakibatkan korosi tegangan pada beberapa logam dan paduannya (Fontana, 1987)

Material	Lingkungan
Paduan aluminium	Larutan $\text{NaCl.H}_2\text{O}_2$, larutan NaCl , air laut
Paduan tembaga	Uap dan larutan amonia, amina, air, uap air
Paduan emas	Larutan FeCl_3 , larutan asam asetat-garam
Inconel	Larutan basa kaustik
Timbal	Larutan timbal asetat
Paduan magnesium	Larutan $\text{NaCl.K}_2\text{CrO}_4$, atmosfer pesisir
Monel	Asam hidrofior, asam hidrofior-silik
Nikel	Larutan basa kaustik
Baja	Larutan NaOH , larutan $\text{NaOH.Na}_2\text{SrO}_2$, larutan HCN , air laut, logam cair NaPb
Baja tahan karat	Larutan MgCl_2 , larutan BaCl_2 , larutan $\text{NaCl.H}_2\text{O}_2$, air laut
Paduan Titanium	Larutan N_2O_4 .metanol. HCl , air laut

Mekanisme dari korosi tegangan itu sendiri merupakan hal yang masih belum dapat dijelaskan secara sempurna. Kombinasi faktor media, logam, dan tegangan yang diberikan mampu memberikan dampak berbeda pada kondisi yang identik, maka dari itu metode pencegahan dari korosi tegangan merupakan

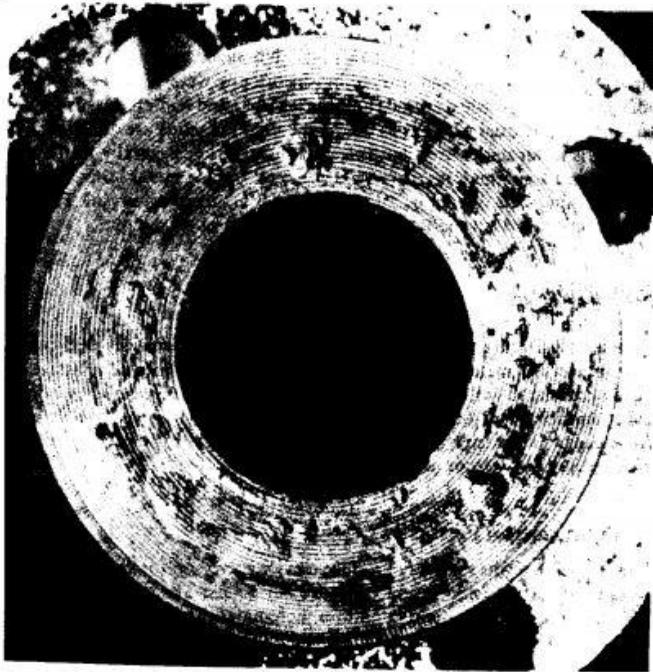
metode umum yang tidak memberi solusi spesifik terhadap kasus-kasus tertentu. Menurunkan tegangan dibawah batas tegangan korosi tegangan dapat dilakukan dengan cara melakukan annealing, sehingga tegangan sisa dapat direduksi. Metode umum lainnya ialah dengan mengeliminasi spesi berbahaya di lingkungan logam tersebut. Hal ini dapat dilakukan dengan cara *degasification*, *demineralization*, *distillation* (Fontana, 1987).

6. *Crevice Corrosion*

Crevice corrosion atau korosi celah adalah korosi yang terjadi pada daerah logam yang terlindung dan membentuk celah. Korosi celah terjadi akibat larutan yang tergenang pada lubang, daerah sambungan dan bentuk celah lainnya seperti celah dibawah baut dan gasket, maka dari itu, jenis korosi ini disebut korosi celah, korosi deposit atau korosi gasket.

Beberapa macam deposit yang dapat mengendap pada celah logam dan menghasilkan korosi celah ialah pasir, debu, produk korosi, ataupun padatan lainnya. Deposit ini kemudian berperan sebagai perisai (*shield*) dan membentuk daerah stagnan dibawahnya.

Kontak antara permukaan logam dan nonlogam dapat menyebabkan korosi celah seperti halnya yang terjadi pada gasket. Kayu, plastik, karet, gelas, beton, asbes, lilin, dan kain adalah contoh material yang dapat menyebabkan korosi celah. Salah satu contoh dari peristiwa korosi celah ialah korosi celah pada *stainless steel* pada Gambar 2.8 yang merupakan hasil korosi dari kontak antara *stainless steel* dan gasket.



Gambar 2. 8 Korosi celah pada pipa stainless steel (Fontana, 1987)

Untuk mengurangi atau mencegah terjadinya korosi celah, terdapat beberapa metode yang dapat digunakan. Pada sambungan logam yang menggunakan sambungan rivet atau sambungan baut, dapat diganti dengan menggunakan sambungan tumpul yang dilas (*welded butt joint*). Pengelasan dan penetrasi sempurna diperlukan agar menghindari terbentuknya poros dan celah yang dapat mengakibatkan korosi celah. Penggunaan gasket padat nonabsorber seperti teflon juga dapat membantuy mengatasi korosi celah dan mengurangi kemungkinan terjadinya korosi celah (Fontana, 1987).

2.2.3 Korosi Air Laut

Lautan adalah daerah terluas bumi. Hampir 66% bagian dari bumi terdiri dari daerah laut. Karena dari itu, maka banyak industri yang berhubungan dengan dunia kelautan seperti pengeboran lepas pantai, struktur laut, dan industri kapal laut.

Air laut adalah elektrolit, sehingga kerap kali mengakibatkan korosi terhadap struktur pada laut terutama yang terbuat dari logam. Hal ini disebabkan oleh faktor faktor pada air laut yang mampu mengoksidasi logam. Faktor-faktor tersebut ialah, kandungan NaCl pada air laut, kecepatan arus air laut, temperatur air laut, dan unsur unsur biologi di laut.

Laut memiliki banyak unsur yang dapat mengakibatkan korosi pada logam. Jika dilihat dari unsur yang terkandung di lautan, umumnya unsur unsur yang ada di laut ialah sebagai berikut : klorida, sodium, sulfat, magnesium, kalsium, potasium, bikarbonat, bromide, stronsium, florida dan lainnya. (Munasir, 2009)

Korosi pada dasarnya ialah proses elektrokimia dimana atom atom bercampur dengan suat zat asam dan membentuk ion ion positif yang disebut kation. Peristiwa korosi akan menghasilkan aliran elektron-elektron dari suatu daerah pada permukaan logam ke daerah permukaan logam yang lain. Reaksi elektrokimia yang terjadi pada daerah laut akan berlangsung pada anoda dari sel-sel setempat serta pada katoda dengan reaksi sebagai berikut :

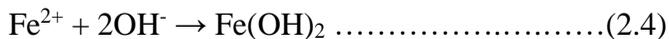
Pada anoda, reaksi yang terjadi ialah sebagai berikut :



Pada katoda, reaksi yang terjadi ialah sebagai berikut :



Pada reaksi nomor (2), terjadi reaksi reduksi yang merupakan reaksi utama, sedangkan air merupakan pereaksi netral atau merupakan basa lemah yang memiliki ion rendah.



Di atas adalah reaksi yang terjadi pada baja bila bereaksi dengan air yang mengandung oksigen terlarut (Nasution, 2018).

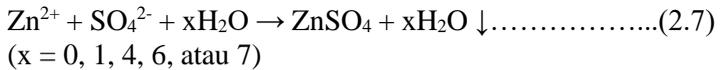
2.2.4 Mekanisme Korosi pada Senyawa Zinc

Zinc karbonat adalah salah satu senyawa zinc yang banyak ditemukan di alam. Contoh dari mineral karbonat zinc ialah smithsonite (ZnCO_3), dan hydroxide mixed salt hydrozincite $\text{Zn}_5(\text{CO}_3)_2(\text{OH})_6$ yang merupakan bentuk korosi yang dapat ditemukan pada mineral karbonat zinc. Hydrozincite dapat ditemukan bukan hanya di zinc yang terkorosi pada atmosfer, namun juga pada zinc yang terkorosi pada air laut atau air tawar. Pada permukaan Zn terdapat senyawa $\text{Zn}(\text{OH})_2$ yang dapat larut pada larutan asam. Pada mineral karbonat, ZnCO_3 dapat larut dikarenakan adanya nukleasi $\text{Zn}(\text{OH})_2$ lalu membentuk hydrozincite.

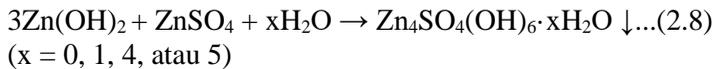


Pada mineral zinc sulfida, unsur sulfur dapat meningkatkan korosi pada zinc, dan pada beberapa kasus, dapat bereaksi pada zinc melalui atmosfer. Pada buku atmospheric corrosion oleh

Leygraf, menyatakan bahwa gas sulfur yang larut pada permukaan zinc akhirnya akan teroksidasi membentuk bisulfit ion HSO_3^- . Bisulfit ion tersebut kemudian akan membentuk ion sulfat dengan bantuan O_3 , H_2O_2 , atau O_2 . Ketika ion sulfat telah terbentuk, maka pembentukan zinc sulfat dapat terbentuk pada permukaan zinc.



Reaksi diatas sangat mudah terjadi, karena ketiga spesi dapat mudah ditemukan di alam, terutama atmosfer udara luar ruangan. Pada produk korosi zinc sulfida, memungkinkan untuk membentuk senyawa hydroxide mixed salt seperti yang terjadi pada senyawa zinc karbonat. Nukleasi dapat terjadi oleh zinc hidroksida dan membentuk zinc hidroxyulfate.



Senyawa zinc yang mengandung unsur klor dapat ditemukan di beberapa lingkungan, seperti lingkungan industri ataupun maritim, dimana ditemukan senyawa zinc $\text{Zn}_5(\text{OH})_8\text{Cl}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$. Ketika air ditambahkan pada garam tersebut, maka akan dihasilkan senyawa simonkolleite, senyawa zinc yang dapat ditemukan di alam dikarenakan proses degradasi akibat cuaca. Tidak seperti senyawa karbonat ataupun sulfida, senyawa zinc klorida tidak banyak ditemukan di alam, dan mudah larut, sehingga tinggi kemungkinannya senyawa zinc klorida tersebut terlarut oleh laut sebelum membentuk senyawa lain. Proses pembentukan dari zinc klorida, seperti senyawa karbonat dan sulfida, bereaksi dengan nukleasi zinc hidroksida sebagai pengintian pembentukan senyawa zinc klorida simonkolleite. (Leygraf 1982)



Pada penelitian Shetty pada tahun 2012, dilakukan *anodizing* terhadap *zinc* menggunakan air suling. Pada jurnal tersebut, menunjukkan reaksi zinc yang membentuk zinc oksida, dan terkorosinya lapisan zinc oksida akibat *anodizing* dengan waktu *anodizing* yang cukup lama.

Oksidasi Zn



Etching ZnO



Proses etching oleh senyawa asam karbonat dapat diakibatkan oleh disolusi CO_2 pada air yang digunakan pada penelitian. (Shetty 2012)

2.2.5 Pengujian Korosi terhadap logam Zn

Logam zinc memiliki banyak aplikasi pada dunia industri. Salah satu aplikasi logam zinc ialah sebagai bahan coating pada logam lain, contohnya ialah baja seperti pada aplikasi galvanizing pada logam baja. Logam zinc dapat diuji ketahanan korosinya melalui berbagai pengujian. Salah satu pengujian korosi yang mengacu pada standar yang dibentuk oleh ASTM D 1654-08 ialah metode immerse menggunakan scratch test. Pada ASTM D1654-08 disebutkan untuk membuat huruf X pada benda kerja yang ingin diuji ketahanan korosinya. Huruf X dibuat dengan menggunakan tool steel dengan lebar goresan 1 mm sepanjang diagonal pada benda kerja yang akan diuji. Setelah scratch dibuat, dilakukan uji immerse terhadap benda uji. Untuk menguji ketahanan korosi pada berbagai lingkungan, akan digunakan larutan yang berbeda beda. Mengacu pada ASTM D 870, pengujian ketahanan korosi pada

lingkungan laut dapat menggunakan larutan elektrolit dengan kandungan 3,5% NaCl dalam aquades. (Committee, Standard Test Method for Evaluation 2005)

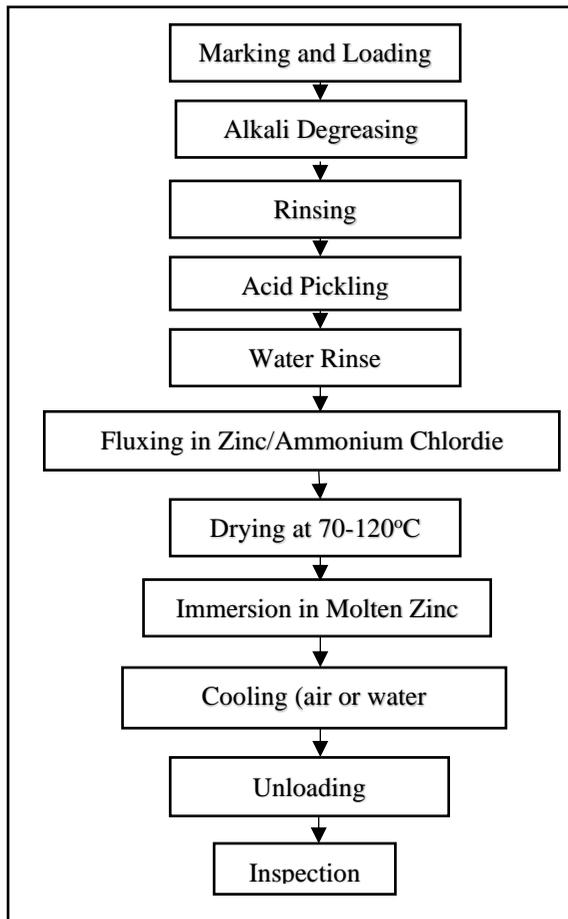
Pada penelitian yang dilakukan Sihombing pada tahun 2019, menyebutkan pengujian immerse secara teknisnya dapat menggunakan wadah apa saja yang memadai. Untuk skala penelitian yang dilakukan pada laboratorium dapat menggunakan container box sebagai wadah untuk menaruh larutan yang digunakan dan benda uji yang ingin diuji. Benda uji kemudian dimasukkan ke dalam larutan yang telah disediakan di dalam container box secara vertikal tanpa menyentuh dasar container box. Selama proses immersion, diaplikasikan pompa air agar larutan tidak dalam keadaan statis. Pengujian dilakukan dengan tempo 15 hari bila mengacu pada standar yang disediakan oleh ASTM D 1654. (Sihombing 2019)

2.3 Hot Dip Galvanizing

Pelapisan *hot dip galvanizing* ialah proses *coating* logam baja yang dilakukan dengan cara pencelupan baja ke dalam *zinc* cair. Hasil dari pelapisan pada hot dip galvanizing dipengaruhi oleh temperatur dan waktu pencelupan. Pencelupan yang singkat menghasilkan lapisan yang kurang menyeluruh, namun bila pencelupan dilakukan terlalu lama, akan berdampak kepada ketebalan lapisan *zinc* yang tidak ideal dan berwarna kusam. Proses pencelupan dengan parameter yang baik akan menghasilkan lapisan yang baik sehingga memiliki ketahanan korosi yang baik juga (Wahyudi, 2016).

Inti dari proses *hot dip galvanizing* ialah pembuatan lapisan paduan dari *zinc* pada bagian baja dengan pencelupan terhadap *zinc* cair. Proses ini memerlukan proses difusi yang kompleks, rekasi metalurgi, dan transformasi termodinamika. Untuk menciptakan proses *galvanizing* yang sukses, dibutuhkan prekondisi yang baik seperti pembasahan sempurna (*perfect wetting*) terhadap substrat yaitu baja oleh larutan *zinc* cair. Maka dari itu bagian yang ingin digalvanize dilakukan *pre-treatment* untuk mendapatkan

permukaan zinc yang baik. *Treatment* yang diberikan berupa *degreasing* atau pembersihan kotoran, oli, minyak, dan bekas cat dengan larutan alkali, lalu dilakukan *pickling* yaitu pembersihan sisa karat pada baja menggunakan larutan asam. *Pickling* bisa juga dialternatif menggunakan proses pembersihan karat lainnya seperti *abrasive cleaning* ataupun *air blasting sand*. Sebelum melakukan pencelupan terhadap larutan zinc, flux diaplikasikan kepada komponen melalui pencelupan terhadap larutan zinc amonium klorida. *Fluxing* bertujuan untuk membersihkan sisa oksida yang ada pada baja dan mencegah terjadinya karat pada baja sebelum dilakukan *hot dip galvanizing*. Tahapan dari *hot dip galvanizing* ini dapat diamati pada Gambar 2.9 (Kuklik, 2016).



Gambar 2. 9 Proses *hot dip galvanizing* (Eijnsbergen, 1994)

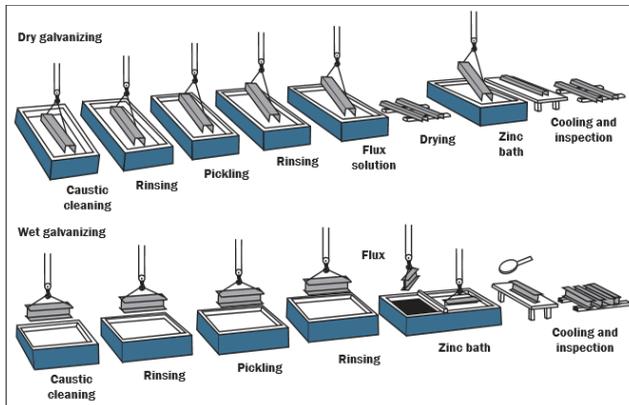
Setelah proses *fluxing*, dilakukan proses pengeringan pada temperatur $75^{\circ}\text{C} - 120^{\circ}\text{C}$, bergantung pada jenis flux yang digunakan, untuk memastikan permukaan baja bebas dari sisa kontaminan supaya mendapat kondisi *wetting* yang optimal

terhadap larutan zinc. Keseluruhan proses dapat dilihat pada gambar 2. 8. Total ketebalan coating bergantung pada :

1. Jenis baja dan kekasaran permukaan baja
2. Komposisi permukaan baja
3. Waktu pencelupan
4. Temperatur *galvanizing*
5. Massa substrat

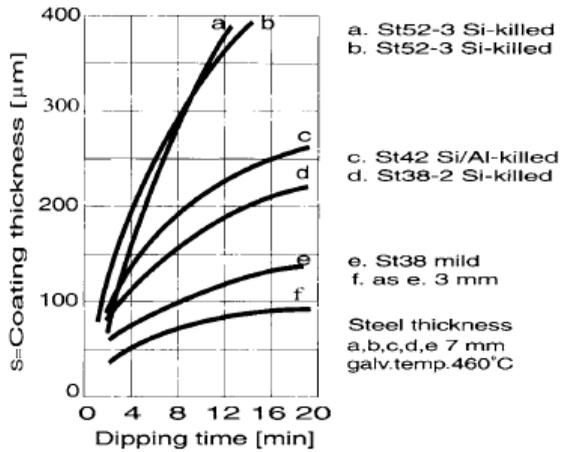
Dari parameter yang disebutkan diatas, jenis baja, kekasaran permukaan baja dan waktu pencelupan adalah faktor utama yang mempengaruhi ketebalan coating pada proses *hot dip galvanizing* (Eijnsbergen, 1994).

Banyak jenis dari lapisan *coating zinc* yang tersedia pada dunia industri, dan tiap jenis lapisan *coating zinc* memiliki keunikannya masing masing. Salah satu jenis lapisan *coating zinc* yang kerap digunakan di dunia industri ialah *batch hot dip galvanizing*. *Batch hot dip galvanizing*, atau *galvanizing* pada umumnya menghasilkan lapisan *coating zinc* pada produk besi dan baja dengan metode pencelupan material substrat pada *bath* yang berisi *zinc* cair. Sebelum dilakukan pencelupan, substrat dipersiapkan melalui beberapa tahap, yaitu *degreasing*, *pickling*, dan *fluxing*. Persiapan tersebut bertujuan untuk mensterilkan substrat besi atau baja dari segala kotoran, sisa cat, debu, oli, minyak, dan kontaminan agar mendapatkan lapisan *coating* yang optimal. Skema dari proses *hot dip galvanizing* dapat diamati pada Gambar 2.10 (Committee, Zinc Coating, 2006).

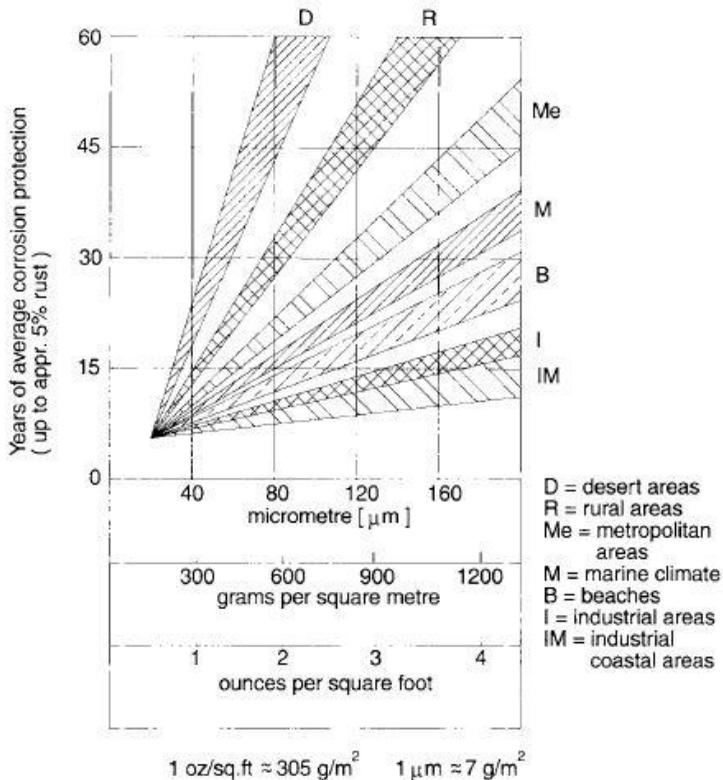


Gambar 2. 10 Skema Proses Galvanizing (Committee, Zinc Coating, 2006)

Merupakan hal yang penting bahwa dalam *hot dip galvanizing*, ketahanan korosi proporsional dengan tebal coating. Lapisan Zn-Fe seperti lapisan delta yang terbentuk pada temperatur tinggi yaitu 550°C - 560°C , menunjukkan ketahanan korosi tinggi terutama pada daerah maritim dan daerah industri. Perbedaan ketahanan korosi juga dapat dipengaruhi oleh kondisi lokal seperti *microclimate* atau iklim lokal. Pada prakteknya, merupakan hal yang sangat sulit untuk memprediksi ketebalan coating secara presisi pada standar *hot dip galvanizing* yang beragam. Sebagai contoh, permukaan baja reaktif memiliki ketebalan coating yang lebih tebal dibandingkan permukaan baja ringan pada parameter yang sama. Galvanizing pada temperatur 550°C - 560°C menghasilkan ketebalan coating relatif lebih tipis bila dibandingkan dengan temperatur *bath* larutan zinc pada biasanya. Pengaruh dari komposisi baja dan waktu celup terhadap tebal *coating* yang terbentuk dapat dilihat pada Gambar 2.11, sedangkan ketahanan korosi logam *hot dip galvanized* pada lingkungan yang berbeda dapat dilihat pada Gambar 2.12 (Eijnsbergen, 1994).



Gambar 2. 11 Pengaruh komposisi baja dan waktu pencelupan terhadap tebal coating (Eijnsbergen, 1994)



Gambar 2. 12 Ketahanan korosi pada kondisi iklim yang beragam (Eijnsbergen, 1994)

2.4 Lapisan Fe-Zn

Zinc adalah logam berwarna putih kebiruan dan memiliki tampak mengkilat. Pada temperatur kamar, *zinc* bersifat getas, namun pada temperatur $100^{\circ}\text{C} - 150^{\circ}\text{C}$ *zinc* dapat ditempa. *zinc* memiliki sifat konduktifitas yang cukup baik, dan merupakan unsur ke 23 terbanyak pada keral bumi. Sifat dari unsur *zinc* dapat diamati pada Tabel 2.4 (Reuter, 2002).

Tabel 2. 4 Sifat *zinc* (Reuter, 2002)

Sifat	<i>zinc</i>
Symbol	Zn
Nomor atom	30
Massa atom	65.4
Titik leleh	420°C
Titik uap	907°C
Massa jenis	7140 kg/m ³ at 25°C
Kapasitas panas	388 J/kgK at 25°C
Konduktivitas termal	116 W/mK
Resistivitas listrik	5.916.10 ⁻⁸ at 20°C
Struktur Kristal	Hexagonal

Zinc dibutuhkan dalam perkembangan kehidupan modern, dan dalam produksinya di dunia, menempati urutan keempat logam yang terbanyak diproduksi. Pemakaian *zinc* yang utama ialah perlindungan baja dari korosi. *zinc* juga digunakan dalam pemurnian air, pemberi daya pada kendaraan listrik, pembuatan kuningan, peralatan otomotif, alat pertukangan, konstruksi, pembangunan, bidang farmasi dan kosmetik. Tabel 2.5 berikut memberikan daftar sifat sifat *zinc* yang sesuai dengan aplikasi yang diinginkan (Reuter, 2002).

Tabel 2. 5 Sifat dan aplikasi zinc (Reuter, 2002)

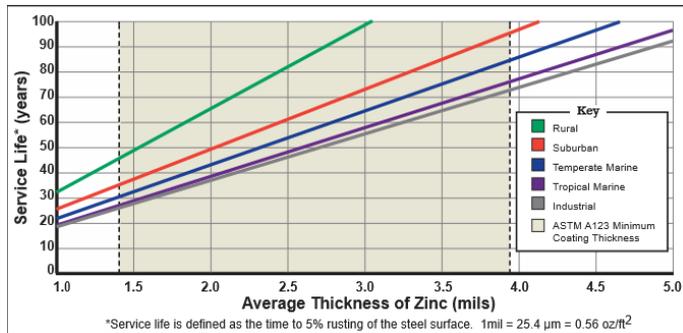
Sifat Zinc	Penggunaan	Aplikasi di Industri
Reaktivitas dengan besi , ketahanan korosi	Proteksi korosi (galvanizing, <i>thermal spray zinc</i> , <i>electroplating</i> , cat yang mengandung <i>zinc</i>)	Pembangunan / konstruksi, sarana lalu lintas, otomotif
Titik leleh rendah, fluiditas, kapasitas perlakuan permukaan	<i>Die casting</i> , <i>Gravity Casting</i>	Otomotif, peralatan rumah tangga, mainan
Sifat paduan	Pembuatan kuningan, paduan aluminium, paduan magnesium	Pembangunan / konstruksi, otomotif, peralatan kelistrikan
Sifat mudah dibentuk, ketahanan korosi	Pembuatan <i>rolled zinc</i> (<i>zinc</i> rol)	Pembangunan
Elektrokimia	Pembuatan baterai	Otomotif, computer, peralatan medis
Kimia	<i>Zinc oxide</i> , <i>zinc stearate</i>	Ban, produk karet, pigmen cat, gelas keramik
Nutrisi Esensial	Campuran <i>zinc</i>	Industri makanan, pupuk

Zinc memiliki beberapa karakteristik yang membuatnya cocok sebagai lapisan proteksi terhadap korosi untuk produk besi dan baja di berbagai macam lingkungan. Performa lapisan *zinc* yang baik merupakan hasil dari kemampuannya membuat produk korosi yang padat dan adhesif terhadap *zinc*, dan memiliki laju korosi yang rendah dibandingkan sebagian besar material *ferrous*. Ketika permukaan *zinc* diekspos terhadap atmosfer sekitar, lapisan

tipis dari produk korosi terbentuk secara cepat, mengurangi laju korosi yang berlanjut.

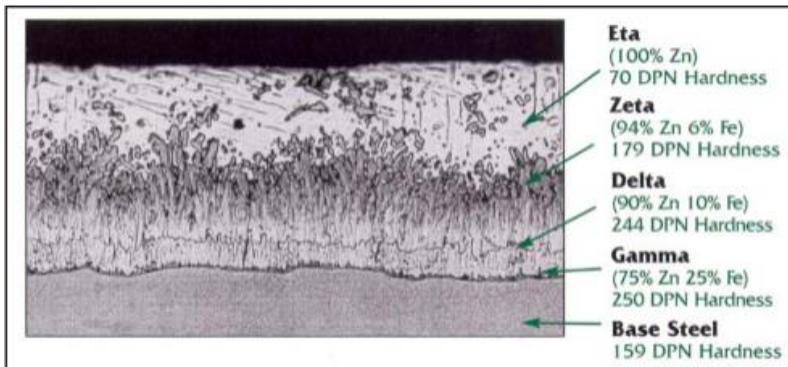
Selain mampu menjadi perlindungan pembatas (*barrier protection*) terhadap baja yang dilindungi dengan lingkungan, *zinc* memiliki kemampuan sebagai perlindungan katodik terhadap baja. *zinc* yang bersifat anodik terhadap besi dan baja, akan lebih mudah terkorosi dibandingkan baja dan melindungi baja dengan mengorbankan lapisan *zinc* tersebut ketika lapisan *coating* tergores atau rusak (Committee, Zinc Coating, 2006)

Lapisan *coating* yang dihasilkan oleh *hot dip galvanizing* terdiri dari beberapa lapisan Fe-Zn dengan lapisan di permukaannya berupa *zinc* murni. Lapisan *coating* yang terbentuk terikat kepada substrat baja secara metalurgi. Ikatan metalurgi dari Fe-Zn ini terbentuk karena adanya ikatan antara lautan electron oleh logam Fe dan logam Zn. Ikatan ini disebut juga ikatan metalurgi atau ikatan logam dikarenakan hanya dapat terjadi pada unsur logam dengan sesama unsur logam. (Grady, 2015). Kekuatan ikatan Fe-Zn yang terbentuk diukur pada jangka ribuan psi, menghasilkan lapisan *coating* yang menempel kepada substrat dengan kuat. *Hot dip galvanizing* menghasilkan lapisan *coating* yang relative lebih tebal dibandingkan metode pelapisan *zinc* lainnya. Ketebalan minimum lapisan *coating* dari berbagai produk baja dan tebal baja ditetapkan oleh ASTM melalui standar A 123, A 153, dan A 767, juga spesifikasi CSA G 164. Pada Gambar 2.13 dapat diamati hubungan ketebalan *coating* dengan umur pemakaian.

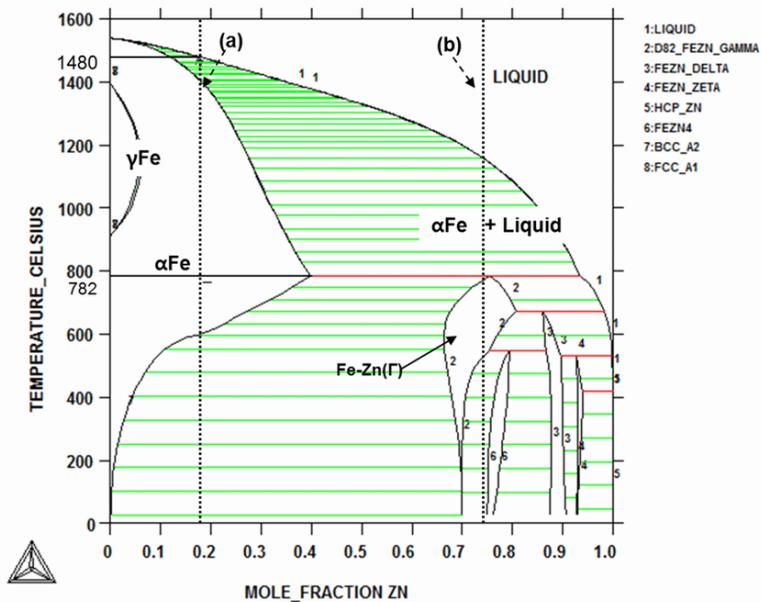


Gambar 2.13 Grafik hubungan ketebalan *coating* dengan umur pemakaian (Committee, Zinc Coating, 2006)

Lapisan paduan Fe-Zn yang terbentuk memiliki nilai kekerasan yang melampaui sebagian besar baja struktur, menawarkan ketahanan abrasi yang tinggi untuk beragam aplikasi seperti jalanan dan tangga. Paduan Fe-Zn memiliki kekerasan yang melewati substrat baja, secara umum, lapisan ini memiliki ketebalan yang rata terhadap seluruh permukaan, namun sudut struktur memiliki ketebalan yang setebal, atau lebih tebal daripada permukaan datarnya, menyediakan proteksi pada daerah kritis structural. Lapisan *zinc* murni dan lapisan paduan Fe-Zn yang bersifat anodic terhadap baja, menyediakan perlindungan katodik bila lapisan ada yang tergores atau rusak. Hal ini memastikan baja yang terkespos langsung pada atmosfer tidak akan terkorosi selama ada lapisan *coating* yang cukup pada permukaan baja. Pada Gambar 2.14 dapat diamati fasa yang dapat terbentuk pada paduan Fe-Zn, dan pada Gambar 2.15 dapat diamati diagram fasa dari unsur Fe-Zn. (Committee, Zinc Coating, 2006)



Gambar 2. 14 Lapisan pada Potongan Melintang Galvanized Steel (Committee, Zinc Coating, 2006)



Gambar 2. 15 Diagram fasa Fe-Zn (Ji, 2015)

Diagram fasa Fe Zn seringkali digunakan dalam menganalisa struktur pelapisan *hot dip galvanizing*. Pada Gambar 2. 13 diatas dapat terlihat fase paduan Fe-Zn dengan komposisi dan nilai kekerasan spesifik. Pada Gambar 2. 14 dapat dilihat secara detail diagram fasa Fe-Zn. Dapat dilihat pada Gambar 2.14 bahwa adanya kemungkinan terjadi beberapa fasa yang berbeda pada suhu ruang, yaitu fase Eta *zinc* (η) dengan persentase Zn menyeluruh, diikuti dengan fase Zeta (ζ) dengan 5,8-6,2% Fe, lalu disusul fase Delta (δ) dengan 7-12% Fe dan fase Gamma (Γ) yang mengandung 21-28 % Fe. Pada praktiknya, fasa yang berbeda itu dapat tersusun secara bertumpuk (*stratifie*), yang mana lapisan paling luar adalah fasa Eta (η) dan lapisan paling dalam adalah fasa Gamma (Γ). Sifat fisik dan mekanik dari fasa paduan tersebut dapat dilihat pada tabel 2.6 (Saripudin, 2009)

Tabel 2. 6 Sifat paduan Fe-Zn (Eijnsbergen, 1994)

Type of Layer	Total Layer Composition			
	Eta (η)	Zeta (ζ)	Delta (δ)	Gamma (Γ)
Stoichiometric Composition	Zn	Zn ₁₃ Fe	Zn ₇ Fe	Zn ₂₁ Fe ₅
Iron Percentage	-	5.8 – 6.2	7 – 12	21 – 28
Crystal Structure	Hexagonal	Monoclinic	Hexagonal	Cubic
Flexibility	Good	Poor	Poor	Poor
Hardness and Abrasion Resistance	High	Very High	Very High	Very High

2.5 Anodizing

Anodizing adalah proses elektrokimia konversi untuk membentuk lapisan oksida pada permukaan logam tertentu dengan

tujuan mempertebal lapisan oksida alami pada logam tersebut (Imam, 2011). Lapisan anodik dapat menjadi kunci dalam proses pewarnaan dan perlakuan pasivasi pada permukaan logam. Proses *Anodizing* atau anodisasi biasanya dipakai pada logam aluminium, namun proses ini juga sering dipakai terhadap logam-logam lainnya, yaitu tembaga, kadmium, magnesium, *zinc*, titanium, tantalum, niobium, zirconium, dan logam lainnya. (Gabe, 1978).

Menurut Gabe, 1978 pada buku *Principles of Metal Surface Treatment and Protection*, proses dari *anodizing* ialah sebagai berikut :

- a. *Surface preparation* atau preparasi permukaan yaitu dengan *shot blasting*, *brushing*, dan *polishing* tujuan dari *surface preparation* ialah untuk memastikan permukaan logam rata dan siap untuk langkah selanjutnya.
- b. *Degreasing* dan *cleaning* bertujuan untuk menghilangkan pengotor seperti oli dan minyak pada permukaan logam.
- c. *Electrobrightening* atau *polishing* (pemolesan) untuk mengurangi kekasaran permukaan logam.
- d. *Anodizing*
- e. Pewarnaan dan perlakuan setelah *anodizing*
- f. Penutupan pori *anodizing*

Pemolesan permukaan aluminium dapat menggunakan metode pemolesan konvensional yaitu pemolesan mekanik, namun, *electrolytic brightening* memiliki kegunaan yang lebih tinggi. *Electrobrightening* pada awalnya digunakan untuk memproduksi permukaan aluminium yang bersifat reflektif seperti cermin, dan lebih banyak digunakan dibandingkan metode pemolesan biasa. Larutan elektrolit yang digunakan didasari oleh larutan fosfat dengan komposisi yang beragam. Contoh proses *electrobrightening* yang dipakai dalam proses persiapan *anodizing* dapat dilihat pada Tabel 2.7 (Gabe, 1978).

Tabel 2. 7 Contoh proses *electrobrightening* (Gabe, 1978)

Process	Electrolyte	C.D (A/dm ²)	Voltage	Temp (°C)	Time (min)
Alzak	2-5% HBF	1.0 - 2.0	15-30	30	5 – 10
Brytal	15% Na ₂ CO ₃ 5% Na ₃ PO ₄ pH > 10	2.5 - 3.0 (initial)	10-14	75-85	5 – 8
Battele	40% H ₂ SO ₄ 60% H ₃ PO ₄ 0- 1% glycerine	10-15	5-15	60	15

Anodizing terhadap logam lain jarang dilakukan, dan banyak perlakuan anodik memakai larutan kromat, sehingga membuat proses lebih menyerupai proses *conversion coating – electrochromating*. Beberapa proses anodik dapat dilihat pada Tabel 2.8, namun secara umum, logam logam tersebut tidak menghasilkan permukaan yang berwarna dan semenarik hasil proses *anodizing* pada aluminium (Gabe, 1978).

Tabel 2. 8 Proses *anodizing* pada logam lain (Gabe, 1978)

Metal	Solution	C.D (A/dm ₃)	Voltage	Temp (°C)	Time (min)
Cu	15-30% NaOH	0.5		80-90	20-30
Cd	25g/l KOH 50g/l Na ₂ CO ₃	5		15-25	1-2
Fe	40% NaOH	5-10		122	10-30
Mg	(a) 20 g/l CrO ₃ 60 g/l KMnO ₄	0.6	1	20-30	30
	(b) 50 g/l NaOH 35 g/l Na ₃ PO ₄	1-1.5	4	70-75	30-40
	(c) 80-90 g/l KOH 300 g/l Na ₂ Cr ₂ O ₇	3-4	70-80	45-50	8-15
Zn	(a) 20 g/l NaOH	6-12		40-45	7-10
	(b) 60 g/l KHCrO ₄	0.5		15-20	10

Anodizing pada *zinc* digunakan untuk meningkatkan ketahanan terhadap korosi, hal ini juga dapat meningkatkan *microhardness* dari *zinc* yang menandakan peningkatan ketahanan abrasi. Pada saat paparan awal terhadap atmosfer, permukaan *zinc* membentuk lapisan oksida yaitu *zinc hydroxide*, Zn(OH)₂ dengan cepat, yang mendasari pembentukan produk korosi lebih lanjut. Bergantung pada polutan yang berada pada atmosfer, berbagai macam produk korosi pada *zinc* dapat diidentifikasi. Agar korosi

atmosfer pada *zinc* dapat dihambat, pembentukan lapisan pelindung pada *zinc* telah dicoba untuk disintesis melalui berbagai proses *anodizing*. Beberapa proses *anodizing* telah dicoba menggunakan tegangan AC pada potensial dan rapat arus tinggi, percobaan tersebut menghasilkan lapisan pelindung terhadap lingkungan agresif yang mampu mengakibatkan korosi dan menghasilkan “*white rust*” pada permukaan *zinc*. Pada percobaan yang dilakukan oleh Imam pada 2011, *anodizing zinc* dilakukan menggunakan tegangan DC pada potensial dan rapat arus rendah menggunakan *bath* silikat. Salah satu tujuan percobaan tersebut dilakukan ialah untuk mereduksi resiko ekonomi dan resiko kerja pada pengerjaan *anodizing* menggunakan voltase tinggi (Imam, 2011).

2.6 Lapisan ZnO

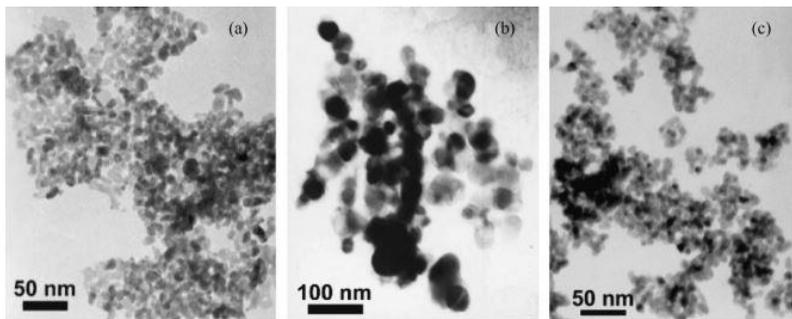
ZnO atau *zinc* oksida adalah satu senyawa anorganik yang merupakan material jenis keramik. Tampilan fisik ZnO merupakan bubuk putih yang tak terlarut pada air. ZnO seringkali digunakan sebagai aditif pada berbagai material, seperti pada karet, plastik, keramik, kaca, pelumas, dan semen (Batez, 2008).

ZnO memiliki aplikasi sebagai semikonduktor dengan energi ikatan yang tinggi (60 meV). ZnO juga sering dipakai pada aplikasi sensor gas, TEC (*transparent electrode conducting*) pada panel surya dan mikrofon. Sifat ZnO yaitu sifat *electro-optical* membuat ZnO terpakai pada aplikasi dioda UV. Untuk aplikasi tersebut, terdapat artikel yang membahas tentang karakteristik emisi gelombang oleh lapisan *coating* ZnO.

Penelitian oleh Baugh, 1981 mengenai sifat dari Zn pada berbagai larutan seperti NH_4Cl , NaClO_4 dan Na_2SO_4 telah dilakukan. Penelitian tersebut mengkonfirmasi bahwa pembentukan lapisan oksida menggunakan larutan asam lemah pada kondisi yang berbeda beda dapat menghasilkan produk lapisan ZnO dengan kapasitas yang berbeda beda. Lapisan anodik bekerja seperti lapisan pelindung, dan struktur dan komposisi dari lapisan tersebut menjadi faktor yang penting yang menentukan sifat

fotoelektrik dan sifat kelistrikan dari *photo electrochemical solar cell*. Hasil dari pengujian XRD (*X-Ray Diffraction*) menunjukkan bahwa pembentukan lapisan anodik pada permukaan logam dengan warna putih dan mengandung ZnO sebagai komposisi utama pada permukaan lapisan memiliki sifat semikonduktor yang baik.

Anodizing adalah proses elektrokimia yang mengubah permukaan logam menjadi lapisan oksida yang tak terlarut. Lapisan *coating* inilah yang akan meningkatkan ketahanan korosi dan memiliki aplikasi yang luas seperti permukaan dekoratif, material dengan basis yang lebih bagus untuk pengecatan dan metode pelapisan lainnya. Proses *anodizing* telah lama dipakai dengan tujuan dekoratif sampai aplikasi peningkatan ketahanan korosi. Pengerjaan *anodizing* merupakan pengerjaan yang *cost-effective* atau ekonomis untuk menciptakan lapisan tipis yang memiliki kerekatan yang bagus dengan logam substrat. Perlakuan permukaan hasil *anodizing* juga penting dalam peningkatan berbagai jenis struktur nano dari berbagai jenis logam. Pada Gambar 2.16 dapat diamati perbandingan gambar partikel nano dari beberapa senyawa (Ajeel, 2017).



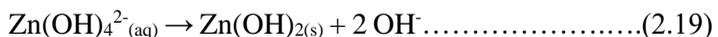
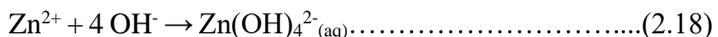
Gambar 2. 16 Perbandingan gambar nano partikel dari a) ZnO, b) CuO, c) ZrO₂ (Batez, 2008)

Maka dari itu, lapisan yang terbentuk pada substrat dapat menjadi material yang sangat baik dalam aplikasi pembuatan dioda pemancar, *transmitter*, dan panel surya (Ajeel, 2017)

Pembentukan senyawa ZnO pada lapisan pasif logam Zn dijelaskan oleh Gilani (2016) pada penelitiannya tentang preparasi lapisan ZnO dengan *anodizing* untuk aplikasi material antibakteri. Dari jurnal tersebut, , ketika logam Zn terpapar oleh larutan asam, maka logam Zn berubah menjadi ion Zn^{2+} dengan melepas 2 elektron. Molekul air kemudian terionisasi menjadi ion H^+ dan ion OH^- . H_2 kemudian dilepaskan dan menempel pada katoda, sehingga seiring dengan proses pembentukan ZnO, larutan yang digunakan semakin bersifat basa. OH^- yang terbentuk kemudian bereaksi dengan ion Zn^{2+} membentuk $Zn(OH)_2$, kemudian $Zn(OH)_2$ membentuk senyawa yang lebih stabil pada substrat Zn dengan melepas molekul air seiring dengan proses *anodizing* dan membentuk ZnO. Mekanisme pembentukan ZnO pada larutan asam dapat ditulis seperti berikut :



Sedangkan pada larutan basa, ion Zn^{2+} akan bereaksi dengan ion OH^- membentuk senyawa $Zn(OH)_4^{2-}$, seperti pada persamaan berikut :

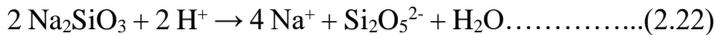




Ketika konsentrasi Zn(OH)_4^{2-} melebihi kelarutan, presipitasi pembentukan lapisan Zn(OH)_2 akan terjadi pada permukaan logam Zn. Zn(OH)_2 yang terbentuk pada logam Zn akan melepas molekul air seiring dengan proses *anodizing* membentuk ZnO. (Gilani 2016)

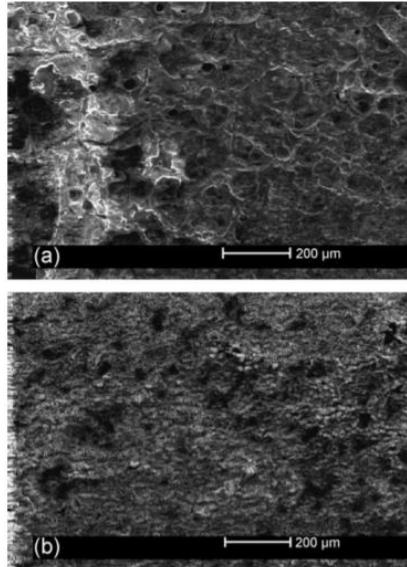
2.7 ZnSi_2O_5

ZnSi_2O_5 ialah senyawa silikat yang dapat tersusun pada lapisan pasif logam Zn ketika mengalami pembentukan lapisan pasif pada bath yang mengandung senyawa silikat. Ketika Aramaki (2001) meneliti perilaku logam Zn pada bath dengan senyawa silikat, diteliti senyawa yang terkandung pada lapisan pasif yang terbentuk pada logam Zn tersebut. Adapun pembentukan logam ZnSi_2O_5 ialah seperti berikut



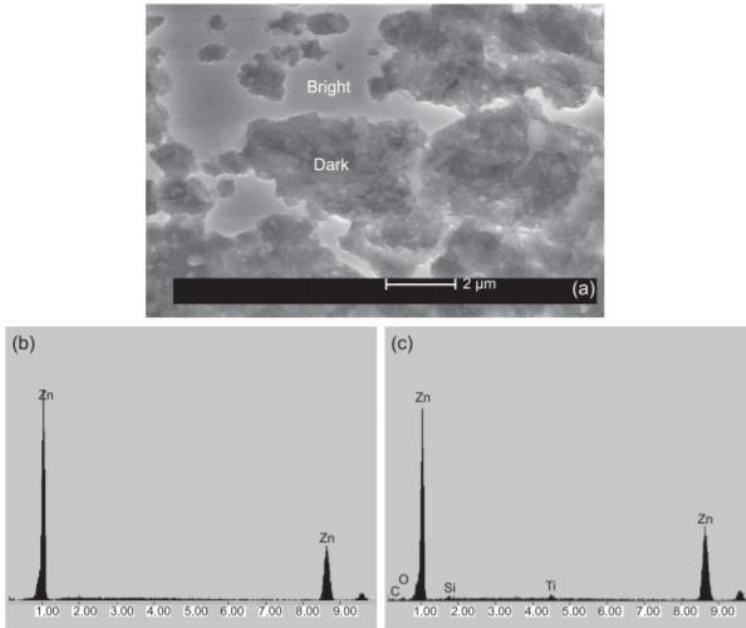
Pada penelitian tersebut, senyawa ZnSi_2O_5 lebih banyak ditemukan pada lapisan pasif yang tergores, menunjukkan adanya presipitasi yang menyebabkan pembentukan senyawa kompleks pada tubuh lapisan pasif dapat terjadi. (Aramaki 2001)

Pada penelitian yang dilakukan oleh Diomidis (2004) berkaitan dengan *anodizing* logam Zn pada bath silikat, dilakukan penelitian daerah deposisi silikat pada lapisan pasif yang terbentuk pada *anodizing* logam Zn pada bath silikat. Pada penelitian tersebut, dilakukan pengujian SEM dan EDX untuk menguji komposisi dari lapisan pasif yang terbentuk dan daerah pembentukan senyawa silikat yang terjadi. Hasil pengujian tersebut dapat dilihat pada Gambar 2.17.



Gambar 2. 17 Hasil pengujian SEM yang dilakukan oleh Diomidis (Diomidis 2004)

Dari hasil pengujian SEM yang dilakukan, terlihat adanya 2 daerah berbeda pada permukaan lapisan pasif. 2 daerah yang berbeda tersebut ialah daerah terang dan daerah gelap. Pada daerah terang, tidak terjadi disolusi Zn, sedangkan pada daerah gelap, menunjukkan daerah dimana terjadi disolusi Zn, yaitu adanya pembentukan lapisan pasif. Senyawa silikat dengan intensitas kecil ditemukan pada daerah yang gelap, menunjukkan bahwa agar terbentuknya senyawa silikat, dibutuhkan adanya disolusi Zn. Hasil uji EDX menampilkan intensitas unsur yang terkandung pada lapisan pasif pada kedua daerah tersebut. Hasil pengujian EDX dapat dilihat pada Gambar 2.18.

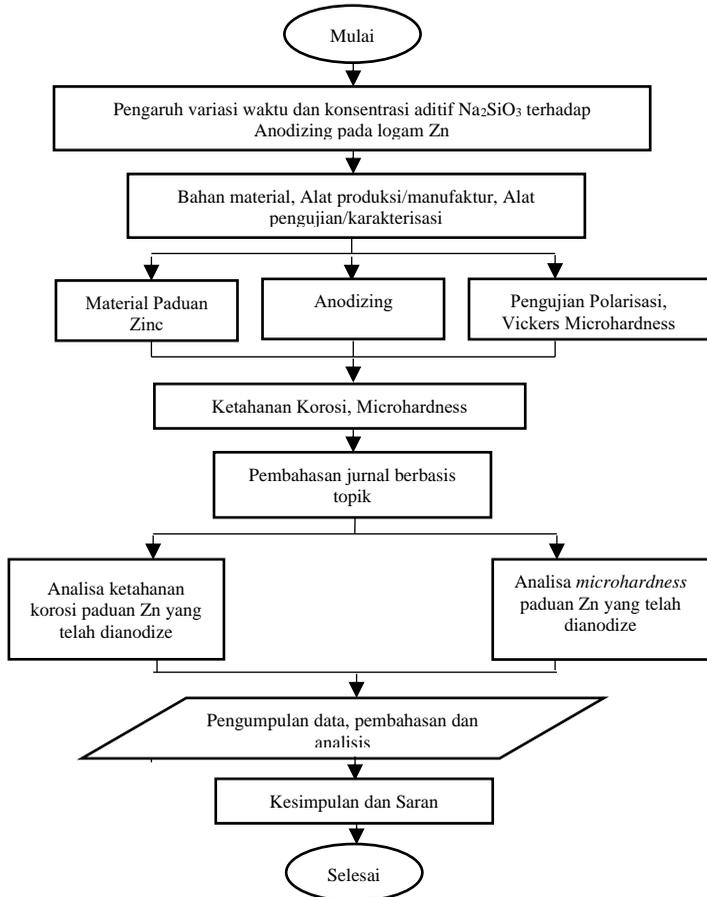


Gambar 2. 18 (a) hasil pengujian SEM dengan perbesaran hingga 2 μ m, (b) analisis EDX untuk daerah terang, (c) analisis EDX untuk daerah gelap (Diomidis 2004)

Dapat diamati pada hasil pengujian EDX yang dilakukan oleh Diomidis, bahwa pada daerah terang tidak terdapat adanya proses disolusi Zn, sehingga senyawa yang terkandung pada daerah tersebut hanyalah Zn, sedangkan pada daerah gelap terjadi adanya disolusi Zn yang ditandai oleh adanya peningkatan intensitas unsur lain seperti Si dan O menandakan adanya pembentukan lapisan pasif dan pembentukan senyawa silikat pada daerah tersebut. (Diomidis 2004)

BAB III METODOLOGI

3.1 Diagram Alir



Gambar 3.1 Diagram Alir Percobaan

3.2 Persiapan Review

Pada review paper ini, berikut persiapan dimulai dengan persiapan jurnal, analisa jurnal, dan komparasi jurnal yang telah dianalisa.

3.2.1 Persiapan Jurnal

Langkah pertama untuk mereview paper untuk menganalisa pengaruh konsentrasi aditif Na_2SiO_3 dan waktu *anodizing* terhadap peningkatan ketahanan korosi dan *microhardness* dari logam paduan zinc ialah mempersiapkan jurnal yang kompatibel untuk dianalisa. Pencarian jurnal dapat digunakan secara *daring*.

3.2.2 Analisa Jurnal

Berikutnya, dapat dilakukan analisa terhadap jurnal yang sudah dicari. Analisa terkait mengambil data yang relevan pada jurnal tersebut, juga menganalisa hasil yang ditampilkan pada jurnal. Data kemudian dibahas lebih lanjut untuk mengambil kesimpulan yang berkaitan dengan review paper kali ini.

3.2.3 Komparasi Jurnal

Data yang diambil dan dianalisa dari jurnal yang telah dikumpulkan kemudian dilakukan komparasi. Hal ini dilakukan untuk menguji ketepatan analisa dan membandingkan pengaruh yang diuji pada parameter yang berbeda.

3.3 Metode Review Paper

Metode yang dilakukan pada review paper ini adalah:

1. Studi Literatur

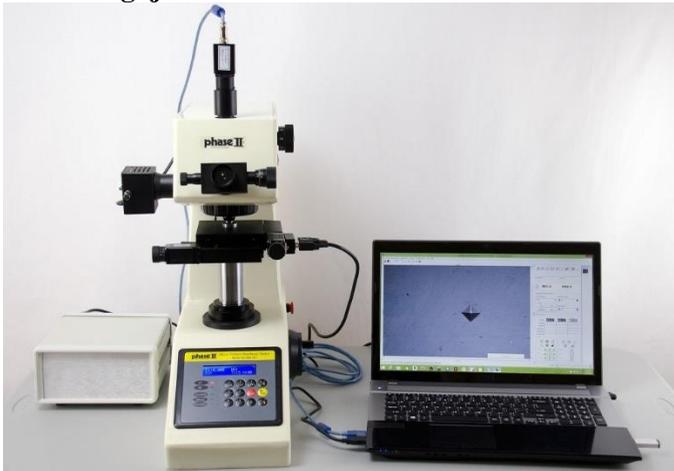
Metode ini berdasarkan pada jurnal, buku-buku tentang penelitian serupa tentang *anodizing* pada *Galvanized Steel* yang meneliti pengaruh konsentrasi Na_2SiO_3 dan waktu *anodizing* terhadap hasil *Anodizing* pada *Galvanized Steel*.

2. Diskusi

Tahap ini dilakukan untuk menambah wawasan terkait penelitian yang akan dilakukan, dengan diskusi kepada pihak-pihak yang berhubungan langsung dengan penelitian ini

3.4 Pengujian

3.4.1 Pengujian Microhardness



Gambar 3. 2 Alat Uji *Microhardness*

Pengujian menggunakan metode *Vickers Microhardness* untuk mengetahui pengaruh variasi konsentrasi Na_2SiO_3 dan waktu *anodizing* yang digunakan terhadap kekerasan permukaan dari permukaan sampel. Beban yang digunakan sebesar bervariasi terhadap permukaan sampel selama waktu yang sesuai, lalu diameter jejak horizontal (d_1) dan diameter jejak vertikal (d_2) akan diukur. Nilai kekerasan akan ditampilkan pada layar monitor.

3.4.2 Corrosion Test

Pengujian korosi yang dilakukan pada penelitian ini ialah pengujian tafel. Pengujian tafel digunakan untuk mengetahui proses korosi yang berjalan pada arus dan potensial tertentu. Pengujian tafel digunakan untuk mengetahui komponen anodik ataupun katodik dari arus yang dialirkan terhadap galvanized steel yang diaplikasikan *anodizing* dengan variasi konsentrasi Na_2SiO_3 dan waktu *anodizing*.

3.5 Rancangan Penelitian

Untuk mempermudah review paper maka dibuatlah rancangan jurnal berupa tabel yang mendaftarkan sampel dan jenis pengujian yang dilakukan, tabel rancangan penelitian dapat dilihat pada Tabel 3.1 berikut ini:

Tabel 3. 1 Rancangan jurnal

Logam	Larutan	Variasi aditif Na ₂ SiO ₃	Variasi Waktu <i>Anodizing</i>	Referensi
AZ91D (Mg-Al-Zn)	3M KOH	(0, 1, 5) M	-	Fukuda et al. (2004)
AZ31 (Mg-Zn)	0,5 g/L NaOH 30 g/L Na ₂ B ₄ O ₇	(15, 30, 60) g/L	-	Salami et al.(2014)
Mg-Zn-Ca	12 g/L Na ₃ PO ₄ .12H ₂ O 6g/L NaOH	(0; 0,5; 1; 1,5; 2) g/L	-	Wang et al. (2019)
Zn	0,1 M Na ₂ [B ₄ O ₅ (OH) ₄].8H ₂ O	-	(1, 2, 3, 4, 5) jam	Spathis et al. (1995)
AZ91D (Mg-Al-Zn)	0,1 M Na ₂ SiO ₃ 0,1 M Na ₃ PO ₄ 2 M NaOH	-	(1, 2, 3, 4) menit	Kim et al. (2013)
ZK60 (Mg-Zn)	100 g/L NaOH 20 g/L Na ₂ B ₄ O ₇ .10H ₂ O 50 g/L C ₆ H ₅ Na ₃ O ₇ .2H ₂ O 60 g/L Na ₂ SiO ₃ .10H ₂ O	-	(20, 30, 40, 50, 60, 70, 80) menit	Hailan et al. (2007)
Al-Zn	1 M NaOH	-	(5, 10, 15) menit	Pamungkas et al. (2015)
AZ31 (Mg-Zn)	6 M KOH	-	(10, 20, 30) menit	Ahmed (2015)
AZ31 (Mg-Zn)	1,5 g/L KOH	(4, 8) g/L	-	Aktug et al. (2015)
AZ91D (Mg-Al-Zn)	3,5 g/L NaOH 0,3 g/L Na ₂ SiF ₆	(3, 6, 9, 12) g/L	-	Rehman et al. (2017)
AZ31 (Mg-Zn)	2 g/L NaOH 0,5 g/L Na ₂ SiF ₆	(2, 8, 12, 20) g/L	-	Ahn et al. (2013)

Setelah mengumpulkan jurnal yang berkaitan dengan review paper ini, dilanjutkan oleh penentuan pengaruh dari variasi terhadap variabel yang ingin diuji. Pada review paper ini, variabel

yang akan diuji adalah ketahanan korosi dan kekerasan permukaan (*microhardness*) dari logam paduan Zn yang telah diaplikasikan *anodizing* dengan variasi tertentu. Adapun dari 11 jurnal ini, 3 jurnal akan membahas pengaruh dari variasi aditif Na_2SiO_3 terhadap ketahanan korosi, 3 jurnal akan membahas pengaruh waktu *anodizing* terhadap ketahanan korosi, 3 jurnal akan membahas pengaruh variasi aditif Na_2SiO_3 terhadap *microhardness* logam, dan 3 jurnal akan membahas variasi waktu *anodizing* terhadap *microhardness* logam. Ruang lingkup pembahasan ini kemudian disimpulkan dan dapat diamati pada Tabel 3.2 dan Tabel 3.3 seperti berikut.

Tabel 3. 2 Ruang Lingkup Pembahasan

Jurnal	A-K	W-K	A-M	W-M
Fukuda et al. (2004)	V	-	-	-
Salami et al. (2014)	V	-	-	-
Wang et al. (2019)	V	-	-	-
Spathis et al. (1995)	-	V	-	-
Kim et al. (2013)	-	V	-	V
Hailan et al. (2007)	-	V	-	-
Pamungkas et al. (2015)	-	-	-	V
Ahmed (2015)	-	-	-	V
Aktug et al. (2015)	-	-	V	-
Rehman et al. (2017)	-	-	V	-
Ahn et al. (2013)	-	-	V	-

Keterangan :

A-K : Pengaruh aditif terhadap ketahanan korosi

W-K : Pengaruh waktu *anodizing* terhadap ketahanan korosi

A-M : Pengaruh aditif terhadap ketahanan *microhardness*

W-M : Pengaruh waktu *anodizing* terhadap *microhardness*

Tabel 3. 3 Tabel pengujian Jurnal

	Jurnal	P	K	KL	G	M
Jurnal yang membahas pengaruh variasi terhadap ketahanan korosi	Fukuda et al. (2004)	V	V			
	Salami et al. (2014)	V		V		
	Wang et al. (2019)	V	V		V	
	Spathis et al. (1995)	V				
	Kim et al. (2013)	V				V
	Hailan et al. (2007)	V	V			
	Jurnal	VM	K	M		
Jurnal yang membahas pengaruh variasi terhadap <i>microhardness</i>	Pamungkas et al. (2015)	V	V			
	Ahmed (2015)	V	V			
	Kim et al. (2013)	V		V		
	Aktug et al. (2015)	V		V		
	Rehman et al. (2017)	V		V		
	Ahn et al. (2013)	V		V		

Keterangan : P : Pengujian Polarisasi
 K : Pengujian Ketebalan Lapisan
 KL : Pengujian Konduktivitas Listrik
 G : Pengujian *Growth Rate*
 M : Pengujian Morfologi
 VM : Pengujian *Vickers Microhardness*

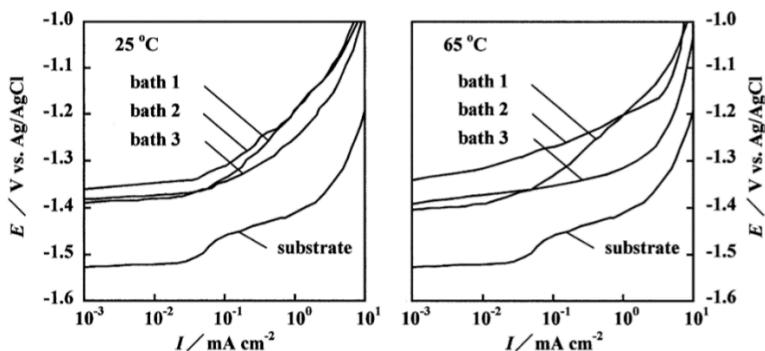
(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Hasil

4.1.1 Ketahanan korosi dari lapisan coating

Pada penelitian yang dilakukan oleh Fukuda pada tahun 2004, menjelaskan bagaimana pengaruh konsentrasi aditif Na_2SiO_3 dan temperature *anodizing* terhadap proses *anodizing* pada logam paduan Mg-Al-Zn menggunakan bath KCl. Pengujian ketahanan korosi pada lapisan anodic dilakukan oleh Fukuda menggunakan kurva polarisasi anodic dengan larutan 0.1 M KOH dengan temperature sebesar 30°C . Pada hasil pengujian tersebut dinyatakan bahwa adanya peningkatan ketahanan korosi dari logam paduan Mg-Al-Zn dengan konsentrasi aditif optimum sebesar 1 M Na_2SiO_3 dari beberapa bath.

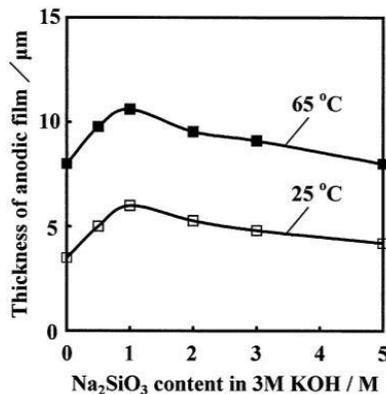


Gambar 4. 1 Hasil pengujian kurva polarisasi anodic yang dilakukan Fukuda terhadap parameter *anodizing* 3M KOH (Bath 1), 3M KOH dan 1M Na_2SiO_3 (Bath 2) dan 3M KOH dan 5M Na_2SiO_3 (Bath 3) (Fukuda et al., 2004)

Efektivitas dari Na_2SiO_3 pada *anodizing* paduan Zn dibahas juga oleh Fukuda pada tahun 2004. Pada gambar yang ditampilkan

pada Gambar 4.1, dapat dilihat hasil pengujian ketahanan korosi menggunakan potensiostat yang menghasilkan kurva polarisasi dari variasi konsentrasi aditif yang digunakan saat percobaan. Dapat dilihat, adanya peningkatan ketahanan korosi dari lapisan pasif yang terbentuk pada bath *anodizing* yang menggunakan aditif Na_2SiO_3 , namun hal ini tidak berbanding lurus. Dapat diamati adanya penurunan ketahanan korosi pada saat hasil lapisan *anodizing* dengan konsentrasi aditif Na_2SiO_3 mencapai 5M. Pada pengujian ini, ketahanan korosi tertinggi dicapai oleh spesimen yang menggunakan bath *anodizing* dengan aditif Na_2SiO_3 sebesar 1 M.

Untuk membantu analisa dari sifat ketahanan korosi ini, Fukuda juga melakukan pengujian ketebalan. Hasil pengujian ketebalan yang dilakukan oleh Fukuda dapat dilihat pada Gambar 4.2 berikut ini.

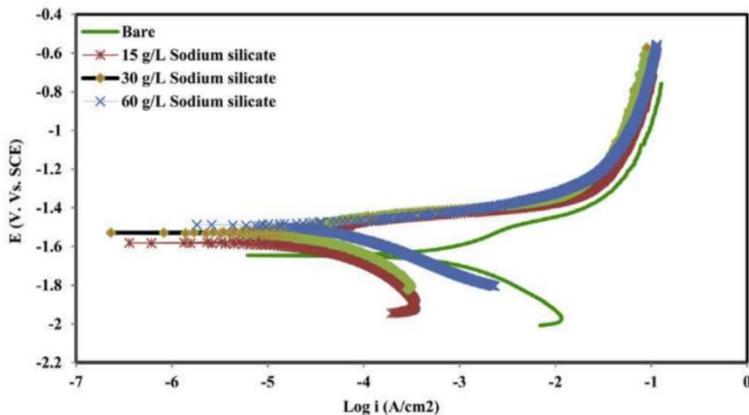


Gambar 4. 2 Hasil pengujian ketebalan yang dilakukan oleh Fukuda terhadap lapisan pasif pada konsentrasi Na_2SiO_3 yang bervariasi (Fukuda et al., 2004)

Seperti yang dapat diamati pada gambar tersebut, spesimen dengan lapisan pasif paling tebal dimiliki oleh spesimen yang

dianodize dengan konsentrasi aditif Na_2SiO_3 sebesar 1 M, dengan ketebalan lapisan tersebut meningkat dengan adanya peningkatan temperature. Hal ini juga ikut membuktikan bahwa dengan lapisan pasif tertebal, perlindungan terhadap korosi yang didapat juga semakin tinggi.

Pada jurnal yang diteliti oleh Salami pada tahun 2014, diteliti pengaruh dari konsentrasi aditif Na_2SiO_3 pada proses hard *anodizing* terhadap ketahanan korosi dari paduan Mg-Zn AZ31. Pada penelitian yang dilakukan, digunakan variasi konsentrasi aditif Na_2SiO_3 sebesar 15 g/L, 30 g/L, dan 60 g/L. Berikut adalah gambar dari hasil pengujian potensiodinamik yang dilakukan pada larutan SBF (Simulated Body Fluid).



Gambar 4. 3 Hasil pengujian potensiodinamik yang dilakukan Salami pada larutan SBF dengan temperatur 37°C (Salami et al., 2014)

Dari hasil pengujian potensiodinamik yang dilakukan Salami, dihasilkan nilai potensial korosi dan rapat arus korosi dari keempat sampel yang diuji ketahanan korosinya. Berikut adalah tabel yang menunjukkan potensial korosi dan rapat arus korosi dari masing masing sampel yang diuji.

Tabel 4. 1 Hasil pengujian potensiodinamik Salami (Salami et al., 2014)

Silicate Concentration (g/L)	E_{corr} (V, VS, S.C.E)	I_{corr} ($\mu\text{A cm}^{-2}$)	C.R (mm/y)
Bare	-1,64	214	9,8
15	-1,58	5,72	0,26
30	-1,52	2,73	0,12
60	-1,49	8,65	0,4

Dapat dilihat, perbedaan dari ketahanan korosi yang cukup signifikan antara logam paduan tanpa treatment dan juga logam paduan yang sudah ditreatment. Pada potensial korosi dari seluruh spesimen dengan peningkatan konsentrasi aditif, terlihat adanya peningkatan yang stabil, namun pada rapat arus korosi spesimen, dapat dilihat bahwa spesimen yang menggunakan konsentrasi aditif sebesar 30 g/L memiliki rapat arus korosi yang terendah yaitu $2,73 \mu\text{A.cm}^{-2}$. Seperti yang dinyatakan oleh Mulimbyan pada tahun 2015, potensial korosi adalah nilai kuantitas termodinamik suatu material pada larutan tertentu atas mulainya peristiwa korosi pada suatu benda, sedangkan rapat arus korosi ialah laju korosi pada suatu material pada larutan tertentu. Memiliki potensial korosi yang tinggi berarti memiliki kondisi yang lebih stabil, dan memiliki rapat arus korosi yang rendah berarti memiliki ketahanan terhadap korosi yang lebih tinggi. Dari hasil yang ditampilkan pada Tabel 4.1, spesimen ke 3 yaitu spesimen dengan konsentrasi aditif 30 g/L memiliki ketahanan korosi yang tertinggi dari semua spesimen. Hal ini menyatakan bahwa konsentrasi aditif pada proses *anodizing* tidak memiliki relasi linear terhadap ketahanan korosi, dan untuk mencapai ketahanan korosi terbaik, harus memilih konsentrasi aditif yang paling tepat.

Hal ini juga dibuktikan oleh Salami dengan pengujian konduktivitas listrik pada larutan yang digunakan menggunakan

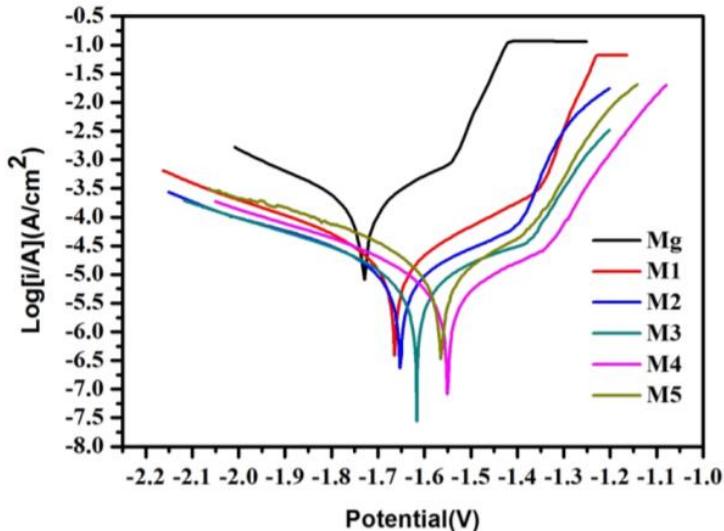
variasi konsentrasi silikat. Hasil pengujian konduktivitas listrik dapat dilihat pada Tabel 4.2.

Tabel 4. 2 Hasil pengujian konduktivitas listrik pada larutan dengan variasi konsentrasi Na_2SiO_3 (Salami et al., 2014)

Na_2SiO_3 Concentration (g/L)	Electrical Conductivity (ms/cm)
15	52,7
30	59,9
60	53

Dapat dilihat pada Tabel 4.2 tersebut, bahwa konduktivitas listrik tertinggi dicapai oleh larutan yang memiliki konsentrasi Na_2SiO_3 sebesar 30 g/L. Pada larutan dengan 60 g/L aditif, dapat terlihat terjadi penurunan konduktivitas listrik. Hal ini merupakan penyebab pembentukan lapisan pasif yang tidak optimum pada spesimen yang dianodize menggunakan larutan aditif Na_2SiO_3 . Sehingga dapat disimpulkan, bahwa terdapat konsentrasi Na_2SiO_3 yang optimum untuk mendapatkan sifat ketahanan korosi yang terbaik.

Pada penelitian yang dilakukan oleh Wang pada tahun 2019, yaitu penelitian mengenai preparasi logam paduan Mg-Zn-Ca pada elektrolit Si-P, dilakukan pengujian ketahanan korosi pada spesimen yang diuji. Larutan utama yang digunakan dalam penelitian tersebut adalah $\text{Na}_3\text{PO}_4 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$ dengan konsentrasi 12 g/L dan NaOH dengan konsentrasi 6 g/L, dengan variasi aditif yang digunakan sebesar 0 g/L – 2 g/L dengan perbedaan variasi 0,5g/L per spesimen yang digunakan. Pengujian ketahanan korosi menggunakan pengujian potensiodinamik dengan larutan SBF.



Gambar 4. 4 Hasil pengujian potensiodinamik yang dilakukan oleh Wang dengan larutan SBF (Wang et al., 2019)

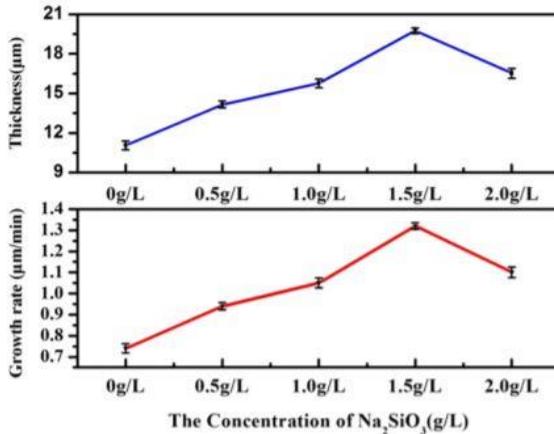
Dari hasil pengujian yang dilakukan, dihasilkan nilai potensial korosi dan rapat arus korosi dari semua sampel yang ingin diuji ketahanan korosinya, dari logam tanpa perlakuan sampai spesimen dengan konsentrasi aditif Na_2SiO_3 paling tinggi yaitu 2 g/L. Hasil dari potensiodinamik itu ditampilkan pada Tabel 4.3.

Tabel 4. 3 Hasil pengujian potensiodinamik Wang (Wang et al., 2019)

Silicate Concentration (g/L)	E_{corr} (mV, S.C.E)	VS,	I_{corr} ($\mu A\ cm^{-2}$)	C.R (mm/y)
Bare	-1749		84,9	1,94
0	-1663		7,28	0,167
0,5	-1651		4,24	0,097
1	-1617		3,07	0,071
1,5	-1550		2,38	0,055
2	-1564		5,57	0,126

Dapat dilihat dari hasil pengujian yang dilakukan Wang, bahwa ketahanan korosi dari spesimen ketika diberi treatment *anodizing* dengan penambahan aditif mengalami peningkatan ketahanan korosi dari peningkatan potensial korosi dan penurunan rapat arus korosi sampai pada spesimen dengan konsentrasi aditif sebesar 1,5 g/L. Pada sampel dengan konsentrasi aditif sebesar 2 g/L, terjadi penurunan potensial korosi dan peningkatan rapat arus korosi. Hal ini menunjukkan adanya penurunan kestabilan spesimen pada SBF dan juga penurunan kemampuan untuk menahan korosi bila menggunakan konsentrasi Na_2SiO_3 diatas 1,5 g/L. Hal ini menunjukkan korelasi dengan penelitian yang diteliti Fukuda pada tahun 2004 dan penelitian Salami pada tahun 2014, bahwa hubungan konsentrasi aditif dengan ketahanan korosi logam paduan Zn tidaklah linear. Ketahanan korosi terbaik memerlukan konsentrasi aditif yang paling tepat.

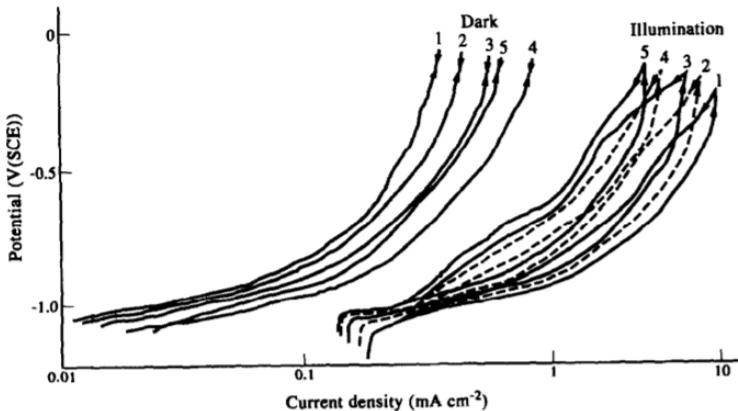
Untuk membuktikan hal tersebut, Wang juga melakukan pengujian ketebalan dan laju pertumbuhan lapisan pasif dari spesimen yang menggunakan konsentrasi aditif yang berbeda. Hasil pengujian tersebut dapat dilihat pada Gambar 4.5.



Gambar 4. 5 Hasil pengujian ketebalan dan laju pertumbuhan lapisan pasif yang dilakukan oleh Wang (Wang et al., 2019)

Dapat diamati bahwa ketebalan lapisan pasif dan laju pertumbuhan lapisan pasif terbaik dimiliki oleh spesimen yang menggunakan larutan dengan konsentrasi aditif Na₂SiO₃ sebesar 1,5 g/L. Hal ini dapat dikorelasikan dengan pernyataan Salami pada pembahasan sebelumnya, bahwa konsentrasi aditif memiliki titik optimum, dimana ketika konsentrasi aditif tersebut melewati titik optimum tersebut, maka konduktivitas listrik pada larutan tersebut dapat menurun, dan hal ini dapat mengakibatkan pembentukan lapisan pasif yang tidak optimum.

Pada penelitian yang dilakukan oleh Spathis pada tahun 1995 terkait korosi dari logam Zn dan ZnO yang dihasilkan dari proses *anodizing*, dilakukan pengujian potensiodinamik untuk menguji ketahanan korosi dari logam Zn yang telah dianodize dengan waktu yang bervariasi dari waktu *anodizing* selama 1 jam sampai 5 jam pada larutan borax sebesar 0,1 M pada dua kondisi pencahayaan yang berbeda. Pengujian potensiodinamik dilakukan dengan larutan 3,5% NaCl. Hasil pengujian potensiodinamik dapat dilihat pada Gambar 4.6.



Gambar 4. 6 Hasil pengujian potensiodinamik yang dilakukan oleh Spathis dengan larutan 3,5% NaCl (Spathis et al., 1995)

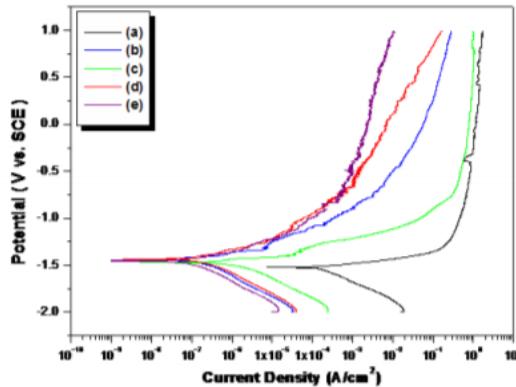
Dapat dilihat dari Gambar 4.6, ditampilkan dua hasil potensiodinamik yaitu perilaku korosi pada logam yang dianodize dengan pencahayaan dan tanpa pencahayaan. Pada review paper ini, akan membahas penelitian Spathis yang mengaplikasikan *anodizing* dengan menggunakan pencahayaan. Dari hasil pengujian potensiodinamik yang dilakukan oleh Spathis, dihasilkan table berisikan nilai potensial korosi dan rapat arus korosi untuk menganalisa ketahanan korosi dari logam Zn yang dianodize dengan waktu yang berbeda. Tabel hasil pengujian potensiodinamik oleh Spathis dapat dilihat pada Tabel 4.4.

Tabel 4. 4 Hasil Pengujian Potensiodinamik Spathis terhadap spesimen yang dianodize dengan pencahayaan (Spathis et al., 1995)

Waktu <i>anodizing</i> (jam)	E_{corr} (mV, S.C.E)	VS,	I_{corr} (mA cm ⁻²)	C.R (mm/y)
1	-1190		0,24	6,25
2	-1140		0,21	4,40
3	-1130		0,17	3,87
4	-1110		0,15	3,32
5	-1090		0,12	2,66

Pada Tabel 4.4, dapat dilihat bahwa peningkatan waktu *anodizing* meningkatkan kemampuan ketahanan korosi dari logam Zn yang dianodize dengan adanya pencahayaan. Peningkatan ketahanan korosi dijelaskan oleh Spathis dikarenakan adanya peningkatan ketebalan lapisan oksida pada proses *anodizing*. Bila diamati secara sekilas dengan logam yang dianodize tanpa adanya pencahayaan, memiliki pola yang cukup berbeda. Hal ini dikarenakan pada logam Zn yang dianodize tanpa adanya pencahayaan, pembentukan lapisan pasif terjadi cukup lambat, sehingga lapisan pasif terbentuk stabil. Ketika memasuki waktu *anodizing* diatas 4 jam, sedangkan untuk logam Zn yang dianodize dengan pencahayaan, kemampuan korosinya meningkat seiring dengan peningkatan waktu *anodizing*, menandakan terjadinya pembentukan lapisan pasif yang lebih stabil dan lebih cepat dibandingkan dengan logam Zn yang dianodize tanpa pencahayaan.

Selanjutnya, dibahas penelitian Kim pada tahun 2013 yang melakukan *anodizing* terhadap logam paduan AZ91D. Pada penelitiannya, Kim menggunakan larutan dengan aditif Na₂SiO₃ dan variasi waktu *anodizing*, berikut adalah hasil pengujian polarisasi potensiodinamik dari percobaan Kim menggunakan variasi waktu.



Gambar 4. 7 Sifat polarisasi potensiodinamik pada bath 3,5% NaCl pada logam AZ91D (a) tanpa perlakuan, *anodizing* pada bath KMnO_4 trace, 2 M NaOH, 0,1 M Na_3PO_4 dan 0,1 M Na_2SiO_3 selama (b) 1 menit, (c) 2 menit, (d) 3 menit, dan (e) 4 menit (Kim et al., 2013)

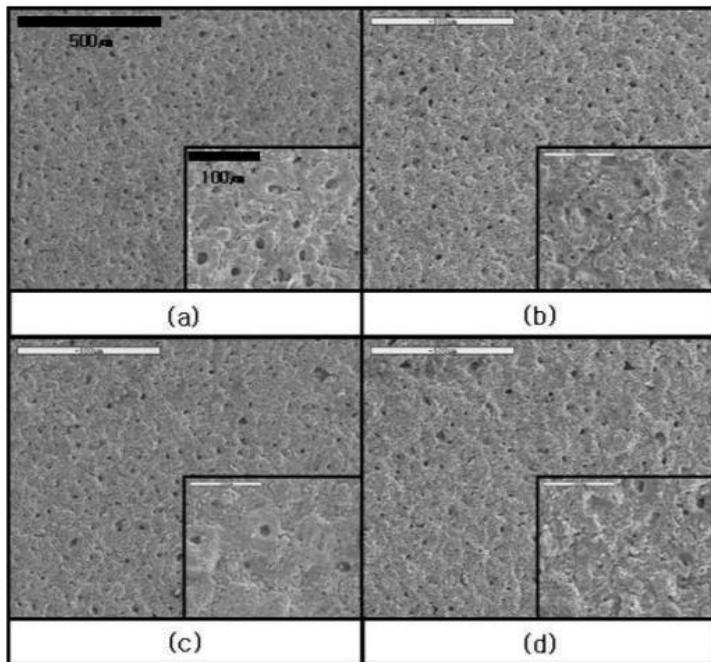
Pada Gambar 4.7 diatas, menjelaskan ketahanan korosi dari logam pada tiap perlakuan menggunakan pengujian polarisasi potensiodinamik. Pada logam AZ91D tanpa perlakuan apapun dihasilkan potensial korosi sebesar -1,524 mV dan rapat arus korosi sebesar $146.2 \mu\text{A}/\text{cm}^2$. Pada logam AZ91D dengan perlakuan *anodizing* selama satu menit, potensial korosi logam meningkat sebesar 53 mV menjadi -1,471 mV, dan rapat arus korosi turun hingga $1,55 \mu\text{A}/\text{cm}^2$. Pada logam yang dianodize selama 2 menit korosi potensial meningkat sebesar 31 mV menjadi -1,435 mV, sedangkan rapat arus korosi turun drastic menjadi $214,7 \text{ nA}/\text{cm}^2$. Pada logam yang dianodize selama 3 menit, potensial korosi logam menjadi -1,440 mV dan rapat arus korosi menjadi $202,3 \text{ nA}/\text{cm}^2$, walaupun tidak terdapat perubahan signifikan dari *anodizing* 2 menit dan *anodizing* 3 menit pada logam AZ91D, dapat disimpulkan bahwa hasil ketahanan korosi yang lebih baik tetap dicapai oleh *anodizing* selama 3 menit. Pada logam yang dianodize selama 4 menit, potensial korosi spesimen mengalami penurunan

dari *anodizing* 2 dan 3 menit yaitu sebesar $-1,446$ mV, namun rapat arus korosi mengalami penurunan lebih dari 100 nA/cm² menjadi $107,2$ nA/cm².

Berdasarkan hasil analisa data diatas, penurunan rapat arus korosi didapat setiap peningkatan waktu *anodizing*, namun hal ini tidak sama pengaruhnya terhadap potensial korosi yang dihasilkan tiap peningkatan waktu *anodizing*. Pada percobaan menggunakan waktu *anodizing* 2 menit, menghasilkan potensial korosi sebesar $-1,435$ mV, dan pada percobaan yang menggunakan waktu *anodizing* selama 3 menit, dihasilkan potensial korosi sebesar $-1,440$ mV, namun pada saat waktu *anodizing* ditingkatkan menjadi 4 menit, potensial korosi spesimen menjadi $-1,446$ mV. Potensial yang dihasilkan pada percobaan yang menggunakan waktu *anodizing* sebesar 4 menit mengalami penurunan dibandingkan dengan potensial korosi spesimen yang menggunakan 2 menit dan 3 menit, namun potensial korosi yang dihasilkan masih lebih tinggi daripada potensial korosi paduan *zinc* tanpa perlakuan dan spesimen dengan *anodizing* selama 1 menit. Seperti yang dijelaskan oleh Mulimbayan pada salah satu jurnalnya pada tahun 2015 yang membahas tentang pengaruh temperatur bath terhadap laju korosi stainless steel dengan kandungan nikel rendah menggunakan pengujian polarisasi (Mulimbayan 2015), potensial korosi adalah nilai kuantitas termodinamik suatu material pada larutan tertentu atas mulainya peristiwa korosi pada suatu benda, sedangkan rapat arus korosi ialah laju korosi pada suatu material pada larutan tertentu. Semakin tinggi nilai potensial korosi, maka dapat disimpulkan semakin stabil suatu material pada larutan tersebut, sedangkan semakin tinggi nilai rapat arus korosi, maka semakin tinggi laju korosi material pada larutan tersebut. Pada data sebelumnya yang diambil oleh Kim pada 2013, potensial korosi tertinggi dicapai pada *anodizing* selama 2 menit dengan nilai potensial korosi -1435 mV, namun rapat arus korosi terendah dicapai oleh waktu *anodizing* 4 menit dengan nilai $107,2$ nA/cm². Melihat perbedaan yang tidak signifikan pada nilai potensial korosi pada *anodizing* 2 menit dan *anodizing* 4 menit dengan perbedaan

nilai sebesar 0,76%, dan nilai rapat arus korosi dengan perbedaan yang lebih tinggi pada hasil *anodizing* 2 menit dan 4 menit yaitu penurunan rapat arus korosi sebesar 50,06%, maka dapat disimpulkan ketahanan korosi tertinggi dicapai oleh waktu *anodizing* 4 menit.

Untuk membantu analisa ini, Kim juga melakukan analisa pori dari lapisan pasif yang terbentuk dari pengujian SEM yang dilakukan. Hasil dari pengujian yang dilakukan oleh Kim tersebut dapat dilihat pada Gambar 4.8.

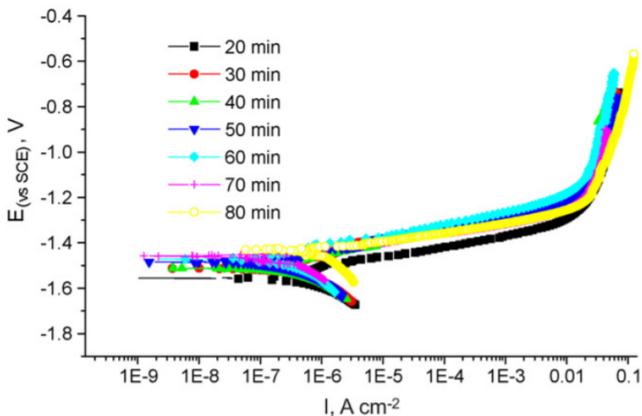


Gambar 4.8 Hasil dari pengujian SEM yang dilakukan oleh Kim, waktu *anodizing* (a) 1 menit, (b) 2 menit, (c) 3 menit, (d) 4 menit (Kim et al., 2013)

Kim menjelaskan, bahwa dengan meningkatnya waktu *anodizing*, maka jumlah dan ukuran dari lapisan pasif yang

terbentuk juga menurun. Pada spesimen yang dianodize selama 1 menit, dapat dilihat bahwa pori yang terbentuk tidak hanya yang terbanyak namun juga yang paling besar. Seiringnya peningkatan waktu *anodizing*, pori yang terbentuk semakin kecil dan sedikit. Kim juga menjelaskan, bahwa dengan diberikannya waktu yang lebih lama, menyediakan kesempatan bagi lapisan pasif tersebut untuk membentuk lapisan pasif yang lebih seragam, sehingga lapisan pasif yang dibentuk akan semakin tahan terhadap korosi.

Pada penelitian yang dilakukan Hailan pada tahun 2007 terkait *anodizing* logam paduan Mg-Zn ZK60, dengan larutan 100 g/L NaOH dan 60 g/L Na₂SiO₃, dilakukan percobaan dengan variasi waktu untuk menguji pengaruh variasi waktu terhadap sifat ketahanan korosi dari logam tersebut. Variasi waktu yang diaplikasikan pada percobaan tersebut ialah 20 menit sampai 80 menit dengan jeda 10 menit per spesimen. Ketahanan korosi dari spesimen diuji dengan pengujian potensiodinamik dengan larutan 3,5% NaCl. Hasil pengujian yang dilakukan oleh Hailan dapat diamati pada Gambar 4.9.



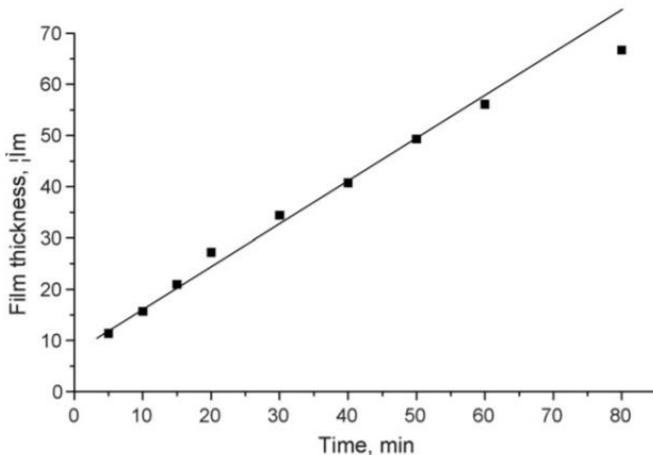
Gambar 4. 9 Hasil pengujian potensiodinamik yang dilakukan oleh Hailan pada larutan 3,5% NaCl (Hailan et al., 2007)

Dari pengujian potensiodynamic tersebut dihasilkan nilai rapat arus korosi dari logam hasil *anodizing* selama 20 menit sampai logam hasil *anodizing* selama 80 menit. Hasil dari nilai rapat arus korosi dapat diamati pada Tabel 4.5.

Tabel 4.5 Hasil pengujian potensiodinamik Hailan dengan variasi waktu (Hailan et al., 2007)

Waktu <i>anodizing</i> (menit)	I_{corr} (mA cm ⁻²)
20	$3,081 \times 10^{-4}$
30	$2,984 \times 10^{-4}$
40	$2,398 \times 10^{-4}$
50	$1,722 \times 10^{-4}$
60	$1,379 \times 10^{-4}$
70	$1,559 \times 10^{-4}$
80	$1,176 \times 10^{-3}$

Seperti yang dapat diamati di Tabel 4.5, rapat arus korosi dari spesimen menurun sampai pada spesimen dengan waktu *anodizing* 60 menit, lalu terjadi peningkatan rapat arus korosi pada spesimen dengan waktu *anodizing* selama 70 menit dan 80 menit. Hal ini menandakan bahwa adanya terjadi peningkatan ketahanan korosi sampai pada spesimen dengan waktu *anodizing* selama 60 menit, lalu ketahanan korosi tersebut menurun pada percobaan dengan waktu *anodizing* selama 70 menit, bahkan menurun cukup jauh pada spesimen dengan waktu *anodizing* selama 80 menit. Hal ini dikorelasikan terhadap ketebalan lapisan yang disertakan oleh Hailan. Dilakukan pengujian ketebalan dari lapisan coating yang dihasilkan dengan variasi waktu menggunakan Coating Thickness Gauge TT260. Hasil dari pengujian ketebalan lapisan dapat dilihat pada Gambar 4.10.



Gambar 4. 10 Hasil pengujian ketebalan yang dilakukan Hailan (Hailan et al., 2007)

Seperti yang dapat diamati pada Gambar 4.10, meningkatnya waktu *anodizing* juga meningkatkan ketebalan lapisan oksida yang dihasilkan, namun, bila dikorelasikan terhadap ketahanan korosi dari spesimen dengan variasi waktu tersebut, tebal lapisan tidak selalu linear dengan ketahanan korosi dari logam. Hailan menjelaskan, bahwa waktu *anodizing* yang terlalu lama dapat menyebabkan keretakan akibat tegangan internal pada lapisan yang dihasilkan. Keretakan ini dapat mengakibatkan terbentuknya celah yang dapat mengurangi ketahanan korosi dari logam. Hal ini dapat dilihat pada Tabel 4.5, bahwa ketahanan korosi menurun Ketika menggunakan waktu *anodizing* diatas 60 menit. Hal ini menunjukkan bahwa pengaruh waktu dengan ketahanan korosi tidaklah selalu selurus, dan memerlukan perhatian khusus untuk memilih waktu *anodizing* yang paling tepat untuk mendapatkan hasil dengan sifat ketahanan korosi yang terbaik.

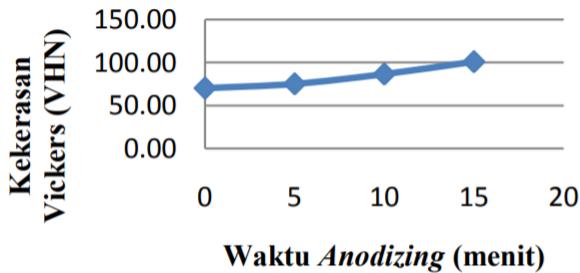
4.1.2 Microhardness dari lapisan Coating

Pada penellitian yang dilakukan Pamungkas pada tahun 2015 terkait *anodizing* logam Velg Al-Zn, dilakukan variasi waktu *anodizing* terhadap logam tersebut untuk menguji peningkatan *microhardness* dari logam tersebut. Variasi waktu *anodizing* yang dilakukan ialah sebesar 5 menit dari 5 – 15 menit. *microhardness* permukaan diuji dengan Vickers Microhardness Tester.

Setelah dilakukan perhitungan Vickers yaitu dengan rumus berikut

$$\text{VHN} = 0,1891 \times \frac{F}{d^2} \dots\dots\dots(4.1)$$

Maka dihasilkan tabel dan grafik dari pengujian *microhardness* atau kekerasan permukaan. Grafik dan tabel hasil pengujian yang dilakukan dapat dilihat pada Gambar 4.11 dan Tabel 4.6.



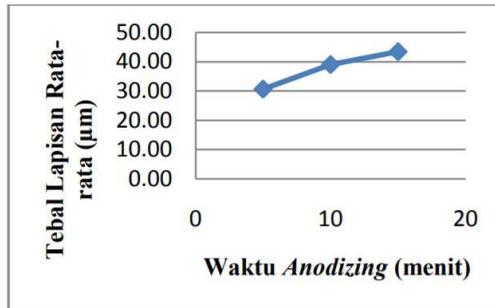
Gambar 4. 11 Hasil pengujian *microhardness* yang dilakukan oleh Pamungkas pada spesimen dengan jeda waktu 5 menit (Pamungkas et al., 2015)

Tabel 4. 6 Hasil pengujian *microhardness* oleh Pamungkas (Pamungkas et al., 2015)

Spesimen	<i>microhardness</i> (Hv)
Tanpa perlakuan	70,20
<i>anodizing</i> 5 menit	75,16
<i>anodizing</i> 10 menit	86,49
<i>anodizing</i> 15 menit	100,82

Dapat dilihat bahwa terjadinya peningkatan *microhardness* dari logam yang dianodize seiring dengan adanya peningkatan waktu. *Microhardness* spesimen tanpa perlakuan ialah sebesar 70,20 Hv, dengan *microhardness* tertinggi dicapai oleh spesimen dengan lama *anodizing* selama 15 menit yaitu 100,82 Hv. Peningkatan *microhardness* permukaan yang terjadi dari spesimen tanpa perlakuan dibandingkan dengan spesimen dengan *anodizing* selama 15 menit ialah sebesar 43,61%.

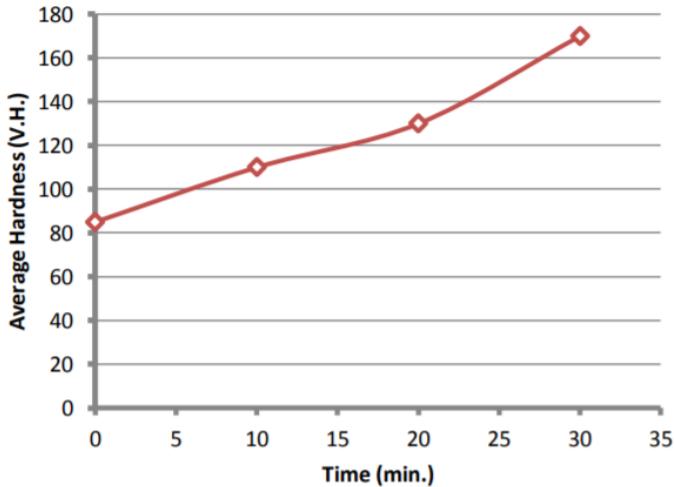
Untuk membantu analisa yang dilakukan, Pamungkas juga melakukan pengujian ketebalan menggunakan SEM. Hasil dari pengujian ketebalan dari spesimen yang menggunakan waktu *anodizing* berbeda beda dapat dilihat pada Gambar 4.12.



Gambar 4. 12 Hasil pengujian ketebalan yang dilakukan oleh Pamungkas dengan waktu *anodizing* yang berbeda (Pamungkas et al., 2015)

Dapat dilihat pada pengujian ketebalan yang dilakukan oleh Pamungkas, bahwa ketebalan dari lapisan pasif ikut meningkat ketika waktu *anodizing* juga meningkat. Dijelaskan bahwa lapisan *coating* yang terbentuk semakin tebal dengan diberinya waktu *anodizing* yang lebih lama karena arus yang mengalir pada saat *anodizing* memicu terjadinya reaksi pembentukan lapisan pasif dan penebalan lapisan pasif tersebut. Korelasi dari ketebalan lapisan pasif tersebut dengan *microhardness* yang dihasilkan ialah bahwa dengan ketebalan lapisan pasif yang lebih tinggi, dihasilkan *microhardness* yang lebih tinggi. Hal ini dikarenakan sifat mekanik dari lapisan pasif yang lebih keras bila dibandingkan dengan logam induknya.

Pada penelitian yang dilakukan oleh Ahmed pada tahun 2015 terkait *anodizing* logam paduan Mg-Zn AZ31 pada larutan 3M KOH, dilakukan variasi waktu untuk melihat pengaruh waktu *anodizing* terhadap peningkatan *microhardness* permukaan. Variasi waktu yang digunakan ialah 10 – 30 menit dengan jeda waktu per spesimen selama 10 menit. Pengujian *microhardness* permukaan menggunakan Vickers Microhardness Tester, grafik dan tabel dari hasil pengujian tersebut dapat dilihat di Gambar 4.13 dan Tabel 4.7.

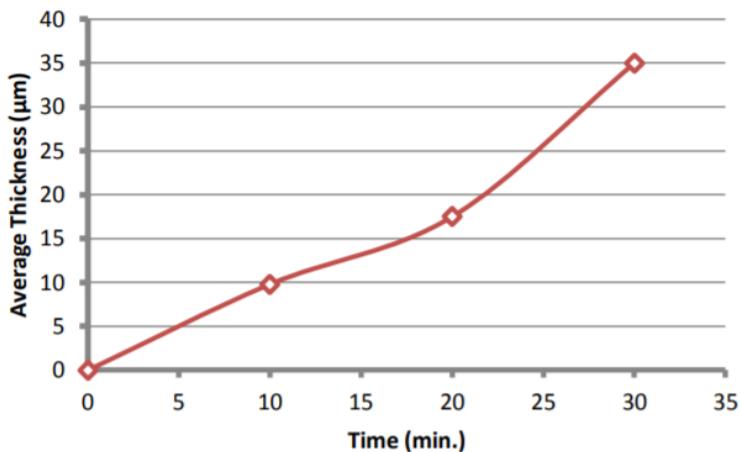


Gambar 4. 13 Hasil pengujian *microhardness* yang dilakukan oleh Ahmed pada spesimen dengan jeda waktu 10 menit (Ahmed, 2015)

Tabel 4. 7 Nilai kekerasan permukaan oleh pengujian *microhardness* oleh Ahmed (Ahmed, 2015)

Spesimen	<i>microhardness</i> (Hv)
Tanpa perlakuan	85
<i>anodizing</i> 10 menit	110
<i>anodizing</i> 20 menit	130
<i>anodizing</i> 30 menit	170

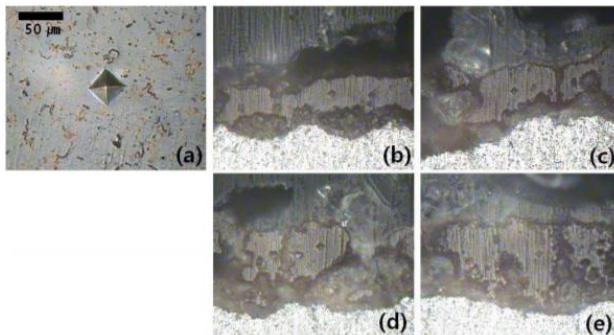
Seperti yang dapat diamati dari Gambar 4.13 dan Tabel 4.7, terjadi peningkatan *microhardness* atau *microhardness* permukaan seiring dengan peningkatan waktu *anodizing*. *microhardness* awal spesimen ialah 85 Hv dengan *microhardness* paling tinggi sebesar 170 Hv dicapai oleh spesimen yang dianodize dengan waktu terlalu lama yaitu 30 menit. Peningkatan *microhardness* spesimen tanpa perlakuan bila dibandingkan oleh spesimen dengan *microhardness* tertinggi ialah sebesar 200%. Hal ini menunjukkan hasil yang sama dengan penelitian Pamungkas yang sebelumnya dianalisa. Waktu *anodizing* masih menunjukkan relasi linear terhadap *microhardness* dari logam. Hal ini juga berkaitan dengan ketebalan lapisan yang dihasilkan, Ahmed juga menampilkan hasil pengujian ketebalan spesimen seiring dengan peningkatan waktu yang diuji dengan digital coating thickness gauge CM – 8822. Hasil dari pengujian ketebalan dapat dilihat pada Gambar 4.14.



Gambar 4. 14 Hasil pengujian ketebalan lapisan oksida oleh Ahmed (Ahmed, 2015)

Seperti yang dapat diamati pada Gambar 4.14, ketebalan lapisan juga memiliki relasi linear yaitu peningkatan ketebalan lapisan seiring dengan peningkatan waktu. Hal ini menunjukkan relasi semakin tebalnya lapisan pasif yang berkomposisi keramik atau oksida yaitu ZnO, maka semakin meningkat kekerasannya, hal ini dikarenakan keramik memiliki *microhardness* yang relatif lebih tinggi dibandingkan dengan logam.

Pada penelitian Kim pada tahun 2013, dilakukan pengujian *microhardness* dari logam AZ91D yang dianodize dengan variasi waktu *anodizing* menggunakan pengujian *Microhardness* Vickers dengan mesin Matsuzawa Micro-vicker Hardness Tester dengan beban uji sebesar 25 gf selama 15 detik. Berikut adalah hasil pengujian *microhardness* logam AZ91D yang dilakukan saat menguji pengaruh variasi waktu *anodizing* terhadap *microhardness* permukaan logam.



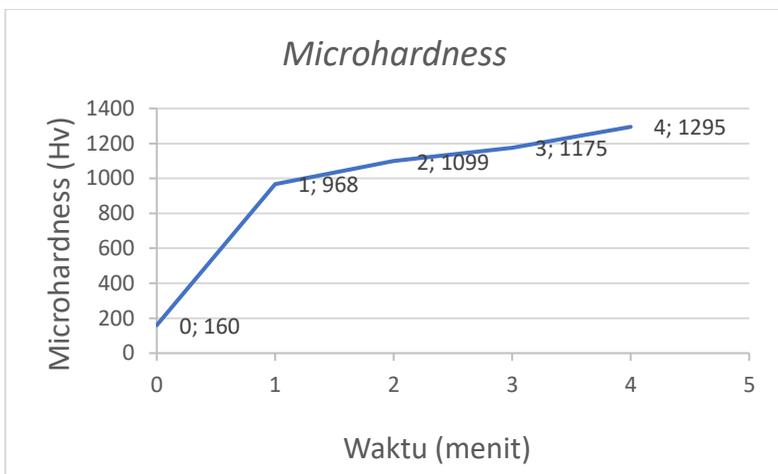
Gambar 4. 15 Hasil pengujian *microhardness* yang dilakukan oleh Kim pada *anodizing* dengan bath KMnO_4 trace, 2 M NaOH, 0,1 M Na_3PO_4 dan 0,1 M Na_2SiO_3 (a) Tanpa perlakuan (b) *anodizing* 1 menit (c) *anodizing* 2 menit (d) *anodizing* 3 menit (e) *anodizing* 4 menit (Kim et al., 2013)

Pada pengujian *microhardness* permukaan yang dilakukan oleh Kim pada tahun 2013, diteliti bahwa terjadi peningkatan *microhardness* permukaan yang cukup tinggi dengan adanya perlakuan *anodizing* terhadap logam AZ91D. Pada logam tanpa perlakuan *anodizing*, didapatkan hasil *microhardness* permukaan sebesar 160 Hv, pada logam dengan *anodizing* selama 1 menit, dihasilkan *microhardness* permukaan sebesar 968 Hv, pada logam dengan *anodizing* selama 2 menit dihasilkan *microhardness* permukaan sebesar 1.099 Hv, pada logam dengan *anodizing* selama 3 menit *microhardness* permukaan yang dihasilkan sebesar 1.175 Hv dan pada logam dengan *anodizing* selama 4 menit, dihasilkan *microhardness* permukaan tertinggi yaitu sebesar 1.295 Hv.

Tabel 4. 8 Hasil kekerasan permukaan dari pengujian *microhardness* Vickers (Kim et al., 2013)

Spesimen	<i>microhardness</i> (Hv)
Tanpa perlakuan	160
<i>anodizing</i> 1 menit	968
<i>anodizing</i> 2 menit	1.099
<i>anodizing</i> 3 menit	1.175
<i>anodizing</i> 4 menit	1.295

Dari hasil penelitian Kim pada tahun 2013, dapat disimpulkan dengan peningkatan waktu *anodizing* dihasilkan *microhardness* permukaan logam AZ91D yang semakin tinggi, bila digambarkan dengan grafik, maka peningkatan *microhardness* permukaan ialah sebagai berikut.



Gambar 4. 16 Grafik peningkatan *microhardness* spesimen uji Kim pada tahun 2013 (Kim et al., 2013)

Dari hasil pengujian *microhardness* yang ditampilkan oleh Tabel 4.8 dan Gambar 4.16, dapat dilihat bahwa *microhardness* tertinggi dicapai oleh spesimen *anodizing* yang menggunakan waktu *anodizing* sebesar 4 menit dengan *microhardness* sebesar 1.295 Hv dari *microhardness* awal yaitu 160 Hv. Bila dibandingkan, total peningkatan *microhardness* yang terjadi dari logam tanpa perlakuan dengan logam yang dianodize selama 4 menit, terjadi peningkatan *microhardness* sebesar 709,37%. Pada logam yang dianodize selama 1 menit dan logam yang tidak dianodize, terjadi peningkatan *microhardness* sebesar 505%. Pada logam yang dianodize selama 2 menit dan logam yang dianodize selama 1 menit, terjadi peningkatan *microhardness* sebesar 13,53%. Pada logam yang dianodize selama 3 menit dengan logam yang dianodize 2 menit, terjadi peningkatan *microhardness* sebesar 6,9%, dan pada logam yang dianodize 4 menit dengan logam yang dianodize selama 3 menit, terjadi peningkatan *microhardness* sebesar 10,21%. Pada penelitian tersebut, maka dapat disimpulkan variabel waktu *anodizing* mempengaruhi *microhardness* logam

secara linier. Seperti yang sudah dibahas pada pembahasan di subbab sebelumnya mengenai penelitian yang dilakukan oleh Kim, dengan peningkatan waktu *anodizing*, maka lapisan pasif yang terbentuk juga semakin seragam dan menghasilkan lapisan pasif yang lebih kuat dan keras. Hal ini berkaitan dengan 2 penelitian yang sebelumnya dibahas yaitu penelitian Pamungkas dan Ahmed, yang memiliki hasil yang sama yaitu peningkatan *microhardness* seiring dengan meningkatnya durasi *anodizing*.

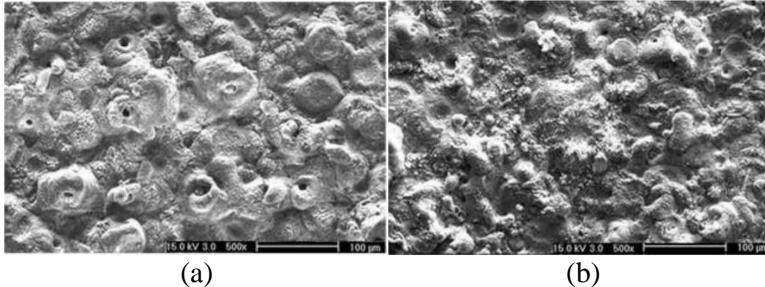
Pada penelitian yang dilakukan oleh Aktug pada tahun 2015, dilakukan penelitian terkait *anodizing* pada logam paduan AZ31 dengan variasi konsentrasi Na_2SiO_3 terhadap *microhardness* pada logam tersebut. Penelitian yang dilakukan menggunakan bath KOH 1,5 g/L dan Na_2SiO_3 dengan variasi konsentrasi 4 g/L dan 8 g/L. Pengujian *microhardness* dilakukan menggunakan Anton Paar MHT-10 Vickers Tester. Nilai pengujian *microhardness* yang dilakukan dapat diamati pada Tabel 4.9.

Tabel 4. 9 Hasil pengujian *microhardness* oleh Aktug (Aktug et al., 2015)

Konsentrasi Aditif (g/L)	<i>microhardness</i> (Hv)
Bare	140
4	734
8	797

Dapat dilihat adanya peningkatan cukup tinggi dari *microhardness* logam tanpa perlakuan bila dibandingkan dengan logam AZ31 yang sudah dianodize. Terjadi peningkatan *microhardness* sebesar 424,28% dari logam yang tidak dianodize setelah dianodize dengan larutan KOH 1,5g/L aditif 4g/L, sedangkan penambahan aditif sampai 8 g/L meningkatkan *microhardness* menjadi 797 Hv, yaitu peningkatan sebesar 8,58%. Aktug menjelaskan bahwa peningkatan *microhardness* yang

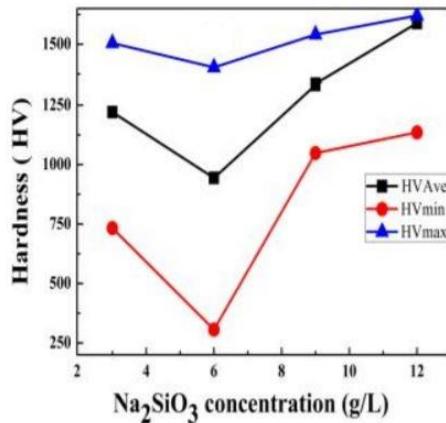
terjadi diakibatkan oleh penutupan pori oleh senyawa silika yang terbentuk pada lapisan pasif. Hal ini juga dibuktikan oleh analisa morfologi yang dilakukan oleh Aktug. Hasil dari pengujian ini dapat dilihat pada Gambar 4.17.



Gambar 4. 17 Hasil pengujian SEM yang dilakukan Aktug untuk menganalisa morfologi lapisan pasif dari spesimen yang menggunakan aditif (a) 4 g/L, (b) 8 g/L (Aktug et al., 2015)

Dapat diamati pada Gambar 4.17, bahwa spesimen yang menggunakan larutan yang memiliki konsentrasi aditif sebesar 4 g/L memiliki pori yang lebih banyak dan lebih besar. Pada spesimen yang menggunakan larutan dengan konsentrasi aditif sebesar 8 g/L, terlihat bahwa pori yang dihasilkan pada lapisan pasif berkurang dalam segi jumlah dan ukuran. Aktug menjelaskan bahwa pengisian pori yang terjadi merupakan alasan utama *microhardness* pada logam tersebut dapat meningkat.

Pada penelitian yang dilakukan oleh Rehman pada tahun 2017 pada penelitiannya yang membahas pengaruh konsentrasi $\text{Na}_2\text{SiO}_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ terhadap proses *hard anodizing* yang dilakukan pada logam paduan AZ91, Rehman menemukan pengaruh konsentrasi $\text{Na}_2\text{SiO}_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ terhadap *microhardness* logam. *microhardness* logam paduan AZ91 diuji dengan alat uji Vickers VLPK2000 Mitutoyo hardness testing machine. menggunakan 25 gf selama 5 detik. Berikut adalah hasil dari pengujian *microhardness* logam AZ91.



Gambar 4. 18 Hasil pengujian *microhardness* logam dengan variasi Na₂SiO₃ (Rehman et al., 2017)

Seperti yang dapat diamati pada Gambar 4.18, *microhardness* logam AZ91 relatif mengalami peningkatan seiring dengan peningkatan konsentrasi Na₂SiO₃, kecuali pada konsentrasi 6g/L dimana *microhardness* rata-rata, *microhardness* terkecil, dan *microhardness* tertinggi dari sampel dengan konsentrasi aditif Na₂SiO₃ memiliki *microhardness* terendah bahkan bila dibandingkan dengan konsentrasi aditif yang lebih rendah yaitu 3g/L Na₂SiO₃. Dapat diamati pula *microhardness* tertinggi dicapai oleh spesimen keempat dengan konsentrasi aditif Na₂SiO₃ 12g/L dengan *microhardness* rata rata sebesar 1589,45 Hv, namun spesimen ketiga dengan *microhardness* rata rata sebesar 1334,3 Hv memiliki nilai *microhardness* yang paling seragam, hal ini dapat diamati dari perbedaan *microhardness* tertinggi dan *microhardness* terendah yang paling kecil dibandingkan spesimen lainnya

Berikut adalah tabel nilai *microhardness* spesimen uji Rehman pada tahun 2017 dengan keterangan S1 adalah sampel dengan konsentrasi aditif Na₂SiO₃ 3g/L, S2 sampel dengan adalah konsentrasi aditif Na₂SiO₃ 6g/L, S3 sampel dengan adalah

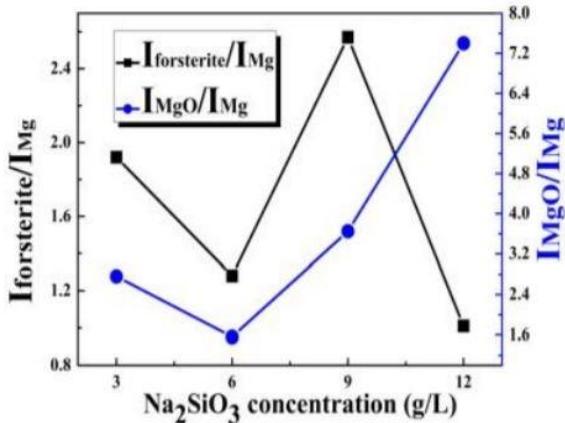
konsentrasi aditif Na_2SiO_3 9g/L, dan S4 adalah sampel dengan konsentrasi aditif Na_2SiO_3 12 g/L

Tabel 4. 10 Hasil pengujian *microhardness* Vickers (Rehman et al., 2017)

<i>microhardness</i> (Hv)	S1	S2	S3	S4
<i>microhardness</i> rata rata	1220,67	943,9	1334,3	1589,45
<i>microhardness</i> terendah	733,51	305,91	1048,43	1135,51
<i>microhardness</i> tertinggi	1505,70	1403,36	1541,31	1621,01

Dari Tabel 4.10 diatas, dapat dilihat peningkatan *microhardness* yang berlangsung linier terhadap konsentrasi aditif kecuali pada konsentrasi aditif 6g/L, yang mengalami penurunan *microhardness* bahkan bila dibandingkan dengan spesimen *anodizing* yang menggunakan konsentrasi aditif 3g/L. Walaupun *microhardness* tertinggi dicapai oleh spesimen dengan konsentrasi aditif 12 g/L, namun peningkatan *microhardness* tertinggi dicapai oleh spesimen yang menggunakan konsentrasi aditif sebesar 9 g/L, yaitu peningkatan *microhardness* rata rata sebesar 41,36%.

Kestabilan dari *microhardness* yang dihasilkan juga dapat dikorelasikan dari intensitas senyawa yang membentuk lapisan pasif dari spesimen yang *dianodize* dengan konsentrasi silikat yang bervariasi. Oleh karena itu, Rehman melakukan pengujian XRD untuk menguji intensitas senyawa yang terkandung pada lapisan pasif dari spesimen uji tersebut. Hasil dari pengujian XRD tersebut telah dibuat grafik dan dapat diamati pada Gambar 4. 19.

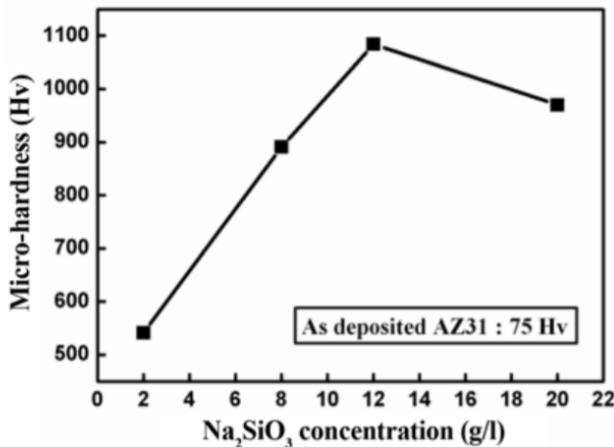


Gambar 4. 19 Hasil dari pengujian intensitas senyawa pada lapisan pasif yang dilakukan oleh Rehman (Rehman et al., 2017)

Pada gambar diatas dapat dilihat perbandingan intensitas senyawa yang dikandung lapisan pasif dari spesimen uji yang menggunakan variasi konsentrasi silikat (Na_2SiO_3). Dari gambar tersebut dapat dilihat adanya penurunan intensitas MgO/Mg dan fosterit/Mg pada spesimen yang menggunakan konsentrasi Na_2SiO_3 sebesar 6 g/L. Hal ini menjadi alasan utama mengapa *microhardness* dari spesimen yang menggunakan 6 g/L Na_2SiO_3 mengalami penurunan. Pada spesimen yang menggunakan 9 g/L, dapat diamati terjadi peningkatan perbandingan intensitas fosterit/Mg dan MgO/Mg yang menandakan pembentukan lapisan pasif yang lebih baik dibandingkan spesimen uji sebelumnya. Pada spesimen yang menggunakan 12 g/L dapat dilihat peningkatan pembentukan MgO pada lapisan pasif, diikuti oleh penurunan intensitas fosterit/Mg. Pada spesimen yang menggunakan 12 g/L Na_2SiO_3 , dicapai *microhardness* tertinggi dari spesimen uji lain. Hal ini juga menandakan bahwa kekerasan dasar MgO lebih tinggi daripada fosterit, sehingga menjadi alasan mengapa spesimen yang

menggunakan larutan dengan konsentrasi fosterit 12 g/L memiliki *microhardness* tertinggi.

Pada penelitian yang dilakukan oleh Ahn pada tahun 2013 terkait *anodizing* logam AZ31 menggunakan variasi aditif Na_2SiO_3 dengan larutan NaOH 2g/L dan 0,5 g/L Na_2SiF_6 , dilakukan pengujian *microhardness* menggunakan Vickers Microhardness Tester. Hasil dari pengujian *microhardness* yang dilakukan oleh Ahn dapat dilihat pada Gambar 4.20.



Gambar 4. 20 Hasil pengujian *microhardness* yang dilakukan oleh Ahn (Ahn et al., 2013)

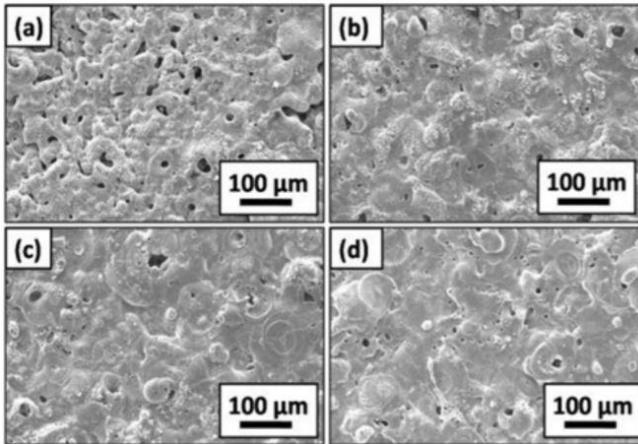
Dari pengujian *microhardness*, bila ditabulasikan nilai *microhardness* nya, maka hasilnya akan seperti yang ditampilkan pada Tabel 4.11 berikut.

Tabel 4. 11 Hasil pengujian *microhardness* oleh Ahn (Ahn et al., 2013)

Konsentrasi Aditif (g/L)	<i>microhardness</i> (Hv)
2	140
8	875
12	1080
20	960

Dari Tabel 4.11 dan Gambar 4.20, dapat dilihat bahwa seiring dengan peningkatan konsentrasi Na_2SiO_3 , terjadi peningkatan *microhardness* hingga pada logam yang dianodize dengan konsentrasi aditif sebesar 12 g/L. Pada logam yang dianodize dengan larutan aditif 20 g/L, terjadi penurunan *microhardness* sebesar 11,11%. Hal ini dapat terjadi dikarenakan dalam pembentukan lapisan pasif, konsentrasi aditif yang terlalu tinggi justru menghambat proses pembentukan lapisan pasif dari substrat. Hal ini juga dibuktikan oleh penelitian sebelumnya terkait *anodizing* dengan variasi konsentrasi aditif Na_2SiO_3 dan pengaruhnya terhadap ketahanan korosi. Pada penelitian yang dilakukan oleh sebelumnya, konsentrasi aditif tertinggi tidak menghasilkan lapisan pasif dengan ketebalan dan ketahanan korosi yang terbaik. Hal ini membuktikan, untuk mendapatkan sifat logam yang diinginkan seperti ketahanan korosi ataupun *microhardness* lapisan pasif, diperlukan konsentrasi aditif yang paling tepat.

Hal ini dibuktikan juga dengan pengujian morfologi yang dilakukan oleh Ahn menggunakan SEM. Hasil pengujian ini dapat dilihat pada Gambar 4.21.



Gambar 4. 21 Hasil dari pengujian morfologi menggunakan SEM yang dilakukan oleh Ahn pada spesimen dengan konsentrasi aditif (a) 2 g/L, (b) 8 g/L, (c) 12 g/L, (d) 20 g/L (Ahn et al., 2013)

Dapat diamati pada gambar tersebut, bahwa dengan peningkatan konsentrasi aditif, maka pori yang dihasilkan juga menurun dalam segi jumlah. Pada spesimen yang dianodize menggunakan 20 g/L, dapat diamati tidak ada penurunan pori, justru bila diamati terdapat pertumbuhan pori pori kecil pada permukaan lapisan yang dapat menyebabkan penurunan *microhardness* yang terjadi.

4.2 Pembahasan Komparasi Jurnal

4.2.1 Pembahasan Jurnal Pengaruh Konsentrasi Aditif Na_2SiO_3 terhadap Ketahanan Korosi

Pada subbab sebelumnya, telah dibahas 3 jurnal terkait pengaruh konsentrasi aditif Na_2SiO_3 terhadap sifat ketahanan korosi dari logam paduan Zn. Pada jurnal Fukuda, dapat diamati

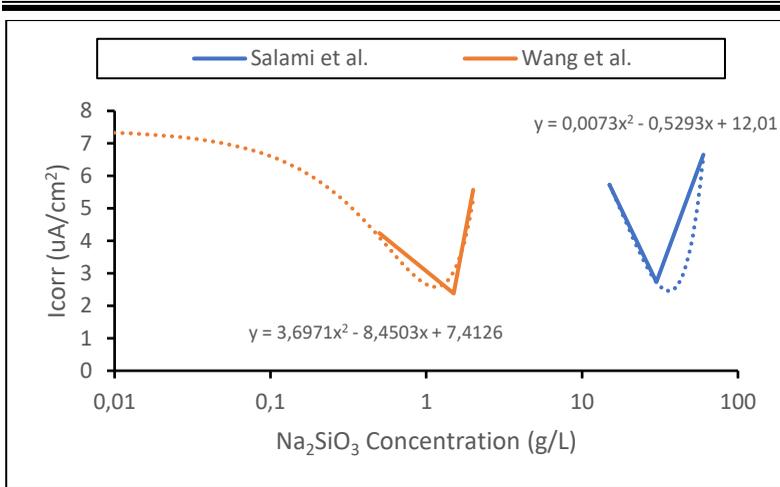
pada Gambar 4.1 bahwa dari hasil pengujian polarisasi potensiodinamik yang dilakukan, ketahanan korosi optimum dimiliki oleh spesimen yang menggunakan konsentrasi aditif Na_2SiO_3 sebesar 1 M. Hal ini dapat dilihat dari kestabilan logam yang diuji, dengan spesimen yang menggunakan konsentrasi aditif Na_2SiO_3 memiliki potensial korosi yang paling positif. Hal ini menunjukkan relasi antara konsentrasi aditif Na_2SiO_3 dengan sifat ketahanan korosi logam yang tidak bersifat linear, dan membutuhkan konsentrasi aditif yang tepat untuk menghasilkan lapisan pasif yang paling tahan terhadap korosi. Hal ini, seperti yang dibahas pada subbab sebelumnya, didukung oleh peran aditif yang mampu membentuk senyawa silikat pada lapisan pasif, namun konsentrasi aditif yang terlalu tinggi juga dapat menghambat pembentukan lapisan pasif. Hal ini juga dibuktikan dengan pengujian ketebalan yang dilakukan oleh Fukuda, bahwa ketebalan tertinggi dicapai oleh spesimen yang dianodize menggunakan konsentrasi aditif sebesar 1 M. Pada jurnal ini menggunakan logam Mg-Al-Zn dengan lapisan pasif berkomposisi MgO dan Mg_2SiO_4 .

Hasil ini juga didukung oleh hasil pengujian pada jurnal Salami dan Wang. Pada kedua Jurnal tersebut, membahas tentang pengaruh konsentrasi aditif terhadap sifat ketahanan korosi dari logam paduan Zn. Pada jurnal yang diteliti oleh Salami, menunjukkan bahwa ketahanan korosi tertinggi dicapai oleh spesimen yang menggunakan konsentrasi aditif sebesar 30 g/L. Pada spesimen dengan konsentrasi aditif 30 g/L, pengujian polarisasi yang dilakukan menunjukkan ketahanan korosi tertinggi bila dilihat pada nilai rapat arus korosi pada pengujian potensiodinamik yang dilakukan. Nilai rapat arus korosi pada spesimen tersebut memiliki nilai terendah sebesar $2,73 \mu\text{A}/\text{cm}^2$, dengan corrosion rate sebesar 0,12 mm/y. Hal ini dijelaskan oleh Salami, bahwa konsentrasi Na_2SiO_3 juga mempengaruhi konduktivitas listrik pada larutan, yang dapat mempengaruhi pembentukan lapisan pasif. Bila dilihat pada Tabel 4.2, dapat dilihat bahwa konduktivitas listrik tertinggi dicapai oleh larutan

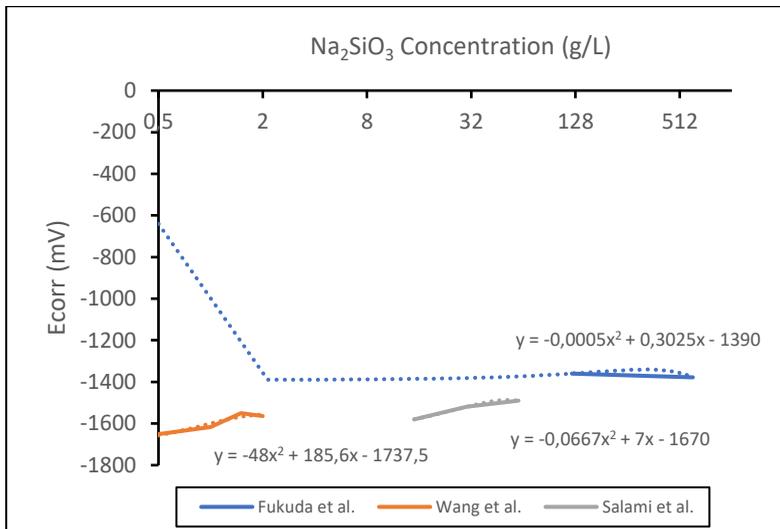
dengan konsentrasi aditif 30 g/L. Pada hasil pengujian potensiodinamik yang dilakukan oleh Wang, menunjukkan bahwa ketahanan korosi tertinggi dimiliki oleh spesimen dengan ketahanan konsentrasi aditif sebesar 1,5 g/L dengan nilai rapat arus korosi terendah sebesar $2,38 \mu\text{A}/\text{cm}^2$. Lapisan pasif yang terbentuk dari Jurnal Salami dan Wang berkomposisi MgO dan Mg_2SiO_4 . Dari ketiga jurnal ini, dapat disimpulkan bahwa untuk mendapatkan ketahanan korosi yang paling baik, dibutuhkan konsentrasi aditif Na_2SiO_3 yang paling tepat. Hasil dari ketiga jurnal ini telah ditabulasikan dan dibuat grafik, dan dapat diamati pada Tabel 4.12 dan Gambar 4.22. Perbandingan dari potensial korosi dari ketiga jurnal juga dapat dilihat pada Gambar 4.23. Dapat dilihat pada gambar yang disediakan, bahwa peningkatan ketahanan korosi yang dipengaruhi oleh peningkatan konsentrasi aditif Na_2SiO_3 tidaklah bersifat linear. Pada gambar yang disediakan peningkatan ketahanan korosi yang dipengaruhi aditif Na_2SiO_3 lebih bersifat kuadratik bila dijelaskan oleh *trendline*, hal ini menggambarkan pengaruh aditif Na_2SiO_3 yang meningkatkan ketahanan korosi pada titik tertentu, lalu turun pada peningkatan aditif Na_2SiO_3 selanjutnya.

Tabel 4. 12 Tabel perbandingan hasil jurnal pengaruh konsentrasi aditif Na_2SiO_3 terhadap ketahanan korosi

Jurnal	Variasi Konsentrasi Aditif	Hasil
Fukuda et al. (2004)	(0, 1, 5) M	Optimum pada 1 M
Salami et al. (2014)	(15, 30, 60) g/L	Optimum pada 30 g/L
Wang et al. (2019)	(0; 0,5; 1; 1,5; 2) g/L	Optimum pada 1,5 g/L



Gambar 4. 22 Perbandingan hasil rapat arus korosi dengan variasi konsentrasi Na_2SiO_3



Gambar 4. 23 Perbandingan potensial korosi dengan variasi konsentrasi Na_2SiO_3

4.2.2 Pembahasan Jurnal Pengaruh Waktu *Anodizing* terhadap Ketahanan Korosi

Pada subbab 4.1, telah dibahas 3 jurnal terkait pengaruh waktu *anodizing* terhadap sifat ketahanan korosi dari logam paduan Zn. Pada jurnal Spathis yang membahas terkait ketahanan korosi dengan adanya variasi waktu *anodizing* pada dua kondisi pencahayaan, dilakukan pengujian polarisasi potensiodinamik untuk menguji ketahanan korosi yang dimiliki oleh logam setelah dianodize dengan waktu yang berbeda. Pada jurnal tersebut, dapat dilihat pada Gambar 4.6 bahwa ketahanan korosi meningkat seiring dengan peningkatan waktu *anodizing*. Hal ini dijelaskan oleh Spathis, bahwa pembentukan lapisan pasif berjalan cukup stabil seiring dengan penambahan waktu *anodizing*, sehingga dengan adanya peningkatan waktu *anodizing*, unsur Zn yang berubah menjadi lapisan pasif semakin meningkat, sehingga ketahanan korosi didapat oleh spesimen dengan waktu *anodizing* terlama yaitu spesimen dengan waktu *anodizing* 5 jam dengan nilai rapat arus terendah sebesar $0,12 \text{ mA/cm}^2$. Pada jurnal Spathis yang menggunakan logam Zn untuk dianodize, lapisan pasif berkomposisikan senyawa ZnO.

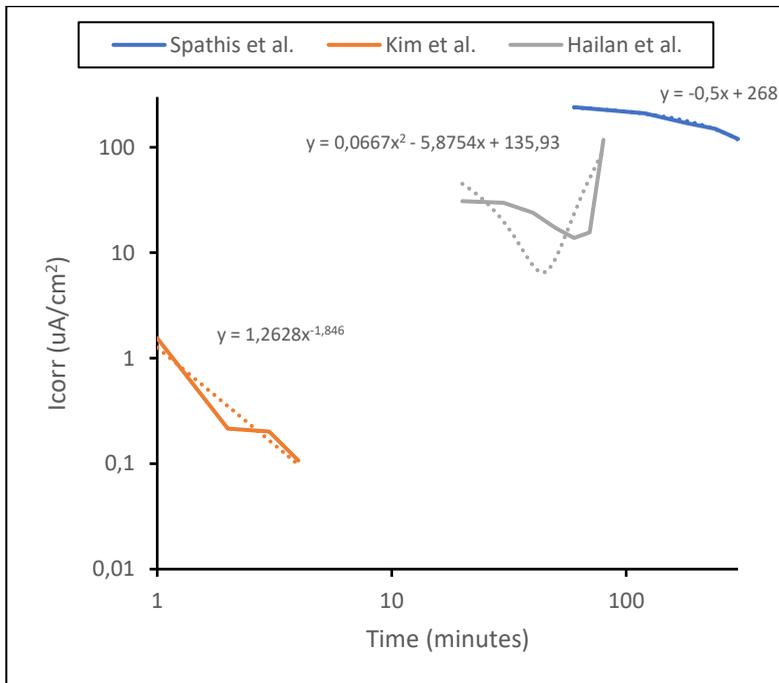
Jurnal yang diteliti oleh Kim pada tahun 2013 menunjukkan hasil yang cukup serupa. Pada jurnal yang diteliti oleh Kim, ketahanan korosi tertinggi dicapai oleh spesimen dengan waktu *anodizing* terlama yaitu dengan waktu *anodizing* 4 menit. Pada spesimen dengan waktu *anodizing* 4 menit, hasil pengujian polarisasi potensiodinamik menunjukkan nilai rapat arus korosi tertinggi dengan penurunan nilai rapat arus korosi yang cukup tinggi yaitu sebesar 50,06% dari spesimen yang memiliki potensial korosi paling positif yaitu spesimen dengan waktu *anodizing* selama 2 menit. Penurunan potensial korosi oleh spesimen dengan waktu *anodizing* 4 menit bila dibandingkan dengan spesimen yang dianodize selama 2 menit ialah sebesar 0,76%. Hal ini menunjukkan

sifat ketahanan korosi terbaik dicapai oleh spesimen dengan waktu *anodizing* selama 4 menit. Lapisan pasif yang terbentuk pada jurnal Kim dihasilkan lapisan pasif dengan senyawa MgO dan Mg₂SiO₄. Dari hasil kedua jurnal yang sudah dibahas, menampilkan hasil dimana waktu *anodizing* tertinggi menghasilkan ketahanan korosi terbaik.

Pada jurnal yang diteliti oleh Hailan pada tahun 2007 menunjukkan hasil yang cukup berbeda. Pada jurnal penelitian itu membahas variasi yang sama yaitu waktu *anodizing* terhadap ketahanan korosi dari logam paduan Zn. Pada jurnal yang diteliti oleh Hailan, ketahanan korosi tertinggi dicapai oleh spesimen dengan waktu *anodizing* selama 60 menit dari variasi waktu 20, 30, 40, 50, 60, 70, dan 80 menit. Pada spesimen yang dianodize lebih lama dari 60 menit terjadi penurunan ketahanan korosi. Hal ini dapat dilihat dari peningkatan rapat arus korosi dari hasil polarisasi potensiodinamik yang dilakukan pada Tabel 4.5. Pada spesimen yang dianodize selama 70 menit, rapat arus korosi mengalami peningkatan sebesar $0,18 \times 10^{-4}$ mA/cm², sedangkan pada spesimen yang dianodize selama 80 menit, mengalami penurunan cukup jauh yaitu sebesar $10,38 \times 10^{-4}$ mA/cm². Hal ini dijelaskan oleh Hailan, bahwa waktu *anodizing* yang terlalu lama dapat mengakibatkan keretakan lapisan akibat adanya tegangan internal yang dihasilkan dari *anodizing* dengan waktu yang terlalu lama. Lapisan pasif yang dihasilkan pada jurnal Hailan berkomposisi MgO dan Mg₂SiO₄. Hasil pada jurnal Hailan membuktikan bahwa waktu *anodizing* tidak bersifat linear dengan sifat ketahanan korosi dari logam paduan Zn. Sehingga pemilihan waktu *anodizing* sangat penting terhadap sifat ketahanan korosi dari logam yang dihasilkan. Hasil dari ketiga jurnal ini telah ditabulasikan dan dibuat grafik, dan dapat diamati pada Tabel 4.13 dan Gambar 4.23. Pada gambar yang disediakan, dapat diamati bahwa pengaruh waktu terhadap ketahanan korosi tidak selalu bersifat linear. Hal ini dibuktikan pada kurva waktu - rapat arus korosi dari data yang diambil dari jurnal Hailan, dimana peningkatan ketahanan korosi yang dipengaruhi oleh waktu *anodizing* bersifat kuadratik.

Tabel 4. 13 Tabel perbandingan hasil jurnal pengaruh waktu *anodizing* terhadap ketahanan korosi

Jurnal	Variasi Waktu <i>anodizing</i>	Hasil
Spathis et al. (1995)	(1, 2, 3, 4, 5) jam	Optimum pada 5 jam
Kim et al. (2013)	(1, 2, 3, 4) menit	Optimum pada 4 menit
Hailan et al. (2007)	(20, 30, 40, 50, 60, 70, 80) menit	Optimum pada 60 menit



Gambar 4. 24 Perbandingan hasil rapat arus korosi dengan variasi waktu *anodizing*

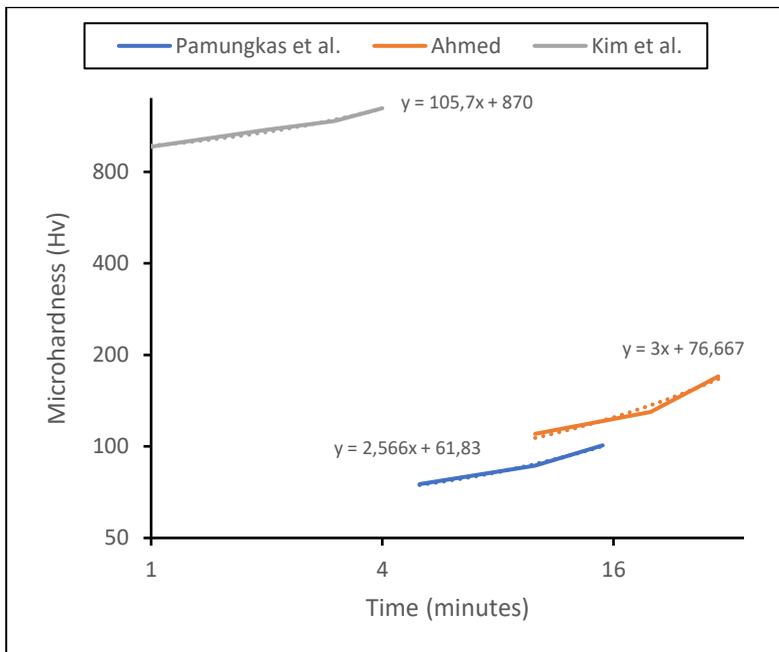
4.2.3 Pembahasan Jurnal Pengaruh Waktu *Anodizing* terhadap *Microhardness*

Pada subbab sebelumnya, telah dibahas 3 jurnal yang meneliti terkait pengaruh waktu *anodizing* terhadap *microhardness* dari logam paduan Zn. Pada jurnal yang diteliti oleh Pamungkas pada tahun 2015 terkait *anodizing* logam Al-Zn, dilakukan variasi *anodizing* selama 5, 10 dan 15 menit. *Microhardness* kemudian diuji dengan Vickers Microhardness Tester. Hasil pengujian *microhardness* yang dilakukan dapat dilihat pada Gambar 4.11 dan Tabel 4.6. Dapat diamati bahwa adanya peningkatan yang selurus dengan seiringnya peningkatan waktu *anodizing*, dengan *microhardness* tertinggi dimiliki oleh spesimen yang dianodize dengan waktu *anodizing* terlama yaitu 15 menit yaitu sebesar 100,82 Hv, dengan peningkatan spesimen sebesar 43,61% bila dibandingkan dengan logam yang belum dianodize sama sekali. Hal ini dapat terjadi karena seiring dengan waktu, pembentukan lapisan pasif yang lebih tebal dapat terjadi. Pada jurnal yang diteliti oleh Ahmed pada tahun 2015 terkait *anodizing* AZ31 dengan larutan 3M KOH, dilakukan pengujian peningkatan *microhardness* yang dipengaruhi oleh waktu *anodizing*. Pada penelitian yang dilakukan Ahmed, menunjukkan data yang hampir serupa dengan penelitian yang diteliti oleh Pamungkas, yaitu peningkatan yang cukup linear seiring dengan peningkatan waktu *anodizing*. *Microhardness* spesimen tertinggi dicapai oleh spesimen dengan waktu *anodizing* yang paling lama yaitu spesimen yang dianodize selama 30 menit dengan *microhardness* 170 Hv. Peningkatan *microhardness* yang terjadi pada spesimen bila dibandingkan dengan logam yang belum dianodize ialah 2 kali lipat. Ahmed menjelaskan bahwa hal ini dapat terjadi karena peningkatan tebal lapisan pasif seiring dengan peningkatan waktu *anodizing*. Dilakukan pengujian ketebalan lapisan pasif menggunakan coating thickness gauge CM-8822. Hasil dari pengujian ini dapat dilihat pada Gambar 4.14. Dapat dilihat adanya peningkatan ketebalan lapisan pasif seiring dengan peningkatan waktu *anodizing*, yang

menyediakan *microhardness* lebih tebal daripada logam substratnya. Pada jurnal yang diteliti oleh Kim pada tahun 2013, sifat yang diuji tidak hanya ketahanan korosi namun juga menguji *microhardness* dari lapisan pasif dari logam yang dianodize. Lapisan pasif yang terbentuk pada penelitian yang dilakukan Ahmed berupa MgO. Hasil indentasi yang dilakukan oleh Kim dapat dilihat pada Gambar 4.15 dan hasil pengujiannya dapat dilihat pada Tabel 4.8. Pada Tabel 4.8, dapat diamati terjadinya peningkatan *microhardness* yang cukup tinggi dari logam yang belum dianodize dengan logam yang sudah dianodize. *Microhardness* tertinggi dimiliki oleh spesimen yang dianodize dengan waktu terlalu lama yaitu 4 menit dengan *microhardness* sebesar 1.295 Hv. Perbedaan *microhardness* yang cukup tinggi ini menandakan adanya perbedaan *microhardness* logam substrat dengan lapisan pasif yang terbentuk, yang merupakan material keramik. Lapisan pasif yang terbentuk pada jurnal milik Kim berkomposisi MgO dan Mg₂SiO₄. Dari ketiga jurnal yang dianalisa, dapat dilihat bahwa waktu *anodizing* dan *microhardness* memiliki relasi yang linear, dimana semakin lama proses anodize dilakukan, maka semakin keras permukaan lapisan pasif yang terbentuk. Hal ini dibatasi oleh kemampuan pembentukan lapisan pasif yang terjadi, dimana ketika larutan sudah jenuh atau lapisan pasif terlalu tebal, maka proses *anodizing* tidak membentuk lapisan pasif yang semakin tebal. Hasil dari ketiga jurnal ini telah ditabulasikan dan dibuat grafik, dan dapat diamati pada Tabel 4.14 dan Gambar 4.24. Pada gambar yang disediakan, dapat diamati bahwa peningkatan *microhardness* yang dipengaruhi oleh waktu *anodizing* bersifat linear.

Tabel 4. 14 Tabel perbandingan hasil jurnal pengaruh waktu *anodizing* terhadap *microhardness*

Jurnal	Variasi Waktu <i>anodizing</i>	Hasil
Pamungkas et al. (1995)	(5, 10, 15) menit	Optimum pada 15 menit
Ahmed (2015)	(10, 20, 30) menit	Optimum pada 30 menit
Kim et al. (2013)	(1, 2, 3, 4) menit	Optimum pada 4 menit



Gambar 4. 25 Perbandingan hasil *microhardness* dengan variasi waktu *anodizing*

4.2.4 Pembahasan Jurnal Pengaruh Konsentrasi Aditif Na_2SiO_3 terhadap *Microhardness*

Pada subbab sebelumnya, telah dibahas 3 jurnal yang membahas pengaruh dari konsentrasi aditif Na_2SiO_3 terhadap *microhardness* dari logam paduan Zn. Pada jurnal yang diteliti oleh Aktug pada tahun 2015, dilakukan pengujian terhadap logam AZ31 yang dianodize dengan larutan 1,5 g/L KOH dengan variasi konsentrasi aditif sebesar 4 g/L dan 8 g/L. Hasil dari pengujian yang dilakukan oleh Aktug dapat dilihat di Tabel 4.9. Dari tabel tersebut, bisa diamati bahwa terjadi perkembangan *microhardness* yang cukup tinggi dari logam yang belum dianodize dengan logam yang sudah dianodize. Adapun pengaruh dari peningkatan konsentrasi aditif dapat dilihat juga pada tabel tersebut, dimana *microhardness* tertinggi dimiliki oleh spesimen dengan konsentrasi aditif tertinggi yaitu 8 g/L dengan *microhardness* sebesar 797 Hv. Hal ini terjadi diakibatkan oleh penutupan pori pada lapisan pasif oleh senyawa silikat, sehingga menyebabkan peningkatan *microhardness* sebesar 8,58% pada peningkatan konsentrasi aditif dari 4 g/L menjadi 8g/L. Lapisan pasif yang terbentuk berkomposisikan senyawa MgO dan Mg_2SiO_4 .

Pada jurnal yang diteliti oleh Rehman pada tahun 2017, dianalisa pengaruh konsentrasi aditif dengan variasi yang lebih banyak daripada variasi yang dilakukan oleh Aktug, yaitu *anodizing* dengan variasi konsentrasi aditif. Hasil dari pengujian *microhardness* yang dilakukan dapat dilihat pada Gambar 4.18 dan Tabel 4.10. Hasil pengujian tersebut memiliki pengaruh yang hampir serupa, yaitu peningkatan *microhardness* dengan adanya peningkatan konsentrasi aditif, kecuali pada spesimen yang dianodize dengan konsentrasi aditif sebesar 6g/L. Pada spesimen yang menggunakan 6 g/L Na_2SiO_3 , terdapat perbandingan intensitas hasil oksida dengan logam substrat yaitu fosterit/Mg dan MgO/Mg terendah. Hal ini bisa disebabkan karena penurunan konduktivitas listrik oleh perbandingan konsentrasi larutan tertentu seperti yang disebutkan oleh Sharma et al., dimana perbandingan

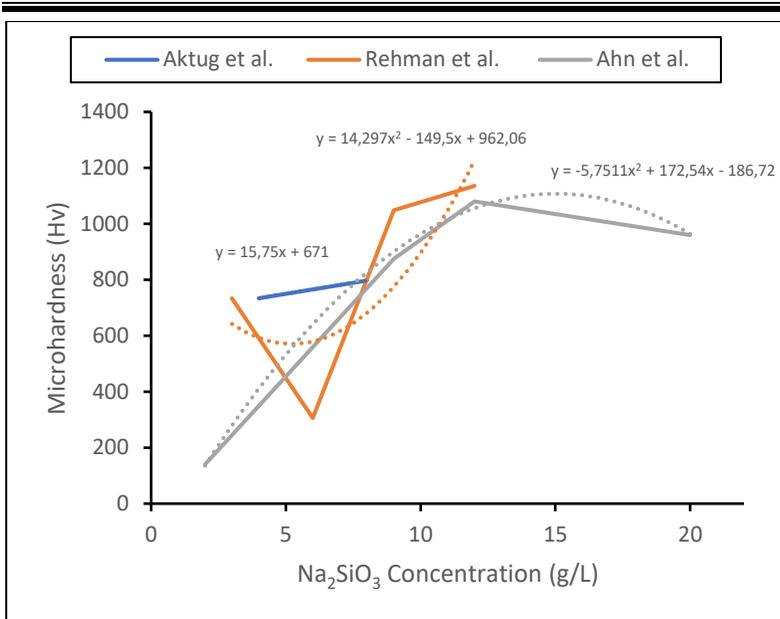
konsentrasi aditif tertentu dapat menyebabkan turunnya konduktivitas listrik pada larutan yang dapat menyebabkan penurunan kemampuan pembentukan lapisan pasif pada logam. Lapisan pasif yang terbentuk berkomposisikan senyawa MgO dan Mg_2SiO_4 . Peningkatan *microhardness* tertinggi terjadi oleh spesimen yang dianodize dengan konsentrasi aditif sebesar 9 g/L, yaitu peningkatan *microhardness* sebesar 41,36% dibandingkan dengan variasi sebelumnya yaitu 6 g/L. *microhardness* tertinggi tetap dimiliki oleh spesimen dengan konsentrasi aditif tertinggi yaitu spesimen yang dianodize dengan konsentrasi aditif 12 g/L yaitu *microhardness* rata rata sebesar 1589,45 Hv.

Pada jurnal terakhir yang telah direview yaitu jurnal yang diteliti oleh Ahn pada tahun 2013, terdapat perbedaan hasil dibandingkan dengan kedua jurnal yang sebelumnya sudah direview. Hasil pengujian yang dilakukan dapat dilihat pada Gambar 4.20 dan Tabel 4.11. Dari gambar dan tabel tersebut, dapat dilihat bahwa *microhardness* meingkat seiring dengan peningkatan konsentrasi aditif sampai dengan 12 g/L. Pada spesimen yang dianodize dengan konsentrasi aditif sebesar 20 g/L, *microhardness* justru terjadi penurunan sebesar 11,11%. Hal ini dapat terjadi karena konsentrasi aditif yang terlalu tinggi dapat menghalangi pembentukan lapisan pasif. Lapisan pasif yang terbentuk pada jurnal Ahn berkomposisikan senyawa MgO dan Mg_2SiO_4 . Hal ini didukung oleh jurnal yang diteliti Fukuda, Salami dan Wang yang dibahas pada beberapa subbab sebelumnya, bahwa konsentrasi aditif yang tinggi tidak selalu menghasilkan lapisan pasif yang terbaik, dapat dikarenakan tidak optimalnya konduktivitas listrik pada larutan, ataupun pembentukan ketebalan lapisan yang tidak optimal, dan dalam hal ini, mengakibatkan tidak dihasilkannya lapisan pasif dengan *microhardness* tertinggi. Sehingga pada penelitian ini membuktikan bahwa untuk mendapatkan *microhardness* terbaik, dibutuhkan konsentrasi aditif yang tepat. Hasil dari ketiga jurnal ini telah ditabulasikan dan dibuat grafik, dan dapat diamati pada Tabel 4.15 dan Gambar 4.25. Pada gambar yang disediakan, dapat diamati bahwa pengaruh konsentrasi aditif

Na_2SiO_3 terhadap *microhardness* tidak selalu bersifat linear, hal ini dibuktikan pada *trendline* yang dibuat berdasarkan data yang diambil pada jurnal Aktug dan Rehman, dimana terdapat titik tertentu pada peningkatan konsentrasi aditif Na_2SiO_3 yang dapat meningkatkan *microhardness*.

Tabel 4. 15 Tabel perbandingan hasil jurnal pengaruh konsentrasi aditif Na_2SiO_3 terhadap *microhardness*

Jurnal	Variasi Konsentrasi Aditif	Hasil
Aktug et al. (2015)	(4, 8) g/L	Optimum pada 8 g/L
Rehman et al. (2017)	(3, 6, 9, 12) g/L	Optimum pada 12 g/L
Ahn et al. (2013)	(2, 8, 12, 20) g/L	Optimum pada 12 g/L



Gambar 4. 26 Perbandingan hasil *microhardness* dengan variasi konsentrasi Na₂SiO₃

4.3 Kritisasi Jurnal

Dari beberapa jurnal yang telah direview, ada jurnal yang tidak mencantumkan data kuantitatif yang lengkap pada jurnal tersebut. Hal ini membuat pengambilan data yang dilakukan menjadi tidak maksimal. Contoh dari jurnal yang memiliki kekurangan seperti berikut ialah jurnal milik Fukuda et al. pada tahun 2004. Pada jurnal tersebut, mereka tidak mencantumkan data hasil pengujian polarisasi, namun hanya menyediakan penjelasan terhadap hasil pengujian tersebut, sehingga nilai dari rapat arus korosi pada jurnal tersebut tidak dapat diperoleh. Terlebih lagi, hasil pengujian yang ditampilkan pada jurnal ini hanya sebatas potongan dari hasil pengujian polarisasi, sehingga hanya dapat mengobservasi nilai potensial korosi dari pengujian yang telah dilakukan.

Pada beberapa jurnal yang telah direview, tidak ada penjelasan yang lengkap terhadap pengaruh dari parameter terhadap sifat yang diselidiki. Pada jurnal milik Rehman et al. pada tahun 2017, tidak dijelaskan secara lengkap atas terjadinya penurunan *microhardness* pada spesimen yang menggunakan konsentrasi aditif Na_2SiO_3 sebesar 6 g/L. Pada jurnal tersebut lebih menekankan pada pembahasan terhadap kenaikan *microhardness* yang terjadi pada spesimen dengan konsentrasi aditif Na_2SiO_3 sebesar 9 g/L dan 12 g/L.

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Adapun kesimpulan yang dapat diambil dari review jurnal analisis pengaruh konsentrasi aditif Na_2SiO_3 dan waktu *anodizing* terhadap ketahanan korosi dan *microhardness* pada logam paduan Zinc ialah:

1. Pengaruh konsentrasi aditif Na_2SiO_3 dan waktu *anodizing* terhadap ketahanan korosi lapisan pasif tidak bersifat linear, ketika dijelaskan menggunakan *trendline*, data yang dihasilkan bersifat kuadratik. Terjadi peningkatan sifat ketahanan korosi yang dipengaruhi oleh aditif Na_2SiO_3 dan waktu *anodizing* sampai pada titik tertentu. Terdapat titik optimal pada konsentrasi aditif Na_2SiO_3 dan waktu *anodizing* untuk mendapatkan sifat ketahanan korosi yang terbaik, dimana bila titik tersebut dilewati, penurunan sifat ketahanan korosi dapat terjadi.
2. Pengaruh konsentrasi aditif Na_2SiO terhadap *microhardness* dari lapisan pasif tidak bersifat linear, ketika dijelaskan *trendline*, dapat dilihat bahwa pengaruh konsentrasi aditif Na_2SiO_3 lebih bersifat kuadratik. Sifat *microhardness* akan meningkat seiring penambahan Na_2SiO_3 sampai titik optimal. Ketika titik optimal tersebut dilewati, dapat terjadi penurunan sifat *microhardness*. Pengaruh waktu *anodizing* terhadap *microhardness* lapisan pasif bersifat linear, peningkatan *microhardness* dipengaruhi oleh peningkatan ketebalan lapisan pasif seiring dengan waktu, peningkatan tersebut hanya dibatasi oleh kemampuan *anodizing* untuk membentuk lapisan pasif yang lebih tebal dikarenakan antara larutan yang dipakai sudah jenuh atau lapisan

terlalu tebal sehingga arus tidak dapat lagi untuk menembus lapisan pasif tersebut.

5.2 Saran

Adapun saran yang dapat diberikan bagi penulisan review ini ialah :

1. Melakukan penelitian dalam menyelidiki pengaruh variasi yang diteliti terhadap ketahanan korosi dan *microhardness* yang dihasilkan untuk memperoleh data lebih lanjut untuk memverifikasi hasil yang tertulis pada penelitian ini.
2. Menggunakan referensi dari luar untuk melengkapi kekurangan data dari jurnal yang direview dan untuk membantu analisis pengaruh parameter terhadap sifat yang diteliti

DAFTAR PUSTAKA

- Afandi, Yudha Kurniawan. 2015. *Analisa Laju Korosi pada Pelat Baja Karbon dengan Variasi Ketebalan Coating*. Surabaya: Jurnal Teknik ITS.
- Ahmed, Basher A. 2015. *Anodizing of Magnesium Alloy AZ31 by Alkaline Solution*. Diyala: Diyala Journal of Engineering Sciences.
- Ahn, Byung-Hyun et al. 2013. *Effect of Na₂SiO₃ Concentration on the Properties of AZ31 Magnesium Alloy Prepared by Electrolytic Plasma Processing*. Changwon: Changwon National University.
- Ajeel, S A. 2017. *Corrosion Behavior of Anodizing Pure Zinc in Sea Water*. Engineering and Technology Journal : Vol 35, part A, No 9.
- Aktug, Salim Levent et al. 2015. *Effect of Na₂SiO₃.5H₂O Concentration on Microstructure and Mechanical Properties of Plasma Electrolytic Oxide Coatings on AZ31 Mg Alloy Produced by Twin Roll Casting*. Ceramic International.
- Aramaki, Kunitsugu. 2001. *Self-healing mechanism of an organosiloxane polymer film containing sodium silicate and cerium(III) nitrate for corrosion of scratched zinc surface in 0.5 M NaCl*. Yokohama: Pergamon.
- Arifin, Jaenal. 2017. *Pengaruh Jenis Elektroda terhadap Sifat Mekanik Hasil; Pengelasan SMAW Baja ASTM A36*. Semarang. Semarang.
- Batez, A Hernandez. 2008. *CuO, ZrO₂, and ZnO nanoparticles as antiwear additive in oil lubricants*. Amsterdam: Elsevier.
- Committee. 2003. *Fe-Zn (Iron-Zinc)*. ASM International.
- . 2006. *Fundamentals of the Heat Treating Steel*. ASM International.
- . 2010. *JIS G 3101 Rolled steels for general structure*. Tokyo: JIS G 3101.

-
- . 2005. *Standard Test Method for Evaluation*. American Society for Testing and Materials.
- . 2006. *Zinc Coating*. Aberdeen: American Galvanizer Association.
- Diomidis, N. 2004. *Effect of hydrodynamics on zinc anodizing in silicate-based electrolytes*. Leuven: Elsevier.
- Eijnsbergen, V. 1994. *Duplex System Hot Dip Galvanizing plus Painting*. Amsterdam: Elsevier.
- Fontana, Mars G. 1987. *Corrosion Engineering*. Singapura: Mc Graw Hill & Co.
- Fukuda, Haruto. 2004. *Effects of Na₂SiO₃ on Anodization of Mg-Al-Zn alloy in 3M KOH Solution*. Kamamoto: Elsevier.
- Gabe, D R. 1978. *Principles of Metal Surface Treatment and Protection*. Longborough: Pergamon Press.
- Gerwick, Ben. 1971. *Construction of Offshore Structures*. New Jersey: John Wiley & Sons.
- Gilani, Shalaleh. 2016. *Antibacterial activity of ZnO films prepared by anodizing*. Springer Link.
- Gipiela, Manolo Lutero. 2009. *Study of mechanical properties of the hot dip galvanized steel and galvalume*. Brazil.
- Goodwin, Frank. 1998. *Zinc Compunds*. John Wiley & Sons, Inc.
- Grady, John Mc. 2015. *Introduction and General Survey of Metal–Metal Bonds*. John Wiley and Sons.
- Hai-Lan, Wu et al. 2007. *The anodization of ZK60 magnesium alloy in alkaline solution containing silicate and the corrosion properties of the anodized films*. Changsa: Elsevier.
- Imam, M A. 2011. *Anodizing of zinc for improved surface properties*. Melbourne: Victoria University.
- Kim, Yukyoung. 2013. *Surface Characteristic of Anodized AZ91D with Pottasium Permanganate in Alkaline by Various Time*. Jeonju: Trans Tech Publication.
- Kuklik, Vlastimil. 2016. *Hot Dip Galvanizing of Steel Structures*. New York: Butterworth-Heinemann.
-

-
- Leygraf, Christofer. 1982. *Atmospheric Corrosion*. John Wiley & Sons.
- Mulimbayan, Francis. 2015. *Investigation of the Effects of Solution Temperature on the Corrosion Behavior of Austenitic Low-Nickel Stainless Steels in Citric Acid using Impedance and Polarization Measurements*. Los Banos: EDP Sciences.
- Nasution, Muslih. 2018. *Karakteristik Baja Karbon Terkorosi okeh Air Laut*. Sumatera Utara.
- Nugroho, Fajar. 2015. *Pengaruh Rapat Arus dan Waktu Anodizing Terhadap Ketebalan Lapisan Aluminium Oksida pada Aluminium Paduan AA 2024-T3*. Yogyakarta.
- Ojahan, Tumpal. 2017. *Variasi Waktu dan Temperatur Pelapisan Hot Dip Galvanizing Terhadap Laju Korosi serta Uji Impact Material Baja Karbon Rendah (0.02% C)*. Lampung Selatan.
- Pamungkas, Rachman Setya et al. 2015. *Pengaruh Variasi Waktu Proses Anodizing terhadap Karakteristik Velg Racing Merk Sprint*. Magelang: Universitas Tidar.
- Park, Changwook Ji and Yeong Do. 2015. *Effects of surface coating on weld growth of resistance spot-welded hot-stamped boron steels*. Busan: Springer.
- Ramirez, Anyela Canon. 2013. *Zinc Oxide Nanostructured Films Produced via Anodization : a Rational Design Approach*. Bath: RSC Advances.
- Rehman, Zeeshan Ur. 2017. *Effect of $Na_2SiO_3 \cdot 5H_2O$ concentration on the microstructure and corrosion properties of two-step PEO coatings formed on AZ91 alloy*. Changwon.
- Reuter, Markus A. 2002. *Zinc - Zinc College Course*. Brussels: Delft University of Technology.
- Salami, B et al. 2014. *The effect of Sodium Silicate Concentration on Microstructure and Corrosion Properties of MAO Coated Magnesium Alloy AZ31 in simulated body fluid*. Tehran: Cross Mark.
-

-
- Saripudin, A. 2009. *Pengaruh Waktu Galvanis terhadap Pembentukan Fasa Intermetalik Fe-Zn pada Permukaan Ulir Baut Baja*. Depok: Teknik Mesin Universitas Gunadarma.
- Setiawan, Samuel Wildan. 2018. *Pengaruh Variasi Waktu Proses Anodizing terhadap Ketebalan Lapisan Oksida dan Kekerasan Permukaan Aluminium*.
- Shetty, Amitha. 2012. *Synthesis of zinc oxide porous structures by anodization with water as an electrolyte*. Bangalore: Springer Press.
- Sihombing, Julian Jaya Prakasa. 2019. *Analisis Ketahanan Korosi dan Sifat Mekanik Duplex System Hot-Dip Galvanizing Epoxy Coating pada Baja JIS G3132 untuk Aplikasi Lingkungan Laut*. Surabaya.
- Spathis, P et al. 1995. *The Corrosion and Photocorrosion of Zinc and Zinc Oxide Coatings*. Thessaloniki: Pergamon Press.
- Suarsana. 2017. *Ilmu Material Teknik*. Denpasar.
- Utomo, Budi. 2009. *Jenis Korosi dan Penanggulangannya*. Semarang.
- Van, V. 2015. *Ilmu dan Teknologi Bahan*. Jakarta: Erlangga.
- Wahyudi, Yoyok. 2016. *Analisa Perbandingan Pelapisan Galvanis Elektroplating dengan Hot Dip Galvanizing terhadap Ketahanan Korosi dan Kekerasan pada Baja*. Sidoarjo.
- Wahyuningsih, Utami. 2017. *Penanggulangan Korosi pada Pipa Gas dengan Metode Cathodic Protection (Anoda Korban) PT PGN Solution Area Tangerang*. Tangerang: Jurnal Power Plant.
- Wang, Yansong dkk. 2019. *Preparation and Corrosion Resistance of Microarc Oxidation-Coated Biomedical Mg-Zn-Ca Alloy in the Silicon-Phosphorus-Mixed Electrolyte*. Kensington: ACS Omega.
- Zhang, Kai. 2019. *Corrosion Behavior of Hot Dip Galvanized Advanced High Strength Steel Sheet in a Simulated Marine Atmospheric Environment*. Beijing.
-

LAMPIRAN

Menurut jurnal ASTM G5-14 Standard Reference Test Method for Making Potentiodynamic Anodic Polarization Measurement pada tahun 2014, perhitungan dari laju korosi ditinjau dari rapat arus korosi ialah sebagai berikut :

$$CR = 3.27 \times 10^{-3} ((i_{corr} \cdot EW)/\rho)$$

Dimana:

CR = laju korosi (mmpy)

EW = equivalent weight (gram)

ρ = density (g/cm^3)

i_{corr} = rapat arus ($\mu\text{A}/\text{cm}^2$)

Dengan asumsi penggunaan *equivalent weight* dan *density* yang dipakai adalah milik Zn, maka :

EW : 32,69 g

ρ : 7,13 g/cm^3

1. Tabel perhitungan laju korosi milik Salami et al.

Salami et al.		
Silicate Conc. (g/L)	i_{corr} ($\mu\text{A}/\text{cm}^2$)	CR (mmpy)
15	5.72	0.085756919
30	2.73	0.040929439
60	6.65	0.099699915

2. Tabel perhitungan laju korosi milik Wang et al.

Wang et al.		
Silicate Conc. (g/L)	I _{corr} ($\mu\text{A}/\text{cm}^2$)	CR (mmpy)
0	7.28	0.109145
0.5	4.24	0.063568
1	3.07	0.046027
1.5	2.38	0.035682
2	5.57	0.083508

3. Tabel perhitungan laju korosi milik Spathis et al.

Spathis et al.		
Time (minutes)	I _{corr} ($\mu\text{A}/\text{cm}^2$)	CR (mmpy)
60	240	3.598192426
120	210	3.148418373
180	170	2.548719635
240	150	2.248870266
300	120	1.799096213

4. Tabel perhitungan laju korosi milik Kim et al.

Kim et al.

Time (minutes)	I _{corr} ($\mu\text{A}/\text{cm}^2$)	CR (mmpy)
1	1.55	0.023238326
2	0.215	0.003223381
3	0.202	0.003028479
4	0.107	0.001604194

5. Tabel perhitungan laju korosi milik Hailan et al.

Hailan et al.

Time (minutes)	I _{corr} ($\mu\text{A}/\text{cm}^2$)	CR (mmpy)
20	30.81	0.461918
30	29.84	0.4473753
40	23.98	0.3595194
50	17.22	0.2581703
60	13.79	0.2067461
70	15.59	0.2337326
80	117.6	1.7631143

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BIODATA PENULIS



Nama penulis adalah Bartholomeus Marcel. Penulis lahir di Jakarta pada tanggal 3 Agustus 1998. Penulis ialah anak pertama dari dua bersaudara. Dalam dunia pendidikan, penulis pernah mengenyam pendidikan di SD Seraphine Bakti Utama, SD Strada Bina Mulia 1, SMP Cinta Kasih Tzu Chi, dan SMA Negeri 78 Jakarta. Setelah lulus dari pendidikan SMA pada tahun 2016, penulis melanjutkan pendidikannya di Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya, pada Departemen Teknik Material Metalurgi. Pada masa perkuliahannya, penulis aktif dalam kegiatan berorganisasi yaitu menjadi Staff Badan Semi Otonom *Material Techno Club* HMMT dan sebagai Fungsiaris Badan Semi Otonom Kewirausahaan HMMT. Penulis melaksanakan Kerja Praktik di PT PINDAD, Bandung. Pada tugas akhir, penulis mengambil bidang manufaktur dengan topik pelapisan. Penulis dapat dihubungi melalui alamat *e-mail* 78.bmarcel@gmail.com.