

PROSES *HOT DIP GALVANIZING* PADA *GRAY CAST IRON* DENGAN PENGARUH WAKTU PENCELUPAN TERHADAP LAJU KOROSI DAN PREDIKSI SISA UMUR

*Almirajan Ghani Salam¹, Yusuf Umardani², Agus Suprihanto²

¹Mahasiswa Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro

²Dosen Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro

Jl. Prof. Sudharto, SH., Tembalang-Semarang 50275, Telp. +62247460059

*E-mail: almirajangs@gmail.com

Abstrak

Sumber daya alam yang sering digunakan pada dunia industri hingga pembangunan infrastruktur adalah pasir besi. Salah satu hasil peleburan pasir besi yang digunakan untuk penjepit kabel pada tiang listrik adalah besi cor kelabu. Logam dengan unsur penyusun Fe tidak akan lepas dari masalah korosi sehingga terjadi penurunan kualitas material yang dapat memperpendek umur penggunaan material tersebut. Hal ini menyebabkan perlunya tindakan yang dapat mengatasi masalah korosi berupa coating. Hot dip galvanizing menjadi salah satu cara coating yang ekonomis untuk mengatasi masalah korosi. Proses hot dip galvanizing melibatkan pencelupan logam ke dalam zinc cair pada suhu sekitar 450°C. Tujuan penelitian ini fokus pada analisis pengaruh waktu pencelupan dengan variasi waktu pencelupan 1 menit, 3 menit, 5 menit, dan 7 menit terhadap ketebalan coating, laju korosi, dan sisa umurnya. Standar yang digunakan dalam pengujian ini adalah ASTM B487-85 untuk pengukuran ketebalan coating, ASTM B117-11 untuk pengujian laju korosi dengan metode kehilangan berat, dan API 570 untuk prediksi sisa umur. Hasil pengujian didapatkan nilai rata-rata ketebalan coating berurutan sebesar 100,03 µm; 116,59 µm; 148,53 µm; dan 228,09 µm. Sedangkan nilai rata-rata laju korosi berurutan sebesar 75,3939 mpy; 53,1495 mpy; 37,9401 mpy; dan 22,5967 mpy. Prediksi sisa umur berurutan sebesar 2 hari, 8 hari, 23 hari, dan 90 hari.

Kata kunci: besi cor; coating; hot dip galvanizing; ketebalan; laju korosi; sisa umur; waktu pencelupan

Abstract

Natural resources that are often used in the industrial world to infrastructure development are iron sand. One of the results of smelting iron sand used for cable clamps on electric poles is gray cast iron. Metals with the constituent element Fe will not be separated from corrosion problems which result in a decrease in material quality which can shorten the life of the material. This causes the need for actions that can overcome corrosion problems in the form of coating. Hot dip galvanizing is one of the economical coating methods to overcome corrosion problems. The hot dip galvanizing process is carried out by dipping the metal into molten zinc at a temperature of around 450°C. The purpose of this research focuses on analyzing the effect of dipping time with variations of dipping time of 1 minute, 3 minutes, 5 minutes, and 7 minutes on coating thickness, corrosion rate, and remaining life. The standards used in this test are ASTM B487-85 for coating thickness measurement, ASTM B117-11 for corrosion rate testing by weight loss method, and API 570 for remaining life prediction. The test results obtained the average value of the coating thickness in order of 100.03 µm; 116.59 µm; 148.53 µm; and 228.09 µm. While the average value of the corrosion rate is 75.3939 mpy; 53.1495 mpy; 37.9401 mpy; and 22.5967 mpy, respectively. The predicted remaining service life is 2 days, 8 days, 23 days, and 90 days, respectively.

Keywords: cast iron; coating; corrosion rate; hot dip galvanizing; immersion time; remaining life; thickness

1. Pendahuluan

Indonesia adalah negara yang kaya akan sumber daya alam baik di daratan maupun lautan. Salah satu sumber daya yang sering digunakan pada dunia industri hingga pembangunan infrastruktur adalah pasir besi. Hasil peleburan pasir besi menghasilkan suatu material yang dapat dikategorikan sebagai besi cor^[1].

Industri yang melibatkan logam seperti otomotif tidak bisa lepas dari masalah korosi. Korosi adalah berkurangnya kualitas logam yang disebabkan oleh reaksi elektrokimia antara logam dan lingkungannya^[2]. Agar penggunaan logam khususnya yang memiliki kandungan besi dapat digunakan secara optimal, maka diperlukannya suatu metode pencegahan atau perawatan yang mampu memberikan perlindungan pada logam terhadap korosi.

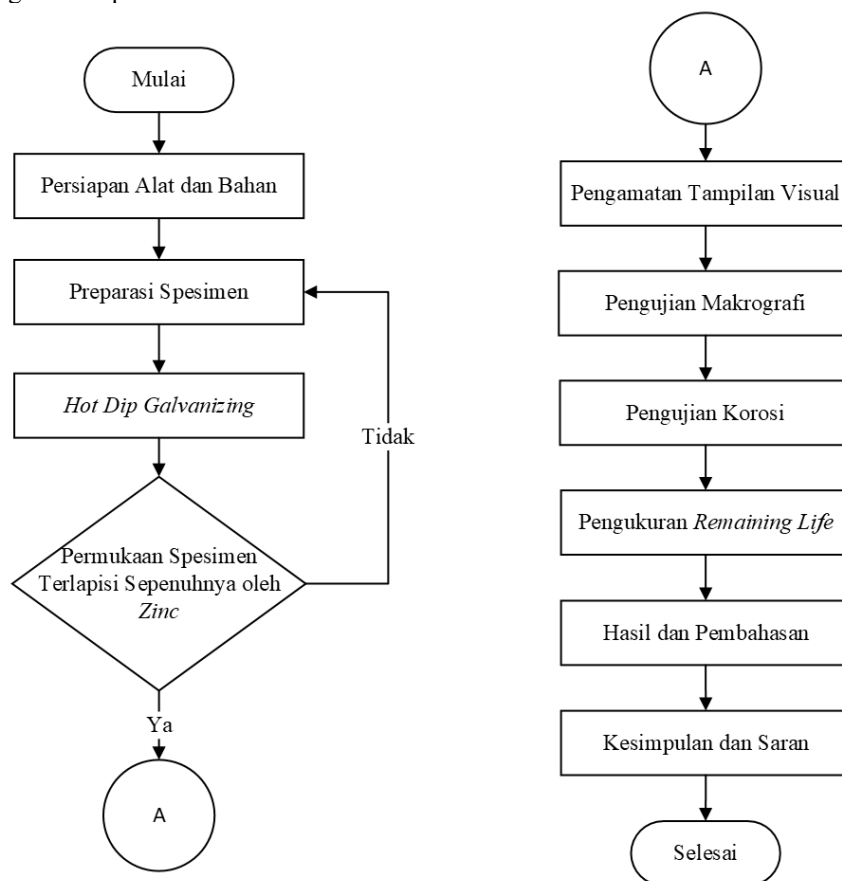
Di antara jenis-jenis metode perawatan logam terhadap korosi, *hot dip galvanizing* dikenal sebagai metode utama yang digunakan untuk menerapkan lapisan berbasis seng pada besi untuk memberikan perlindungan terhadap korosi. Menurut diagram fasa Fe-Zn, pada umumnya besi direndam dalam seng cair pada suhu 450°C - 490°C ^[3].

Hot dip galvanizing dikenal mampu memberikan perlindungan berupa lapisan yang tebal untuk mengatasi korosi dalam waktu yang lama dengan harga yang terbilang ekonomis^[4]. Akan tetapi, penulis belum menemukan penelitian mengenai *gray cast iron* yang digunakan sebagai spesimen untuk *hot dip galvanizing*. Biasanya spesimen yang digunakan adalah baja karbon rendah hingga baja karbon tinggi.

Menyadari hal tersebut peneliti tertarik untuk membahas proses *hot dip galvanizing* pada *gray cast iron* dengan variasi waktu pencelupan terhadap ketebalan lapisan dan laju korosi.

2.1 Metode Penelitian

Metode penelitian yang dilakukan untuk permasalahan terkait proses *hot dip galvanizing* pada *gray cast iron* ditunjukkan oleh diagram alir pada Gambar 1 berikut:



Gambar 1. Diagram Alir Penelitian

2.2 Coating

Coating atau proses pelapisan adalah upaya perlindungan terhadap korosi dengan membentuk lapisan tipis antara permukaan material terhadap lingkungan sekitar. *Coating* termasuk metode yang ekonomis dan efektif dalam menanggulangi korosi. Selain itu juga, *coating* dapat memberikan nilai estetika pada suatu material^[5].

Pelapisan yang memiliki ketahanan korosi yang baik harus memiliki nilai kerekatan yang tinggi, diskontinuitas minimum pada pelapisan (porositas), ketahanan terhadap aliran elektron yang tinggi, ketebalan yang cukup, dan laju difusi ion seperti Cl^- dan H_2O yang rendah^[6].

Metode pelapisan zinc yang utama dibagi menjadi beberapa prinsip yang dapat dilihat pada Tabel 1

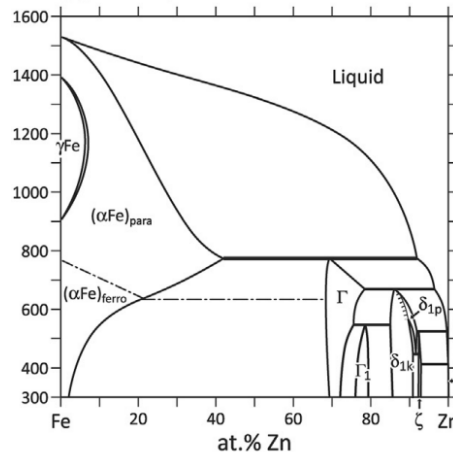
Tabel 1. Metode Zinc Coating yang Utama^[7].

No	Prinsip	Metode Komersial
1	Perendaman dalam rendaman seng cair	<i>Hot Dip Galvanizing</i>
2	Perendaman dalam rendaman kimia dengan aplikasi arus listrik	<i>Electroplating</i>
3	Penyemprotan seng cair	<i>Thermal Spraying</i>

2.3 Hot Dip Galvanizing

Hot dip galvanizing adalah metode perlindungan korosi yang sangat efektif khususnya untuk komponen baja yang mengalami tekanan atmosfer, atau logam yang digunakan untuk pipa gas alam atau pipa air, fasilitas pelabuhan, suku cadang mobil dan truk dan banyak lagi^[7]. *Hot dip galvanizing* memberikan perlindungan berupa lapisan yang tebal untuk mengatasi korosi dalam waktu yang lama. Di samping itu, *hot dip galvanizing* tergolong ke proses yang ekonomis tetapi suhu operasionalnya terbilang cukup tinggi^[4].

Hot dip galvanizing melibatkan pencelupan logam yang panjang ke dalam rendaman seng cair pada suhu sekitar 450°C. Waktu galvanisasi berkisar dari beberapa menit untuk batang berdiameter kecil dan 10-20 menit untuk batang berat^[8]. Pada permukaan logam induk terbentuk lapisan difusi antara logam zinc dan logam dasar dalam bentuk ikatan metalurgi yang kuat dan tersusun secara berlapis yang disebut fasa. Perbedaan fasa yang terbentuk pada temperatur tertentu dapat dilihat pada diagram fasa Zn-Fe dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2. Diagram Fasa Fe-Zn^[9]

2.4 Ketebalan Coating

Ketebalan *coating* adalah jarak antara permukaan *raw material* dan lapisan *coating* paling luar. Ketebalan *coating* mempengaruhi berbagai sifat penting dari lapisan, seperti kekuatan ikatan antara *coating* dan logam dasar. Peningkatan ketebalan di atas titik maksimal berdampak pada kualitas *coating* dan biaya^[10].

Ketebalan coating pada logam harus memiliki ketebalan minimum sesuai dengan standar. Untuk material logam casting harus memiliki nilai ketebalan coating sebesar 3,4 mil atau 86 μm ^[11].

2.5 Difusi

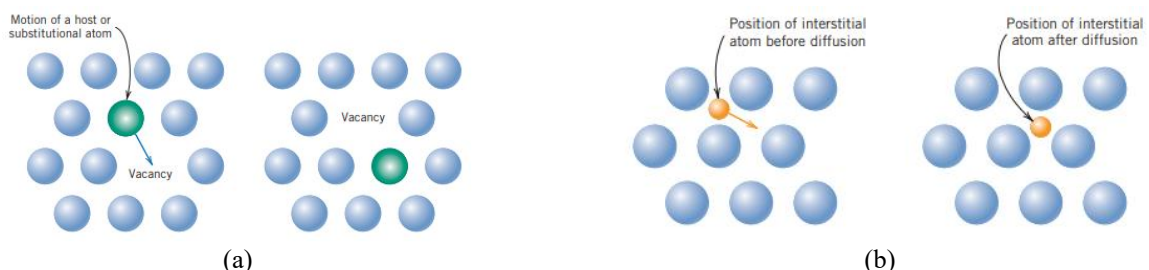
Dalam perspektif atom, difusi adalah pergerakan atom dari satu tempat ke tempat lainnya dengan syarat atom harus memiliki kekosongan dan energi untuk melepas ikatan^[12]. Pada proses *hot dip galvanizing*, zinc cair dan spesimen logam dengan unsur penyusun utama Fe akan berdifusi membentuk lapisan intermetallik yang terdiri dari FeZn. Difusi metallik dibagi menjadi 2 jenis yaitu:

1. Vacancy Diffusion

Vacancy Diffusion adalah perpindahan atom yang bergerak ke ruang yang kosong untuk mengisi kekosongan yang ada. Semakin banyak kekosongan, maka semakin banyak juga difusi yang akan terjadi. Pada suhu yang tinggi, vakansi pada logam cenderung banyak.

2. Interstitial Diffusion

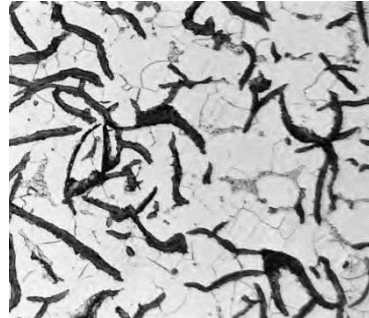
Interstitial Diffusion adalah perpindahan atom dari posisi interstisial ke posisi yang kosong. Atom ini biasanya lebih kecil sehingga dapat bergerak leluasa.



Gambar 3. Ilustrasi, (a) *vacancy diffusion*, dan (b) *interstitial diffusion*

2.6 Gray Cast Iron

Gray cast iron adalah *cast iron* dengan kandungan karbon dan silikon yang bervariasi yaitu 2,5% dan 4,0% atau 1,0 dan 3,0 %. Untuk sebagian besar *cast iron*, grafit ada dalam bentuk serpihan dan dikelilingi oleh matriks α -ferit atau perlit; struktur mikro *gray cast iron* ditunjukkan pada Gambar 2.3 karena serpihan grafit tersebut, permukaan yang retak menjadi abu-abu, sesuai dengan namanya^[12]. *Gray cast iron* memiliki densitas sebesar 7,2 gram/cm³^[13].



Gambar 4. Struktur Mikro *Gray Cast Iron*^[12]

2.7 Pengujian Ketebalan

Pengujian ketebalan adalah pengujian untuk mengetahui ketebalan lapisan. Pengujian ini dilakukan dengan menggunakan metode *cross section* untuk menghasilkan data ketebalan yang akurat^[14]. Preparasi spesimen dilakukan berdasarkan dengan ASTM E3-95 dengan larutan pengetsaan yang disesuaikan dengan ASTM E407-99^[15,16].

2.8 Pengujian Laju Korosi

Pengujian laju korosi adalah pengujian untuk mengetahui nilai laju korosi dengan cara mendiamkan spesimen di lingkungan korosif. Pengujian dilakukan berdasarkan ASTM B117-11 dengan metode *weight loss*. Pembersihan spesimen disesuaikan dengan standar ASTM G1-90^[17,18]. Persamaan 1 digunakan untuk menghitung laju korosi pada spesimen^[12].

$$CR = \frac{KW}{\rho At} \quad (1)$$

Keterangan:

CR = Laju Korosi (mpy atau mmpy)

K = Konstanta (534 mpy dan 87,6 mmpy)

W = *Weight loss* material yang terkorosi (mg)

ρ = Densitas material (g/cm³)

A = Luasan spesimen yang terkorosi (inch²)

t = Waktu pengujian (jam)

2.9 Remaining Life

Remaining life adalah sisa umur komponen yang telah di-*coating* dalam kondisi operasi normal serta kondisi operasi dengan suhu dan tekanan tertentu. *Remaining life* dapat dihitung dengan persamaan 2^[19]:

$$Remaining\ Life = \frac{t_{actual} - t_{required}}{CR} \quad (2)$$

Keterangan:

Remaining Life = Umur Sisa (tahun)

t_{actual} = Ketebalan yang terukur (mils)

$t_{required}$ = Ketebalan yang dibutuhkan/minimal (mils)

CR = Laju Korosi (mpy)

3. Hasil dan Pembahasan

3.1. Hasil Pengujian Ketebalan

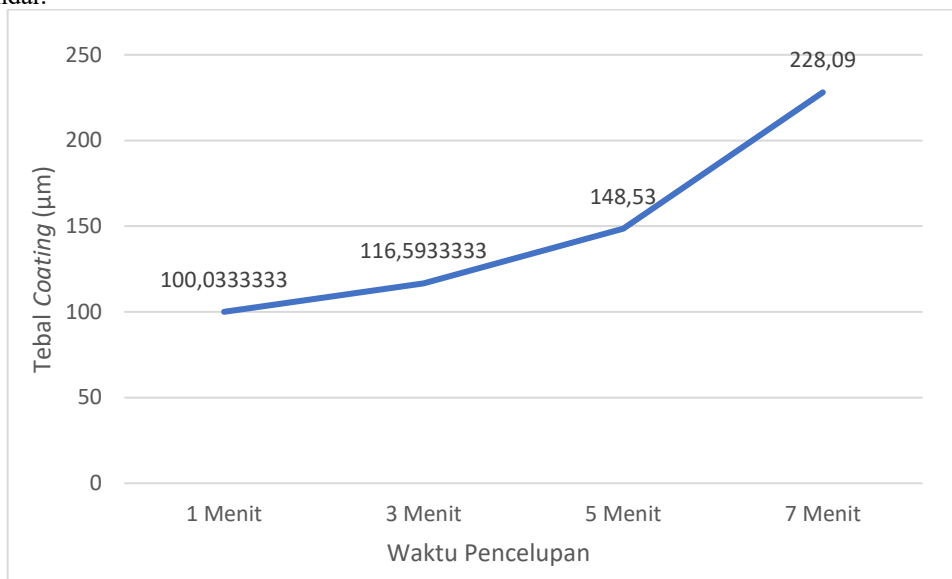
Pengujian ketebalan dilakukan dengan menggunakan mikroskop makro dengan perbesaran 45x di Laboratorium Material Teknik Mesin Undip. Tabel 2 dan Gambar 5 merupakan hasil pengujian ketebalan.

Tabel 2 Hasil Pengukuran Ketebalan Lapisan

No	Waktu Pencelupan	Spesimen	Tebal Lapisan (μ m)	Rata-Rata (μ m)
1	1 Menit	Spesimen 1	96,05	100,03
		Spesimen 2	99,05	
		Spesimen 3	105,00	
2	3 Menit	Spesimen 1	112,66	116,59
		Spesimen 2	117,04	

3	5 Menit	Spesimen 3	120,08	148,53
		Spesimen 1	141,00	
		Spesimen 2	132,03	
4	7 Menit	Spesimen 3	172,56	228,09
		Spesimen 1	252,07	
		Spesimen 2	201,20	
		Spesimen 3	231,00	

Tabel 2 menunjukkan bahwa nilai rata-rata ketebalan *coating* yang diperoleh dari variasi waktu pencelupan 1 sampai 7 menit berada dalam interval 100,03 μm hingga 228,09 μm . Nilai rata-rata ketebalan *coating* tertinggi terdapat pada variasi waktu pencelupan 7 menit sebesar 228,09 μm , dilanjut dengan variasi waktu pencelupan 5 menit sebesar 148,53 μm , lalu variasi waktu pencelupan 3 menit sebesar 116,59 μm , dan terakhir variasi waktu pencelupan 1 menit sebesar 100,03 μm . Berdasarkan ASTM A153/A153M- 16 ketebalan *coating* spesimen pada semua variasi waktu pencelupan memenuhi standar.



Gambar 5. Grafik Variasi Waktu Pencelupan terhadap Ketebalan Lapisan *Coating*

Berdasarkan grafik dari Gambar 5, lama waktu pencelupan hot dip galvanizing berbanding lurus dengan ketebalan *coating* yang dihasilkan (semakin tebal). Hal ini disebabkan penambahan waktu pada saat proses hot dip galvanizing berpengaruh pada banyaknya atom yang berdifusi membentuk lapisan intermetalik antara Fe dengan Zn.

3.2. Pengujian Laju Korosi

Pengujian laju korosi dilakukan di Laboratorium Material Teknik Mesin Undip untuk penimbangan berat dan UPTD Laboratorium Perindustria Tegal untuk *salt spray test*. Tabel 3 dan Gambar 6 merupakan hasil pengujian laju korosi.

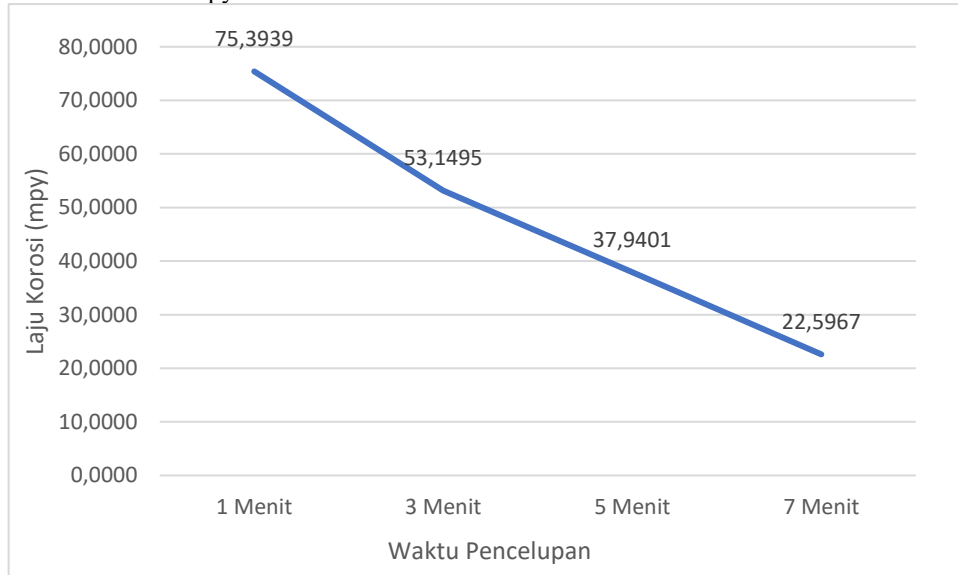
Tabel 3. Hasil Perhitungan Laju Korosi Menggunakan Metode *Weight Loss*

Variabel	Massa Awal (gram)	Massa Akhir (gram)	Weight Loss (milligram)	Luas Permukaan (inch)	Laju Korosi (mpy)	Rata-Rata (mpy)
1 Menit	65,3632	65,1817	181,5	4,7089	79,4077	75,3939
	63,7455	63,5651	180,4	4,9724	74,7439	
	70,029	69,8558	173,2	4,9538	72,0302	
3 Menit	43,7701	43,6482	121,9	4,4888	55,9473	53,1495
	45,4285	45,314	114,5	4,3400	54,3527	
	51,9787	51,8708	107,9	4,5229	49,1485	
5 Menit	150,0962	149,9519	144,3	6,6185	44,9171	37,9401
	85,1388	85,048	90,8	5,5025	33,9963	
	78,49	78,412	78	4,6035	34,9069	
7 Menit	67,084	67,0244	59,6	5,0623	24,2551	22,5967
	66,6757	66,6211	54,6	5,2421	21,4582	
	60,3399	60,2913	48,6	4,5353	22,0768	

Laju korosi yang didapatkan dari variasi waktu pencelupan 1 sampai 7 menit berada dalam interval 21,4582 mpy hingga 79,4077 mpy. Tabel 4.2 menunjukkan bahwa nilai rata-rata laju korosi tertinggi terdapat pada variasi waktu pencelupan 1 menit dengan nilai sebesar 75,3939 mpy, dilanjut dengan variasi waktu pencelupan 3 sebesar 53,1495 mpy,

lalu variasi waktu pencelupan 5 menit sebesar 37,9401 mpy, dan terakhir variasi waktu pencelupan 7 menit sebesar 22,5967 mpy.

Berdasarkan ketahanan *coating* spesimen pada laju korosi. spesimen dengan variasi waktu pencelupan 1 menit dan 3 menit tergolong pada kategori *poor* karena nilai rata-rata laju korosinya terletak antara 50 – 200 mpy, sedangkan spesimen dengan variasi waktu pencelupan 5 menit dan 7 menit tergolong pada kategori *fair* karena nilai rata-rata laju korosinya terletak antara 20-50 mpy^[20].



Gambar 6. Grafik Variasi Waktu Pencelupan terhadap Laju Korosi

Berdasarkan grafik dari Gambar 6, terlihat bahwa lama waktu pencelupan berbanding terbalik dengan nilai laju korosi. Hal ini disebabkan ketebalan lapisan pada variasi waktu pencelupan 1 menit terbilang tipis dibandingkan dengan variasi waktu pencelupan 3 menit, 5 menit, dan 7 menit apabila ditinjau pada Tabel 2 sehingga memberikan perlindungan yang lebih singkat pada spesimen dibandingkan dengan variasi waktu pencelupan 3 menit, 5 menit, dan 7 menit.

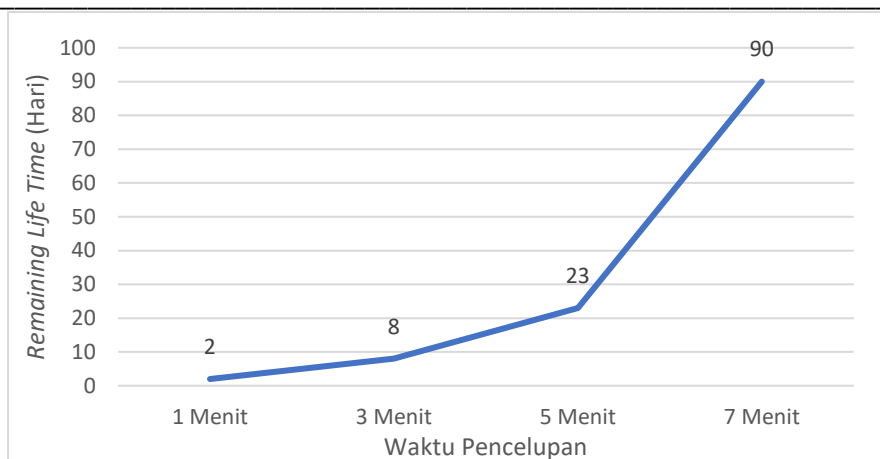
3.3. Prediksi *Remaining Life*

Spesimen yang telah di-*coating* diasumsikan sebagai pipa sehingga dapat dihitung sisa umurnya menggunakan persamaan 2. Berikut merupakan hasil prediksi *remaining life* yang dapat dilihat pada Tabel 4.

Tabel 4. Perhitungan Prediksi *Remaining Life*

Waktu Pencelupan	Ketebalan rata-rata		Laju Korosi rata-rata (mpy)	Prediksi Life Time	
	μm	mils		Tahun	Hari
1 Menit	100,0333	3,9383	75,3939	0,0071	2,6061
3 Menit	116,5933	4,5903	53,1495	0,0224	8,1742
5 Menit	148,5300	5,8476	37,9401	0,0645	23,5473
7 Menit	228,0900	8,9799	22,5967	0,2469	90,1314

Tabel 4 menunjukkan bahwa *remaining life time* yang didapatkan dari variasi waktu pencelupan 1 sampai 7 menit berada dalam interval 2 hingga 90 hari. *Remaining life time* tertinggi terdapat pada variasi waktu pencelupan 7 menit dengan umur 90 hari, dilanjut dengan variasi waktu pencelupan 5 dengan umur 23 hari, lalu variasi waktu pencelupan 3 menit dengan umur 8 hari, dan terakhir variasi waktu pencelupan 1 menit dengan umur 2 hari.



Gambar 7. Grafik Variasi Waktu Pencelupan terhadap *Remaining Life Time*

Berdasarkan grafik dari Gambar 7, terlihat bahwa lama waktu pencelupan berbanding lurus dengan *remaining life time*. Hal ini disebabkan selisih antara ketebalan rata-rata *coating* dengan ketebalan standar ASTM A153/A153M-16 pada spesimen dengan variasi waktu pencelupan 1 menit lebih rendah dibandingkan dengan lainnya sehingga memiliki *remaining life time* yang sangat rendah dibandingkan lainnya.

Laju korosi spesimen dengan kategori *poor* dan *fair* menyebabkan *remaining life time* spesimen yang rendah bahkan kurang dari satu tahun. Hal ini menandakan kualitas *coating* pada spesimen tergolong masih kurang baik.

4. Kesimpulan

Berdasarkan Tabel 2 dan grafik pada Gambar 5, lama waktu pencelupan *hot dip galvanizing* berbanding lurus dengan ketebalan lapisan yang dihasilkan. Hasil pengujian ketebalan *coating* pada spesimen dengan variasi waktu pencelupan 1 menit, 3 menit, 5 menit, dan 7 menit memiliki nilai rata-rata ketebalan *coating* berurutan sebesar 100,03 μm ; 116,59 μm ; 148,53 μm ; dan 228,09 μm .

Berdasarkan Tabel 3 dan grafik pada Gambar 6, lama waktu pencelupan *hot dip galvanizing* berbanding terbalik dengan laju korosi yang terjadi. Hasil pengujian korosi pada spesimen dengan variasi waktu pencelupan 1 menit, 3 menit, 5 menit, dan 7 menit memiliki nilai rata-rata laju korosi berurutan sebesar 75,3939 mpy; 53,1495 mpy; 37,9401 mpy; dan 22,5967 mpy.

Berdasarkan Tabel 4 dan grafik pada Gambar 7, lama waktu pencelupan *hot dip galvanizing* berbanding lurus dengan laju korosi yang terjadi. Hasil prediksi *remaining life* pada spesimen dengan variasi waktu pencelupan 1 menit, 3 menit, 5 menit, dan 7 menit memiliki sisa umur berurutan sebesar 2 hari, 8 hari, 23 hari, dan 90 hari.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Ma'mun H. Karakterisasi Produk Coran Dari Pasir Besi. J Ilm Teknosains [Internet] 2020;VI(1):1–5. Available from: <http://journal.upgris.ac.id/index.php/JITEK/article/view/5956>
- [2] Widiyanto N, Suprihanto A, Haryadi GD. PENGARUH POST WELD HEAT TREATMENT TERHADAP PENGELASAN SMAW PADA MATERIAL AISI 1045 TERHADAP LAJU KOROSI DI AIR LAUT. 2023;11(3):89–100.
- [3] Bicao P, Jianhua W, Xuping S, Zhi L, Fucheng Y. Effects of zinc bath temperature on the coatings of hot-dip galvanizing. 2008;202:1785–8.
- [4] Chung PP, Wang J, Durandet Y. Deposition processes and properties of coatings on steel fasteners — A review. Friction 2019;7(5):389–416.
- [5] Debrita C. Analisa pengaruh variasi metode coating pada pelat baja ASTM A36 terhadap prediksi laju korosi, kekuatan adhesi, dan ketahanan impact. Repos Its [Internet] 2017;Available from: https://repository.its.ac.id/45306/1/4313100077-Undergraduate_Theses.pdf
- [6] Ahmad Z. Principles of Corrosion Engineering and Corrosion Control. 2006.
- [7] Pistofidis N, Vourlias G, Stergioudis G, Tsipas D, Polychroniadis EK. Hot-dip galvanized and alternative zinc coatings. Corros Prot Process Manag Technol 2009;(January):1–38.
- [8] Yeomans SR. Galvanized reinforcement in bridge and coastal construction. 20th Congr IABSE, New York City 2019 Evol Metrop - Rep 2019;(September 2019):1592–8.
- [9] Lee I, Han K, Ohnuma I, Kainuma R. Experimental determination of phase diagram at 450 °C in the Zn–Fe–Al ternary system. J Alloys Compd [Internet] 2021;854:157163. Available from: <https://doi.org/10.1016/j.jallcom.2020.157163>
- [10] Tushinsky L, Kovensky I, Plokhov A, Sindeyev V., Reshedko P. Coated Metal Structure and Properties of Metal-Coating Compositions. 2002.

- [11] ASTM A153/A153M – 16. Standard Specification for Zinc Coating (Hot-Dip) on Iron and Steel Hardware. 2007;i:7–9.
- [12] Callister WD. Materials Science and Engineering An Introduction. 2007.
- [13] Basha DN, Bathe R, Padmanabham G. Laser Surface Micro-Texturing of Gray Cast Iron using Ultrafast Laser Laser Surface Micro-Texturing of Gray Cast Iron using Ultrafast Laser. 2017;(June 2021).
- [14] ASTM B487 – 85. Standard Test Method for Measurement of Metal and Oxide Coating Thickness by Microscopical Examination of a Cross Section. 2013;85(Reapproved):1–5.
- [15] ASTM E3-95. Standard Practice for Preparation of Metallographic Specimens. 1995;8.
- [16] ASTM E407-99. Standard Practice for Microetching Metals and Alloys. ASTM Int West Conshohocken, PA 2012;1–21.
- [17] ASTM B117 - 11. Standard Practice for Operating Salt Spray (Fog) Apparatus. Astm [Internet] 2011;1–12. Available from: <http://www.galvanizeit.com/uploads/resources/ASTM-B-117-yr11.pdf>
- [18] ASTM G1-90. Standard Practice for Preparing, Cleaning, and Evaluating Corrosion Test Specimens. 2000;08(Reapproved 1989):3–4.
- [19] API 570. Piping Inspection Code: Inspection, Repair, Alterations, and Rerating of In-service Piping Systems. 1998;
- [20] Fontana M, Greene N. Corrosion Engineering. Third. 1987.