



PENGARUH VARIASI WAKTU CELUP *HOT DIP GALVANIZING* PADA *ROCKBOLT* (BAJA SS540) TERHADAP KETEBALAN LAPISAN DAN LAJU KOROSI

Mochammad Sariffudin^{1)*}, Yoyok Winardi²⁾, Kuntang Winangun³⁾, Sudarno⁴⁾, Wawan Trisnadi Putra⁵⁾

^{1,2,3,4,5} Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Ponorogo, Jl. Budi Utomo No. 10, Ponorogo, 63471

e-mail: msariffudien@gmail.com

ABSTRAK

Penggunaan baja di industri pertambangan salah satunya pada rockbolt. Namun sering kali karena pengaruh lingkungan, baja tersebut mengalami penurunan kualitas dan menyebabkan berkurangnya umur pakai dikarenakan terjadi korosi. Salah satu upaya untuk mencegah hal tersebut maka baja perlu dilapisi dengan material lain yang anti korosi. Penelitian ini menyelidiki pengaruh waktu perendaman pada proses hot dip galvanizing terhadap ketebalan lapisan dan laju korosi baja SS540. Proses hot dip galvanizing dilakukan dengan cara mencelupkan spesimen baja SS540 kedalam cairan zinc (Zn) pada temperatur 450°C. Waktu pencelupan divariasikan selama 30 detik, 60 detik dan 90 detik. Setelah proses hot dip galvanizing spesimen baja SS540 diuji ketebalan lapisan dan laju korosi. Ketebalan lapisan memiliki nilai Standart ISO 1461: 2009 yaitu 70 µm. Hasil uji ketebalan menunjukkan bahwa semakin lama waktu perendaman maka ketebalan lapisan pada spesimen semakin meningkat. Hasil pengujian ketebalan pada variasi waktu 30 detik sebesar 79,3 µm, meningkat sebesar 96,0 µm pada 60 detik. Sedangkan pada 90 detik meningkat menjadi 126,9 µm. Tebal tipisnya lapisan zinc pada spesimen uji juga berpengaruh terhadap laju korosi. Hasil pengamatan menunjukkan bahwa semakin tebal lapisan zinc, laju korosinya semakin rendah. Terbukti pada hasil uji laju korosi nilai terendah didapat ketika ketebalan lapisan senilai 126,9 µm dengan laju korosi 0,4924 mm/y. Sehingga lama waktu perendaman hot dip galvanizing berpengaruh terhadap ketebalan dan laju korosi. Semakin lama waktu perendaman maka semakin rendah nilai laju korosi.

Kata kunci : Hot dip galvanizing, ketebalan, laju korosi

ABSTRACT

The use of steel in the mining industry is one of them in rockbolt. But often due to environmental influences, the steel has decreased quality and causes reduced service life due to corrosion. One effort to prevent this is that steel needs to be coated with other materials that are anti-corrosion. This study investigated the effect of soaking time in the hot dip galvanizing process on the coating thickness and corrosion rate of SS540 steel. The hot dip galvanizing process is carried out by dipping SS540 steel specimens into zinc (Zn) liquid at a temperature of 450°C. The immersion time is varied for 30 seconds, 60 seconds and 90 seconds. After hot dip galvanizing process, SS540 steel specimens are tested for layer thickness and corrosion rate. The layer thickness has a Standard ISO 1461: 2009 value of 70 µm. The thickness test results show that the longer the soaking time, the layer thickness on the specimen increases. The thickness test results at a 30-second time variation of 79.3 µm, increasing by 96.0 µm at 60 seconds. While at 90 seconds it increases to 126.9 µm. The thickness of the zinc layer on the test specimen also affects the corrosion rate. The results showed that the thicker the zinc layer, the lower the corrosion rate. It is proven in the corrosion rate test results that the lowest value is obtained when the layer thickness is 126.9 µm with a corrosion rate of 0.4924 mm / y. So that the length of soaking time of hot dip galvanizing affects the thickness and corrosion rate. The longer the soaking time, the lower the corrosion rate value.

Keywords : Hot dip galvanizing, thickness, corrosion rate

1. Pendahuluan

Baja sering dipakai diberbagai industri, salah satunya adalah pada industri pertambangan. Baja merupakan perpaduan antara besi, karbon dan elemen lain dalam jumlah tertentu. Baja dapat diproduksi dalam berbagai bentuk seperti batangan, lembaran, pelat, dll. *Rockbolt* adalah jenis baja yang digunakan di pertambangan yang merupakan sistem angkur di dalam terowongan. *Rockbolt* terbuat dari baja berbentuk batang yang ditancapkan di dalam batuan. Fungsi dari *rockbolt* adalah menjaga kestabilan terowongan dan memberi penguatan massa batuan.

Penurunan kestabilan terowongan karena korosi pada sistem penyangga *rockbolt* adalah suatu permasalahan yang dihadapi oleh industri pertambangan. Korosi merupakan suatu proses oksidasi dan reduksi yang terjadi pada logam akibat adanya interaksi dengan lingkungan. Hasil dari proses korosi pada logam sering disebut dengan karat yang berwarna coklat pada material baja [1]. Korosi menyebabkan nilai dan kualitas material berkurang secara teknis. Oleh sebab itu dibutuhkan metode yang mampu mencegah korosi pada tahap awal dengan melindungi permukaan logam dengan logam lainnya. Metode *hot dip galvanizing* (HDG) merupakan salah satu cara untuk mengontrol laju korosi. Metode *hot dip galvanizing* adalah pelapisan yang dilakukan untuk meningkatkan ketahanan korosi dengan proses perendaman dalam cairan atau lelehan seng (Zn) [2].

Dalam beberapa tahun terakhir telah dilakukan penelitian terkait dengan pelapisan logam menggunakan metode *Hot Dip Galvanizing* (HDG). Angga Dwi Riyanto telah meneliti Analisis Pengaruh Waktu Tahan Proses *Hot Dip Galvanizing* Terhadap Uji Bending, Struktur Mikro Dan Ketebalan Lapisan Baja SS400. Hasil dari analisa ketebalan lapisan dengan variasi waktu perendaman selama 1 menit, 2 menit dan 3 menit adalah waktu perendaman berbanding lurus dengan tebal lapisan yang dihasilkan. Rata-rata ketebalan tertinggi pada variasi waktu 3 menit senilai 193,44 [3].

Indri Ariyanthi, telah meneliti Variasi Waktu Perendaman Pada Pelapisan *Hot Dip Galvanizing* Baja ASTM A36 Terhadap Ketebalan Lapisan, Kekerasan, Dan Laju Korosi. Hasil dari analisa ketebalan lapisan dengan variasi waktu perendaman selama 1 menit, 3 menit dan 6 menit adalah berbanding lurus dengan tebal lapisan yang dihasilkan. Hasil yang diperoleh pada uji ketebalan adalah waktu perendaman berbanding lurus dengan kerasnya lapisan yang dihasilkan. Kekerasan rata-rata dari proses *hot dip galvanizing* adalah 57,65 HVN selama periode 6 menit. Namun, akan ada penurunan relatif terhadap *raw material*. Ini karena logam pelapis kurang keras dibandingkan *raw material* yang digunakan. Pada uji laju korosi, hasil penelitian yang didapat adalah waktu perendaman berbanding lurus dengan laju korosi yang dihasilkan. Laju korosi terendah senilai 0,0572 mm/y pada waktu perendaman selama 6 menit [4].

Walaupun penelitian sebelumnya telah dilakukan untuk menganalisa uji ketebalan lapisan permukaan luar baja karbon rendah dilapisi *hot dip galvanizing* serta uji laju korosi seperti yang dijelaskan di atas, tetapi mereka belum melakukan observasi menyeluruh untuk menentukan apakah cepat atau lamanya perendaman mempengaruhi lapisan baja dan ketebalannya. Berapa lama waktu perendaman dan standar ketebalan yang dibutuhkan bahan saat pencelupan belum dijelaskan pada penelitian sebelumnya. Berdasarkan temuan dilapangan, semakin lama waktu perendaman *hot dip galvanizing* maka semakin tebal lapisannya. Hal ini mengakibatkan timbulnya retakan pada lapisan permukaan baja, dan saat terkena benturan, lapisan seng terkelupas. Oleh karena itu, penulis ingin melakukan penelitian mengenai pengaruh waktu perendaman *hot dip galvanizing* pada baja SS540 dengan variasi waktu 30 detik, 60 detik dan 90 detik terhadap uji ketebalan lapisan dan uji laju korosi. Baja SS540 yang sudah melalui pencelupan *hot dip galvanizing* akan direndam dalam larutan HCl dengan konsentrasi 5% dengan rentang waktu 5x24 jam. Setelah proses *hot dip galvanizing* selesai kemudian dilakukan pengujian ketebalan dan laju korosi. Hasil perhitungan nilai laju korosi disajikan pada akhir penelitian.

2. Metode

Observasi dan pengamatan secara langsung digunakan sebagai metode penelitian. Metode ini secara sengaja dan sistematis menggunakan perlakuan atau pengamatan terhadap suatu variabel dan eksperimen untuk menentukan sebab dan akibat dari perlakuan tersebut.

- a. Alat dan bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah :
 - 1) Alat meliputi : gerinda potong, mesin bor, mata bor 0,5 mm, kawat besi, gunting kawat, jangka sorong (0,05 mm), neraca digital, *zinc bath* (tempat zinc cair), *stopwatch*, *elcometer*, wadah larutan.
 - 2) Bahan meliputi : Baja SS540, Zinc, Aluminium, Larutan HCL 5%, Aquadest, Benang nilon
- b. Prosedur penelitian yang dilakukan adalah :
 Preparasi spesimen
 Benda uji standart yang sering digunakan dalam standart ASTM G31, berbentuk bundar ketebalannya antara 2 mm sampai 10 mm dan diameter antara 30 mm sampai 100 mm pada tiap spesimen [5]. Penghitungan laju korosi menggunakan metode kehilangan berat tidak membutuhkan suatu ukuran atau bentuk spesimen tertentu. Ukuran dan bentuk spesimen bervariasi. Biasanya berbentuk segi empat agar memudahkan pengukuran luas permukaan dalam penghitungan laju korosi. Ukuran sampel yang kecil dianjurkan sebab lebih akurat dalam penimbangan dan pengukuran dimensi khususnya untuk pengujian dengan waktu relatif singkat atau laju korosinya rendah [6]. Spesimen yang akan digunakan dalam penelitian ini untuk pengujian ketebalan

dan uji laju korosi berjumlah masing-masing 9 spesimen yang sudah dilakukan *hot dip galvanizing* dengan ukuran tebal 3,4 mm x lebar 26 mm x panjang 54 mm. Selanjutnya melubangi raw material untuk mangaitkan kawat besi ke jig agar bisa menggantung saat di masukkan ke kolam proses *hot dip galvanizing*.



Gambar 1. Raw material menggunakan baja SS540 dengan ukuran tebal 3,4 mm x lebar 26 mm x panjang 54 mm.

c. Tahapan Proses *Hot Dip Galvanizing*

- 1) *Preparing* yaitu melakukan preparasi permukaan sampel menggunakan ampelas agar permukaan sampel halus
- 2) Melakukan proses *degreasing* yang bertujuan untuk membersihkan kotoran pada permukaan luar baja seperti minyak, cat dan material organik pada kolam *degreasing* yang mengandung sekitar 50% natrium hidroksida (NaOH) yang dipanaskan dengan temperatur 90°C.
- 3) *Water rinsing degreasing* adalah proses untuk menghilangkan sisa cairan yang masih ada dari proses *degreasing*.
- 4) *Pickling* adalah proses untuk menghilangkan karat yang menempel pada permukaan baja dengan larutan yang mengandung asam klorida (HCl) dengan kadar 16%.
- 5) *Water rinsing pickling* adalah proses untuk menghilangkan sisa cairan yang masih ada saat proses *pickling*.
- 6) *Fluxing* adalah proses pelapisan awal menggunakan larutan ammonium klorida (NH₄Cl) dan seng klorida (ZnCl₂) dengan konsentrasi 50%. Kemudian dipanaskan dengan temperatur 40°C - 60°C.
- 7) *Drying* adalah proses untuk mengeringkan kadar air yang masih ada pada baja setelah proses sebelumnya.
- 8) Melakukan proses *Dipping*, dimana baja akan dilapisi zinc cair dengan cara dicelupkan dengan tahan waktu 30 detik, 60 detik dan 90 detik pada temperatur 450°C.

- 9) Melakukan tahap pendinginan atau *cooling* setelah pencelupan dalam zinc cair pada temperatur 450°C dengan larutan *sodium dichromate*.
- 10) *Quenching* adalah tahap dimana baja telah selesai dilakukan pelapisan permukaan. Untuk menghindari terjadinya oksidasi dini maka perlu di celupkan ke dalam larutan *quenching*.

d. Pengujian Ketebalan Lapisan

Pengujian ketebalan lapisan dilakukan dengan menggunakan alat Elcometer. Pengujian disetiap sampel pada tiga titik yang berbeda. Langkah-langkah pengujian sebagai berikut :

- 1) Memastikan sampel dalam keadaan kering dan bersih sebelum dilakukan pengujian
- 2) Melakukan pengujian sampel pada tiap tiga titik yang berbeda
- 3) Pengujian dilakukan pada semua sampel yang berbeda sampai selesai [3].

e. Pengujian Laju Korosi

Pengujian laju korosi menggunakan larutan HCl (asam klorida) dengan konsentrasi 5%. Waktu pengujian dilakukan selama 5x24 jam. Adapun tahapan uji laju korosi yaitu :

- 1) Tahap awal
 - a) Preparasi sampel

Baja galvanis SS540 berbentuk persegi panjang berjumlah 9 buah disesuaikan dengan banyaknya percobaan yang dilakukan. Setiap percobaan diwakili oleh 3 sampel sebagai sumber data percobaan. Ketiga sampel tersebut dipilih agar hasil yang diperoleh bervariasi serta akurat. Spesimen kemudian diberikan kode untuk menghindari kesalahan pengukuran saat pengujian.



Gambar 2. Spesimen yang sudah dilakukan pelapisan galvanis dan diberi kode

- b) Pembuatan Larutan Percobaan

Larutan uji yang dipakai untuk media korosi adalah HCl dengan kadar 5% sebanyak 2000 ml.

c) Pembuatan Wadah Percobaan

Wadah yang digunakan berjumlah 3 buah toples berutup bervolume 800 ml. Wadah yang digunakan harus dapat merendam seluruh permukaan spesimen yang diteliti dan perendaman baja galvanis harus dipisahkan sesuai dengan variasi waktu celup HDG.

d) Penimbangan berat awal spesimen dan pengukuran dimensi spesimen

Penimbangan berat awal spesimen memakai timbangan digital dengan ketelitian 0,01 gram.

Jangka sorong dipakai untuk menilai dimensi sampel berupa lebar serta panjang spesimen yang akan digunakan.

2) Tahap Perendaman

Spesimen yang telah dilakukan penimbangan berat awal kemudian diberi pengait berbahan nilon dan dilakukan perendaman pada wadah berisi larutan HCL 5% sebagai media korosi. Bahan nilon dipilih untuk pengait karena tidak mengalami reaksi korosi dengan sampel maupun media korosi. Hal ini berdasarkan ASTM G31-72. Seluruh permukaan sampel dipastikan terendam dalam larutan. Pada penelitian ini perendaman spesimen didalam media korosi HCl 5% dilakukan selama 5x24 jam pada wadah tertutup rapat.

3) Tahap Akhir

Mengeluarkan spesimen dari wadah yang berisi larutan uji, membersihkan dan mengeringkan spesimen menjadi tahapan akhir pengujian. Selanjutnya dilakukan penimbangan berat akhir (W_1) [7]. Rumus menghitung jumlah kehilangan berat yaitu :

$$\Delta W = W_0 - W_1 \dots\dots (1)$$

Keterangan :

ΔW = Kehilangan berat (gram)

W_0 = Berat awal (gram)

W_1 = Berat akhir (gram)

Hasil kehilangan berat kemudian dikembalikan kedalam rumus untuk mendapatkan nilai laju korosi :

$$CR = \frac{\Delta W \times K}{D \times A \times T} \dots\dots\dots (2)$$

Di mana :

CR = Laju Korosi (*Corrosion Rate*) (mmpy)

ΔW = Kehilangan berat (*Weight Loss*) (gram)

K = Konstanta ($8,76 \times 10^4$)

D = Densitas Sampel (g/cm^3)

A = Luas Permukaan (*Surface Area*) (cm^2)

T = Waktu Terpapar (*Esposur Time*) (jam)

Metode ini bila dilakukan untuk waktu yang lama dan *sustainable* dapat menjadi dasar untuk mengetahui nilai korosif suatu daerah serta dijadikan referensi untuk menerapkan *treatment* pada daerah dan kondisi tempat spesimen diteliti [8].

3. Hasil dan Pembahasan

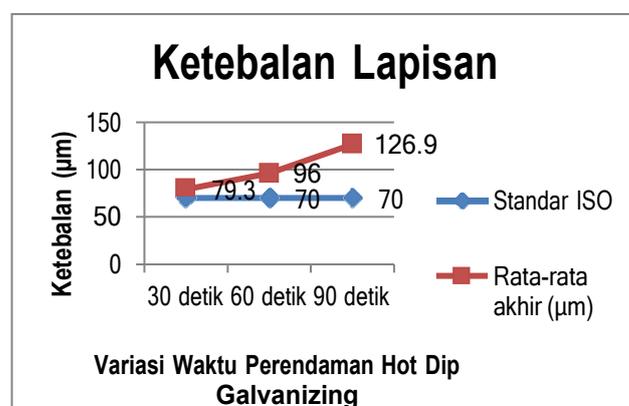
3.1 Hasil Pengujian Ketebalan Lapisan Menggunakan Alat Elcometer

Tabel 1. Hasil pengujian ketebalan lapisan

No	Waktu Celup	Spesimen	Ketebalan Lapisan (μm)	Ketebalan lapisan rata-rata (μm)	Ketebalan Lapisan Standart ISO 1461:2009 (μm)
1	HDG 30 detik	1	80,1	79,3	55-70
		2	83,2		
		3	74,8		
2	HDG 60 detik	1	97,1	96,0	55-70
		2	95,7		
		3	95,3		
3	HDG 90 detik	1	129,3	126,9	55-70
		2	107,0		
		3	144,6		

Dari Tabel 1 di diketahui bahwa variasi waktu HDG selama 90 detik memiliki ketebalan terbesar yaitu 126,9 μm . Selama 30 detik variasi waktu HDG memiliki ketebalan paling kecil yaitu 79,3 μm . Hasil pengujian ketebalan lapisan menunjukkan bahwa retensi perendaman berbanding lurus dengan ketebalan lapisan (Zn). Meningkatnya waktu tahan pencelupan maka lapisan *zinc* yang menempel pada permukaan luar spesimen pun secara berkala bertambah semakin tebal.

Analisa Ketebalan Lapisan



Gambar 3. Grafik Perbedaan Hasil Pengujian Ketebalan Lapisan dengan Standar ISO 1461: 2009

Gambar 3 di atas menunjukkan representasi grafis dari hasil perbandingan antara ketebalan lapisan yang diperoleh dari hasil pengujian dengan ketebalan lapisan standar ISO 1461: 2009. Variasi waktu perendaman *hot dip galvanizing* pada baja SS540 pada temperatur konstan 450°C menghasilkan ketebalan lapisan zinc yang berbeda-beda.

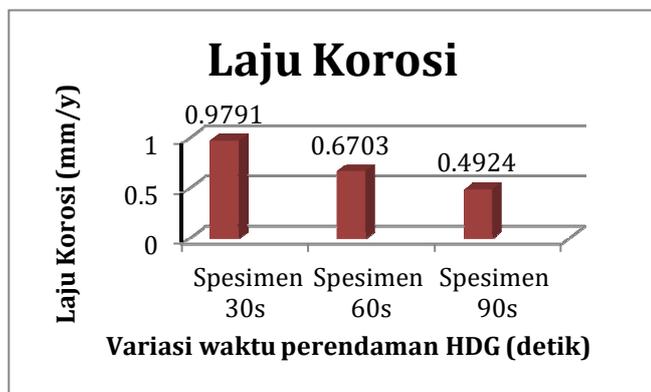
3.2 Hasil Pengujian Laju Korosi Menggunakan Metode Kehilangan Berat

Tabel 2. Hasil Pengujian Laju Korosi HDG

Kode Spesimen	Berat Awal (gram)	Berat Akhir (gram)	Kehilangan Berat (gram)	Laju Korosi (mm/y)	Rata-rata Laju Korosi (mm/y)
30A	37,53	34,29	3,24	0,9832	0,9791
30B	39,40	36,05	3,35	0,9630	
30 C	39,22	35,82	3,40	0,9912	
60A	38,64	36,42	2,22	0,6505	0,6703
60B	38,68	36,44	2,24	0,6554	
60 C	36,73	34,45	2,28	0,7051	
90A	39,66	37,94	1,72	0,4962	0,4924
90B	39,99	38,29	1,70	0,4867	
90 C	39,53	37,82	1,71	0,4943	

Pada tabel 2 diketahui bahwa pada variasi waktu perendaman 30 detik digunakan 3 spesimen. Laju korosi spesimen 30A sebesar 0,9832 mm/y, spesimen 30B sebesar 0,9630 mm/y, spesimen 30C sebesar 0,9912 mm/y. Variasi waktu 60 detik digunakan 3 spesimen. Pada spesimen 60A diperoleh laju korosi sebesar 0,6505 mm/y, spesimen 60B senilai 0,6554 mm/y, spesimen 60C senilai 0,7051 mm/y. Variasi waktu 90 detik digunakan 3 spesimen juga. Spesimen 90A diperoleh hasil laju korosi senilai 0,4962 mm/y, pada spesimen 90B senilai 0,4867 mm/y, pada spesimen 90C senilai 0,4943 mm/y.

Analisa Laju Korosi



Gambar 4. Grafik rata-rata laju korosi

Pada gambar 4 diketahui bahwa pada variasi waktu perendaman selama 30 detik didapatkan rata-rata laju korosi senilai 0,9791 mm/y, variasi waktu perendaman selama 60 detik rata-rata laju korosi senilai 0,6703 mm/y dan pada variasi waktu perendaman selama 90 detik rata-rata laju korosi senilai 0,4924 mm/y. Laju korosi tertinggi diperoleh pada waktu perendaman selama 30 detik. Sedangkan pada hasil laju korosi terendah diperoleh pada waktu perendaman selama 90 detik. Laju korosi yang diperoleh pada variasi waktu perendaman 90 detik tergolong laju korosi baik. Adapun tingkat laju korosi yang baik antara 0,1 - 0,5 mm/y sesuai dengan standar tingkat ketahanan korosi.

4. Kesimpulan

Dari hasil pengujian, analisa dan pembahasan yang telah dilakukan pada baja SS540 setelah perlakuan proses *hot dip galvanizing* dengan variasi waktu perendaman selama 30 detik, 60 detik dan 90 detik pada temperatur 450°C, dapat disimpulkan bahwa :

1. Pada uji ketebalan, waktu perendaman berbanding lurus dengan ketebalan lapisan yang dihasilkan. Spesimen variasi perendaman 30 detik memperoleh rata-rata ketebalan lapisan sebesar 79,3 μm yang merupakan hasil ketebalan terbaik dalam penelitian ini, karena mendekati Standar ISO 1461:2009 yaitu 70 μm .
2. Pada uji laju korosi, waktu perendaman berbanding lurus dengan laju korosi yang dihasilkan. Nilai laju korosi pada variasi waktu perendaman 90 detik adalah 0,4924 mm/y dan merupakan nilai laju korosi terendah dalam penelitian ini. Sesuai standart tingkat ketahanan korosi nilai 0,1-0,5 mm/y termasuk *range* nilai yang baik.

Ucapan Terimakasih

Ucapan terima kasih diberikan kepada:

1. Kepala Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Ponorogo.

Daftar Pustaka

- [1] I. E. Putra and H. Ramdani, "Pengaruh Sirkulasi Larutan 0.5 % HCL Terhadap Laju Korosi Baja Karbon Rendah," *J. Tek. Mesin Institut Teknol. Padang*, vol. 11, no. 1, pp. 26-29, 2021, [Online]. Available: <https://e-journal.itp.ac.id/index.php/jtm>
- [2] F. Gapsari, H. Setyarini, and F. A. Alamsyah, "Pengaruh Kekasaran Permukaan Terhadap Porositas Hasil Hot Dipped Galvanizing (HDG)," *J. Rekayasa Mesin*, vol. 3, no. 1, pp. 283-292, 2012, [Online]. Available: <https://rekayasamesin.ub.ac.id/index.php/rm/article/view/151/147>
- [3] A. D. Riyanto, "Analisis Pengaruh Waktu Tahan Proses Hot Dip Galvanizing Terhadap Uji Bending , Struktur Mikro Dan Ketebalan Lapisan Baja SS400," 2022.

- [4] I. A. Melindah, "Pengaruh Variasi Waktu Perendaman Pada Pelapisan Hot Dip Galvanizing Baja ASTM A36 Terhadap Ketebalan Lapisan, Kekerasan dan Laju Korosi," 2022, [Online]. Available: <http://eprints.upnyk.ac.id/30737/>
- [5] S. Abdullah Mubarak Ihsan Naufal, U. Budiarto, and S. Joko Sisworo, "Pengaruh Variasi Arus Las SMAW Terhadap Laju Korosi dan Kekuatan Tarik Baja ST 40," *J. Tek. Perkapalan*, vol. 09, no. 2, pp. 191-198, 2021, [Online]. Available: <https://ejournal3.undip.ac.id/index.php/naval>
- [6] A. Dia, "Pengujian Korosi," 2018. [https://www.academia.edu/6228375/PENGUJIAN_KORO SI](https://www.academia.edu/6228375/PENGUJIAN_KORO_SI) (accessed Jan. 29, 2023).
- [7] L. O. Arif Rahman, M. Hasbi, and Aminur, "Analisa Laju Korosi Pada Baja Karbon Rendah Yang Dilapisi Seng Dengan Metode Hot Dip Galvanizing," *J. Ilm. Mhs. Tek. Mesin*, vol. 1, no. 2, pp. 25-29, 2016.
- [8] F. Y. Hutaaruk, "Analisa Laju Korosi pada Pipa Baja Karbon dan Pipa Galvanis dengan Metode Elektrokimia," *Inst. Teknol. Sepuluh November, Surabaya*, pp. 1-138, 2017, [Online]. Available: <http://repository.its.ac.id/44852/>