https://doi.org/10.56862/irajtma.v4i3.348

*IRA Jurnal Teknik Mesin dan Aplikasinya (IRAJTMA)*

Vol. 4, No. 3, 2025, pp. 193-200, e-ISSN: 2962-4290

*Available online http://e-journals.irapublishing.com/index.php/IRAJTMA/*

**Scientific Articles**

# Pengaruh Pelapisan Zinc Phosphate pada Baja Karbon ST42 terhadap Laju Korosi dan Ketahanan Aus

# *The Effect of Zinc Phosphate Coating on ST42 Carbon Steel on Corrosion Rate and Wear Resistance*

Rio Candra Hermawan[1*], Nani Mulyaningsih[1], M. Fendy Kussuma Hadi Sufyan[1]

[1] Jurusan Teknik Mesin dan Industri, Universitas Tidar, Magelang 56116, Indonesia

**Corresponding author*: riocandra12.12@gmail.com

**Diterima: 20-10-2025** **Disetujui: 30-11-2025** **Dipublikasikan: 28-12-2025**

*IRAJTMA is licensed under a Creative Commons Attribution-ShareAlike 4.0 International License.*

**Abstrak**

Penelitian ini menganalisis pengaruh waktu pelapisan zinc phosphate terhadap laju korosi dan ketahanan aus baja ST42 untuk aplikasi maritim. Metode eksperimen melibatkan perendaman pada suhu 90°C dengan variasi waktu 10 hingga 30 menit. Pengujian laju korosi dilakukan menggunakan metode potensiodinamik (ASTM G102-89) dalam larutan NaCl 3,5%, sedangkan ketahanan aus diuji dengan metode universal wear (ASTM G99). Hasil menunjukkan laju korosi terendah dicapai pada waktu pelapisan 30 menit (0,00678 mmpy) dan tertinggi pada 10 menit (0,08600 mmpy). Sementara itu, ketahanan aus optimal ditemukan pada waktu 20 menit dengan nilai 0,000642 $mm^3/kg{\cdot}m$. Kesimpulannya, pelapisan zinc phosphate efektif meningkatkan daya tahan baja ST42 terhadap lingkungan korosif dan gesekan mekanis. Waktu 30 menit direkomendasikan untuk perlindungan korosi maksimal, menjadikannya solusi layak untuk memperpanjang usia pakai komponen maritim seperti rantai jangkar.

**Kata Kunci:** Baja ST42, Industri maritim, Ketahanan aus, Laju korosi, Pelapisan zinc phosphate, Rantai jangkar.

***Abstract***

*This study investigates the effect of zinc phosphate coating duration on the corrosion rate and wear resistance of ST42 steel for maritime applications. The experimental method involved immersion at 90°C with time variations ranging from 10 to 30 minutes. Corrosion rate testing utilized the potentiodynamic method (ASTM G102-89) in a 3.5% NaCl solution, while wear resistance was evaluated using the universal wear method (ASTM G99). The results indicate that the lowest corrosion rate occurred at a 30-minute coating duration (0.00678 mmpy), whereas the highest rate was at 10 minutes (0.08600 mmpy). Optimal wear resistance was observed at 20 minutes, yielding a value of 0.000642 $mm^3/kg{\cdot}m$. In conclusion, zinc phosphate coating effectively enhances the durability of ST42 steel against corrosive environments and mechanical friction. A 30-minute duration is recommended for maximum corrosion protection, providing a viable solution for extending the service life of maritime components such as anchor chains.*

***Keywords:*** *Anchor chains, Corrosion rate, Maritime industry, ST42 steel, Wear resistance, Zinc phosphate coating.*

## 1. Pendahuluan

Rantai jangkar merupakan salah satu komponen vital dalam sistem perkapalan karena berfungsi menjaga stabilitas posisi kapal. Namun, komponen ini rentan mengalami degradasi akibat paparan lingkungan laut yang bersifat korosif dan gaya mekanis berulang. Baja ST42 sebagai baja karbon rendah banyak digunakan dalam industri maritim karena mudah diperoleh, relatif murah, serta memiliki sifat mekanik yang cukup baik. Meski demikian, baja ini memiliki

kelemahan mendasar berupa rendahnya ketahanan terhadap korosi dan keausan. (Fandi Zamruddin, Mahendra Sakti, dan Dkk 2018).

Korosi merupakan bentuk degradasi material yang terjadi akibat interaksi antara logam atau paduan logam dengan lingkungannya melalui proses elektrokimia, di mana terjadi perpindahan elektron dari anoda ke katoda. Proses ini menyebabkan penurunan kualitas material, baik dari segi kekuatan struktural maupun sifat mekaniknya, sehingga berdampak pada penurunan kinerja dan umur pakai logam tersebut (Noormansyah, Jokosisworo, dan Amiruddin 2023).

Salah satu metode paling efektif dalam upaya pencegahan korosi pada material adalah melalui proses pelapisan (coating). Pelapisan ini berfungsi sebagai perlindungan dengan membentuk suatu lapisan tipis pada permukaan material, yang berperan sebagai penghalang antara material dan lingkungan eksternal yang dapat menyebabkan reaksi korosiSalah satu metode paling efektif dalam upaya pencegahan korosi pada material adalah melalui proses pelapisan (coating). Pelapisan ini berfungsi sebagai perlindungan dengan membentuk suatu lapisan tipis pada permukaan material, yang berperan sebagai penghalang antara material dan lingkungan eksternal yang dapat menyebabkan reaksi korosi (Fakhri, Manik, dan Amiruddin 2024).

Untuk menanggulangi permasalahan tersebut, dilakukan penelitian mengenai penerapan pelapisan zinc phosphate sebagai metode perlindungan permukaan. Zinc phosphate adalah senyawa garam yang dapat mengendap pada permukaan logam, membentuk lapisan tipis yang berfungsi sebagai penghalang antara material dan lingkungan eksternal. Metode ini dipilih karena efisiensi biaya, kemudahan operasional, dan kelayakan aplikatifnya dalam skala industri. Penelitian sebelumnya menunjukkan bahwa pelapisan fosfat dapat menurunkan laju korosi, tetapi kinerja perlindungan sangat dipengaruhi oleh formulasi larutan dan parameter proses (Brilliantoro 2022).

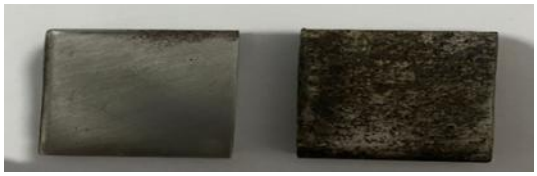
## 2. Metode

Penelitian ini dilakukan secara eksperimental di laboratorium dengan tujuan untuk menganalisis pengaruh variasi waktu pelapisan zinc phosphate terhadap laju korosi dan ketahanan aus baja karbon ST42. Desain penelitian ini mengacu pada pendekatan quantitative experimental design, dengan pengujian laboratorium terkontrol untuk memperoleh data numerik yang dapat dianalisis secara deskriptif. Berikut merupakan proses pelapisan zinc phosphate:

1. Pembersihan Permukaan
   Permukaan logam dibersihkan secara menyeluruh dari minyak, kotoran, karat, dan kontaminasi lainnya menggunakan metode kimia atau mekanis.
2. Pra-perlakuan
   Setelah pembersihan, logam mungkin perlu dipersiapkan dengan proses seperti pelapisan asam atau pencelupan untuk meningkatkan kesiapan permukaan terhadap fosfatisasi.
3. Fosfatisasi
   Logam direndam dalam larutan kimia yang mengandung Zinc dihydrogen phosphate ($Zn(H_2PO_4)_2$) Asam fosfat ($H_3PO_4$) Nitrat atau akselerator lain (misalnya nitrit, klorat, atau molibdat), dan bahan tambahan lainnya seperti neutralizer.
4. Pengeringan dan Penanganan
   Setelah pemrosesan, logam dibilas dan dikeringkan dengan baik untuk menghilangkan sisa larutan kimia dan mencegah korosi segera setelah pemrosesan.

### 2.1. Bahan dan Alat

Material yang digunakan adalah baja karbon ST42 kadar karbon rendah, karena kadar karbon <0,3% , besi (Fe) sebesar 98,40% yang dipotong menjadi spesimen uji berukuran 30 mm × 50 mm ×10 mm. Bahan pelapis berupa larutan zinc phosphate dengan komposisi utama zinc oxide (ZnO), ferrous sulfate ($FeSO_4$), dan phosphoric acid ($H_3PO_4$) yang dilarutkan dalam aquadest. Pembersihan awal permukaan spesimen dilakukan mengikuti standar ASTM G1-90 untuk memastikan spesimen bebas dari kotoran, minyak, karat, atau oksida sebelum proses pelapisan. Alat utama yang digunakan dalam penelitian ini meliputi potentiodynamic polarization test set-up untuk pengujian korosi dan Ogoshi High Speed Universal Wear Testing Machine untuk pengujian keausan.



**Gambar 1.** Baja ST42

**Gambar 2.** Laruran Zinc Phosphate

### 2.2. Proses Pelapisan Zinc Phosphate

Proses pelapisan dengan menggunakan larutan pelapis utama zinc phosphate dan menggunakan metode celup pada suhu 90°C. Proses pelapisan ini menggunakan parameter waktu pada proses pencelupan. Waktu yang digunakan yaitu 10 menit, 15 menit, 20 menit, 25 menit, dan 30 menit. Pelapisan dilakukan secara bersamaan per variasi agar mendapatkan hasil lapisan yang sama pada tiap spesimen.

Gambar 3. Proses Pelapisan

### 2.3. Pengujian Laju Korosi

Pengujian laju korosi dilakukan menggunakan metode potensiodinamik berdasarkan standar ASTM G102-89 dengan larutan elektrolit NaCl 3,5% sebagai media pengujian. Sistem tiga elektroda digunakan, dengan spesimen sebagai elektroda kerja, elektroda pembanding berupa Ag/AgCl, dan elektroda bantu berbahan karbon. Pengukuran dilakukan menggunakan potentiostat/galvanostat untuk memperoleh kurva polarisasi Tafel, dari mana laju korosi (dalam satuan mmpy) dihitung berdasarkan densitas arus korosi (corrosion current density). Berikut rumus yang digunakan dalam pengujian laju korosi (Afandi, Arief, dan Amiadji 2017).

$$CPR = K\frac{a.i}{n.D}mmpy \quad (1)$$

dimana:

K = Konstanta (0,129 untuk mpy, 0,00327 untuk mmpy)
a = Berat atom logam terkorosi (gram)
i = Kerapatan arus (μA/cm$^2$)
n = Jumlah elektron valensi logam terkorosi
D = Densitas logam terkorosi (gram/cm$^3$)

**Gambar 4.** Proses Uji Korosi

### 2.4. Pengujian Keausan

Pengujian keausan dilakukan dengan menggunakan mesin Ogoshi High Speed Universal Wear Testing Machine mengacu pada standar ASTM G99. Parameter pengujian meliputi beban normal, kecepatan putar, dan jarak gesek konstan. Data yang diperoleh digunakan untuk menghitung nilai specific wear rate dalam satuan mm$^3$/kg·m. Tujuan pengujian ini adalah untuk mengetahui pengaruh waktu pelapisan terhadap kemampuan lapisan zinc phosphate dalam menahan kehilangan material akibat gesekan. Dibawah ini merupakan rumus dari pengujian keausan (Septiyanto, Suroso, dan Utami 2022).

$$W = \frac{B.b^3}{12.r} \quad (2)$$

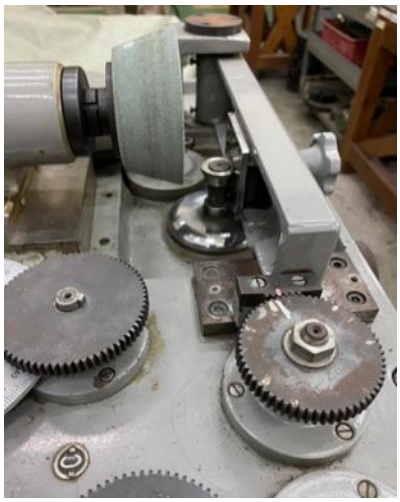
dimana:

W = Volume yang tergores (mm$^3$ )
B = Tebal goresan (mm)
b = Lebar goresan(mm)
r = Jari-jari disc (mm)

$$Ws = \frac{1,5.W}{p.l} \quad (3)$$

dimana:

Ws = Nilai keausan spesifik ($mm^3$/kg.m)
W = Volume yang tergores ($mm^3$ )
P = Beban (kg)
l = Jarak pengausan (m)



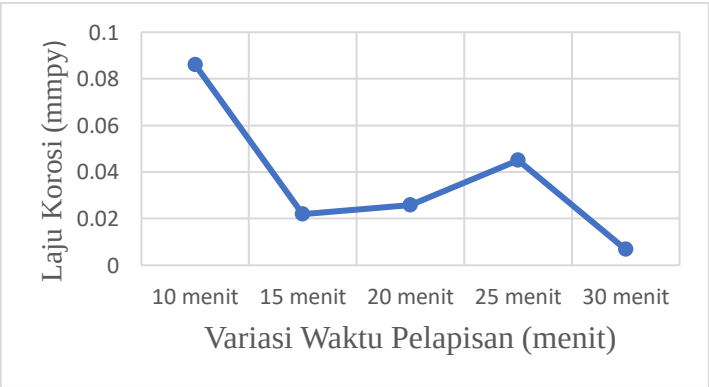
**Gambar 5.** Proses Uji Keausan

## 3. Hasil dan Pembahasan

### 3.1. Hasil Pengujian Laju Korosi

Pengujian laju korosi menggunakan metode polarisasi potensiodinamik menghasilkan data nilai laju korosi (mmpy) untuk setiap variasi waktu pelapisan zinc phosphate. Hasil menunjukkan bahwa peningkatan waktu pelapisan berpengaruh nyata terhadap penurunan laju korosi. Nilai laju korosi tertinggi diperoleh pada waktu pelapisan 10 menit sebesar 0,08600 mmpy, sedangkan nilai terendah terjadi pada 30 menit sebesar 0,00678 mmpy. Berdasarkan klasifikasi standar, nilai tersebut berada dalam kategori Excellent hingga Outstanding, yang menunjukkan bahwa lapisan zinc phosphate memberikan perlindungan yang signifikan terhadap reaksi elektrokimia pada permukaan baja ST42.

Penurunan laju korosi ini disebabkan oleh pembentukan lapisan zinc phosphate yang semakin padat dan homogen seiring bertambahnya waktu pencelupan. Lapisan ini bekerja sebagai penghalang difusi ion korosif seperti $Cl^-$ dan $O_2$ menuju permukaan logam. Burduhos-Nergis et al. (2020). Berikut grafik dan tabel dari hasil pengujian laju korosi, dapat dilihat pada Gambar 6 dan Tabel 1.




**Gambar 6**. Grafik hasil pengujian laju korosi

**Tabel 1.** Hasil dari pengujian korosi

| Waktu (menit) | $E_{cor}$(mV) | $I_{cor}$(µA/cm²) | Laju korosi (mmpy) |
|---|---|---|---|
| 10 | -0,45017 | 29,794 | 0,08600 |
| 15 | -0,30861 | 7,5898 | 0,02190 |
| 20 | -0,38305 | 8,9500 | 0,02581 |
| 25 | -0,30362 | 15,603 | 0,04501 |
| 30 | -0,27492 | 3,518 | 0,00678 |
| Standart Industri | | | 0,4 |

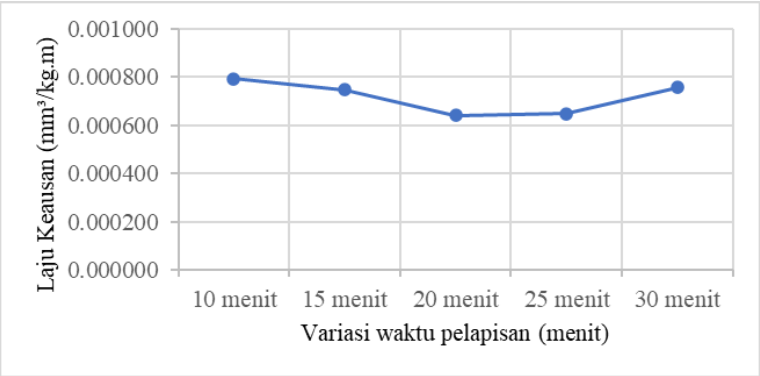
### 3.2. Hasil Pengujian Keausan

Hasil pengujian keausan menunjukkan bahwa waktu pelapisan juga berpengaruh terhadap laju keausan spesifik (specific wear rate). Nilai laju keausan tertinggi diperoleh pada waktu pelapisan 10 menit sebesar 0,000794 mm³/kg·m, sedangkan nilai terendah tercatat pada 20 menit sebesar 0,000642 mm³/kg·m. Hasil ini menunjukkan bahwa pelapisan zinc phosphate mampu menurunkan tingkat kehilangan material akibat gesekan.

Pengujian keausan menunjukan nilai keausan spesifik yang paling baim pada variasi 20 menit dimana nilai keausan spesifik rata-ratanya paing rendah 0,000642 mm³/kg·m. Data tersebut menunjukkan bahwa semakin lama waktu pelapisan tidak terlalu mempengaruhi nilai keausan spesifiknya, tetapi pada variasi waktu 20 menit adalah waktu pelapisan paling efektif. Hal ini juga sejalan pada penelitian yang dilakukan oleh (Arthana, Widiyarta, dan Suardana 2014). Berikut adalah grafik dan tabel dari hasil pengujian keausan spesifik, dapat dilihat pada Gambar 7 dan Tabel 2.

**Tabel 1.** Hasil dari pengujian keausan spesifik

| Waktu (Menit) | Volume yang Tergores, W (mm³) | Nilai Keausan Spesifik, Ws (mm³/kg·m) |
|---|---|---|
| 10 | 0.04162 | 0.000794 |
| 15 | 0.0297 | 0.000747 |
| 20 | 0.0393 | 0.000642 |
| 25 | 0.0302 | 0.000647 |
| 30 | 0.0372 | 0.000755 |




**Gambar 7.** Grafik hasil dari pengujian keausan spesifik

## 4. Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian mengenai pengaruh pelapisan zinc phosphate pada baja karbon ST42, dapat disimpulkan bahwa variasi waktu pelapisan memberikan pengaruh signifikan terhadap kemampuan material dalam menahan korosi dan keausan. Peningkatan durasi

pelapisan terbukti menurunkan laju korosi, di mana nilai terendah diperoleh pada waktu pelapisan 30 menit dengan laju korosi sebesar 0,00678 mmpy, jauh di bawah batas standar industri ≤0,4 mmpy, sehingga menunjukkan efektivitas lapisan fosfat dalam membentuk penghalang elektrokimia yang lebih padat. Pada aspek ketahanan aus, nilai wear rate spesifik terbaik dicapai pada waktu pelapisan 20 menit, yaitu 0,000642 $mm^3/kg \cdot m$, yang mengindikasikan bahwa lapisan yang terbentuk pada durasi tersebut memiliki morfologi paling stabil terhadap mekanisme gesekan. Secara keseluruhan, pelapisan zinc phosphate mampu meningkatkan ketahanan korosi dan keausan baja ST42, dengan kondisi optimal berbeda untuk masing-masing parameter, di mana 30 menit optimal untuk korosi, sedangkan 20 menit optimal untuk keausan. Penelitian ini memberikan kontribusi penting dalam optimasi proses pelapisan fosfat untuk aplikasi komponen teknik mesin dan industri maritim yang membutuhkan material dengan ketahanan tinggi terhadap lingkungan korosif dan kontak mekanis.

**Ucapan Terima Kasih**

Penulis mengucapkan terima kasihkepada semua pihak yang berkontribusi dan berdedikasi atas terselesaikannya artikel ilmiah ini.Semoga artikel ilmiah ini dapat menjadi rujukan untuk penelitian lebih lanjut.

**Daftar Pustaka**

Afandi, Yudha Kurniawan, Irfan Syarif Arief, and Amiadji Amiadji. 2017. "Analisa Laju Korosi pada Pelat Baja Karbon dengan Variasi Ketebalan Coating." *Jurnal Teknik ITS* 4 (1): 1–5.

Arthana, I Wayan Gede, I Made Widiyarta, and Ngakan Putu Gede Suardana. 2014. “Ketahanan Aus Lapisan Ni-Cr Powder Flame Spray Coating.” *Logic: Jurnal Rancang Bangun dan Teknologi* 14 (2): 87–92. http://ojs.pnb.ac.id/index.php/LOGIC/article/view/284.

Brilliantoro, Bukhaerotul. 2022. “Literature Review: Studi Pengendalian Korosi menggunakan Coating Zinc (Zn), Zinc Phosphate ($Zn_3(PO_4)_2$), Zinc Silicate ($ZnSiO_4$) dan Nickel (Ni) pada Industri Otomotif.” *JIIP - Jurnal Ilmiah Ilmu Pendidikan* 5 (6): 1878–85. https://doi.org/10.54371/jiip.v5i6.658.

Deviana, Ratih, and Arya Mahendra Sakti. 2014. “Pengaruh Waktu Pencelupan Dan Temperatur Proses Elektroplating Terhadap Ketebalan Dan Kekerasan Permukaan Baja St 42.” *Jurnal Teknik Mesin* 3 (1): 176–83.

Duszczyk, Jakub, Katarzyna Siuzdak, Tomasz Klimczuk, and Judyta Strychalska-Nowak. 2018. "Manganese Phosphatizing Coatings: The Effects of Preparation Conditions on Surface Properties." *Materials* 11 (12): 2585. https://doi.org/10.3390/ma11122585.

Fakhri, Alfian, Parlindungan Manik, and Wilma Amiruddin. 2024. “Analisis Perbandingan Penggunaan Nanopartikel Zinc Oxide (ZnO) Sebagai Campuran Coating Plat Baja SS 400 Terhadap Laju Korosi, Kekuatan Adhesi, dan Ketahanan Coating.” *Jurnal Teknik Perkapalan* 12 (4): 1–9.

Fandi Zamruddin, Moch, and Arya Mahendra Sakti. 2018. “Analisis Perbandingan Pelapisan Menggunakan Chrome Dengan Pelapisan Menggunakan Bituminous Paint Pada Rantai Jangkar Kapal Motor Madani Nusantara.” *Jurnal Pendidikan Teknik Mesin* 6 (3): 161–68.

Fouladi, M., and A. Amadeh. 2013. "Effect of Phosphating Time and Temperature on Microstructure and Corrosion Behavior of Magnesium Phosphate Coating." *Electrochimica Acta* 106 (September): 1–12. https://doi.org/10.1016/j.electacta.2013.05.041.

Hamidah, I., R. Wati, and R. A. Hamdani. 2018. "Analysis of AISI 304 Tensile Strength as an Anchor Chain of Mooring System." *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering* 367 (1): 012058. https://doi.org/10.1088/1757-899X/367/1/012058.

Li, G. Y., J. S. Lian, L. Y. Niu, and Z. H. Jiang. 2005. "A Zinc and Manganese Phosphate Coating on Automobile Iron Castings." *ISIJ International* 45 (9): 1326–30. https://doi.org/10.2355/isijinternational.45.1326.

Mahendra, Afrizal Yose, Aditya Rio Prabowo, and Triyono Triyono. 2021. "Failure Analysis of Motorcycle Shock Breakers." *Open Engineering* 11 (1): 1150–59. https://doi.org/10.1515/eng-2021-0109.

Noormansyah, Faridz, Sarjito Jokosisworo, and Wilma Amiruddin. 2023. "Analisis Pengaruh Salinitas Terhadap Laju Korosi Merata Baja SS 400 Dengan Variasi Ketebalan Coating." *Jurnal Teknik Perkapalan* 11 (3): 25–38.

Septiyanto, Muhammad Abdul Rafiq, Indreswari Suroso, and Noviana Utami. 2022. "Analisis Kekerasan dan Keausan Bearing pada Pesawat Cessna Grand Carravan 208B." *Turbo: Jurnal Program Studi Teknik Mesin* 11 (1): 117–24. https://doi.org/10.24127/trb.v11i1.2045.

Sumintono, Heraldo Petra, Parlindungan Manik, and Untung Budiarto. 2024. "Analisis Ketahanan Korosi dan Kekuatan Adhesi Coating pada Pelat Baja SS 400 dengan Variasi Campuran Nano Zinc Oxide." *Jurnal Teknik Perkapalan* 12 (4): 785. http://ejournal3.undip.ac.id/index.php/naval.

Weng, D., P. Jokiel, A. Uebleis, and H. Boehni. 1997. "Corrosion and Protection Characteristics of Zinc and Manganese Phosphate Coatings." *Surface and Coatings Technology* 88 (1–3): 147–56. https://doi.org/10.1016/S0257-8972(96)02860-5.