

OPTIMASI KETEBALAN *COATING* ZN-ZNO-CACO₃ PADA BAJA AISI 1010 TERHADAP KETAHANAN IMPAK DENGAN PENDEKATAN EKSPERIMENTAL DAN SIMULASI 2D *AXISYMMETRIC*

*Surya Mahendra Putra Hidayat¹, Athanasius Priharyoto Bayuseno², Jamari²

¹Mahasiswa Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro

²Dosen Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro

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

*E-mail: suryamahendra.project@gmail.com

Abstrak

Lapisan pelindung pada baja karbon rendah banyak digunakan untuk meningkatkan ketahanan. Namun, efektivitas lapisan komposit elektrodeposisi masih perlu divalidasi melalui pendekatan eksperimental dan numerik. Penelitian ini bertujuan mengevaluasi pengaruh variasi tegangan elektrodeposisi terhadap sifat mekanik dan ketahanan impak lapisan komposit Zn-ZnO-CaCO₃. Proses dilakukan pada tegangan 5 V (19,7 μm), 7,5 V (22,5 μm), dan 10 V (33,4 μm), dilanjutkan uji karakterisasi mikrostruktur, kekerasan, serta uji impak ASTM D-2794. Hasil menunjukkan peningkatan ketebalan lapisan menurunkan tegangan tarik maksimum (S11), yaitu 8848 MPa pada 19,7 μm, 8372 MPa pada 22,5 μm, dan 7166 MPa pada 33,4 μm. Uji impak mengindikasikan semua sampel gagal, namun lapisan 5V lebih homogen sehingga memiliki resistensi lebih baik, sementara lapisan tebal (33,4 μm) lebih efektif menurunkan konsentrasi tegangan kritis. Dengan demikian, optimasi ketebalan perlu mempertimbangkan keseimbangan antara homogenitas dan distribusi tegangan untuk meningkatkan ketahanan impak.

Kata Kunci: abaqus; baja aisi 1010; elektrodeposisi; uji impak

Abstract

Protective coatings on low-carbon steel are widely applied to enhance durability; however, the effectiveness of electrodeposited composite layers still requires validation through experimental and numerical approaches. This study aims to evaluate the effect of electrodeposition voltage variations on the mechanical properties and impact resistance of Zn-ZnO-CaCO₃ composite coatings on AISI 1010 steel. The electrodeposition process was carried out at 5 V (19.7 μm), 7.5 V (22.5 μm), and 10 V (33.4 μm), followed by microstructural characterization, hardness testing, and impact testing according to ASTM D-2794. The results show that increasing coating thickness reduces the maximum tensile stress (S11), from 8848 MPa at 19.7 μm to 8372 MPa at 22.5 μm, and 7166 MPa at 33.4 μm. Impact testing indicated that all samples failed, but the 5 V coating exhibited higher homogeneity and better resistance, while the thickest layer (33.4 μm) was more effective in lowering critical stress concentrations.

Keywords: abaqus; aisi 1010 steel; electrodeposition; impact test

1. Pendahuluan

Baja karbon rendah seperti AISI 1010 banyak digunakan pada industri otomotif dan konstruksi karena mudah difabrikasi, tetapi rentan terhadap korosi dan kerusakan akibat impak. Pelapisan logam melalui metode elektrodeposisi menjadi solusi untuk meningkatkan ketahanan permukaan. Kombinasi Zn-ZnO-CaCO₃ dipilih karena mampu memberikan perlindungan korosi dan memperkuat ketahanan mekanik. Penelitian sebelumnya menunjukkan bahwa variasi tegangan elektrodeposisi berpengaruh pada ketebalan, mikrostruktur, dan sifat mekanik coating [1][2]. Namun, resistensi lapisan terhadap beban impak dinamis belum banyak divalidasi dengan simulasi numerik. Oleh karena itu, penelitian ini mengkaji pengaruh variasi tegangan elektrodeposisi terhadap sifat mekanik coating, dengan pendekatan eksperimental dan simulasi 2D axisymmetric di Abaqus. Struktur utama kendaraan berat seperti bus dan truk berperan penting dalam menentukan kekuatan, stabilitas, dan keselamatan. *Ladder frame* menjadi desain yang umum karena sederhana, kuat, dan fleksibel dalam penempatan komponen. Namun, tantangan utamanya adalah mencapai rasio tegangan terhadap berat yang optimal. Analisis dengan metode elemen hingga (FEM) menunjukkan bahwa efisiensi dapat ditingkatkan melalui optimasi bentuk dan konfigurasi cross member yang memengaruhi distribusi tegangan rangka [1].

2. Bahan dan Metode Penelitian

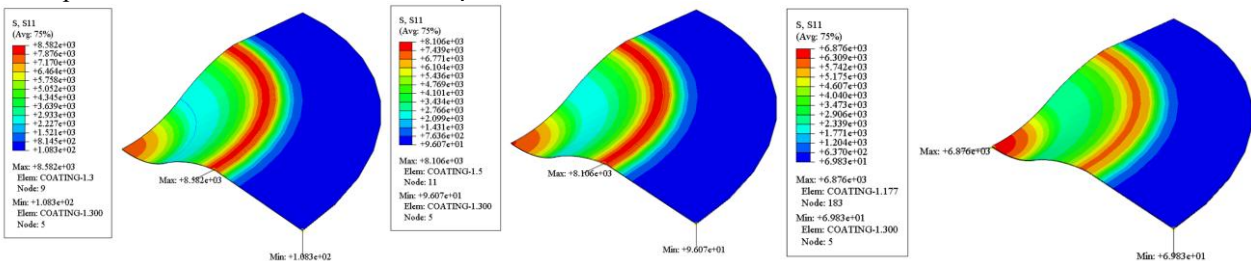
Pelapisan dilakukan dengan elektrodeposisi pada baja AISI 1010 dengan variasi tegangan 5 V, 7,5 V, dan 10 V. Morfologi dan komposisi lapisan dianalisis menggunakan SEM-EDS, sedangkan kekerasan diuji dengan metode

Vickers. Uji impak bola jatuh dilakukan mengikuti standar ASTM D-2794 dengan energi setara ketinggian jatuh 18 inch. Simulasi numerik dilakukan di Abaqus dengan model 2D axisymmetric dynamic explicit. Material baja dimodelkan elastoplastis, sementara coating dimodelkan homogen isotropik dengan input kurva tegangan–regangan plastis. Parameter yang diamati meliputi displacement, indentasi, dan tegangan normal S11.

3. Hasil dan Pembahasan

Hasil uji displacement menunjukkan kesesuaian antara simulasi dan eksperimen, dengan error <6%. Displacement plastis dan indentasi maksimum menurun seiring bertambahnya ketebalan lapisan, meskipun waktu pencapaian maksimum tetap pada 0,0015–0,0016 s. Hal ini mengindikasikan bahwa ketebalan berpengaruh pada besarnya deformasi, tetapi tidak pada laju respon dinamis.

Analisis tegangan normal S11 menunjukkan tren serupa. Tegangan tarik maksimum pada lapisan 19,7 μm tercatat 8848 MPa, menurun menjadi 8372 MPa pada 22,5 μm , dan 7166 MPa pada 33,4 μm . Kontur distribusi menunjukkan bahwa lapisan tipis memiliki konsentrasi tegangan tinggi di sekitar titik tumbukan, sedangkan lapisan tebal mendistribusikan tegangan lebih merata. Secara mekanis, hal ini memperkuat argumen bahwa lapisan tebal mampu mereduksi risiko inisiasi retak maupun delaminasi.



Gambar 1. Kontur Tegangan S11 Pada Coating

Dengan demikian, kombinasi hasil eksperimen dan simulasi menegaskan bahwa peningkatan ketebalan lapisan memperkuat ketahanan impak, meskipun homogenitas mikrostruktur pada tegangan rendah (5 V) tetap berperan penting dalam resistensi coating.

4. Kesimpulan

Peningkatan tegangan elektrodeposisi berpengaruh terhadap ketebalan dan sifat mekanik coating Zn-ZnO-CaCO₃ pada baja AISI 1010. Hasil uji dan simulasi menunjukkan bahwa ketebalan yang lebih tinggi menurunkan displacement, indentasi, dan tegangan tarik maksimum (S11), sehingga meningkatkan resistensi terhadap impak. Lapisan 5 V menghasilkan mikrostruktur lebih homogen, sedangkan lapisan 10 V lebih efektif dalam mereduksi konsentrasi tegangan kritis. Optimasi ketebalan lapisan perlu mempertimbangkan keseimbangan antara homogenitas dan distribusi tegangan agar ketahanan impak maksimal.

5. Daftar Pustaka

- [1] Callister, W. D., & Rethwisch, D. G. (2020). *Materials Science and Engineering: An Introduction*. John Wiley & Sons.
- [2] Fontana, M. G. (2005). *Corrosion Engineering*. McGraw-Hill.
- [3] ASTM D2794-93. (2019). *Standard Test Method for Resistance of Organic Coatings to the Effects of Rapid Deformation (Impact)*. ASTM International
- [4] Han, Y., & Xu, Z. (2021). Influence of electrodeposition parameters on Zn-based composite coatings. *Surface & Coatings Technology*, 405, 126627.
- [5] Singh, A., et al. (2020). Mechanical performance of electrodeposited Zn-ZnO coatings. *Journal of Materials Research and Technology*, 9(5), 10711–10720.
- [6] Li, J., et al. (2022). Microstructure and corrosion resistance of Zn-CaCO₃ composite coatings. *Materials Chemistry and Physics*, 285, 126163.
- [7] Abaqus 2020 Documentation. (2020). Dassault Systèmes.
- [8] Dieter, G. E. (1988). *Mechanical Metallurgy*. McGraw-Hill.
- [9] Shakoor, R. A., et al. (2017). Electrodeposited Zn-based composite coatings for enhanced corrosion resistance. *Applied Surface Science*, 420, 275–284
- [10] Suryanto, H., & Subagja, I. (2019). Analisis deformasi pada baja karbon rendah dengan metode elemen hingga. *Jurnal Teknik Mesin Indonesia*, 21(2), 145–152.