



Analisis Perbandingan Penggunaan Nanopartikel *Zinc Oxide* (ZnO) Sebagai Campuran *Coating* Plat Baja SS 400 Terhadap Laju Korosi, Kekuatan Adhesi, dan Ketahanan *Coating*

Alfian Pekik Nur Fakhri¹⁾, Parlindungan Manik¹⁾, Wilma Amiruddin¹⁾

Laboratorium Teknologi Material dan Produksi Kapal

Departemen Teknik Perkapalan, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro

Jl. Prof. Soedarto, SH, Kampus Undip Tembalang, Semarang, Indonesia 50275

*e-mail :alfianpekiknurfakhri@students.undip.ac.id

Abstrak

Korosi merupakan permasalahan yang banyak dijumpai khususnya pada konstruksi lambung kapal. Salah satu metode yang paling efektif dalam menahan laju korosi adalah *coating*. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis perbandingan penggunaan *zinc oxide* pada campuran cat epoxy dibandingkan dengan tanpa penggunaan *zinc oxide* pada baja ss 400 terhadap laju korosi, uji adhesi, dan *impact*. Metode yang digunakan pada penelitian ini adalah eksperimen dengan *coating epoxy* yang ditambahkan *zinc oxide* sebesar 5% berdasarkan massa *mixing ratio* cat, uji laju korosi dilakukan dengan elektrokimia, adhesi dengan *portable adhesive tester* dan pengujian ketahanan *coating* menggunakan metode *drop weight*. Penelitian ini menghasilkan nilai laju korosi terbaik pada *coating* dengan penggunaan nanopartikel *zinc oxide* dengan hasil 0,024357 mmpy dan *coating epoxy* tanpa penambahan *zinc oxide* menghasilkan nilai 0,038897 mmpy. Pengujian adhesi menghasilkan nilai terbaik pada *coating* dengan penambahan *zinc oxide* yang menghasilkan nilai rata – rata 17,37 MPa dan tanpa penggunaan *oxide* menghasilkan nilai rata – rata 15,45 MPa. Hasil pengujian ketahanan *coating* pada penelitian ini menghasilkan kedua *coating* mampu menahan pembebanan kejut yang diberikan pada saat pengujian

Kata Kunci :Baja SS 400, *Coating*, *Zinc Oxide*, Laju Korosi, Adhesi, *Impact*

1. PENDAHULUAN

Baja SS 400, yang juga dikenal dengan nama JIS G3101 SS 400 merupakan baja struktural yang biasa digunakan pada berbagai macam konstruksi karena kekuatannya, dan kemudahannya untuk diolah, sehingga baja ini sering digunakan dalam pembangunan bangunan, peralatan industri, kendaraan, dan konstruksi kapal. Baja SS 400 pada konstruksi perkapalan umumnya digunakan pada bagian lambung kapal dan struktur penyangga kapal, dikarenakan ketahanannya untuk menghadapi korosi, baja SS 400 juga memiliki kekuatan tarik yang tinggi, sehingga dapat memberi dukungan struktural yang kuat pada konstruksi kapal [1].

Permasalahan utama dari baja adalah korosi adalah rusaknya logam karena reaksi dengan lingkungannya. Korosi adalah fenomena

elektrokimia dan hanya menyerang logam. Korosi sendiri bisa mengakibatkan menurunnya kualitas dari baja tersebut sehingga mengakibatkan baja tersebut menjadi lemah dan cepat rusak. Berdasarkan segi konstruksi pada kapal, lambung kapal menjadi bagian yang pertama kali terkena air laut, sehingga memiliki resiko yang tinggi terjadinya korosi dan dapat mempengaruhi kecepatan dari kapal, proses terjadinya korosi akan lebih cepat apabila baja terdapat pada lingkungan asam, pada lingkungan mengandung elektrolit, pada air hujan dan tanah, semuanya merupakan hasil reaksi kimia yang juga disebabkan oleh proses elektrokimia. Saat ini air laut menjadi 3,6 % lebih asam dibandingkan tahun 1880-an karena meningkatnya kandungan karbon di dalam air. Oleh karena itu pengujian ini dilakukan dengan menambah media korosif NaCl yang mengandung

elektrolit, H₂SO₄ yang bersifat asam dan air laut pada baja SS 400. Air laut mempunyai sifat korosif karena kandungannya terdapat ion klorida [2].

Korosi merupakan keadaan yang tidak bisa dihindarkan, namun dapat dikendalikan dengan menekan laju korosi sehingga struktur atau komponen dari material akan memiliki masa pakai yang lebih Panjang. Pengendalian korosi harus dilakukan dengan maksimal, karena apabila pengendalian terhadap korosi tidak berhasil maka akan mengakibatkan kegagalan dari segi ekonomi dan *safety* (keamanan) yang juga merupakan hal yang penting dan tidak mungkin ditinggalkan [3].

Coating merupakan langkah paling efektif untuk mencegah korosi pada material. *Coating* merupakan upaya untuk melakukan perlindungan terhadap material dengan memberikan suatu lapisan tipis antara permukaan material terhadap akses paling luar atau lingkungan sekitarnya [4]. Penelitian ini menggunakan cat jenis epoxy yang dicampurkan dengan nanopartikel *zinc oxide* (ZnO) dengan penggunaan 5% *by weight* berdasarkan massa epoxy yang telah dicampurkan dengan *curing* dan thinner sesuai *product data sheet*.

Berdasarkan penelitian sebelumnya dilakukan menggunakan material baja struktural khusus lambung kapal yang diproduksi oleh *Jinan Iron and Steel Company LTD* dengan ukuran spesimen uji 60 mm x 100 mm x 10 mm sebanyak 6 spesimen. Pada material uji diberikan proses *blasting* sesuai standar ISO 8501-1 dengan tingkat kebersihan SA 2,5. Sistem *coating* yang diberikan sendiri menggunakan dua variasi, yaitu dengan variasi 2 *layer* dan 3 *layer coating*, pada pelapisan 3 *layer coating* menggunakan jenis epoxy, kemudian 2 *layer coating* menggunakan jenis cat alkyd. Dari pengujian yang telah dihasilkan, disimpulkan cat berbahan alkyd dengan ketebalan *coating* 248 µm dengan nilai laju korosinya sebesar 0.020262 mm/yr. Hal ini terjadi karena terdapat cacat pada *coating* berupa *blistering* dan *wrinkling* pada spesimen uji. Hasil pengujian tertinggi pada sistem *coating* 3 *layer* dengan menggunakan jenis cat epoxy laju korosinya sebesar 0.00011677 mm/yr. Dapat diambil kesimpulan bahwa semakin tebal lapisan suatu *coating* tidak menjamin *coating* tersebut dapat melindungi dengan sempurna [5].

Berdasarkan penelitian sebelumnya menggunakan material baja ASTM A 36 dengan ukuran spesimen 100 mm x 60 mm x 10 mm yang dilapisi dengan variasi pengaplikasian *coating* yaitu dengan *spray*, *roll*, dan kuas. Jenis cat yang digunakan yaitu epoxy. Penelitian ini menghasilkan *coating* dengan menggunakan metode *spray* memiliki hasil pengujian laju korosi terbaik dengan nilai laju korosi sebesar 0.00029799 mm/yr,

sedangkan dengan metode pengaplikasian kuas dan *roll* memiliki nilai laju korosi dengan rata – rata nilai laju korosi sebesar 0.00069233 mm/yr dan 0.0043177 mm/yr. Pengujian adhesi yang dilakukan menghasilkan tingkat adhesi terbaik yaitu dengan metode pengaplikasian *coating spray* dengan hasil 22.02 MPa, sedangkan kuas dan *roll* menghasilkan tingkat adhesi sebesar 20.55 MPa dan 18.13 Mpa. Disimpulkan bahwa metode pengaplikasian yang paling tepat digunakan pada baja ASTM A 36 yaitu dengan *spray* [6].

Berdasarkan penelitian sebelumnya menggunakan plat baja karbon dengan ukuran spesimen 15 mm x 15 mm x 1 mm. Pembuatan *coating* dilakukan dengan perbandingan massa ZnO:Al(OH)₃ sebesar 1:1, 1:2, 1:3, 1:4, masing – masing bahan tersebut dilarutkan ke dalam polyurethane dengan konsentrasi ZnO:Al(OH)₃ sebesar 10 % dari massa total larutan. Penelitian ini menghasilkan partikel *zinc oxide* (ZnO) yang dihasilkan dari proses sintesis dengan metode presipitasi menggunakan prekursor ZnCl₂ dan NaOH memiliki morfologi berbentuk batang dengan ujung lancip. Hasil uji SEM menunjukkan pada konsentrasi NaOH 0,5 M menghasilkan partikel dengan ukuran terkecil yaitu 123 nm dan XRD menunjukkan bahwa partikel ZnO yang dihasilkan memiliki tingkat kristalinitas yang tinggi sebesar 47,1 nm. Hasil pengujian korosi baja karbon yang telah di *coating* dengan partikel ZnO/Al(OH)₃ paling baik pada komposisi 1:3 yang memberikan nilai laju korosi maksimum sebesar 0,86 mmpy [7].

Berdasarkan penelitian sebelumnya penelitian menggunakan baja tahan karat SS 316 L dengan ukuran 25 mm x 25 mm x 1,5 mm. Cat yang digunakan jenis epoxy yang dicampurkan dengan nano *zinc oxide* partikel dengan perbandingan primer dan pengeras 10:1 dan diaduk selama 5 menit sesuai dengan instruksi *product data sheet*. Pelapisan menggunakan metode *drop casting* ke substrat SS 316L yang telah disiapkan sebelumnya. Sampel dikeringkan pada suhu 50°C selama 24 jam pada oven. Penelitian ini menghasilkan nanopartikel *zinc oxide* berhasil di dispersikan ke dalam matriks resin epoxy, dengan persentase berat (1-10% wt) untuk pengendapan lapisan nanokomposit pada substrat SS 316L dengan metode *drop casting*. Lapisan menunjukkan permukaan halus tanpa retakan yang telah diuji dengan spektroskopi SEM. Hasil menunjukkan bahwa lapisan epoxy yang digabungkan dengan 3% berat nanopartikel *zinc oxide* memberikan perlindungan terbaik. Hal ini menunjukkan bahwa lapisan nanokomposit epoxy- ZnO memiliki sifat ketahanan terhadap korosi jika dibandingkan dengan substrat telanjang [8].

Berdasarkan penelitian yang dilakukan sebelumnya menunjukkan bahwa penggunaan lapisan epoxy yang digabungkan dengan nanopartikel *zinc oxide* dengan 3% berat nanopartikel memberikan hasil laju korosi terbaik jika dibandingkan dengan substrat telanjang. Tebal lapisan *coating* tidak mempengaruhi pengujian laju korosi pada penelitian ini berdasarkan penelitian diatas, semakin tebal *coating* memiliki resiko kegagalan yang besar, seperti fleksibilitas yang berkurang, terdapat pengerutan, dan pengeringan yang membutuhkan waktu lama dan pengeringan yang tidak sempurna. Pada penelitian ini penulis menegembangkan penggunaan nanopartikel *zinc oxide* yang dicampurkan pada cat epoxy sebesar 5% berdasarkan berat, kemudian dibandingkan dengan *coating* cat epoxy tanpa *zinc oxide* untuk melakukan penilaian efektivitas dari penyampuran *zinc oxide* pada *coating*.

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, tujuan dari penelitian ini adalah untuk menginvestigasi pengaruh penggunaan nanopartikel *zinc oxide* pada campuran cat epoxy terhadap uji laju korosi, uji adhesi, dan ketahanan *coating* terhadap pemberian beban kejut.

2. METODE

Metode penelitian yang dilakukan pada penelitian ini adalah eksperimen dimana pada penelitian ini dilakukan pengujian laju korosi dengan metode elektrokimia, uji adhesi dengan alat *portable adhesive tester* dan uji *impact* dengan metode *drop weight*.

2.1. Pengumpulan Data

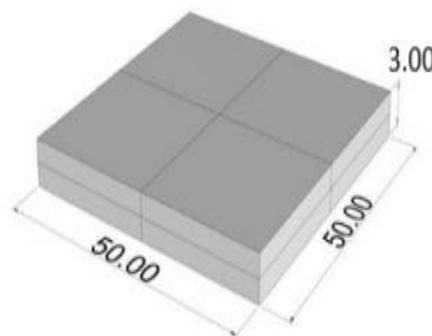
Pengumpulan data diperoleh dengan sumber jurnal, buku, referensi, modul, artikel, internet ataupun studi secara langsung di lapangan dengan metode eksperimen karena dapat mempertanggung jawabkan data yang diterima sudah valid.

Objek yang dijadikan bahan penelitian pada tugas akhir ini adalah baja SS 400. Baja SS 400 adalah salah satu jenis baja karbon rendah yang memiliki kekuatan tarik minimum sebesar 400 MPa dan kekuatan luluh minimum sebesar 245 MPa. Baja ini memiliki kadar karbon rendah, sekitar 0,05% hingga 0,25%, sehingga mudah diolah dan memiliki sifat yang baik untuk pembentukan dan memiliki mampu las yang sangat baik sehingga banyak digunakan pada proses pengerjaan panas dan dingin seperti *rolling*, *forging*, *stamping*, *punching*, dan pengelasan [9].



Gambar 1. Baja SS 400

Spesimen yang akan dilakukan pengujian akan dipotong sesuai dengan ukuran yang telah ditentukan. Berikut merupakan ukuran yang telah ditentukan :



Gambar 2. Dimensi Spesimen Uji

Keterangan :

Gage Length (G) : 50 mm

Width (W) : 50 mm

Thickness (T) : 5 mm

Tabel 1. Kebutuhan Spesimen Pengujian

Variasi Cat	Laju		
	Korosi (buah)	<i>Adhesi</i>	<i>Impact</i>
Epoxy	2	4	4
Nano Partikel <i>zinc oxide</i>	2	4	4
Total Jumlah Spesimen		20	

Langkah awal pelaksanaan penelitian ini adalah *surface preparation*. Tingkat kebersihan yang digunakan pada pelaksanaan *sandblasting* yaitu SA 2,5 sesuai dengan standar ISO 8501-01 [10]. *Surface preparation* dilakukan untuk menghilangkan kontaminan dan memberikan *profile* pada spesimen guna meningkatkan daya lekat *coating* pada spesimen.

Kegagalan pada *coating* biasanya disebabkan oleh proses *surface preparation* yang tidak dilakukan dengan baik, semakin kasar permukaan spesimen akan mempengaruhi daya lekat *coating*, apabila *surface preparation* tidak dilakukan

dengan baik akan sangat berpengaruh pada nilai pengujian laju korosi.

Coating merupakan langkah paling efektif untuk mencegah korosi pada material. *Coating* merupakan upaya untuk melakukan perlindungan terhadap material dengan memberikan suatu lapisan tipis antara permukaan material terhadap akses paling luar atau lingkungan sekitarnya. Pemilihan *coating* yang tepat merupakan tujuan dari *coating* itu sendiri. Bukan hanya mempertimbangkan ketahanan dan biayanya saja namun harus memperhatikan kemudahan dalam perawatannya di kemudian hari. Tindakan pencegahan dan pengendalian korosi yang efektif dapat membantu memastikan pengoperasian struktur dan peralatan kelautan yang aman dan andal, sekaligus mengurangi biaya dan meminimalkan dampak lingkungan. Terdapat 2 jenis pelapisan, yaitu *liquid coating* yang menggunakan media cat sebagai pelapisannya dan *concrete coating* yang menggunakan beton sebagai media pelapisannya. Dalam pembuatannya, umumnya *coating* memiliki 3 lapisan yang memiliki fungsi masing-masing. ketiga lapisan tersebut adalah *primer*, *intermediate/ body coats* dan *topcoats*.

Penelitian ini *coating* menggunakan jenis cat epoxy Hempel Hempadure Maestic 45881, yang dicampurkan dengan nanopartikel *zinc oxide*, penggunaan cat jenis epoxy sendiri sudah banyak digunakan pada konstruksi perkapalan karena ketahanannya



Gambar 3. Cat Epoxy Hempadure Maestic 45881

2.2. Pengujian Laju Korosi

Laju korosi didefinisikan sebagai banyaknya logam yang dilepas tiap satuan waktu pada permukaan tertentu. Laju korosi memiliki satuan *mils per year (mpy)* [11].

Pengujian laju korosi dilakukan dengan metode 3 elektroda atau elektrokimia yang mengacu pada standar ASTM G 102 “*Standart Practice for Calculation Rates and Related Information from*

Electrochemmical Measurement” [12]. Pengujian ini bersifat memperkirakan nilai korosi yang diukur dari beda potensial material itu sendiri. Pengujian dilakukan dengan alat *Autolab PGSTAT128N* dengan *software NOVA*, yang dilakukan di Laboratorium Korosi dan Kegagalan Material, Teknik Material ITS, Surabaya.

Tabel 2. Tingkat Ketahanan Korosi Berdasarkan Laju Korosi

Relative Corrosion Resistance	Approximate Metric Equivalent				
	mpy	mm /yea	µm/y r	nm/y r	pm/se c
<i>Outstanding</i>	<1	<0.02	<25	<2	<1
<i>Excellent</i>	1-5	0.02-0.1	25-100	2-10	1-5
<i>Good</i>	5-20	0.1-0.5	100-500	10-50	5-20
<i>Fair</i>	20-50	0.5-1	500-1000	50-100	20-50
<i>Poor</i>	50-200	1-5	1000-5000	150-500	50-200
<i>Unacceptable</i>	200+	5+	5000+	500+	200+

Tabel 2 merupakan parameter hasil pengujian laju korosi yang akan dilakukan, setelah mendapatkan hasil pengujian laju korosi maka dapat ditentukan *relative corrosion resistance*.

2.3. Pengujian Adhesi

Adhesi sendiri merupakan suatu kejadian kompleks yang berhubungan dengan efek dari fisik dan reaksi kimia yang terjadi pada suatu subjek. Pada saat adhesi memiliki kekuatan yang baik, maka lapisan pada permukaan memiliki performa yang baik dan juga dapat memperpanjang umur dari lapisan tersebut. Namun sebaliknya, kohesi merupakan proses tarik-menarik yang terjadi diantara jenis dan molekul yang sama [13]. Didapatkannya tingkat adhesi yang baik apabila substrat memiliki kekasaran yang baik secara mikroskopis dan makroskopis, serta bersih dari debu, kotoran, kerak, dan lain lain.

Pelaksanaan pengujian adhesi ini dilakukan dengan metode *pull of test* dengan mengikuti standar ASTM D 4541-02 [14]. Pengujian ini menggunakan alat *portable adhesive tester*. Pengujian ini dilakukan dengan cara menempelkan *dolly* dengan ukuran 20 mm yang telah diberikan lem dan di keringkan selama 24 jam pada permukaan spesimen.

2.4. Pengujian Ketahanan Coating

Pengujian ketahanan *coating* dilakukan guna mengetahui kekuatan *coating* melindungi material terhadap pembebanan kejut. Lapisan *coating* dapat dikatakan berfungsi dengan baik apabila

lapisannya dapat menahan retak terhadap benturan dan tekanan. Pengujian yang dilakukan mengacu pada ASTM D 5420-04 "Standart Test Method for Impact Resistance of Flat, Rigid Plastic Specimen by Means of a Striker Impacted by Falling Weight (Gardner Impact)" [15].

Tipe pengujian yang umum dilakukan adalah menjatuhkan beban dengan ketinggian tertentu untuk mengetahui respon dari lapisan *coating*. Spesimen yang melalui tahap pengujian ini dikatakan gagal apabila memiliki kerusakan pada lapisan *coating* yang diberikan atau hingga terlihat material bajanya (*bare metal*). Oleh karena itu, beban dijatuhkan semakin tinggi hingga terjadi kerusakan pada lapisan *coating*. Semakin kecil jarak kenaikan tinggi beban dijatuhkan maka semakin akurat pula nilai ketahanan impak yang di dapat

Kriteria *coating* dapat dikatakan terjadi kegagalan dengan pengamatan visual. Berdasarkan ASTM D 5420-02 *coating* dianggap gagal apabila:

- Permukaan cat pecah atau retak total maupun Sebagian
- Retakan yang menjalar kearah tepi permukaan
- Retakan radial didalam atau diluar area yang dijatuhkan beban
- Adanya lubang pada permukaan karena cat yang rapuh atau terkena tusukan dimana air maupun cahaya dapat terlihat
- Pecahnya substrat

Berdasarkan dengan *European standard* EN 1337-9 yang mengacu pada ISO-6272 [16], spesimen harus dapat menahan energi potensial sebesar 0,98 Joule tanpa adanya keretakan, sehingga dapat disimpulkan bahwa *coating* dengan penggunaan *zinc oxide* maupun tanpa *zinc oxide* sudah memenuhi kriteria standar ini.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Berdasarkan pertimbangan data persiapan yang telah diperoleh, maka langkah berikutnya melakukan penelitian dan mengolah data dari hasil penelitian yang dilakukan. Berikut merupakan uraian pembahasan pada penelitian ini.

3.1. Surface Preparation

Surface preparation merupakan prosedur yang harus dilakukan sebelum pelaksanaan *coating* pada permukaan material. Proses ini bertujuan untuk menghilangkan kontaminan serta meningkatkan daya rekat dan efektifitas dari *coating* itu sendiri. Hal penting yang harus diperhatikan sebelum pelaksanaan *surface preparation* adalah pengecekan *rust grade*. Hal ini penting dilakukan dengan tujuan menentukan perlakuan awal yang tepat terhadap spesimen uji. Pengecekan *rust grade* didasarkan pada standar

ISO 8501-1. Pada penelitian ini spesimen yang digunakan memiliki *rust grade* A, dapat dilihat pada **Gambar 1**. Dinilai dari permukaan spesimen yang masih dalam kondisi bersih serta tertutupi *mill scale* dan hanya terdapat sedikit karat.



Gambar 4. Hasil *Sandblasting* spesimen uji dengan tingkat kebersihan SA 3

Berdasarkan hasil visual pada **Gambar 4**, tingkat kebersihan *sandblasting* yaitu SA 3. Pengujian kekasaran material juga dilakukan guna mengetahui tingkat kekasaran spesimen setelah dilakukan pelaksanaan *sandblasting*. Pengukuran *roughness* pada penelitian ini menggunakan *surface profile gauge* sesuai dengan standar ASTM D 4417 – B [17]. Dilihat dari gambar 4, hasil pengukuran *roughness* diambil satu sampel yang memiliki hasil 65 μm , dan hasil *dust level* A dimana tidak terdapat kotoran atau debu pada permukaan spesimen.

3.2. Pengukuran Dew Point dan Relative Humidity

Perhitungan Micromaltic Conditions atau kondisi lingkungan merupakan langkah yang harus diperhatikan sebelum pelaksanaan *coating*. Proses ini dilakukan dengan tujuan mengukur suhu lingkungan dan kelembapan dari ruangan. Proses ini dilakukan guna mencegah pengembunan yang terjadi pada proses *coating*. Pengujian ini mengikuti standar ASTM E-337 [18]. Alat yang digunakan untuk pengukuran ini adalah psychometer. Berdasarkan hasil yang didapat dari pengujian kondisi lingkungan, maka dapat dinyatakan bahwa sesuai dengan rekomendasi yang telah ditetapkan, sehingga *coating* dapat dilakukan. Hasil pengukuran dew point dan relative humidity dapat dilihat pada **Tabel 3**.

Tabel 3. Hasil Pengukuran *Dew Point* dan *Relative Humidity*

Keterangan	Hasil	Rekomendasi	Kondisi
<i>Wet Bulb</i>	26°C	>5°C	Memenuhi
<i>Dry Bulb</i>	32°C	>5°C	Memenuhi
<i>Relative Humidity</i>	62%	<85% Rh	Memenuhi
<i>Steel Temperature</i>	35,4°C	>5°C	Memenuhi
<i>Dew Point</i>	24°C	< Steel temperature - 3°C	Memenuhi

3.3. Coating

Proses *coating* dilakukan berdasarkan *technical data sheet* dari cat yang digunakan seperti *mixing ratio*, *cutting time*, dan pengukuran kondisi lingkungan berdasarkan ASTM E-337. Penelitian ini menggunakan cat hempel hempadure maestic 45881. Perbandingan *mixing ratio* untuk cat epoxy hempel dengan curing ini adalah (3:1 by volume). Rasio penggunaan *zinc oxide* yang digunakan pada campuran cat epoxy ini adalah 5% by weight. Penggunaan *mixing ratio* menggunakan gelas ukur dan penggunaan pengukuran *zinc oxide* menggunakan timbangan digital.

Ketebalan yang digunakan sesuai dengan BKI *Rules for Classification and Construction Vol. II (Rules for Hull)*, 2022 [19]. Ketebalan minimum untuk lambung 250 µm.



Gambar 5. Proses Pelaksanaan *Coating*

Proses selanjutnya ketika *coating* telah dilakukan adalah pengukuran WFT (*Wet Film Thickness*). WFT merupakan pengukuran ketebalan cat ketika cat pada permukaan spesimen masih dalam keadaan basah. Tujuan dari pengukuran WFT ini adalah untuk memperkirakan ketebalan cat pada posisi kering yang ingin dituju pada penelitian ini.

Nilai WFT didapatkan dari DFT yang ingin dituju dikalikan dengan *volume solid* yang terdapat pada *technical data sheet*. Pada *data sheet* cat epoxy hempel *volume solid* sebesar 72 %, jadi perhitungan ($WFT = 250/72\%$) hasilnya adalah 347 µm. Pada pengukuran WFT penelitian ini hasil yang diperoleh keseluruhan spesimen sebesar 356

µm. **Gambar 6** merupakan proses pelaksanaan WFT.



Gambar 6. Proses Pelaksanaan Pengukuran WFT Menggunakan *Wet Film Comb*

Pengujian ketebalan cat pada saat cat sudah kering (DFT) dilakukan untuk mengetahui ketebalan lapisan setelah lapisan kering dan sesuai dengan ketebalan yang telah ditentukan pada penelitian ini. Alat yang digunakan pada pengujian ini adalah *coating thickness gauge*. Mengacu pada standar SSPC PA 2 [20], yaitu pengujian dilakukan 5 *spot* untuk 10 m², dan dilakukan 3 kali pengujian setiap *spot*.

Tabel 4. Hasil Pengukuran DFT

Nama Spesimen	Jenis Coating	DFT (µm)
AKO 1	Epoxy + ZnO	250,2
AK 1	Epoxy	258,7
AAO 1		252,06
AAO 2	Epoxy + ZnO	250,6
AAO 3		254
AA 1		259
AA 2	Epoxy	262
AA 3		258
AIO 1		252,4
AIO 2	Epoxy + ZnO	254
AIO 3		258
AIO 4		252
AI 1		255,4
AI 2	Epoxy	260
AI 3		251
AI 4		256

3.4. Hasil Pengujian Laju Korosi

Pengujian ini dilakukan menggunakan alat Potensiotat Autolab (PGSTAT30) sebagai sumber arus tegangan yang dialirkan ke elektroda dan software NOVA sebagai penerima respon. Elektroda yang digunakan sebagai pembanding adalah Ag/AgCl, jika ada arus yang mengalir pada elektroda pembanding Ag/AgCl, maka Cl akan berubah dan beda potensial akan berubah. Hal ini merupakan penyebab pengertian elektroda pembanding tidak terpenuhi. Agar potensial

elektroda pembanding tetap, maka dapat menggunakan elektroda pembanding yang hambatannya lebih kecil dari Ag/AgCl dan menangkap ion dari elektroda. Elektroda pembanding disebut platina (Pt). Penelitian ini menggunakan NaCl 3,5% menyesuaikan kadar garam pada air laut. Berikut merupakan hasil pengujian laju korosi pada penelitian ini.

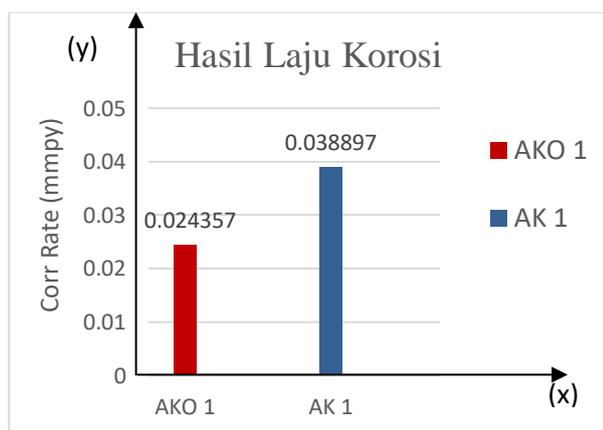
Tabel 5. Hasil Pengujian Laju Korosi

Nama Spesimen	Icorr ($\mu\text{A}/\text{cm}^2$)	Laju Korosi (mm/year)	Kategori
AKO 1	$2,10 \times 10^{-6}$	0,024357	E
AK 1	$3,35 \times 10^{-6}$	0,038897	E

Ket :

E : *Excellent*

Berdasarkan hasil yang terdapat pada **Tabel 5.** Menghasilkan *coating epoxy* dengan *zinc oxide* memiliki hasil terbaik dengan hasil 0,024357 mmpy dengan kategori *Excellent*. Hasil pengujian laju korosi pada *coating epoxy* tanpa campuran *zinc oxide* menghasilkan nilai 0,038897 mmpy dengan kategori *Excellent*.



Gambar 7. Grafik Hasil Pengujian Laju Korosi

Berdasarkan **Gambar 7.** Sampel AKO 1 memiliki nilai laju korosi lebih rendah daripada sampel AK 1, hasil ini dapat dikatakan selaras dengan penelitian sebelumnya namun pada penelitian sebelumnya dibandingkan dengan material tanpa pelapisan atau substrat telanjang.

3.5. Hasil Uji Adhesi

Pelaksanaan pengujian adhesi ini dilakukan dengan metode *pull of test* dengan mengikuti standar ASTM D 4541-02. Pengujian ini menggunakan alat *portable adhesive tester*. Pengujian ini dilakukan dengan cara menempelkan *dolly* dengan ukuran 20 mm pada permukaan spesimen yang sudah kering menggunakan lem *araldite* biru. **Gambar 8,** merupakan pelaksanaan

pengujian adhesi menggunakan *portable adhesive tester*.



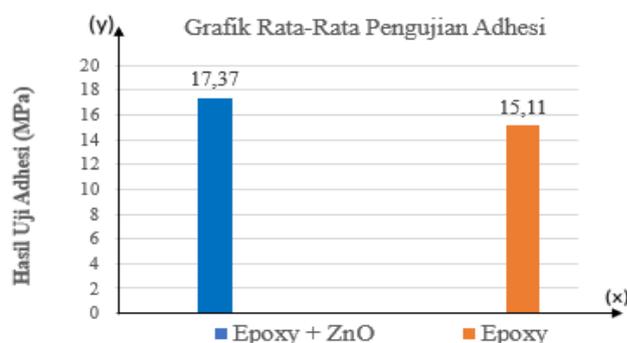
Gambar 8. Pelaksanaan Pengujian Adhesi

Setelah *dolly* ditempelkan pada permukaan spesimen, tunggu hingga lem rekat dengan spesimen. Pada penelitian ini menunggu 24 jam hingga lem kering, setelah itu bersihkan sisa *epoxy adhesive* dari sisi *dolly* menggunakan *dolly cutter*. Pasang alat *portable adhesive tester* kemudian berikan tekanan hingga *dolly* terlepas dari spesimen hingga merusak permukaan cat.

Tabel 6. Hasil Pengujian Adhesi

Nama Spesimen	Jenis Coating	Pull Of Strength (MPa)	Rata – Rata (MPa)
AAO 1		17,59	
AAO 2	Epoxy + ZnO	16,93	17,37
AAO 3		17,59	
AA 1		13,54	
AA 2	Epoxy	16,16	15,11
AA 3		16,66	

Berdasarkan hasil yang terdapat pada **Tabel 6.** Menghasilkan nilai tertinggi pada spesimen AAO 1 dan AAO 3 dengan hasil 17,59 yaitu *coating* dengan campuran Nanopartikel *zinc oxide*, dan hasil pengujian *coating epoxy* dengan hasil tertinggi pada spesimen AA 3 dengan hasil 16,66.



Gambar 9. Grafik Hasil Uji Adhesi

Berdasarkan grafik pada **Gambar 9.** Menghasilkan penggunaan nanopartikel *zinc oxide* mampu menambahkan daya lekat pada spesimen

uji sehingga grafik hasil penelitian uji adhesi lebih tinggi.

3.6. Hasil Pengujian Ketahanan Coating

Pengujian ini dilakukan dengan tujuan mengetahui kekuatan dari *coating* terhadap beban kejut yang diberikan pada saat pengujian. Pelaksanaan pengujian pada penelitian ini dilakukan dengan menjatuhkan benda bermassa 500 gram dari ketinggian 40 cm dan 60 cm, kemudian hasilnya dinilai secara visual apakah terjadi keretakan atau perubahan fisik pada spesimen. **Gambar 10**, merupakan pelaksanaan uji ketahanan *coating* menggunakan *drop weight method*.



Gambar 10. Pelaksanaan Uji Ketahanan *Coating*

Tabel 7. Hasil Pengujian Ketahanan *Coating*

Ketinggian	MFE (Joule)	Epoxy + ZnO	Epoxy
40 cm	1,96 Joule	Tidak Retak	Tidak Retak
60 cm	2,94 Joule	Tidak Retak	Tidak Retak

Hasil pengujian ketahanan *coating* dapat dilihat pada **Tabel 7**, bahwa tidak terjadi keretakan pada ketinggian 40 cm dan 60 cm baik pada *coating* epoxy dan *zinc oxide* maupun epoxy tanpa campuran. Pada penelitian ini dapat diambil kesimpulan bahwa *coating* epoxy dengan campuran *oxide* maupun epoxy dapat menahan pembebanan kejut yang telah diberikan.



(a) Epoxy + ZnO 40 cm



(b) Epoxy + ZnO 60 cm



(c) Epoxy 40 cm



(d) Epoxy 60 cm

Gambar 11. Hasil Visual Pengujian Impak

Berdasarkan hasil visual pada **Gambar 11** sesuai dengan *European standard* EN 1337-9 yang mengacu pada ISO-6272, spesimen harus dapat menahan energi potensial sebesar 0,98 Joule tanpa adanya keretakan, sehingga dapat disimpulkan bahwa *coating* dengan penggunaan *zinc oxide* maupun tanpa *zinc oxide* sudah memenuhi kriteria standar ini

4. KESIMPULAN

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, dapat diambil kesimpulan Penelitian ini menghasilkan nilai laju korosi terbaik pada *coating* dengan penggunaan nanopartikel *zinc oxide* dengan hasil 0,024357 mmpy dan *coating epoxy* tanpa penambahan *zinc oxide* menghasilkan nilai 0,038897 mmpy. Pengujian adhesi menghasilkan nilai terbaik pada *coating* dengan penambahan *zinc oxide* yang menghasilkan nilai rata – rata 17,37 MPa dan tanpa penggunaan *oxide* menghasilkan nilai rata – rata 15,45 MPa. Hasil pengujian ketahanan *coating* pada penelitian ini menghasilkan kedua *coating* mampu menahan pembebanan kejut yang diberikan pada saat pengujian.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Z. Y, J. r. Smith dan O. L. Gu, “*Tensile Properties of Coated Steel Sheets a Review Coatings,*” *Multidisciplinary Digital Publishing*, 2023
- [2] Gunaltun, “*Effect of Acetic Acid, pH and MEG on the CO2 Top of the Line Corrosion,*”, Vol. 61, pp. 11-21, *Journal Nace International*, 2005.
- [3] S. Widharto, *Karat dan Pencegahannya*, Jakarta: PT. Pradnya Paramita, 2004.
- [4] A. A. Tracton, *Coating Materials and Surface Coatings*, Boca Raton: Taylor & Francis Group, 2006.
- [5] Y. K. Afandi, I. S. Arief dan A. , “*Analisa Laju Korosi Pada Plat Baja Karbon dengan*

- Variasi Ketebalan Coating,” Vol. 4, No.2 Hal. 73-78, Jurnal Teknik ITS, 2015.
- [6] C. Debrita, “Analisis Pengaruh Variasi Coating Pada Plat Baja ASTM A 36 Terhadap Prediksi Laju Korosi, Kekuatan Adhesi, dan Ketahanan Impak,” Vol. 6, No. 4, Hal. 42-50, Jurnal Teknik ITS, 2020
- [7] A. Setiawan, “Sintesis dan Karakterisasi ZnO Sebagai Coating Antikorosi ZnO/Al(OH)₃ Pada Material Baja Karbon,” Vol. 21, No. 3, Hal 42-50, Jurnal Politeknik Perkapalan Surabaya, 2018.
- [8] N. F. Ibrahim, W. R. Wan Abdullah, M. S. Rooshde, M. S. M. Ghazali dan W. M. Norsani, “Corrosion Inhibition Properties of Epoxy-Zinc Oxide Nanocomposite Coating on STAINLESS STEEL 316L,” *Journal Ocean Engineering Universiti Terengganu Malaysia*, vol. 307, pp. 285-290, 2020.
- [9] JIS G 3101, *Rolled steels for general structure*, Japan: Japan Standart Asociation, 2015.
- [10] ISO-8501-1, *Preparation of Steel Substrates before Application of Paints and Related Products*, International Organization for Standardization, 2007.
- [11] P. A. Schweitzer, *Fundamentals of Metallic Corrosion*, Boca Raton: Taylor & Francis Group, 2007.
- [12] ASTM G-102, “Standart Practice for Calculation of Corrosion Rates and Related Information from Electrochemical Measurement,” *ASTM INTERNATIONAL* , 2015.
- [13] J. A. Franhouver , “Adhesion and Cohesion,” *Hindawi Publisihing Corporation* , 2012.
- [14] ASTM D-4541-02, *Standart Test Method for Pull of Stregth of Coatings Using*, ASTM INTERNATIONAL, 2002.
- [15] ASTM D 5420- 04, “Standart Test Methods for Impact Resistance of Flat Rigid Plastic Specimen by Means of a Striker Impacted by a Falling Weight,” *ASTM INTERNATIONAL*.
- [16] E. 1337-9, “Structural Bearings - Part 9 : Protection,” *European Comitte for Standarization*, pp. 1-6, 1997.
- [17] ASTM 4417-B, “Standart Test Methods For Field Measurements Of Surface Profile of Blast Cleaned Steel,” *Anual Book ASTM Standart*, 1999.
- [18] ASTM E-337, *Standart Test Method for Measuring Humidity with a Psychometer (the Measurements of Wet and Dry-Bulb Temperatures)*, 1996.
- [19] Biro Klasifikasi Indonesia, *BKI Rules for Classification and Construction Vol. II (Rules for Hull)*, 2022.
- [20] SSPC PA 2, “Paint Application Specification No. 2 - Measurement of Dry Coating Thickness and Magnetic Gages,” *The Society for Protective Coatings*, 2004.