

KARAKTERISASI PELAPISAN ELEKTRODEPOSISI ZN-ZNO DAN CaCO₃ KOMPOSIT PADA BAJA AISI 1010

*Kevindra Herlen Pamungkas¹, Athanasius Priharyanto Bayuseno², J. Jamari²

¹Mahasiswa Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro

²Dosen Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro

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

*E-mail: kevindraherlen@gmail.com

Abstrak

Penelitian ini berfokus pada karakterisasi pelapisan elektrodeposisi komposit Zn-ZnO-CaCO₃ pada baja AISI 1010 dengan variasi tegangan 5 V, 7,5 V, dan 10 V. Partikel ZnO dan CaCO₃ ditambahkan ke dalam larutan elektrolit untuk meningkatkan sifat lapisan. Karakterisasi dilakukan melalui pengukuran ketebalan, analisis kekasaran permukaan, uji kekerasan mikro Vickers, analisis morfologi dan komposisi unsur dengan SEM-EDS, serta identifikasi fasa menggunakan XRD dan FTIR. Hasil menunjukkan bahwa ketebalan tertinggi ($\pm 33,5 \mu\text{m}$) diperoleh pada tegangan 5 V, sedangkan kekasaran permukaan paling rendah ($\pm 1,1-2,6 \mu\text{m}$) dan morfologi paling homogen dicapai pada 7,5 V. Kekerasan meningkat seiring dengan kenaikan tegangan, mencapai 137–153 HV pada 10 V akibat mekanisme grain refinement dan dispersion strengthening. Analisis SEM-EDS mengonfirmasi retensi unsur Zn, O, dan Ca yang lebih tinggi pada tegangan besar, sementara XRD memperlihatkan dominasi fasa Zn dan ZnO dengan keberadaan CaCO₃. FTIR juga menegaskan adanya gugus oksida dan karbonat yang konsisten dengan literatur. Secara keseluruhan, kombinasi Zn, ZnO, dan CaCO₃ menghasilkan lapisan dengan morfologi rapat, kekerasan tinggi, dan struktur fasa stabil, sehingga berpotensi diaplikasikan pada kebutuhan industri dengan tuntutan kekuatan dan karakteristik permukaan yang baik.

Kata kunci: baja aisi 1010; elektrodeposisi; kekerasan; karakterisasi permukaan; zn-zno-caco₃

Abstract

This study focuses on the characterization of Zn-ZnO-CaCO₃ composite electrodeposition coatings on AISI 1010 steel at different applied voltages of 5 V, 7.5 V, and 10 V. ZnO and CaCO₃ particles were incorporated into the electrolyte to enhance the coating properties. The coatings were characterized by thickness measurement, surface roughness analysis, Vickers microhardness testing, SEM-EDS for morphology and elemental composition, and phase identification using XRD and FTIR. The results revealed that the highest coating thickness ($\pm 33.5 \mu\text{m}$) was obtained at 5 V, while the lowest surface roughness ($\pm 1.1-2.6 \mu\text{m}$) and most homogeneous morphology were achieved at 7.5 V. Microhardness increased with voltage, reaching 137–153 HV at 10 V, attributed to grain refinement and dispersion strengthening. SEM-EDS confirmed a higher retention of Zn, O, and Ca at elevated voltages, while XRD showed dominant Zn and ZnO phases with the presence of CaCO₃. FTIR analysis validated the characteristic Oksida and carbonate functional groups consistent with reference spectra. Overall, the combination of Zn, ZnO, and CaCO₃ produced compact coatings with enhanced hardness and stable phase structures, demonstrating the potential of this electrodeposition system for industrial applications requiring durable and mechanically reinforced surface layers

Keywords: aisi 1010 steel; electrodeposition; hardness; surface characterization; zn-zno-caco₃

1. Pendahuluan

Baja AISI 1010 sebagai salah satu jenis baja karbon rendah merupakan material yang banyak digunakan dalam berbagai aplikasi industri karena sifat mekaniknya yang baik serta kemudahan dalam proses fabrikasi. Namun, sifat dasar baja karbon rendah ini membuatnya memerlukan modifikasi atau perlakuan tambahan agar lebih optimal digunakan sesuai dengan kebutuhan industri (Nnaji, et al., 2023).

Dalam konteks aplikasi energi terbarukan, biodiesel diketahui memiliki karakteristik yang berbeda dibandingkan dengan minyak diesel konvensional. Salah satu tantangan yang timbul adalah adanya kecenderungan biodiesel mengalami degradasi dan kontaminasi sehingga dapat memengaruhi performa material dalam sistem mesin. Tingkat pencampuran biodiesel yang tinggi, sesuai dengan target pemerintah Indonesia, menuntut adanya material dengan lapisan yang lebih baik agar kompatibilitas dan keandalannya dalam aplikasi industri dapat ditingkatkan (Fernandes, et al., 2019).

Coating atau pelapisan merupakan salah satu metode modifikasi permukaan yang dapat diaplikasikan pada baja. Coating berbasis seng (Zn) telah banyak diteliti karena mampu memberikan perlindungan pada material. Namun, kelemahan dari coating berbasis seng (Zn) adalah sifat mekaniknya, terutama kekerasan yang relatif rendah sehingga berpengaruh terhadap ketahanan aus dan umur pakainya (Vivi A., et al., 2025).

Untuk mengatasi hal tersebut, dilakukan penelitian terkait pengembangan lapisan komposit berbasis seng (Zn). Penambahan partikel oksida logam seperti Seng Oksida (ZnO) dapat meningkatkan sifat mekanik serta stabilitas lapisan. ZnO juga

dikenal ramah lingkungan serta memiliki kestabilan kimia yang cukup baik sehingga potensial digunakan sebagai penguat dalam sistem lapisan berbasis seng (Saputra & Masugino, 2022).

Selain itu, penggunaan bahan alam sebagai aditif dalam coating menjadi salah satu tren yang menarik untuk menghasilkan lapisan yang lebih ramah lingkungan. Kalsium Karbonat (CaCO_3) yang umumnya berasal dari cangkang kerang atau kulit telur telah banyak diteliti sebagai aditif potensial. Penambahan CaCO_3 dapat meningkatkan karakteristik lapisan, baik dari segi sifat mekanik maupun perlindungan terhadap pengaruh lingkungan (Sandi, et al., 2017).

Metode elektrodeposisi dipilih karena keunggulannya yang sederhana, ekonomis, serta mampu menghasilkan lapisan yang seragam. Melalui metode ini, komposisi dan struktur lapisan dapat dikendalikan dengan mengatur parameter seperti rapat arus, waktu deposisi, dan komposisi elektrolit yang digunakan (Efendy, et al., 2022).

Berdasarkan uraian tersebut, penelitian ini dilakukan dengan tujuan untuk menganalisis karakterisasi pelapisan elektrodeposisi Zn-ZnO dan CaCO_3 komposit pada baja AISI 1010. Evaluasi dilakukan secara komprehensif terhadap pengaruh penambahan Seng Oksida (ZnO) dan Kalsium Karbonat (CaCO_3) terhadap sifat lapisan yang dihasilkan. Hasil penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi terhadap pengembangan pelapisan berbasis komposit yang efektif dan ramah lingkungan dalam aplikasi industri.

2. Tinjauan Pustaka

2.1 Baja AISI 1010

Baja AISI 1010 merupakan salah satu jenis karbon rendah yang banyak diaplikasikan dalam industri karena sifat mekaniknya dan pembentukannya yang baik. Baja AISI 1010 juga merupakan material yang memiliki kemampuan las yang sangat baik. Kemampuan machining dari baja ini juga cukup baik terutama dalam kondisi cold drawn atau cold worked. Kemampuan pembentukan atau formabilitas dari baja AISI 1010 juga dapat dikatakan baik karena daktilitasnya yang tinggi, sehingga mudah dibentuk dengan metode konvensional (Setiawan & Dipogusti, 2022).

Tabel 1. Komposisi Baja AISI 1010 sebagai Spesimen Penelitian.

Elemen	C	Mn	Si	P	S	Al	Ni	Fe
Komposisi	0,15	0,45	0,18	0,01	0,031	0,005	0,008	Balance

2.2 Komposit Zn-ZnO- CaCO_3

Zn-ZnO- CaCO_3 merupakan material komposit yang menggabungkan sifat proteksi dari Zinc (Zn), Zinc Oxide (ZnO) dan Kalsium Karbonat (CaCO_3). Beberapa penelitian telah dilakukan dan membuktikan bahwa komposit ini memiliki potensi guna meningkatkan ketahanan korosi terutama pada material baja karbon rendah. Zinc (Zn) selaku komponen utama memiliki peran sebagai pelapis pelindung (Sacrificial Coating) dimana berfungsi untuk melindungi baja yang dilapisi dengan mengorbankan dirinya sendiri melalui mekanisme katodik. Seng oksida (ZnO) memiliki fungsi sebagai penghalang fisik tambahan yang membentuk lapisan pasif yang dapat memperlambat difusi oksigen dan ion korosif ke permukaan logam. Kalsium Karbonat (CaCO_3) yang berasal dari sumber alami cangkang telur dan kulit kerang memiliki kemampuan untuk menambah kekuatan mekanis lapisan komposit juga meningkatkan ketahanannya terhadap abrasi (Nnaji, et al., 2023).

Tabel 2. Reaksi Kimia Zn-ZnO- CaCO_3 .

Reaksi anodik (Oksidasi)	$\text{Zn}_{(s)} \rightarrow \text{Zn}^{2+}_{(aq)} + 2e^-$
Reaksi Katodik (Reduksi)	$\text{Zn}^{2+}_{(aq)} + 2e^- \rightarrow \text{Zn}_{(s)}$
Pembentukan ZnO	$\text{Zn}^{2+} + 2\text{OH}^- \rightarrow \text{Zn}(\text{OH})_2$
	$\text{Zn}(\text{OH})_2 \rightarrow \text{ZnO} + \text{H}_2\text{O}$
Pengendapan CaCO_3	$\text{Ca}^{2+} + \text{CO}_3^{2-} \rightarrow \text{CaCO}_3$
Reaksi Keseluruhan	$\text{Zn}^{2+} + 2\text{OH}^- + \text{Ca}^{2+} + \text{CO}_3^{2-} \rightarrow \text{Zn-ZnO-CaCO}_3$

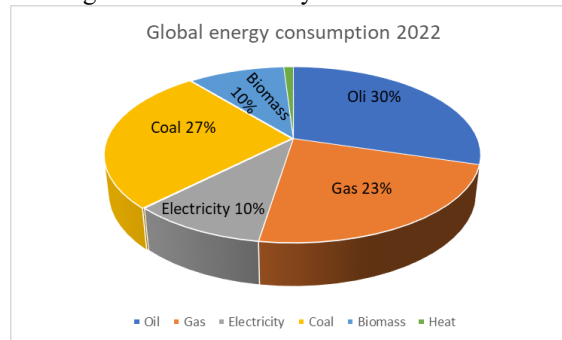
2.3 Coating

Coating atau pelapisan merupakan aplikasi material dalam bentuk lapisan tipis yang memiliki fungsi untuk memberikan perlindungan atau pun sebatas dekorasi pada lapisan permukaan. Lapisan yang dihasilkan umumnya sangat tipis dibandingkan specimen yang dilapisi. Untuk mencapai karakteristik lapisan yang diinginkan, formulasi dari lapisan tersebut perlu dipertimbangkan dengan cermat. Kombinasi yang tepat dari komponen dan proses dapat menghasilkan lapisan yang mampu memberikan keindahan serta perlindungan jangka Panjang terhadap specimen yang dilapisi (Liu, et al., 2020).

2.4 Biodiesel

Biofuel mulai banyak dipertimbangkan sebagai pengganti bahan bakar fosil karena sifatnya yang terbarukan, proses produksinya relatif aman, tidak beracun, lebih ramah lingkungan, serta mampu menekan emisi gas rumah kaca. Sebaliknya, pembakaran bahan bakar konvensional menghasilkan berbagai polutan berbahaya seperti karbon monoksida, sulfur, nitrogen, serta partikel lain yang berkontribusi terhadap pencemaran udara dan peningkatan efek rumah kaca.

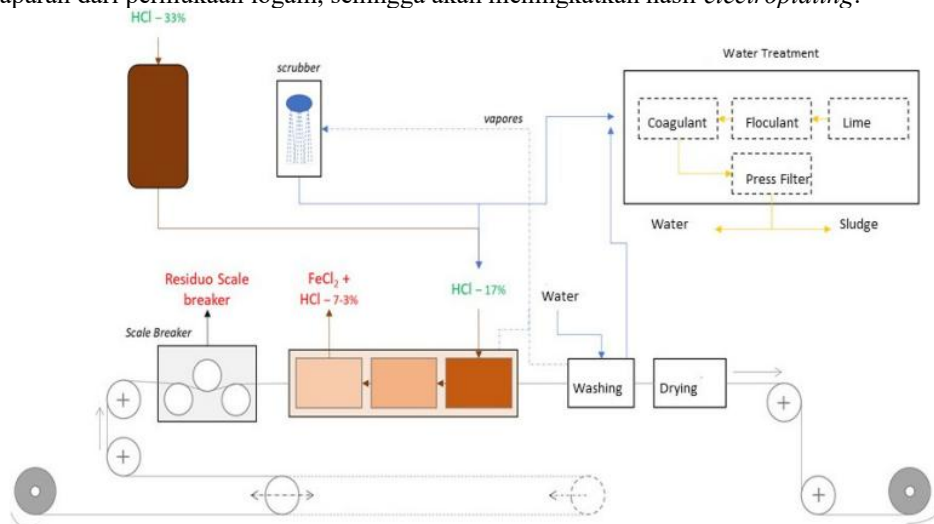
Biodiesel, sebagai salah satu jenis biofuel, memiliki sejumlah keunggulan dibandingkan bahan bakar fosil, di antaranya bersifat terbarukan, menghasilkan emisi lebih rendah, serta dapat diproduksi dengan mudah dari beragam bahan baku. Di antara berbagai sumber energi alternatif, bahan bakar berbasis nabati dinilai memiliki prospek yang besar untuk membantu mengatasi permasalahan energi berkat kelebihannya tersebut.



Gambar 1. Konsumsi Energi Global

2.5 Surface Pre-Treatment

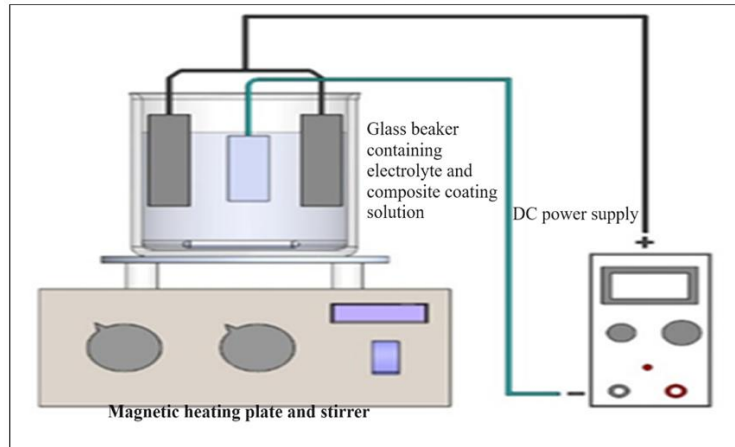
Surface pre-treatment disini berguna untuk langkah pertama dari perawatan awal sebelum dilakukan pelapisan. *Pickling* merupakan operasi terakhir yang dilakukan pada logam sebelum logam tersebut dikenai proses *electroplating*. Proses ini yang paling penting sebab tingkat kerekatan bahan yang dilapis logam akan sangat tergantung pada seberapa teliti proses *pickling* yang dilakukan. Hasil yang didapat dari proses *pickling* adalah terjadinya penghilangan lapisan oksida dan pemaparan dari permukaan logam, sehingga akan meningkatkan hasil *electroplating*.



Gambar 2. Skema Jalur *Continuous Pickling*

2.6 Proses Elektrodeposisi

Elektrodeposisi merupakan salah satu metode modifikasi permukaan konvensional yang efektif untuk meningkatkan sifat permukaan, baik secara fungsional maupun dekoratif, pada berbagai jenis material. Proses ini berlangsung dalam larutan elektrolit dan melibatkan reduksi elektrokimia ion logam pada substrat konduktif melalui mekanisme difusi. Teknik elektrodeposisi memiliki sejumlah kelebihan, antara lain biaya yang relatif rendah, kecepatan deposisi tinggi, serta rangkaian proses yang sederhana namun tetap dapat dikendalikan selama pembuatan nanocoating. Dalam aplikasinya, kualitas dan performa lapisan sangat dipengaruhi oleh parameter proses seperti pH elektrolit, suhu, lama deposisi, rapat arus, dan komposisi larutan elektrolit. Dibandingkan metode lainnya, pelapisan dengan elektrodeposisi dianggap sebagai salah satu pendekatan paling potensial untuk menghasilkan lapisan komposit CaCO_3 -Zn. Metode ini juga sederhana dan fleksibel, dapat diaplikasikan pada berbagai bentuk geometri, serta mampu menghasilkan lapisan yang seragam (Efendy, et al., 2022).



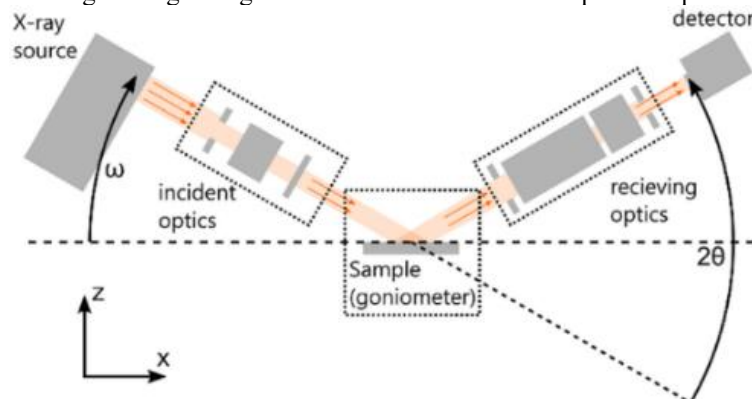
Gambar 3. Rangkaian Elektrodeposisi untuk Pelapis Komposit pada Baja Karbon Rendah.

2.7 Kekerasan *Vickers*

Uji kekerasan *Vickers* merupakan metode non-destruktif yang banyak diaplikasikan dalam proses manufaktur industri. Metode ini menggunakan indenter berlian berbentuk piramida dengan sudut 136° antar permukaan yang berlawanan. Standar pengujian kekerasan *Vickers* tertera pada ASTM E92.

2.8 *X-ray Diffraction (XRD)*

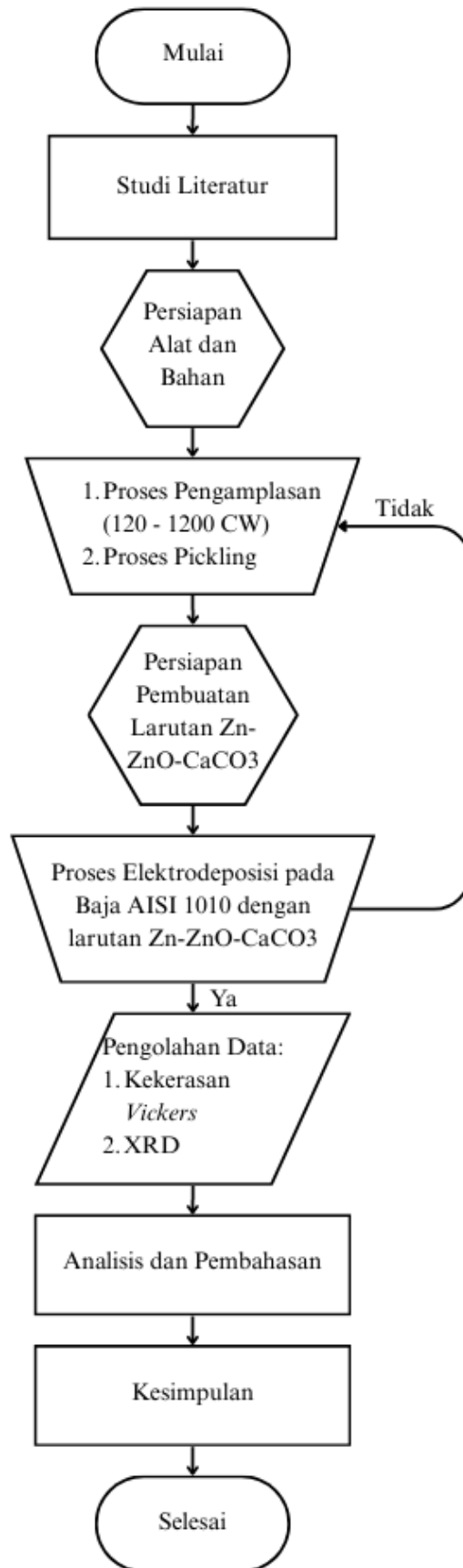
X-ray Diffraction (XRD) merupakan metode karakterisasi yang memanfaatkan prinsip difraksi sinar-X untuk mengetahui struktur kristal suatu material. Melalui teknik ini, dapat diperoleh informasi mengenai jarak antar atom dalam kisi, arah orientasi kristal, hingga sebaran atom di dalam bahan. Karena setiap senyawa memiliki pola difraksi khas, XRD banyak digunakan sebagai analisis kualitatif. Proses analisis dilakukan dengan mengenali puncak-puncak difraksi pada grafik, di mana setiap puncak menunjukkan refleksi dari bidang kristal tertentu. Selain itu, ukuran kristalit dapat dihitung menggunakan persamaan Scherrer, sedangkan nilai Full Width at Half Maximum (FWHM) dapat memberikan gambaran mengenai ukuran partikel maupun adanya cacat kristal. XRD juga sering dimanfaatkan untuk menentukan indeks kristalinitas (CI) yang berhubungan dengan tingkat keteraturan struktur kristal pada sampel.



Gambar 6. Komponen Difraktometri.

3. Metodologi Penelitian

Penelitian ini merupakan karakterisasi lapisan komposit Zn-ZnO-CaCO₃ pada Baja AISI 1010. Penelitian ini berjenis eksperimen yang mana dilakukan pada Laboratorium Teknik Mesin Universitas Diponegoro. Pengujian yang dilakukan pada penelitian ini yaitu kekerasan *Vickers* dan XRD. Untuk diagram alir penelitian dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 8. Diagram Alir Metode Penelitian

Set up proses elektrodeposisi dilakukan dengan menghubungkan specimen berupa Baja AISI 1010 sebagai katoda dan *Zinc Anode Plate* sebagai katoda dengan DC *Power Supply*. Lalu, dimasukkan kedalam larutan Komposit Zn-ZnO-CaCO₃. Proses pengujian dapat dilihat pada Gambar 9.



Gambar 9. Set Up Alat Uji

Proses elektrodeposisi memerlukan set up parameter operasi sebelum dijalankan. Set Up parameter operasi Elektrodeposisi dapat dilihat pada Tabel 3.

Tabel 3. Parameter Operasi Elektrodeposisi

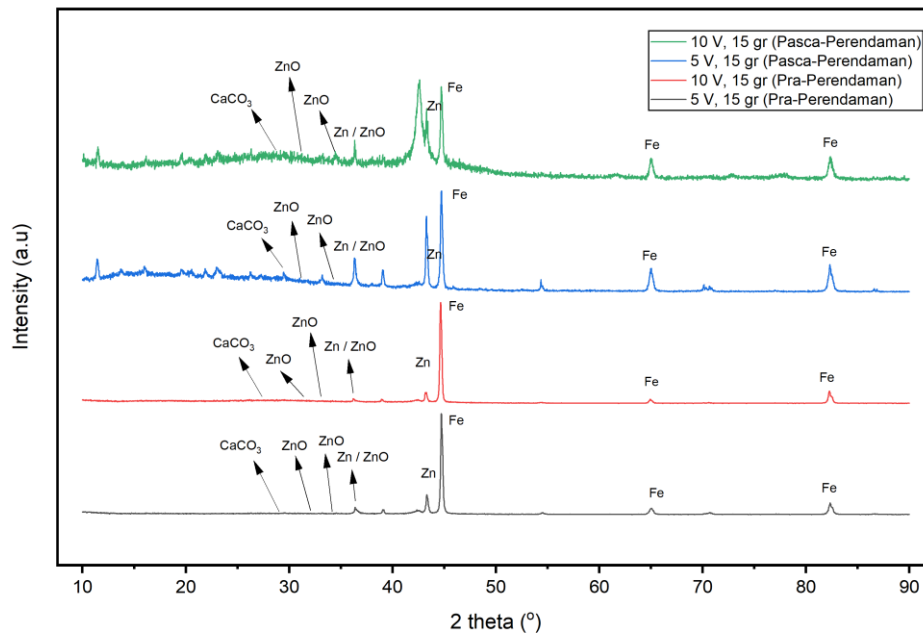
Voltase	5 V 7,5 V 10 V
Suhu	45°C
pH	<5
Waktu	20 menit
Kecepatan <i>Stirrer</i>	200 rpm
Rapat Arus	1,0 A/cm ²

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

Tabel 4. Hasil Normalisasi Bahan Bakar

Voltase	Larutan	Kekerasan (HV)		
		1	2	3
5 V	Zn-ZnO-CaCO ₃ (5 gr – 5 gr – 10 gr)	18	23,3	59,1
	Zn-ZnO-CaCO ₃ (5 gr – 5 gr – 15 gr)	18,2	18,4	24,4
7,5 V	Zn-ZnO-CaCO ₃ (5 gr – 5 gr – 10 gr)	24,9	20,3	35,3
	Zn-ZnO-CaCO ₃ (5 gr – 5 gr – 15 gr)	21,2	21,4	26,9
10 V	Zn-ZnO-CaCO ₃ (5 gr – 5 gr – 10 gr)	31,3	22,3	43,7
	Zn-ZnO-CaCO ₃ (5 gr – 5 gr – 15 gr)	20,1	23,1	48,5

Hasil pengujian menunjukkan adanya peningkatan kekerasan *Vickers* (HV) seiring bertambahnya tegangan elektrodeposisi. Pada tegangan 5 V, nilai kekerasan berada pada kisaran 117–135 HV, kemudian meningkat menjadi 134–146 HV pada 7,5 V, dan mencapai maksimum 137–153 HV pada 10 V. Peningkatan ini mengindikasikan bahwa arus yang lebih tinggi mendorong proses nukleasi Zn serta membantu ko-deposisi partikel ZnO dan CaCO₃ sehingga lapisan yang terbentuk menjadi lebih padat dan keras. Fenomena ini sesuai dengan mekanisme *grain refinement* dan *dispersion strengthening* yang umum terjadi pada komposit berbasis logam.



Gambar 10. Grafik Hasil Pengujian XRD

Hasil pengujian XRD menunjukkan bahwa lapisan komposit Zn–ZnO–CaCO₃ pada baja AISI 1010 memiliki fase kristalin utama berupa Zn, ZnO, CaCO₃, dan sedikit puncak Fe dari substrat. Pada sampel tanpa perendaman, puncak Zn dan ZnO muncul dominan dengan intensitas tinggi, yang mengindikasikan struktur lapisan masih padat dan protektif. Sebaliknya, setelah perendaman dalam biodiesel B100, terjadi penurunan intensitas puncak Zn dan peningkatan sinyal Fe. Hal ini menunjukkan bahwa sebagian lapisan mengalami degradasi atau retakan sehingga substrat mulai terekspos.

5. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil analisis dan pengolahan data yang diterima, maka dapat disimpulkan bahwa:

1. Hasil uji kekerasan Vickers menunjukkan bahwa lapisan Zn–ZnO–CaCO₃ mampu meningkatkan nilai kekerasan seiring meningkatnya tegangan elektrodeposisi, dari kisaran 117–135 HV pada 5 V hingga mencapai 137–153 HV pada 10 V. Peningkatan ini menegaskan adanya mekanisme grain refinement dan dispersion strengthening yang berperan dalam memperkuat lapisan. Tren ini konsisten dengan berbagai studi internasional yang melaporkan bahwa penambahan partikel oksida atau karbonat dapat meningkatkan kekerasan serta performa mekanik, meskipun perbedaan jenis dan ukuran partikel berpengaruh pada tingkat penguatan.
2. Hasil pengujian XRD menunjukkan bahwa lapisan Zn–ZnO–CaCO₃ pada Baja AISI 1010 didominasi oleh fase Zn dan ZnO sebagai komponen utama. Selain itu, teridentifikasi juga puncak CaCO₃ dengan intensitas yang cukup jelas, yang menandakan bahwa partikel komposit berhasil terdistribusi dalam lapisan. Puncak Fe dengan intensitas rendah masih muncul, mengindikasikan sebagian kecil substrat terekspos. Fenomena ini konsisten dengan penelitian sebelumnya yang menyatakan bahwa integrasi partikel CaCO₃ mampu meningkatkan densitas fase komposit Zn–ZnO.

6. DAFTAR PUSTAKA

- [1] Atikpo, E., Aigbodion, V. & Kallon, D. V., 2022. CaCO₃-derived from eggshell waste for improving the corrosion resistance of Seng composite coating on mild steel for biodiesel storage tank. *Chemical Data Collections*, 37(100794)..
- [2] Cotrut, C. M., Vladescu, A., Dinu, M. & Vranceanu, D. M., 2018. Influence of deposition temperature on the properties of hydroxyapatite obtained by electrochemical assisted deposition. *Ceramics International*, Volume 44, pp. 669-677.
- [3] Efendy, R. A., Mulyaningsih, N. & Pramono, C., 2022. PENINGKATAN KETAHANAN KOROSI BAJA AISI 1010 SEBAGAI KOMPONEN MOBIL LISTRIK. *PROSIDING SEMINAR NASIONAL RISET TEKNOLOGI TERAPAN*, 2747(1217).
- [4] Geßwein, H. et al., 2022. A multipurpose laboratory diffractometer for operando powder X-ray diffraction investigations of energy materials. *Journal of Applied Crystallography*, Volume 55, pp. 503-514.
- [5] Jalilian, E. & Uhl, A., n.d. A Benchmark for Automated Vickers Hardness Testing. pp. 1-16.
- [6] Kumar, C. M. P. et al., 2021. The Effect of Zn and Zn–WO₃ Composites Nano-Coatings Deposition on Hardness and Corrosion Resistance in Steel Substrate. *materials*, 14(2253), pp. 1-17.

-
- [7] Liu, J. et al., 2020. Fabrication of superhydrophobic coatings for corrosion protection by electrodeposition: A comprehensive review. *Colloids and Surfaces A*, 607(125498).
- [8] Muarif, M. F., Yusuf, Y. & Agipa, A. I., 2024. FTIR, XRD, and SEM-EDX Characterization of Synthesized B-Type Carbonated Hydroxyapatite (CHAp) Based on Crab Shells. *Journal of Energy, Material, and Instrumentation Technology*, 5(1), pp. 35-42.
- [9] Nahuelcura, B. et al., 2024. Biodiesel Production from Waste Frying Oil (WFO) Using a Biomass Ash-Based Catalyst. *catalysts*, 14(553), pp. 1-15.
- [10] Nnaji, R. N., Bodude, M. A. & Esezobor, D. E., 2023. Electrolytic Co-deposition of Zn-ZnO and Zn-ZnO-CaCO₃ Composite Substrates on Low-Carbon Steel. *NIGERIAN JOURNAL OF TECHNOLOGICAL DEVELOPMENT*, 20(2), pp. 53-61.
- [11] Ou, X. et al., 2021. Review Article: Recent Development in X-Ray Imaging Technology: Future. *Research*, Issue 9892152, pp. 1-18.
- [12] Sandi, A. P., Suka, E. G. & Supriyatna, Y. I., 2017. Pengaruh Waktu Elektroplating Terhadap Laju Korosi Baja AISI 1020 Dalam Medium Korosif NaCl 3%. *JURNAL Teori dan Aplikasi Fisika*, 5(2), pp. 205-212.
- [13] Saputra, S. D. & Masugino, 2022. PENGARUH TEGANGAN LISTRIK (VOLT) PROSES ELECTROPLATING NIKEL TERHADAP KETAHANAN KOROSI DAN KEKERASAN LAPISAN PADA BAJA AISI 1010. *Journal of Mechanical Engineering Learning*, 11(2).
- [14] Setiawan, A. & Dipogusti, A., 2022. Effect of pack carburizing and viscosity of quenching media on AISI 1010 steel. *JEMME (Journal of Energy, Mechanical, Material, and Manufacturing Engineering)*, 7(1), pp. 9-20.
- [15] Vivi A., F. et al., 2025. Electrodeposited Zn and Zn-CaCO₃ composite on mild steel for biodiesel. *Results in Surfaces and Interfaces*.