

DOI: doi.org/10.21009/03.1201.FA33

PENGARUH PENAMBAHAN JENIS KERAMIK OKSIDA TERHADAP MORFOLOGI DAN KEKERASAN MAGNESIUM AZ31 DENGAN PROSES ELECTROPHORETIC DEPOSITION (EPD)

Syifa Ranggayoni Nurbaiti^{1, a)}, Bunga Rani Elvira^{2, b)}, Esmar Budi^{1, c)},
Yudi Nugraha Thaha^{2, d)}, Aprilia Erryani^{2, e)}

¹Program Studi Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Negeri Jakarta, Jl. Rawamangun Muka, Jakarta Timur 13220, Indonesia

²Research Center for Metallurgy, National Research and Inovation Agency, Kawasan Sains dan Teknologi – BRIN, KSTB.J. Habibie, Gedung Manajemen 72 Jl. Raya puspipetek Serpong Tangerang Selatan 15314, Indonesia.

Email: ^{a)}Syifaranggayoni08@gmail.com, ^{b)}bung002@brin.go.id, ^{c)}esmarbudi@unj.ac.id, ^{d)}yudi015@brin.go.id, ^{e)}april005@brin.go.id

Abstrak

Penelitian ini dilakukan dengan menggunakan metode *Electrophoretic Deposition* (EPD) selama 30 menit dengan suhu ruang pada substrat Magnesium AZ31 dengan arus 1A dan elektroda yang digunakan yaitu Platina (pt). Variasi kandungan keramik oksida yang digunakan sebagai pelapis yaitu $x = (\text{ZrO}_2)$; $(\text{ZrO}_2\text{-Na}_2\text{O}_7\text{Si}_3)$; $(\text{ZrO}_2\text{-Na}_2\text{O}_7\text{Si}_3\text{-Al}_2\text{O}_3)$. Karakterisasi dilakukan menggunakan Scanning Electron Microscopy (SEM) terlihat permukaan Mg AZ31 menunjukkan perubahan morfologi dengan ukuran aglomerat yang semakin besar seiring dengan bertambahnya jenis oksida yang ditambahkan. Uji *Electron Dispersive X-Ray Spectroscopy* menunjukkan massa Mg yang terdeteksi paling sedikit 66,4246 yaitu pada pelapis ZrO_2 . Mg AZ31 dengan senyawa $\text{ZrO}_2\text{-Na}_2\text{O}_7\text{Si}_3\text{-Al}_2\text{O}_3$ memiliki ketebalan yang paling tebal dengan rata-rata ketebalan 19,92 μm . Lalu hasil dari uji kekerasan menunjukkan sampel mengalami kerapuhan seiring dengan bertambahnya jumlah keramik oksida yang ditambahkan.

Kata-kata kunci: Deposisi Elektroforetik, Keramik oksida, Magnesium, Morfologi lapisan, kekerasan.

Abstract

This research was conducted using the *Electrophoretic Deposition* (EPD) method for 30 minutes at room temperature on a Magnesium AZ31 substrate with a current of 1A and the electrode used was Platinum (pt). Variations in the content of ceramic oxide used as a coating are $x = (\text{ZrO}_2)$; $(\text{ZrO}_2\text{-Na}_2\text{O}_7\text{Si}_3)$; $(\text{ZrO}_2\text{-Na}_2\text{O}_7\text{Si}_3\text{-Al}_2\text{O}_3)$. Furthermore, characterization was carried out using Scanning Electron Microscopy (SEM) and it was seen that the surface of Mg AZ31 showed morphological changes with increasing agglomerate sizes as the type of oxide added increased. Electron Dispersive X-Ray Spectroscopy test showed that the Mg mass detected was at least 66.4246, namely on the ZrO_2 coating. Mg AZ31 with $\text{ZrO}_2\text{-Na}_2\text{O}_7\text{Si}_3\text{-Al}_2\text{O}_3$ compounds had the thickest thickness with an average thickness of 19.92 μm . Then the results of the hardness test showed that the samples experienced brittleness as the amount of ceramic oxide added increased.

Keywords: Electrophoretic Deposition, Oxide ceramic, Magnesium, Coating morphology, Hardness.

PENDAHULUAN

Biomaterial digunakan dalam aplikasinya pada berbagai masalah penyakit tulang dan sendi, bahan implan telah berhasil dikembangkan dalam bidang teknologi yang ditujukan untuk menggantikan jaringan yang rusak. Bahan yang digunakan sebagai implan diharapkan tidak beracun dan tidak menimbulkan reaksi inflamasi atau alergi pada tubuh manusia. Secara umum, bahan biomedis berupa implan logam harus dikeluarkan selambat-lambatnya satu hingga dua tahun setelah operasi pertama [1]. Solusi untuk masalah ini membutuhkan pengembangan biomaterial baru. Beberapa komponen biomedis seperti implan memerlukan penggunaan material dengan sifat biokompatibel dan *biodegradable* sebagai solusinya, sehingga diperlukan pengembangan biomaterial baru yang dapat digunakan [2].

Biodegradabilitas magnesium (Mg) dan paduannya menunjukkan potensi besar dalam bidang biologi dan kedokteran, karena Mg merupakan elemen penting dalam tubuh manusia dan berpotensi sebagai implan *biodegradable* [3] dengan bobot yang unggul, rasio dan kemampuan pitching yang sangat baik. Magnesium dapat meningkatkan penyembuhan tulang dan pembentukan tulang [4]. Modulus elastisitas dan berat jenis magnesium dekat dengan tulang manusia dan mudah terdegradasi sementara jaringan sekitarnya yang rusak sembuh. Dan akhirnya, risiko infeksi dan pembedahan selanjutnya dapat dihindari [5].

Namun, perilaku korosi yang cepat sering diamati sebagai parameter kritis yang membatasi penggunaan paduan Mg sebagai implan [4]. Oleh karena itu, diperlukan pendekatan eksternal dimana permukaan paduan Mg dimodifikasi dengan proses pelapisan [6]. Lapisan superhidrofobik dapat mengurangi material kontak matriks dengan air dan melindungi dari pelepasan ion berbahaya dari material, sehingga lapisan superhidrofobik merupakan agen anti korosi yang efektif untuk paduan magnesium [7].

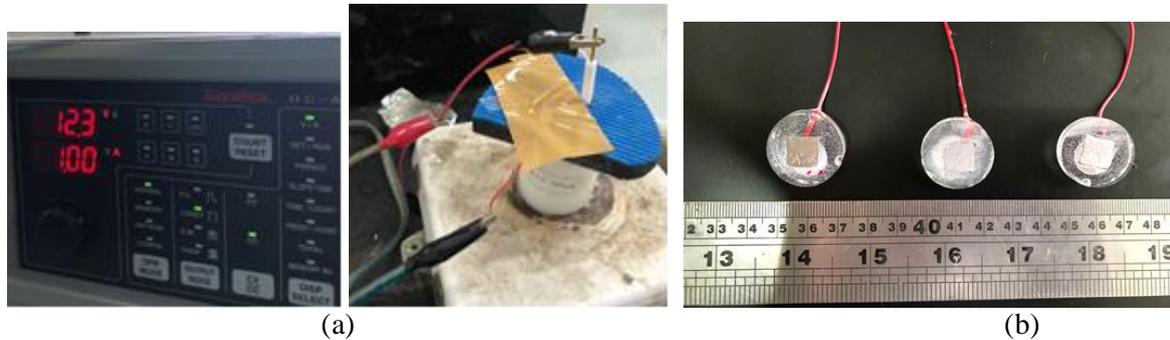
Pada penelitian ini metode *Electrophoretic Deposition* (EPD) memvariasikan komposisi senyawa dalam larutan elektrolit dengan senyawa keramik (ZrO_2); ($ZrO_2-Na_2O_7Si_3$); ($ZrO_2-Na_2O_7Si_3-Al_2O_3$). Penambahan zirkonium dapat merangsang osseointegrasi dan mencegah pertumbuhan bakteri pada tempat implantasi [8]. Natrium silikat cocok untuk mengembangkan lapisan anoda yang seragam dan padat [9]. Mobilitas partikel selama pengendapan dapat ditingkatkan dengan menambahkan aluminium oksida, yang mengarah ke densitas lapisan yang lebih homogen [10]. Variasi komposisi senyawa merupakan parameter yang harus dipertimbangkan untuk analisis, yang berkorelasi dengan morfologi permukaan lapisan.

Electrophoretic Deposition (EPD) memiliki beberapa keunggulan dibandingkan metode pelapisan lainnya, yaitu kemampuan menutupi material yang berbentuk kompleks, instrumentasi sederhana dan biaya terjangkau, serta menggunakan suhu kamar untuk menghindari kerusakan struktur kimia partikel pelapis [11]. EPD berprinsip pada pengendapan partikel bermuatan yang terdispersi dalam sistem suspensi karena pengaruh medan listrik [12]. Pengaruh senyawa keramik oksida yang digunakan pada proses EPD dapat dilihat berdasarkan morfologi, struktur dan ketebalan lapisan permukaan Mg AZ31 menggunakan SEM-EDS, nilai menggunakan *Vickers Hardness Test*.

METODOLOGI

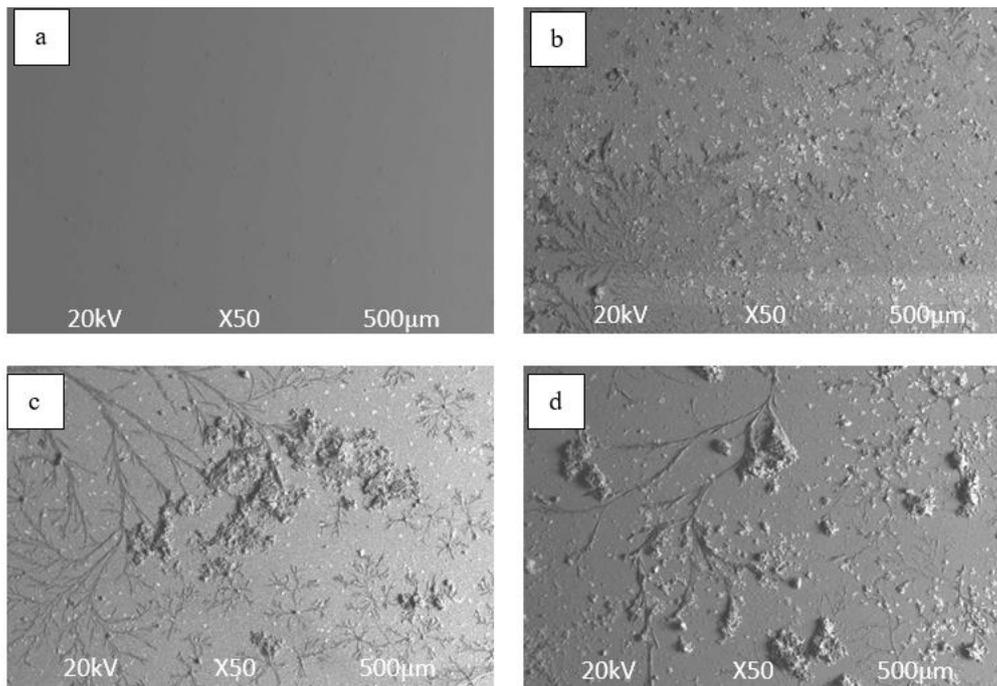
Substrat yang digunakan adalah Magnesium AZ31 sebagai anoda dengan luas permukaan uji yaitu 1cm dan Platina (Pt) sebagai katoda. Komposisi bahan larutan elektrolit pada ketiga variabel yaitu 4gr Na_2SiO_3 , 1,4gr KF, 1,4gr NaF, 1,4gr NaOH, 0,25gr Na_2HPO_4 . Dan setiap senyawa tambahan yaitu X: (1gr ZrO_2); (1gr $ZrO_2 + 1gr NaO_7Si_3$); (1gr $ZrO_2 + 1gr NaO_7Si_3 + 1gr Al_2O_3$) sebagai variabel. Semua bahan larutan elektrolit dicampurkan kedalam 200ml aquades kemudian diaduk menggunakan *magnetic stirrer* selama 6 jam, dengan tujuan untuk membuat larutan tercampur. Mg AZ31 dicetak menggunakan resin dan katalis lalu dihaluskan dengan amplas 800, 1200, 2000,3000, 5000 lalu dibersihkan menggunakan etanol. Setelah itu dipoles menggunakan kemet dengan seri 1/10, 1, 3, 6 dengan *polishing pad*. Substrat yang sudah mirror di steril menggunakan *ultrasonic cleaner*. Proses EPD dilakukan selama 30 menit dengan arus 1A menggunakan *Rectifier* disajikan dalam GAMBAR 1(a). Setelah Mg AZ31 terlapis oleh lapisan keramik oksida yang berbeda disajikan dalam GAMBAR 1(b) selanjutnya dilakukan karakterisasi

morfologi dan ketebalan permukaan dengan *Scanning Electron Microscope* dan *Electron Dispersive X-Ray Spectroscopy*. Lalu dilakukan *Vickers Hardness Test* untuk memvalidasi analisis karakteristik sebelumnya dengan mengetahui nilai kekerasan dari lapisan yang terbentuk setelah diberi beban 0,3N selama 8 detik.



GAMBAR 1. (a) Proses Electrophoretic Deposition pada substrat Mg AZ31 (b) Substrat setelah dilapisi

HASIL DAN PEMBAHASAN



GAMBAR 2. Morfologi lapisan oksidasi Mg AZ31 (a) MgAZ31 tanpa perlakuan (b) Mg AZ31 dengan pelapis ZrO₂ (c) Mg AZ31 dengan pelapis ZrO₂-Na₂O₇Si₃ (d) Mg AZ31 dengan pelapis ZrO₂-Na₂O₇Si₃-Al₂O₃.

Pengujian SEM dilakukan untuk mengetahui struktur morfologi pada sampel sehingga dapat diketahui persebaran dan ukuran partikel permukaan yang diperoleh dari proses *Electrophoretic Deposition* sehingga didapatkan kekasaran pada permukaan Mg AZ31. Dapat dibandingkan permukaan MgAZ31 sebelum *coating* (GAMBAR 2 (a)) dengan permukaan MgAZ31 sesudah *coating* (GAMBAR 2 (b), (c), (d)) terlihat telah terjadi perubahan pada morfologi permukaan material Magnesium (Mg) setelah dilakukan *coating*, hal tersebut menunjukkan *coating* berhasil dilakukan. Permukaan yang halus menjadi terlapisi dengan partikel yang beraglomerasi, dengan aglomerat yang semakin besar. Metode *electrophoretic deposition* menyebabkan molekul yang terdapat dari larutan elektrolit menempel pada magnesium, sehingga permukaan magnesium terlapisi oleh lapisan kasar dengan aglomerat yang tidak homogen.

Pada GAMBAR 2 (b), (c), (d) dapat dibandingkan satu sama lain memiliki ukuran butiran yang tidak sama. Hal itu disebabkan karena pengaruh senyawa elektrolit yang berbeda. Diketahui bahwa setiap perbedaan yang dilakukan pada saat proses *Electrophoretic Deposition* berlangsung, akan menghasilkan bentuk dari lapisan oksida yang berbeda pula.

Bentuk kluster aglomerasi dan serabut berbentuk akar mengalami kenaikan pada ukuran aglomerat yang menempel beriringan dengan penambahan senyawa larutan pelapis yang menyebabkan semakin besar energi termal yang diterima. Hal tersebut berpengaruh pada tingkat kekasaran pada permukaan. Semakin kecil ukuran partikel maka tingkat kekasarannya semakin tinggi sehingga sifat hidrofobiknya semakin baik dan laju korosi pun ikut menurun [13]. Pada GAMBAR 2. (d) terlihat permukaan Mg memiliki ukuran partikel yang lebih besar. Hal tersebut disebabkan oleh banyaknya partikel yang mengalami aglomerasi sehingga partikel menjadi lebih besar, sehingga sifat hidrofobik pada sampel ini menurun [13].

Berdasarkan hasil *Electron Dispersive X-Ray Spectroscopy* (EDS) yang didapatkan, terlihat komposisi dari senyawa yang menempel pada permukaan, hal ini dapat memperkuat analisis SEM diatas.

TABEL 1. Komposisi senyawa yang menempel pada lapisan oksida Mg AZ31

	Variabel Senyawa Coating		
	Persentase Unsur (%mass)		
	ZrO ₂	ZrO ₂ dan Na ₂ O ₇ Si ₃	ZrO ₂ dan Na ₂ O ₇ Si ₃ dan Al ₂ O ₃
O K	14,2403	15,9852	10,507
Na K	10,1392	8,8674	7,9302
Mg K	66,4246	68,125	74,7836
Al K*	2,054	2,1391	2,5868
Si K	1,2955	0	0
K K	1,412	1,9516	1,2018
Zn K*	1,2293	1,011	1,314
Zr L	3,2051	1,9207	1,6766
Total	100	100	100

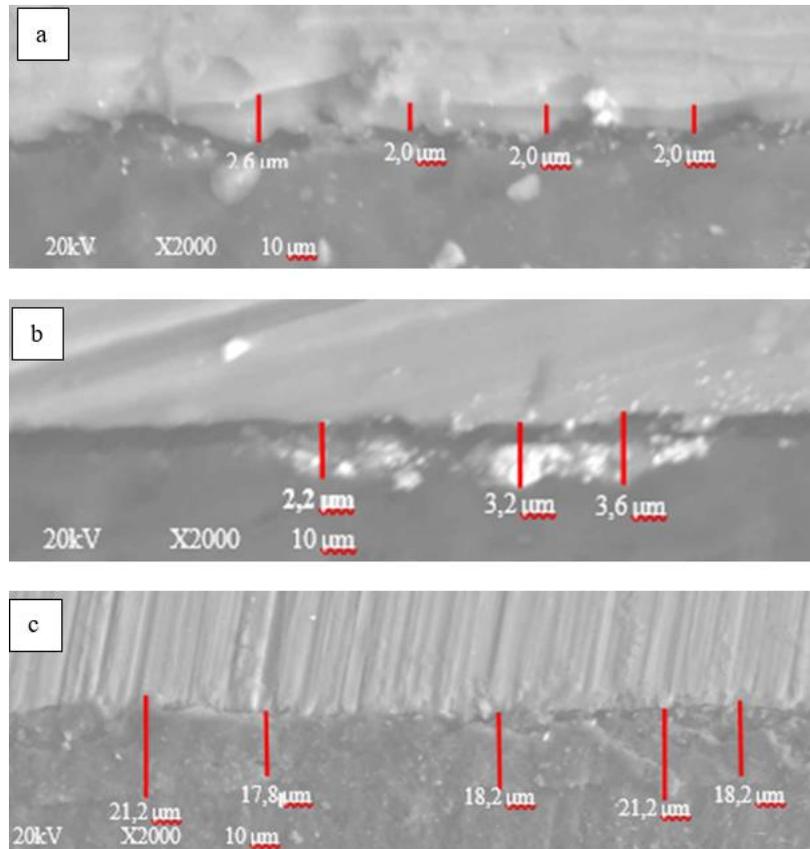
Berdasarkan TABEL 1, unsur Zr terdeteksi pada semua lapisan dan mengalami penurunan seiring dengan ditambahkan senyawa lain dalam larutan elektrolit. Pada Mg yang menggunakan senyawa pelapis ZrO₂ saja didapatkan nilai Zr yang lebih banyak, Hal ini disebabkan oleh semakin besar viskositas (kekentalan) larutan yang digunakan maka akan semakin sulit suatu fluida untuk mengalir dan juga menunjukkan semakin sulit suatu benda/partikel bergerak dalam cairan tersebut, sehingga dapat menghalangi proses pengendapan lapisan oleh ion-ion yang menyebabkan menurunnya komposisi unsur Zr pada sampel lain [14]. Dapat terlihat unsur Mg yang terbaca oleh EDS seiring bertambahnya senyawa maka semakin tinggi massa Mg yang didapat, menunjukkan bahwa pelapis yang hanya menggunakan senyawa elektrolit ZrO₂ lebih melapisi Mg. Hal tersebut dapat memperkuat analisis bahwa ukuran partikel yang lebih kecil memberikan lapisan keras yang lebih baik.

Pada GAMBAR 2 morfologi lapisan menunjukkan terdapat bentuk seperti serabut akar, berdasarkan mapping yang didapatkan oleh nilai EDS serabut akar tersebut ialah bentuk dari oksigen yang mengikat natrium dan menempel pada anoda. Oleh sebab itu, semakin banyak massa natrium dalam larutan maka semakin bertambah pula massa oksigen yang mengikat natrium dan menempel. Pada sampel dengan pelapis ZrO₂-Na₂O₇Si₃-Al₂O₃ menggunakan senyawa oksigen lebih banyak, namun persaingan antara unsur natrium dengan unsur lain semakin besar untuk menempel pada permukaan. Sehingga berkurangnya unsur Na dan O yang menempel pada permukaan sampel.

Unsur Al yang terdeteksi pada semua lapisan menunjukkan Al yang berupa substrat Mg AZ31, mengingat komposisi Mg AZ31 ialah 2,89 Al, 0,92 Zn, 0,05 Mn, 0,01 Si, 0,004 Fe, 0,002 Cu, 0,001

Ni dan Mg balance [15]. Dan terjadi peningkatan jumlah massa Al pada lapisan dengan senyawa pelapis $ZrO_2-Na_2O_7Si_3-Al_2O_3$.

Untuk memperkuat analisis diatas dilakukan pengujian *Scanning Electron Microscope* penampang melintang untuk mengetahui ketebalan yang dimiliki oleh lapisan.



GAMBAR 3. Ketebalan lapisan oksidasi Mg AZ31 (a) Mg AZ31 dengan pelapis ZrO_2 (b) Mg AZ31 dengan pelapis $ZrO_2-Na_2O_7Si_3$ (c) Mg AZ31 dengan pelapis $ZrO_2-Na_2O_7Si_3-Al_2O_3$

Berdasarkan hasil karakterisasi ketebalan lapisan. Diketahui bahwa pada kondisi larutan suspensi Electrophoretic Deposition yang bervariasi, maka akan menghasilkan ketebalan lapisan yang berbeda. Jumlah skala yang digunakan pada alat SEM untuk melihat morfologi lapisan adalah $10 \mu m$ dengan perbesaran 2000x. Merujuk pada GAMBAR 3 didapatkan rata rata ketebalan lapisan masing-masing (a) 2,15 mikronmeter (b) 3 mikronmeter dan (c) 19,32 mikronmeter.

Pada lapisan dengan unsur pelapis (ZrO_2) dan ($ZrO_2-Na_2O_7Si_3$) dimana larutan tersebut tidak menggunakan senyawa Al_2O_3 hanya terdeteksi ketebalan pada butiran yang menempel saja, tidak terlihat ketebalan pada seluruh permukaan sampel seperti yang terlihat pada lapisan dengan unsur pelapis ($ZrO_2-Na_2O_7Si_3-Al_2O_3$). Hal tersebut dikarenakan, alumina dapat menyebabkan pembentukan struktur yang kompleks dengan skala oksida yang tebal dan berpori [16]. Hal itu dapat divalidasi oleh hasil mapping EDS yang dilakukan bahwa tidak terdeteksi partikel Al yang mengalami aglomerasi.

Selain ukuran partikel yang menempel sampel dengan menggunakan pelapis ($ZrO_2-Na_2O_7Si_3-Al_2O_3$) juga memiliki nilai ketebalan paling tinggi. Dikarenakan Al_2O_3 didalam larutan dapat meningkatkan mobilitas partikel saat pengendapan sehingga diperoleh densitas lapisan yang lebih homogen dan mudah membaur membentuk lapisan [10].

Selanjutnya, dilakukan *Vickers Hardness Test* untuk mengetahui nilai kekerasan lapisan oksida yang terbentuk pada semua pelapis dengan unsur pelapis yang berbeda.



GAMBAR 4. Hubungan perbedaan campuran senyawa pelapis yang digunakan terhadap nilai kekerasan lapisan oksida yang terbentuk

Elektrolit yang digunakan dalam proses *coating* pada substrat MgAZ31 akan mempengaruhi kekerasan lapisan [17]. Pada gambar diatas menunjukkan pengaruh larutan elektrolit pada kekerasan lapisan oksida. Larutan elektrolit secara signifikan mempengaruhi kekerasan deposit. Nilai kekerasan lapisan oksida tertinggi terdapat pada lapisan yang hanya menggunakan ZrO₂. Terlihat bahwa lapisan yang menggunakan larutan ZrO₂ saja mendapatkan hasil kekerasan yang optimum, dan dapat dianalisa bahwa hubungan antara kekerasan dan penambahan campuran senyawa pelapis pada lapisan oksida berbanding terbalik.

Pada larutan yang menggunakan ZrO₂ dengan ketebalan lapisan 2,15 mikronmeter didapatkan nilai kekerasan sebesar 82,86 HV. Setelah larutan ZrO₂ ditambahkan dengan senyawa Na₂O₇Si₃ nilai kekerasan yang didapatkan menurun yaitu dengan jumlah 78,44 HV dengan nilai ketebalan lapisan 3 mikronmeter. Kemudian pada larutan (ZrO₂-Na₂O₇Si₃-Al₂O₃) kekerasan lapisan oksida mengalami penurunan drastis yaitu 74,18 HV dengan nilai ketebalan lapisan 19,32 mikronmeter. Hal ini disebabkan karena terlalu banyaknya campuran senyawa yang saling berdorongan menuju anoda atau melebihi batas optimum, maka terjadi lapisan oksida menjadi rapuh atau *brittle* [18].

SIMPULAN

Pembentukan lapisan oksida menggunakan metode *Electrophoretic Deposition* selama 30 menit dengan arus 1A berhasil dilakukan. Morfologi yang memiliki permukaan kasar dengan ukuran aglomerat paling kecil dimiliki oleh lapisan dengan senyawa pelapis ZrO₂, hal ini menandakan pelapis tersebut lebih baik. Selanjutnya komposisi EDS pada lapisan dengan senyawa pelapis ZrO₂ memiliki nilai massa Zr lebih tinggi dan massa Mg lebih rendah, menunjukkan bahwa Mg lebih terlapisi. Namun, pada uji ketebalan didapatkan lapisan dengan unsur pelapis (ZrO₂-Na₂O₇Si₃-Al₂O₃) memiliki nilai ketebalan yang paling tinggi. *Vickers Hardness Test* menunjukkan Mg dengan unsur pelapis yang lebih banyak akan mengalami *brittle*, menandakan ketebalan lapisan tidak mempengaruhi tingkat kekerasan lapisan.

UCAPAN TERIMAKASIH

Ucapan terimakasih ditujukan kepada semua pihak yang telah membantu dalam penelitian ini, yaitu Ibu Aprilia Erryani selaku pembimbing dari Pusat Riset Material dan Metalurgi, BRIN dan Bapak Esmar Budi selaku pembimbing dari Program Studi Fisika UNJ, serta teman-teman Fisika Murni UNJ 2019.

REFERENSI

- [1] V. Tsakiris, C. Tardei, F. M. Clincinschi, "Biodegradable Mg alloys for orthopedic implants—a review," *Journal of Magnesium and Alloys*, pp. 1884-1905, 2021, doi: <https://doi.org/10.1016/j.jma.2021.06.024>.

- [2] A. Erryani, "Pengaruh Penambahan Magnesium terhadap Sifat Mekanik, Mikrostruktur dan Electrochemical Impedance Spectroscopy Polimer PLA/ABS untuk Material Implan Bioabsorbabel," *Metalurgi*, vol. 3, no. 3, pp. 89-98, 2020, <http://dx.doi.org/10.14203/metalurgi.v3i3.567>.
- [3] Agus Dewi Putra, Mojibar Rohman, Mochamad Sulaiman, "Simulasi Pengaruh Waktu dan Gerak Terhadap Desain Implan Sendi Pinggul," *Jurnal Pendidikan Teknik Mesin UNDIKSHA*, vol. 9, no. 1, 2021, DOI: <https://doi.org/10.23887/jptm.v9i1.28885>.
- [4] Q. Zhang, H. Zhang, "Corrosion resistance and mechanism of micro-nano structure super-hydrophobic surface prepared by laser etching combined with coating process," *Anti-Corrosion Methods and Materials*, vol. 66, no. 3, pp. 264-273, 2019, <https://doi.org/10.1108/ACMM-07-2018-1964>.
- [5] Gavish Uppal *et al.*, "Magnesium based implants for functional bone tissue regeneration – A review," *Jurnal of Magnesium and alloys*, vol. 10, pp. 356-386, 2022, <https://doi.org/10.1016/j.jma.2021.08.017>.
- [6] Asoh, S. Ono, "Enhanced uniformity of apatite coating on a PEO film formed on AZ31 Mg alloy by an alkali pretreatment," *Surface and Coatings Technology*, vol. 272, pp. 182-189, 2015, <https://doi.org/10.1016/j.surfcoat.2015.04.007>.
- [7] Jiao Xie *et al.*, "Facile fabrication and biological properties of super-hydrophobic coating on magnesium alloy used as potential implant materials," *Surface and Coatings Technology*, vol. 384, 2020, <https://doi.org/10.1016/j.surfcoat.2019.125223>.
- [8] F. H. Shünemann, "Zirkonia Surface Modifications for Implan Dentistry," *Journal of Materials Science & Engineering*, vol. 98, pp. 1294-1305, 2019, <https://doi.org/10.1016/j.msec.2019.01.062>.
- [9] Solihudin Sirojudin, Atiek Rostika Noviyanti, "Pengaruh konsentrasi Natrium Silikat Terhadap Laju Korosi Paduan Aluminium dalam Lingkungan Natrium Klorida 3,5%," *ALCHEMY Jurnal Penelitian Kimia*, vol. 16, no. 2, pp. 218-226, 2020, DOI: 10.20961/alchemy.16.2.40927.218-226.
- [10] Laila Awalia Saummi, "Karakterisasi sistem lapisan keramik ysz dengan penambahan doping Al₂O₃," *Skripsi Universitas Islam Negeri Syarif Hidayatullah Jakarta*, 2020, <http://repository.uinjkt.ac.id/dspace/handle/123456789/53029>
- [11] E. Budi *et al.*, "Effect of Temperature on Electrodeposited Nickel Nitride Composite Coatings," *Journal of Physics: Conference Series*, vol. 1428, no. 1, 2020, <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1428/1/012015>.
- [12] Wiwik Dwi Pratiwi, Ratna Budiawati, "Pelapisan Alumina pada Stainless Steel dengan Teknik Electrophoretic Deposition: Pengaruh Rapat Arus," *Seminar Nasional Maritin, Sains dan Teknologi Terapan*, vol. 1, pp. 2548-1509, 2016.
- [13] Aprilya Hartinah Wardani, Mochammad Zainuri, "Pengaruh Variasi Massa SiO₂ Terhadap Sudut Kontak dan Tranparansi Pada Lapisan Hydrophobic," *JURNAL SAINS DAN SENI ITS*, vol. 7, no. 2, pp. 2337-3520, 2018, <http://dx.doi.org/10.12962/j23373520.v7i2.34769>.
- [14] Muhammad Ridwan Harahap, "Elektroforesis: Analisis Elektronika Terhadap Biokimia Genetika," *CIRCUIT Jurnal Ilmiah Pendidikan Teknik ELEktro*, vol. 2, no. 1, 2018. <http://dx.doi.org/10.22373/crc.v2i1.3248>.
- [15] Daniel Kajanék, "Corrosion Degradation of AZ31 Magnesium Alloy Coated by Plasma Electrolytic Oxidation," *Prosedur Penelitian Transportasi*, vol. 40, pp. 51-58, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.trpro.2019.07.010>.

- [16] E. Sugiarti *et al.*, "Influence of oxidation temperature on the oxide scale formation of NiCoCrAl coatings," *Journal of Physics: Conference Series*, vol. 817, no. 1, p. 012067, 2017, DOI 10.1088/1742-6596/817/1/012067.
- [17] Maman Kartaman Ajiriyanto, Anawati Anawati, "Kajian Literatur Karakteristik Lapisan Keramik Oksida yang Ditumbuhkan Diatas Paduan Zirkonium Dengan Metode Plasma Electrolytic Oxidation," *Indonesian Journal of Applied Physics (IJAP)*, vol. 12, no. 1, p. 19, 2022, DOI : <https://doi.org/10.13057/ijap.v12i1.49853>.
- [18] Y. Yetri *et al.*, "Pengaruh Waktu dan Temperatur Larutan Terhadap Ketebalan dan Kekerasan Permukaan Lapisan Hasil Elektroplating Kuningan pada Baja," *Manutech: Jurnal Teknologi Manufaktur*, vol. 12, no. 1, pp. 55-63, 2020, <https://doi.org/10.33504/manutech.v12i01.131>.