

**PENGARUH VARIASI PH ELEKTROLIT DAN TEGANGAN KOMBINASI AC-
DC TERHADAP PERTUMBUHAN HIDROKSIAPATIT DI PERMUKAAN
STAINLESS STEEL 316L DENGAN METODE *ELECTROCHEMICAL*
DEPOSITION UNTUK APLIKASI IMPLAN ORTOPEDI**

SKRIPSI

Diajukan untuk memenuhi salah satu syarat memperoleh gelar Sarjana Sains
Program Studi Fisika Kelompok Bidang Kajian Fisika Material



Oleh

Maymunah Zilallah

2000733

PROGRAM STUDI FISIKA

FAKULTAS PENDIDIKAN MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN

ALAM

UNIVERSITAS PENDIDIKAN INDONESIA

2024

**PENGARUH VARIASI PH ELEKTROLIT DAN TEGANGAN
KOMBINASI AC-DC TERHADAP PERTUMBUHAN
HIDROKSIPATIT DI PERMUKAAN *STAINLESS STEEL*
316L DENGAN METODE *ELECTROCHEMICAL DEPOSITION*
UNTUK APLIKASI IMPLAN ORTOPEDI**

Oleh
Maymunah Zilallah

Sebuah skripsi yang diajukan untuk memenuhi salah satu syarat memperoleh gelar
Sarjana Fisika pada Fakultas Pendidikan Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam

© Maymunah Zilallah 2024
Universitas Pendidikan Indonesia
September 2024

Hak Cipta dilindungi undang-undang.
Skripsi ini tidak boleh diperbanyak seluruhnya atau sebagian,
dengan dicetak ulang, difoto kopi, atau cara lainnya tanpa ijin dari penulis.

LEMBAR PENGESAHAN

**PENGARUH VARIASI PH ELEKTROLIT DAN TEGANGAN
KOMBINASI AC-DC TERHADAP PERTUMBUHAN HIDROKSIAPATIT
DI PERMUKAAN *STAINLESS STEEL 316L* DENGAN METODE
ELECTROCHEMICAL DEPOSITION UNTUK APLIKASI IMPLAN
ORTOPEDI**

Disusun oleh:

Maymunah Zilallah

NIM. 2000733

Disetujui dan disahkan oleh:

Pembimbing I



Prof. Dr. Lilik Hasanah, M.Si.
NIP. 197706162001122002

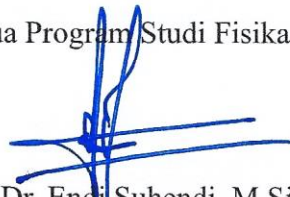
Pembimbing II

 **TT ELEKTRONIK**
BRIN

Dr.-Ing. Prabowo Puranto, S.Si., M.Si.
NIP. 198103122006041002

Mengetahui

Ketua Program Studi Fisika



Prof. Dr. Endi Suhendi, M.Si.
NIP. 197905012003121001



Dokumen ini ditandatangani
secara elektronik menggunakan
sertifikat dari BSR-E, silahkan
lakukan verifikasi pada dokumen
elektronik yang dapat diunduh
dengan melakukan scan QR Code

LEMBAR PERNYATAAN

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Maymunah Zilallah

NIM : 2000733

Departemen/Program Studi : Pendidikan Fisika/Fisika

Dengan ini menyatakan bahwa bahwa skripsi dengan judul "Pengaruh Variasi pH Elektrolit dan Tegangan Kombinasi AC-DC terhadap Pertumbuhan Hidroksiapatit di Permukaan *Stainless Steel 316 L* dengan Metode *Electrochemical Deposition* untuk Aplikasi Implan Ortopedi" ini beserta seluruh isinya adalah benar-benar karya saya sendiri. Saya tidak melakukan penjiplakan atau pengutipan dengan cara-cara yang tidak sesuai dengan etika ilmu yang berlaku dalam masyarakat keilmuan. Atas pernyataan ini, saya siap menanggung risiko/sanksi apabila di kemudian hari ditemukan adanya pelanggaran etika keilmuan atau ada klaim dari pihak lain terhadap keaslian karya saya ini.

Bandung, 6 Agustus 2024

Yang menyatakan,



MAYMUNAH ZILALLAH

2000733

KATA PENGANTAR

Alhamdulillah rabbil ‘alamin, puji dan syukur penulis panjatkan kehadiran Allah SWT, karena atas segala rahmat serta karunia-Nya, penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul “Pengaruh Variasi pH Elektrolit dan Tegangan Kombinasi AC-DC terhadap Pertumbuhan Hidroksiapatit di Permukaan *Stainless Steel* 316 L dengan Metode *Electrochemical Deposition* untuk Aplikasi Implan Ortopedi” sebagai salah satu persyaratan untuk memperoleh gelar Sarjana Sains (S.Si) di bidang Fisika. Penulis menyadari bahwa dalam skripsi ini masih banyak terdapat kekurangan, sehingga kritik dan saran yang membangun sangat penulis harapkan. Penulis berharap skripsi ini bermanfaat khususnya bagi penulis, dan pembaca.

Bandung, 6 Agustus 2024

Maymunah Zilallah

UCAPAN TERIMA KASIH

Proses penyusunan skripsi ini tidak lepas dari bantuan dan bimbingan dari berbagai pihak. Oleh karena itu penulis mengucapkan terima kasih kepada:

1. Ibu Prof. Dr. Lilik Hasanah, M.Si., selaku dosen pembimbing I.
2. Bapak Dr.-Ing. Prabowo Puranto, M.Si., selaku dosen pembimbing II.
3. Bapak Dr. Eng. Muhammad Kozin, S.T., M.Si., selaku Kepala Kelompok Riset Teknologi Permukaan dan Pelapisan (KR-TPP) beserta seluruh pembimbing lapang di Kelompok Riset Teknologi Permukaan dan Pelapisan, Pusat Riset Material Maju (PRMM-BRIN) atas segala bimbingan dan arahnya selama kegiatan MBKM serta penyusunan skripsi.
4. Dr. Kusuma Putri Suwondo, M.Si., selaku *Postdoctoral Researcher* di Kelompok Riset Teknologi Permukaan dan Pelapisan, Pusat Riset Material Maju (PRMM-BRIN) atas segala bimbingan, arahan, dan bantuan selama pelaksanaan MBKM serta penelitian untuk Tugas Akhir.
5. Bapak Prof. Dr. Endi Suhendi, M.Si., selaku Ketua Program Studi S1 Fisika, Departemen Pendidikan Fisika, FPMIPA, Universitas Pendidikan Indonesia.
6. Seluruh dosen dan tenaga kependidikan Program Studi Fisika yang telah mengajar dan membimbing selama perkuliahan.
7. Teman-teman satu riset di KR-TPP yang selalu memberi dukungan dan masukan serta teman-teman Fisika C 2020 yang kebersamaan selama proses perkuliahan.
8. Orang tua dan keluarga besar yang luar biasa memberikan dukungan, motivasi, dan doa selama pengerjaan dan penulisan skripsi.
9. Semua pihak lain, yang tidak dapat penulis sebutkan satu-persatu disini.

Semoga Allah SWT memberikan balasan berlipat atas bantuan dan dukungan yang telah diberikan.

**PENGARUH VARIASI PH ELEKTROLIT DAN TEGANGAN
KOMBINASI AC-DC TERHADAP PERTUMBUHAN HIDROKSIAPATIT
DI PERMUKAAN *STAINLESS STEEL* 316L DENGAN METODE
ELECTROCHEMICAL DEPOSITION UNTUK APLIKASI IMPLAN
ORTOPEDI**

ABSTRAK

Pelapisan hidroksiapatit (HA) pada *stainless steel 316L* (SS 316L) dengan metode *electrochemical deposition* (ECD) dapat menghasilkan kombinasi karakteristik mekanik, biokompatibilitas, dan oseointegritas yang ideal untuk aplikasi implan ortopedi. Namun, reaksi elektrolisis air dalam proses ECD menghasilkan gelembung gas hidrogen (H₂) yang menghambat deposisi HA, sehingga lapisan yang terbentuk tidak homogen dan memiliki kekuatan adhesi yang rendah dengan substrat SS 316L. Berdasarkan permasalahan tersebut, penelitian ini mengusulkan penggunaan tegangan kombinasi AC-DC untuk mereduksi dampak negatif dari gelembung gas H₂. Penelitian ini memiliki tujuan utama untuk menganalisis pengaruh tegangan kombinasi AC-DC dan variasi pH elektrolit ECD terhadap karakteristik lapisan HA pada permukaan SS 316L. ECD dilakukan pada temperatur 70 °C selama 60 menit dengan tiga variasi pH, yakni pH 4, pH 6, dan pH 9, serta dua variasi tegangan, yakni kombinasi tegangan AC 1,3 V dan tegangan DC 1,3 V, serta kombinasi tegangan AC 2,5 V dan tegangan DC 2,5 V dengan frekuensi 60 Hz. Beberapa karakterisasi dilakukan menggunakan XRD, FE-SEM EDX, dan uji korosi. Hasil penelitian menunjukkan bahwa penggunaan tegangan kombinasi AC-DC berhasil meningkatkan homogenitas lapisan HA dibandingkan dengan penggunaan tegangan DC. Selain itu, variasi pH elektrolit berpengaruh secara signifikan terhadap morfologi HA, dimana pH 4 dan pH 6 yang lebih rendah menghasilkan bentuk morfologi *plate-like* yang menunjukkan pertumbuhan kristal dominan di sepanjang bidang-ab, sedangkan pH 9 yang lebih tinggi menghasilkan bentuk morfologi *needle-like* yang mengindikasikan pertumbuhan kristal dominan di sepanjang bidang-c. Adapun hasil yang optimal tercapai pada variasi tegangan 2,5 V pH 9 dengan ketahanan korosi terbaik (66,92 mmpy).

Kata kunci: Tegangan kombinasi AC-DC, pH elektrolit, ECD, Hidroksiapatit, SS 316L.

**THE EFFECT OF ELECTROLYTE PH VARIATION AND AC-DC
COMBINATION VOLTAGE ON HYDROXYAPATITE GROWTH ON
STAINLESS STEEL 316L SURFACE USING ELECTROCHEMICAL
DEPOSITION FOR ORTHOPEDIC IMPLANT APPLICATION**

ABSTRACT

Hydroxyapatite (HA) coating on stainless steel 316L (SS 316L) using electrochemical deposition (ECD) can yield a superior combination of mechanical properties, biocompatibility, and osseointegrity for orthopedic implant applications. However, the water electrolysis reaction in ECD generates hydrogen gas bubbles (H_2) that hinder HA deposition, resulting in inhomogeneous layer with low adhesion to the SS 316L substrate. This study proposes ECD with AC-DC combination voltage to mitigate the negative effects of H_2 bubbles. The goal of this research is to investigate the influence of AC-DC voltage and electrolyte pH on the characteristics of HA layer formed with ECD. ECD was performed at 70 °C for 60 minutes with three pH variations; pH 4, pH 6, and pH 9, as well as two voltage variations; a combination of AC voltage 1.3 and DC voltage 1.3V, and a combination of AC voltage 2.5V and DC voltage 2.5V at a frequency of 60 Hz. XRD, FE-SEM, EDX, and corrosion tests were used to perform various characterizations. The results revealed that the use of AC-DC voltage successfully increased the homogeneity of the HA layer compared to the use of DC voltage. Furthermore, electrolyte pH has a significant impact on the HA morphology. HA with pH 4 and 6 displayed a plate-like morphology, indicating dominant crystal growth along the ab-plane, while HA with pH 9 displayed a needle-like morphology, indicating dominant crystal growth along the c-plane. The best corrosion resistance with a 66.92 mmpy corrosion rate was obtained at the variation of 2.5V pH 9.

Keywords: AC-DC combination voltage, electrolyte pH, ECD, Hydroxyapatite, SS 316L.

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN	ii
LEMBAR PERNYATAAN	iii
KATA PENGANTAR.....	iv
UCAPAN TERIMA KASIH	v
ABSTRAK	vi
DAFTAR ISI.....	viii
DAFTAR GAMBAR.....	x
DAFTAR TABEL.....	xi
DAFTAR LAMPIRAN	xii
DAFTAR PUSTAKA.....	xiii
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah.....	4
1.3 Tujuan Penelitian	4
1.4 Manfaat Penelitian	4
1.5 Sistematika Penulisan	5
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	6
2.1 Implan Ortopedi.....	6
2.2 SS 316L sebagai Material Implan.....	6
2.3 Hidrokisapatit (HA).....	7
2.4 <i>Electrochemical Deposition</i>	9
2.5 Penggunaan Tegangan DC dalam Proses ECD	12
2.6 Penggunaan Tegangan Kombinasi AC-DC dalam Proses ECD.....	13
2.7 Prinsip Kerja Alat Karakterisasi	14

2.7.1 X-Ray Diffractometer (XRD)	14
2.7.2 Field Emission Scanning Electron Microscope (FE-SEM).....	16
2.7.3 Pengujian Korosi	17
BAB III METODOLOGI PENELITIAN	19
3.1 Metode Penelitian	19
3.2 Tempat dan Waktu Penelitian.....	19
3.3 Alat dan Bahan	19
3.4 Prosedur Penelitian	19
3.4.1. Preparasi Sampel	20
3.4.2. Proses <i>Acid Etching</i>	21
3.4.3. Proses ECD dan <i>Annealing</i>	21
3.4.4. Karakterisasi dan Pengujian	22
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	24
4.1 ECD dengan Metode Tegangan DC Konstan.....	24
4.2 ECD dengan Metode Tegangan DC <i>Ramp</i>	24
4.3 ECD dengan Metode Tegangan Kombinasi AC-DC.....	26
4.4.1 Analisis Morfologi dengan FE-SEM.....	28
4.4.2 Analisis Komposisi dengan EDX	31
4.4.3 Karakterisasi Senyawa dengan XRD.....	33
4.4.4 Uji Korosi	37
BAB V PENUTUP.....	40
5.1 Kesimpulan.....	40
5.2 Implikasi	41
5.3 Rekomendasi.....	41
LAMPIRAN.....	42

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Struktur molekul HA	8
Gambar 2.2 Ilustrasi sistem kristal heksagonal HA (Dev et al., 2022)	9
Gambar 2.3 Ilustrasi skema proses ECD (Drevet & Benhayoune, 2022)	10
Gambar 2.4 Ilustrasi skema distorsi lapisan ganda akibat adanya gelembung gas H_2 yang menempel (Drevet & Benhayoune, 2022).....	12
Gambar 2.5 Ilustrasi grafik tegangan kombinasi AC-DC unipolar dan bipolar	14
Gambar 2.6 Hukum difraksi Bragg (Agus et al., 2012)	11
Gambar 2.7 Kurva polarisasi	18
Gambar 3.1 Diagram alir penelitian	20
Gambar 4.1 Morfologi permukaan lapisan HA pada tegangan 1,3 V dengan pH elektrolit yang berbeda	18
Gambar 4.2 Morfologi permukaan lapisan HA pada tegangan 2,5 V dengan pH elektrolit yang berbeda	20
Gambar 4.3 Grafik analisis EDX rasio stoikiometri komponen Ca dan P	32
Gambar 4.4 Hasil karakterisasi XRD	34
Gambar 4.5 Ilustrasi pengaruh pH elektrolit terhadap nukleasi dan pertumbuhan lapisan kalsium fosfat dalam proses ECD (Puranto et al., 2024)	35
Gambar 4.6 Kurva polarisasi SS 316L murni dan SS 316L yang dilapisi HA dengan variasi tegangan dan kadar pH larutan yang berbeda	37

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Komposisi Kimia SS 316L (Blanda et al., 2016)	7
Tabel 2.2 Fase kalsium fosfat yang dihasilkan dari proses ECD (Drevet & Benhayoune, 2022).....	11
Tabel 4.1 Penampakan visual sampel SS 316L yang dilapisi HA dengan metode tegangan DC konstan	24
Tabel 4.2 Penampakan visual sampel SS 316L yang dilapisi HA dengan metode tegangan DC <i>ramp</i>	25
Tabel 4.3 Penampakan visual sampel SS 316L yang dilapisi HA dengan metode tegangan kombinasi AC-DC unipolar dan bipolar	26
Tabel 4.4 Penampakan visual sampel SS 316L yang dilapisi HA dengan variasi tegangan ECD dan pH elektrolit yang berbeda.....	27
Tabel 4.5 Analisis EDX komposisi unsur SS 316L terlapisi HA.....	31
Tabel 4.6 Analisis EDX rasio stoikiometri komponen Ca dan P	31
Tabel 4.7 Hasil uji korosi sampel dalam larutan SBF	37

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1 Hasil Karakterisasi FE-SEM dan EDX.....	46
Lampiran 2 Hasil Karakterisasi XRD	50
Lampiran 3 Hasil Uji Korosi	57

DAFTAR PUSTAKA

- Al-Shalawi, F. D., Mohamed Ariff, A. H., Jung, D. W., Mohd Ariffin, M. K. A., Seng Kim, C. L., Brabazon, D., & Al-Osaimi, M. O. (2023). Biomaterials as Implants in the Orthopedic Field for Regenerative Medicine: Metal versus Synthetic Polymers. In *Polymers* (Vol. 15, Issue 12). MDPI. <https://doi.org/10.3390/polym15122601>
- Awasthi, S., Pandey, S. K., Arunan, E., & Srivastava, C. (2021). A Review on Hydroxyapatite Coatings for the Biomedical Applications: Experimental and Theoretical Perspectives. *J. Mater. Chem. B*, 9(2), 228–249. <https://doi.org/10.1039/D0TB02407D>
- Bandopadhyay, S., Bandyopadhyay, N., Ahmed, S., Yadav, V., & Tekade, R. K. (2019). Current Research Perspectives of Orthopedic Implant Materials. In *Biomaterials and Bionanotechnology* (pp. 337–374). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-814427-5.00010-X>
- Bekmurzayeva, A., Duncanson, W. J., Azevedo, H. S., & Kanayeva, D. (2018). Surface Modification of Stainless Steel for Biomedical Applications: Revisiting a Century-Old Material. In *Materials Science and Engineering C* (Vol. 93, pp. 1073–1089). Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/j.msec.2018.08.049>
- Beltran, M. J., Collinge, C. A., & Gardner, M. J. (2016). Stress Modulation of Fracture Fixation Implants. In *Journal of the American Academy of Orthopaedic Surgeons* (Vol. 24, Issue 10, pp. 711–719). Lippincott Williams and Wilkins. <https://doi.org/10.5435/JAAOS-D-15-00175>
- Ben-Nissan, B., Choi, A. H., Roest, R., Latella, B. A., & Bendavid, A. (2015). Adhesion of Hydroxyapatite on Titanium Medical Implants. In *Hydroxyapatite (Hap) for Biomedical Applications* (pp. 21–51). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/b978-1-78242-033-0.00002-x>
- Blanda, G., Brucato, V., Pavia, F. C., Greco, S., Piazza, S., Sunseri, C., & Inguanta, R. (2016). Galvanic Deposition and Characterization of Brushite/Hydroxyapatite Coatings on 316L Stainless Steel. *Materials Science and Engineering C*, 64, 93–101. <https://doi.org/10.1016/j.msec.2016.03.088>
- Ceroni, D., Grumetz, C., Desvachez, O., Pusateri, S., Dunand, P., & Samara, E. (2016). From Prevention of Pin-Tract Infection to Treatment of Osteomyelitis During Pediatric External Fixation. In *Journal of Children's Orthopaedics* (Vol. 10, Issue 6, pp. 605–612). Springer Verlag. <https://doi.org/10.1007/s11832-016-0787-8>
- Chávez-Valdez, A., & Boccaccini, A. R. (2012). Innovations in Electrophoretic Deposition: Alternating Current and Pulsed Direct Current Methods. In *Electrochimica Acta* (Vol. 65, pp. 70–89). <https://doi.org/10.1016/j.electacta.2012.01.015>
- Chozhanathmisra, M., Pandian, K., Govindaraj, D., Karthikeyan, P., Mitu, L., & Rajavel, R. (2019). Halloysite Nanotube-Reinforced Ion-Incorporated Hydroxyapatite-Chitosan Composite Coating on Ti-6Al-4 v Alloy for Implant Application. *Journal of*

Chemistry, 2019. <https://doi.org/10.1155/2019/7472058>

Dev, P. R., Anand, C. P., Michael, D. S., & Wilson, P. (2022). Hydroxyapatite Coatings: A Critical Review on Electrodeposition Parametric Variations Influencing Crystal Facet Orientation Towards Enhanced Electrochemical Sensing. In *Materials Advances* (Vol. 3, Issue 21, pp. 7773–7809). Royal Society of Chemistry. <https://doi.org/10.1039/d2ma00620k>

Drevet, R., & Benhayoune, H. (2022). Electrodeposition of Calcium Phosphate Coatings on Metallic Substrates for Bone Implant Applications: A Review. In *Coatings* (Vol. 12, Issue 4). MDPI. <https://doi.org/10.3390/coatings12040539>

Fadli, A., Prabowo, A., Reni Yenti, S., Huda, F., Annisa Liswani, A., & Lamsinar Br Hutauruk, D. (2023). High Performance of Coating Hydroxyapatite Layer on 316L Stainless Steel Using Ultrasonically and Alkaline Pretreatment. *Journal of King Saud University - Science*, 35(5). <https://doi.org/10.1016/j.jksus.2023.102681>

Florea, D. A., Albuleț, D., Grumezescu, A. M., & Andronescu, E. (2020). Surface Modification – A Step Forward to Overcome the Current Challenges in Orthopedic Industry and to Obtain an Improved Osseointegration and Antimicrobial Properties. In *Materials Chemistry and Physics* (Vol. 243). Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/j.matchemphys.2019.122579>

Harun, W. S. W., Asri, R. I. M., Sulong, A. B., Ghani, S. A. C., & Ghazalli, Z. (2018). Hydroxyapatite-Based Coating on Biomedical Implant. In *Hydroxyapatite - Advances in Composite Nanomaterials, Biomedical Applications and Its Technological Facets*. InTech. <https://doi.org/10.5772/intechopen.71063>

Janatzai, K., Walikhan, O., & Tajmohammad, K. (2022). An Insight Into the Orthopaedic Implant Materials: A Comprehensive Study. *Journal of Applied Pharmaceutical Sciences and Research*, 5(3), 28–33. <https://doi.org/10.31069/japsr.v5i3.03>

Kalinina, E., & Pikalova, E. (2021). Opportunities, Challenges and Prospects For Electrodeposition of Thin-Film Functional Layers in Solid Oxide Fuel Cell Technology. In *Materials* (Vol. 14, Issue 19). MDPI. <https://doi.org/10.3390/ma14195584>

Kim, T., See, C. W., Li, X., & Zhu, D. (2020). Orthopedic Implants and Devices for Bone Fractures and Defects: Past, Present and Perspective. *Engineered Regeneration*, 1, 6–18. <https://doi.org/10.1016/j.engreg.2020.05.003>

Li, T. T., Ling, L., Lin, M. C., Peng, H. K., Ren, H. T., Lou, C. W., & Lin, J. H. (2020). Recent Advances in Multifunctional Hydroxyapatite Coating by Electrochemical Deposition. In *Journal of Materials Science* (Vol. 55, Issue 15, pp. 6352–6374). Springer. <https://doi.org/10.1007/s10853-020-04467-z>

Ling, L., Li, T. T., Lin, M. C., Jiang, Q., Ren, H. T., Lou, C. W., & Lin, J. H. (2020). Effect of Hydrogen Peroxide Concentration on the Nanostructure of Hydroxyapatite Coatings via Ultrasonic-Assisted. *Materials Letters*, 261. <https://doi.org/10.1016/j.matlet.2019.126989>

- Mandati, S., Sarada, B. V., Dey, S. R., & Joshi, S. V. (2018). Pulsed Electrochemical Deposition of CuInSe₂ and Cu(In,Ga)Se₂ Semiconductor Thin Films. In *Semiconductors - Growth and Characterization*. InTech. <https://doi.org/10.5772/intechopen.71857>
- Mokabber, T., Zhou, Q., Vakis, A. I., van Rijn, P., & Pei, Y. T. (2019). Mechanical and Biological Properties of Electrodeposited Calcium Phosphate Coatings. *Materials Science and Engineering C*, 100, 475–484. <https://doi.org/10.1016/j.msec.2019.03.020>
- Nouri, A., & Wen, C. (2021). Stainless Steels in Orthopedics. In *Structural Biomaterials: Properties, Characteristics, and Selection* (pp. 67–101). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-818831-6.00008-2>
- Oyane, A., Nakamura, M., Sakamaki, I., Shimizu, Y., Miyata, S., & Miyaji, H. (2018). Laser-assisted Wet Coating of Calcium Phosphate for Surface-Functionalization of PEEK. *PLoS ONE*, 13(10). <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0206524>
- Premphet, P., Prasetsri, M., Boonyawan, D., Supruangnet, R., Udomsom, S., & Leksakul, K. (2017). Optimization of DC magnetron sputtering deposition process and surface properties of HA-TiO₂ film. *Materials Today: Proceedings*, 4(5), 6372–6380. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2017.06.141>
- Priyadarshini, B., Rama, M., Chetan, & Vijayalakshmi, U. (2019). Bioactive Coating as a Surface Modification Technique for Biocompatible Metallic Implants: A Review. In *Journal of Asian Ceramic Societies* (Vol. 7, Issue 4, pp. 397–406). Taylor and Francis Ltd. <https://doi.org/10.1080/21870764.2019.1669861>
- Puranto, P., Kamil, M. P., Suwondo, K. P., Mellinia, A. D., Avivin, A. N., Ulfah, I. M., Fitriani, D. A., Azahra, S. A., Hanafi, R., Saudi, A. U., Masrurah, & Kozin, M. (2024). Unveiling the pH Influence: Enhancing Hydroxyapatite-Coated Titanium Biomedical Implants Through Electrochemical Deposition. *Ceramics International*, 50(8), 13412–13421. <https://doi.org/10.1016/j.ceramint.2024.01.253>
- Rad, A. T., Solati-Hashjin, M., Osman, N. A. A., & Faghihi, S. (2014). Improved Bio-Physical Performance of Hydroxyapatite Coatings Obtained by Electrophoretic Deposition at Dynamic Voltage. *Ceramics International*, 40(8 PART B), 12681–12691. <https://doi.org/10.1016/j.ceramint.2014.04.116>
- Ramandhany, S. (2017). *Ketahanan Oksidasi Lapisan NiCrAl dengan Penambahan Elemen Reaktif Y Dan Zr Pada Hastelloy C-276*. Universitas Islam Negeri Syarif Hidayatullah.
- Ramli, M. I., Sulong, A. B., Muhamad, N., Muchtar, A., Arifin, A., Foudzi, F. M., & Hammadi Al-Furjan, M. S. (2018). Effect of Sintering Parameters on Physical and Mechanical Properties of Powder Injection Moulded Stainless Steel-Hydroxyapatite Composite. *PLoS ONE*, 13(10). <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0206247>
- Rios-Pimentel, F. F., Méndez-González, M. M., & García-Rocha, M. (2023). A Short Review: Hydroxyapatite Coatings for Metallic Implants. In *Heat Treatment and Surface Engineering* (Vol. 5, Issue 1). Taylor and Francis Ltd. <https://doi.org/10.1080/25787616.2023.2202002>

- Safavi, M. S., Walsh, F. C., Surmeneva, M. A., Surmenev, R. A., & Khalil-Allafi, J. (2021). Electrodeposited Hydroxyapatite-Based Biocoatings: Recent Progress and Future Challenges. In *Coatings* (Vol. 11, Issue 1, pp. 1–62). MDPI AG. <https://doi.org/10.3390/coatings11010110>
- Tian, L., Tang, N., Ngai, T., Wu, C., Ruan, Y., Huang, L., & Qin, L. (2019). Hybrid Fracture Fixation Systems Developed for Orthopaedic Applications: A General Review. In *Journal of Orthopaedic Translation* (Vol. 16, pp. 1–13). Elsevier (Singapore) Pte Ltd. <https://doi.org/10.1016/j.jot.2018.06.006>
- Uribe, R., Uvillús, A., Fernández, L., Bonilla, O., Jara, A., & González, G. (2022). Electrochemical Deposition of Hydroxyapatite on Stainless Steel Coated with Tantalum/Tantalum Nitride Using Simulated Body Fluid as an Electrolytic Medium. *Coatings*, 12(4). <https://doi.org/10.3390/coatings12040440>
- Vidal, E., Buxadera-Palomero, J., Pierre, C., Manero, J. M., Ginebra, M. P., Cazalbou, S., Combes, C., Rupérez, E., & Rodríguez, D. (2019). Single-Step Pulsed Electrodeposition of Calcium Phosphate Coatings on Titanium for Drug Delivery. *Surface and Coatings Technology*, 358, 266–275. <https://doi.org/10.1016/j.surfcoat.2018.11.037>
- Vladescu, A., Vranceanu, D. M., Kulesza, S., Ivanov, A. N., Bramowicz, M., Fedonnikov, A. S., Braic, M., Norkin, I. A., Koptug, A., Kurtukova, M. O., Dinu, M., Pana, I., Surmeneva, M. A., Surmenev, R. A., & Cotrut, C. M. (2017). Influence of the Electrolyte's PH on the Properties of Electrochemically Deposited Hydroxyapatite Coating on Additively Manufactured Ti64 Alloy. *Scientific Reports*, 7(1). <https://doi.org/10.1038/s41598-017-16985-z>