



PENGARUH LAPISAN HIDROKSIAPATIT PADA TITANIUM IMPLAN GIGI TERHADAP OSSEOINTEGRASI (*Literature Review*)

THE INFLUENCE OF HYDROXYAPATITE COATING ON TITANIUM DENTAL IMPLANT SURFACES TOWARD OSSEOINTEGRATION (Literature Review)

Brevy Risna Devinci*, Sri Wahyuningsih Rais, Bambang Nuryadi, Billy Sujatmiko

¹Bagian Kedokteran Gigi dan Mulut, Fakultas Kedokteran, Universitas Sriwijaya, Palembang,
Indonesia

*Email penulis korespondensi: brevyrd@gmail.com

ABSTRAK

Latar Belakang: Implan gigi berbahan titanium menjadi pilihan utama karena kekuatan mekanis, biokompatibilitas, serta ketahanan korosinya. Namun, proses osseointegrasi yang kurang optimal dan potensi reaksi inflamasi masih menjadi kendala. Lapisan hidroksiapatit (HA) digunakan sebagai alternatif untuk meningkatkan osseointegrasi karena bersifat osteokonduktif, memiliki koefisien ekspansi termal mirip tulang, serta mampu merangsang proliferasi osteoblas.

Tujuan: Mengetahui pengaruh dari penggunaan lapisan hidroksiapatit pada permukaan implan gigi titanium terhadap osseointegrasi.

Metode: *Literature review* dilakukan menggunakan data *Google Scholar*, *DOAJ*, *Science Direct*, dan *PubMed* selama 15 tahun terakhir dihitung sejak tahun 2010 hingga 2025. Jurnal yang digunakan sesuai dengan kriteria inklusi dan eksklusi kemudian dilakukan analisis dan dirangkum untuk mendapatkan data pengaruh dari penggunaan lapisan hidroksiapatit pada permukaan implan gigi titanium terhadap osseointegrasi.

Hasil: Penelitian *literature review* ini berhasil menyintesis 11 jurnal *in vivo* dengan hasil bias rendah pada jurnal tersebut. Sebanyak 9 dari 11 jurnal menyatakan bahwa hidroksiapatit pada titanium implan gigi mempengaruhi osseointegrasi.

Kesimpulan: Lapisan hidroksiapatit pada titanium implan gigi mempengaruhi hasil osseointegrasi.

Kata kunci: Hidroksiapatit, titanium, implan gigi, osseointegrasi

ABSTRACT

Background: Titanium dental implants are the primary choice due to their mechanical strength, biocompatibility, and corrosion resistance. However, suboptimal osseointegration and the potential for inflammatory reactions remain challenges. Hydroxyapatite (HA) coatings are used as an alternative to enhance osseointegration because they are osteoconductive, have a thermal expansion coefficient similar to bone, and are able to stimulate osteoblast proliferation.

Methods: A literature review was conducted using data from *Google Scholar*, *DOAJ*, *ScienceDirect*, and *PubMed* over the last 15 years, calculated from 2010 to 2025. The journals used met the inclusion and exclusion criteria, after which analysis was carried out and summarized to obtain data on the effect of hydroxyapatite coatings on the surface of titanium dental implants on osseointegration.

Results: This literature review successfully synthesized 11 *in vivo* journals with low risk of bias. A total of 9 out of 11 journals stated that hydroxyapatite on titanium dental implants affects osseointegration.

Conclusion: Hydroxyapatite coatings on titanium dental implants affect osseointegration outcomes.

Keywords : Hydroxyapatite, Titanium, Dental implant, Osseointegration



PENDAHULUAN

Kesehatan gigi dan mulut menjadi salah satu aspek penting dari kesehatan umum karena berdampak pada kesehatan tubuh secara keseluruhan. Peningkatan usia seseorang sejalan dengan meningkatnya risiko kehilangan gigi yang dapat menyebabkan perubahan pada aspek anatomi, fisiologis, dan psikologis dari seseorang. Kehilangan gigi dapat diatasi dengan penggunaan gigi tiruan sebagai upaya pemulihan fungsi dan estetika rongga mulut.¹ Implan gigi menjadi pilihan perawatan yang dapat diandalkan saat ini untuk pasien yang kehilangan sebagian atau seluruh gigi karena memberikan banyak keuntungan seperti mengembalikan fungsi gigi yang normal pada pasien.² Terdapat sekitar 1.300 sistem implan dengan berbagai variasi pada bentuk, material, dan karakteristik permukaan (topografi dan *wettability*). Karakteristik permukaan dan material lapisan pada implan gigi berpengaruh pada proses osseointegrasi yang merupakan syarat mutlak untuk keberhasilan implan gigi.^{2,3}

Osseointegrasi terjadi ketika osteoblas (sel pembentukan tulang) tumbuh dan berintegrasi langsung dengan permukaan batang implan gigi yang ditanamkan melalui pembenaman ke dalam rahang.⁴ Beberapa faktor yang memengaruhi osseointegrasi seperti desain implan, kondisi permukaan, dan material implan. Faktor ini berkontribusi terhadap kemampuan sel osteoblas untuk adhesi dan berproliferasi disekitar permukaan implan. Osseointegrasi yang optimal terjadi ketika permukaan implan mampu mendukung proses penyembuhan tulang melalui respon biologis yang stabil dan cepat tanpa terbentuknya jaringan fibrosa. Karakteristik material implan juga berperan penting terhadap keberhasilan proses osseointegrasi.⁵ Titanium merupakan material yang paling umum digunakan pada implan gigi dan dikenal sebagai “*gold standar*” karena memiliki keberhasilan klinis jangka panjang.⁶

Titanium memiliki densitas yang rendah, kekuatan mekanis yang baik, tidak beracun, dan

ketahanan terhadap korosi yang baik.⁷ Ketahanan korosi dikarenakan titanium memiliki lapisan pelindung oksida yang terbentuk secara alami yang mencegah kontak langsung antara titanium dan lingkungan korosif.⁸ Implan gigi berbahan titanium juga memiliki biokompabilitas yang tinggi dan respon terhadap jaringan yang baik.⁹ Hal ini disebabkan oleh sifat logam tersebut dapat diterima oleh tubuh manusia. Meski demikian, beberapa studi menyatakan bahwa reaksi inflamasi dapat terjadi di sekitar implan titanium karena disebabkan oleh terbentuknya jaringan fibrosa avaskular. Untuk mengatasi hal tersebut, lapisan hidroksiapatit dapat digunakan untuk mendukung proses osseointegrasi implan dengan jaringan sekitarnya dan mencegah terjadinya reaksi inflamasi.⁷

Lapisan hidroksiapatit digunakan untuk melapisi permukaan titanium karena memiliki koefisien ekspansi termal yang mirip dengan tulang dan dapat meningkatkan stabilitas implan dengan pelepasan ion osteoinduktif (kemampuan induksi diferensiasi sel) seperti kalsium dan fosfat yang dapat memicu proliferasi (pertumbuhan sel) osteoblas dan pengendapan matriks tulang.¹⁰ Cavalcanti et al. menyatakan permukaan implan yang dilapisi hidroksiapatit dapat meningkatkan osseointegrasi dengan mempercepat interaksi antara implan dan sel osteoblas.¹¹ Lapisan ini juga dapat membentuk adhesi (daya lekat) sel yang baik sehingga meningkatkan proses osseointegrasi serta dapat meningkatkan pembentukan tulang dan mengurangi pengeroposan tulang.^{12,13} Faeda et al. menyatakan implan dengan lapisan hidroksiapatit memiliki adhesi dan kekuatan mekanis yang dapat meningkatkan interaksi *bone-implant* yang berpengaruh pada osseointegrasi.¹⁴ Wang et al. menyatakan bahwa implan yang dilapisi hidroksiapatit secara signifikan meningkatkan pembentukan tulang yang dapat mendukung proses osseointegrasi.¹⁵



Beberapa penelitian membuktikan bahwa tidak terdapat perbedaan signifikan antara permukaan implan yang dilapisi dan tidak dilapisi oleh hidroksiapatit terhadap respon tulang hal itu terbukti pada penelitian Bryington et al. yang menyatakan bahwa tidak ada perbedaan signifikan antara implan titanium yang dilapisi dan tidak dilapisi oleh hidroksiapatit pada rasio permukaan.¹⁶ Lapisan hidroksiapatit pada implan titanium tidak mempengaruhi daya lekat antara implan dan tulang hal itu terbukti pada penelitian oleh Breding et al. yang menyatakan bahwa tidak ada perbedaan signifikan dalam pengukuran *removal torque* (pengukuran daya lekat implan dengan tulang) antara implan titanium yang dilapisi hidroksiapatit dan yang tidak dilapisi, baik setelah 3 minggu maupun 12 minggu masa penyembuhan.¹⁷ Tinjauan pustaka ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh dari penggunaan lapisan hidroksiapatit pada

permukaan implan gigi titanium terhadap osseointegrasi.

METODE

Tinjauan pustaka menggunakan data dari *database* PubMed, DOAJ, *Google Scholar*, *Science Direct*, *Elsevier* dalam kurun waktu 15 tahun terakhir dari tahun 2010 hingga 2025. Jurnal tersebut selanjutnya diseleksi berdasarkan kriteria inklusi dan eksklusi pada Tabel 1. Kemudian, dilakukan penilaian bias dengan metode *Systematic Review Center for Laboratory Animal Experimentation* (SYRCLE) dan peninjauan untuk mendapatkan data mengenai pengaruh dari penggunaan lapisan hidroksiapatit pada permukaan implan gigi titanium terhadap osseointegrasi. Data yang diperoleh selanjutnya diolah secara kualitatif.

Tabel 1. Strategi Pencarian Data

Kriteria Inklusi	Population	Intervention	Comparison	Outcome
Keyword	<i>Titanium dental implants¹</i> <i>Implants²</i>	<i>Hydroxyapatite coating¹</i>	<i>Uncoated implants¹</i>	<i>Osseointegration¹</i> <i>Bone-implant contact²</i>
Bahasa Alami	1: <i>Dental implants</i>	1: <i>Bioactive coating</i>	-	1: <i>Enhanced bone healing</i>
Kosakata Terkontrol	1: <i>Titanium, Cortical bone</i>	1: <i>Hydroxyapatite</i>	-	1: <i>Bone matrix deposition</i>
Kriteria Eksklusi	Population	Intervention	Comparison	Outcome
Keyword	<i>In vitro studies¹</i> <i>Clinical studies²</i> <i>Systematic reviews³</i>	- - -	<i>Surfaces other than titanium¹</i> - -	<i>Non- osseointegration outcomes¹</i> - -
Bahasa Alami	1: <i>Human Subjects</i>	-	1: <i>Non-titanium surfaces</i>	1: <i>Healing without bone formation</i>
Kosakata Terkontrol	1: <i>Studies focusing on different materials</i>	-	-	1: <i>Inflammation or non- bone responses</i>



HASIL

Hasil pencarian jurnal yang dilakukan pada penelitian *Literature Review* ini melalui database PubMed, DOAJ, *Google Scholar*, *Science Direct*, dan *Elsevier* menggunakan kata kunci *Hydroxyapatite*, *Titanium Implants*,

Osseointegration, dan *Bone Integration*. Jurnal tersebut diseleksi berdasarkan kriteria inklusi dan eksklusi pada Tabel 1 sehingga diperoleh sebanyak 11 jurnal *in vivo* yang memenuhi kriteria untuk ditinjau lebih lanjut.

Tabel 2. Ekstraksi Data Jurnal

No	Judul Jurnal	Penulis, tahun	Tujuan	Metode Pelapisan	Kelompok yang Dievaluasi	Subjek Penelitian	Metode Evaluasi	Hasil Penelitian
1	<i>Experimental study of bone response to hydroxyapatite coating implants : bone-implant contact and removal torque test</i>	Eom et al, 2012	Mengevaluasi osseointegrasi awal implan berlapis HA	<i>Plasma spraying</i>	Implan Ti berlapis HA	12 ekor babi mini Jantan dewasa	- <i>Removal torque test</i> (4, 8, 12min) - <i>Histology & histomorphometric (Bone-Implant Contact/BIC)</i> pada mandibula (2, 4, 8 minggu)	Implan dengan lapisan HA menunjukkan nilai <i>removal torque</i> tertinggi dan BIC signifikan lebih besar pada minggu ke-4 & 8, dengan pembentukan tulang baru lebih cepat yang meningkatkan osseointegrasi



2	<i>The influence of nano hydroxy apatite coating on osseointegration after extended healing periods</i>	Bryington et al, 2013	Mengevaluasi pengaruh pelapisan HA pada permukaan implan Ti terhadap osseointegrasi setelah periode penyembuhan yang diperpanjang (12 minggu)	<i>Sandblasted acid etched (SLA)</i>	Implan Ti+nHA dan implan Ti tanpa lapisan, hanya <i>heat-treated</i>	10 kelinci lop swedia (berat 4,3 kg)	<i>SEM; Histomorphometric analyses</i>	Pada hasil rasio permukaan dan BIC tidak menunjukkan perbedaan yang signifikan antara implan Ti yang dilapisi HA dan yang tidak dilapisi
3	<i>The effect of hydroxy apatite nanocrystals on osseointegration of titanium implants : An in vivo rabbit study</i>	Breding et al, 2014	Membandingkan efek HA pada permukaan Ti terhadap osseointegrasi	<i>Sandblasted acid etched (SLA)</i>	1) Implan Ti tanpa lapisan 2) Implan Ti dengan lapisan HA	20 kelinci lop swedia dewasa (berat 4,2 kg)	<i>SEM; Removal Torque</i>	Implan Ti yang dilapisi HA dan yang tidak dilapisi tidak memiliki perbedaan yang signifikan terlihat pada hasil <i>removal torque</i> , baik pada minggu ke-3 maupun minggu ke-12 masa penyembuhan
4	<i>Assessment of</i>	Jing et al, 2015	Mengevaluasi	<i>Micro-arc</i>	Implan Ti	12 anjing	<i>Histological</i>	Lapisan HA



	<i>osteoid uction using a porous hydroxy apatite coating prepared by micro- arc oxidatio n on a new titanium alloy</i>		pertumb uhan tulang yang diinduks i oleh pelapisa n HA pada permuka an implan Ti	<i>oxidatio n</i>	berbentu k silinder dengan diameter 3 mm di bagian tengah dan 7 mm di kedua ujung	beagle dewasa (7 betina dan 5 jantan) berat 11-15 kg	<i>analysis ; ESEM analysis ; Mechani cal testing</i>	memban tu meningk atkan augment asi tulang secara signifika n dan memper baiki permuka an <i>bone- implant</i> yang berpeng aruh pada osseoint egrasi
5	<i>New bone formatio n between bare titanium surface and hydroxy apatite coating by the aerosol depositi on techniqu e in the nasal mucosal penetrat ion model</i>	Park et al, 2018	Memban dingkan pembent ukan tulang baru pada permuka an Ti yang tidak dilapisi dan yang dilapisi HA	<i>Aerosol depositi on</i>	Implan Ti dan Implan Ti dengan lapisan HA	5 kelinci putih berumur 4 bulan (berat 2,5-3 kg)	<i>SEM; Hystomo rphoreti c evaluati on</i>	Implan Ti dengan lapisan HA menunju kkan tingkat pembent ukan tulang yang lebih tinggi
6	<i>Bioactiv ity of a sol-gel derived hydroxy apatite coating on titanium</i>	Suwanpr ateeb et al, 2018	Mengev aluasi bioaktivi tas Ti berlapis HA dibandin gkan dengan	<i>Sol-gel dip coating</i>	Implan sekrup Ti berlapis HA dan implan sekrup Ti tanpa lapisan	3 kelinci jantan dewasa	<i>Removal torque (7, 12, 24 minggu) ; SEM; Histolog y</i>	Implan Ti berlapis HA menunju kkan osseoint egrasi lebih



	<i>implants in vitro and in vivo</i>		Ti tanpa lapisan					baik dibanding Ti tanpa lapisan, ditandai dengan <i>removal torque</i> $\pm 2 \times$ lebih tinggi, banyak fragmen tulang menempel pada permukaan implan, serta pembentukan tulang lamellar lebih cepat
7	<i>Hydroxyapatite coating on TiO₂ Nanotube by Sol-Gel Method for implant application</i>	Lim et al, 2018	Mengevaluasi efek pelapisan HA pada Ti dan pembentukan tulang	<i>Anodic oxidation</i>	Implan Ti diameter 2 mm, tinggi 5 mm	Tikus	<i>Field Emission SEM; Wettability; EZ-Cytox; Hystomorphoretic analysis</i>	Permukaan Ti yang dilapisi HA memiliki sifat hidrofilik lebih tinggi dan osseointegrasi lebih baik
8	<i>Hydroxyapatite coating titanium endosseous implants for improved</i>	Lukasze wska-Kuska et al, 2019	Mengevaluasi osseointegrasi setelah pengaplikasian lapisan HA pada	<i>Electrophoretic Deposition (EPD)</i>	28 implan sekrup berbahan Ti dengan diameter 4 mm dan 7 mm	14 kelinci usia 6 bulan berat 4 kg	Uji stabilitas implan: <i>Scanning Electron Microscopy (SEM)</i>	Pelapisan HA pada implan Ti ini memiliki karakteristik fisik dan kimia



	<i>osseointegration</i> : <i>Physical and chemical considerations</i>		implan gigi					yang mendukung osseointegrasi
9	<i>Hydroxyapatite-Coated Titanium by Micro-Arc Oxidation and Steam-Hydrothermal Treatment Promotes Osseointegration</i>	Wang et al, 2021	Mengevaluasi osseointegrasi pada implan Ti yang dilapisi HA	<i>Micro arc oxidation</i>	Titanium murni (diameter 3 mm, panjang 5 mm)	Kelinci putih jantan dengan berat 2-2,5 kg	<i>Cytotoxicity analysis</i> ; <i>ALP activity analysis</i> ; <i>Collagen secretion</i> <i>evaluation</i> ; <i>Extracellular matrix mineralization assay</i> ;	Ti berlapis HA menginduksi osteogenesis, angiogenesis, dan mempercepat osseointegrasi
10	<i>A study on biological properties of titanium implants coated with multistituted hydroxyapatite</i>	Khvostov et al, 2022	Mengevaluasi osteogenesis, osseointegrasi, serta sifat antibakteri dari implan Ti yang dilapisi HA multistitusi (Zn, Si, Ag)	<i>Detonation spraying</i>	(1) Ti tanpa lapisan, (2) Ti+HA, (3) Ti+ZnSi-HA, (4) Ti+AgZnSi-HA	16 ekor tikus jantan (300-350 g)	<i>Scanning Electron Microscopy (SEM) of implant-bone interface</i>	Ti+HA meningkatkan osseointegrasi, merangsang osteogenesis, membentuk trabekula dengan sebagian mineralisasi, dan fiksasi lebih baik
11	<i>Evaluation of dental implant with</i>	Lee et al, 2025	Untuk mengevaluasi efek pelapisan	<i>Laser-Induced Single-Step</i>	MA (Machin), SLA (Sandblasted-	12 putih kelinci New Zealand dan 2	<i>Implant Stability Quotient (ISQ, RFA)</i> ,	HA menunjukkan peningkatan



<i>hydroxyapatite coating by laser-induced hydrothermal synthesis: in vitro and in vivo experimental study</i>	n HA menggunakan metode LISSC pada permukaan implan titanium terhadap osseointegrasi	<i>Coating (LISSC)</i>	Large grit-Acid etched), RBM (Resorbable Blasting Media), HA (LISSC-HA)	anjing beagle	<i>histomorfometri (Bone Volume/BV%, Bone-to-Implant Contact/BIC%), histologi (H&E)</i>	osseointegrasi progresif; BIC dan BV naik signifikan pada minggu ke-6, dan pada beagle (12 minggu) BIC kelompok HA lebih tinggi dibanding kelompok lain
--	--	------------------------	---	---------------	---	---

PEMBAHASAN

Osseointegrasi terdiri dari rangkaian mekanisme fisiologis kompleks yang mirip dengan proses penyembuhan fraktur langsung. Stabilitas sekunder dari implan gigi sangat bergantung pada tingkat pembentukan tulang baru di area antarmuka antara tulang dan implan.¹⁸ Osseointegrasi yang optimal terjadi ketika permukaan implan mampu mendukung proses penyembuhan tulang melalui respon biologis yang stabil dan cepat tanpa terbentuknya jaringan fibrosa. Karakteristik material implan juga berperan penting terhadap keberhasilan proses osseointegrasi.⁵ Pada akhir fase *remodeling*, sekitar 60% hingga 70% permukaan implan akan bersentuhan dengan tulang. Hal ini disebut sebagai BIC (*Bone Implant Contact*) dan banyak digunakan dalam penelitian untuk mengukur derajat osseointegrasi.¹⁸

Berdasarkan hasil ekstraksi data dari sebelas jurnal yang dianalisis, didapatkan 9 jurnal yang menyatakan bahwa pelapisan hidroksiapatit (HA) pada implan titanium

berpengaruh positif terhadap osseointegrasi, meskipun hasil yang diperoleh bervariasi tergantung pada metode pelapisan, jenis modifikasi HA, subjek penelitian, serta periode penyembuhan. Metode *micro-arc oxidation* merupakan salah satu teknik yang banyak diteliti. Pelapisan HA melalui metode ini mampu menginduksi osteogenesis, angiogenesis, meningkatkan augmentasi tulang, dan memperbaiki kualitas antarmuka tulang-implan. Stabilitas lapisan yang dihasilkan *micro-arc oxidation* tampaknya berperan besar dalam menjaga bioaktivitas HA sekaligus mempertahankan ikatan mekanis dalam jangka waktu lebih panjang. Wang *et al.* (2021) menunjukkan bahwa implan titanium berlapis HA dengan metode ini mampu menginduksi osteogenesis dan angiogenesis sekaligus mempercepat osseointegrasi.¹⁵ Hasil ini sejalan dengan temuan Jing *et al.* (2015) yang melaporkan bahwa pelapisan HA melalui *micro-arc oxidation* dapat meningkatkan augmentasi tulang secara signifikan serta memperbaiki kualitas antarmuka tulang-implan. Kedua penelitian ini menegaskan



bahwa metode *micro-arc oxidation* memberikan efek positif yang konsisten terhadap peningkatan osseointegrasi.²²

Hasil positif juga tampak pada penelitian yang menggunakan metode *sol-gel coating* yang menunjukkan bahwa kekuatan ikatan pada permukaan sangat tinggi, yang dibuktikan dengan *removal torque* sekrup berlapis yang lebih besar dibandingkan sekrup tanpa lapisan. Suwanprateeb *et al.* (2018) melaporkan bahwa implan titanium berlapis HA menunjukkan nilai *removal torque* yang hampir dua kali lebih tinggi dibandingkan implan tanpa lapisan, serta memperlihatkan pembentukan tulang lamelar lebih cepat.²⁰ Metode lain seperti *anodic oxidation* dipilih karena kemampuannya untuk membentuk lapisan nanostruktur berpori pada titanium, yang meningkatkan luas permukaan dan memfasilitasi penyerapan hidroksiapatit. Penelitian Lim *et al.* (2018) mendukung temuan tersebut dengan metode *anodic oxidation* yang menunjukkan hasil bahwa pelapisan HA pada permukaan titanium meningkatkan sifat hidrofilik, sehingga memperbaiki ikatan tulang pada implan.²¹

Metode *electrophoretic deposition* (EPD) memberikan hasil positif karena dapat menghasilkan lapisan HA yang homogen dan tipis pada implan titanium, dengan kontrol yang lebih baik terhadap komposisi dan struktur lapisan. Penelitian Łukaszewska-Kuska *et al.* (2019) yang menggunakan metode EPD membuktikan bahwa lapisan dengan kristalinitas tinggi (92,4%), ketebalan tipis (2–3 μm), serta kekasaran sedang ($Sa = 1 \mu\text{m}$) mampu menghasilkan permukaan yang lebih kondusif bagi adhesi osteoblas dan pembentukan tulang baru.¹³ Metode pelapisan lain seperti *plasma spraying* juga menunjukkan pengaruh positif karena kemampuannya untuk menghasilkan lapisan HA yang lebih tebal dan kuat pada permukaan implan titanium yang penting untuk meningkatkan bioaktivitas dan kestabilan mekanik implan. Eom *et al.* (2012) menemukan bahwa implan dengan lapisan HA melalui teknik ini memiliki nilai *bone-implant*

contact (BIC) dan *removal torque* yang lebih tinggi terutama pada minggu ke-4 dan ke-8, yang mengindikasikan percepatan pembentukan tulang baru. Temuan ini memperkuat bukti bahwa HA berperan penting dalam mempercepat osseointegrasi pada fase awal penyembuhan.¹⁹

Hasil positif juga didapatkan dengan metode aerosol deposition karena dapat menghasilkan lapisan hidroksiapatit (HA) yang homogen dan bioaktif pada suhu ruang. Metode ini menghindari kerusakan pada lapisan dan tidak memerlukan *sintering*. Park *et al.* (2018) yang menggunakan metode *aerosol deposition*, di mana implan berlapis HA memperlihatkan pembentukan tulang baru lebih tinggi dibandingkan titanium polos.²³ Selain metode pelapisan, jenis hidroksiapatit yang digunakan juga berpengaruh. Khvostov *et al.* (2022) menggunakan HA multisubstitusi (Zn, Si, Ag) menemukan peningkatan osseointegrasi disertai sifat antibakteri. Hal ini menunjukkan bahwa variasi komposisi HA tidak hanya memperbaiki ikatan tulang, tetapi juga memberi keuntungan tambahan dalam pencegahan infeksi.¹²

Hasil positif juga didapatkan pada metode *Laser-Induced Single-Step Coating* (LISSC), yaitu teknik pelapisan inovatif yang memanfaatkan energi laser untuk membentuk lapisan hidroksiapatit melalui reaksi hidrotermal sehingga menghasilkan lapisan tipis, homogen, dan stabil. Penelitian Lee *et al.* (2025) melaporkan bahwa implan dengan pelapisan LISSC menunjukkan peningkatan osseointegrasi yang signifikan, dengan kenaikan BIC dan BV pada kelinci setelah 6 minggu serta nilai BIC lebih tinggi dibanding SLA pada anjing beagle setelah 12 minggu, disertai temuan histologi berupa pembentukan mature bone tanpa tanda inflamasi.²⁴ Berdasarkan hasil dari 11 jurnal didapatkan 2 jurnal penelitian yang melaporkan hasil tidak sejalan dengan penelitian ini. Bryington *et al.* (2013) serta Breeding *et al.* (2014) yang menggunakan



metode *sandblasted-acid etched* (SLA) dengan *nano-hydroxyapatite coating*, melaporkan bahwa setelah periode penyembuhan 12 minggu, tidak terdapat perbedaan signifikan baik pada nilai BIC maupun *removal torque* antara kelompok berlapis HA dan kontrol. Pemilihan metode SLA dan jenis *nano-hidroksiapatit* (nano-HA) berkontribusi pada hasil yang tidak signifikan. Meskipun SLA menciptakan permukaan kasar yang efektif untuk adhesi tulang, lapisan nano-HA yang tipis dan kurang stabil dalam jangka panjang cenderung terdegradasi, mengurangi manfaat osseointegrasi setelah periode awal.^{16,17}

Secara keseluruhan, hasil tersebut menunjukkan bahwa lapisan HA pada implan titanium mampu mempercepat dan meningkatkan osseointegrasi terutama pada fase awal, dengan efektivitas tertinggi ditunjukkan pada metode *micro-arc oxidation*, *plasma spraying*, *sol-gel coating*, serta *aerosol deposition*. Faktor penting yang memengaruhi keberhasilan adalah metode pelapisan, kestabilan lapisan, serta kemungkinan modifikasi komposisi HA untuk meningkatkan bioaktivitas sekaligus menambah sifat protektif antibakteri.

Micro-arc oxidation dinilai lebih unggul dibanding teknik pelapisan lainnya karena mampu menghasilkan lapisan hidroksiapatit berpori yang merata, bahkan pada permukaan titanium yang kompleks. Lapisan ini memiliki ikatan yang kuat dengan substrat titanium dan ketahanan korosi yang lebih tinggi dibanding metode lain, sehingga memberikan stabilitas jangka panjang. Struktur pori mikro–nano yang terbentuk melalui *micro-arc oxidation* terbukti mendukung adhesi, proliferasi, dan diferensiasi osteoblas, serta mempercepat pertumbuhan tulang baru di sekitar implan.^{15,21}

KESIMPULAN DAN SARAN

Studi ini menyimpulkan bahwa bahwa lapisan hidroksiapatit memiliki potensi besar dalam meningkatkan keberhasilan osseointegrasi implan gigi, terutama bila

diaplikasikan dengan metode pelapisan yang tepat dan jenis hidroksiapatit yang sesuai. Berbagai metode pelapisan, *micro-arc oxidation* menunjukkan hasil yang paling konsisten karena mampu menghasilkan lapisan berpori dengan ikatan kuat dan stabilitas tinggi, serta mendukung pertumbuhan dan diferensiasi osteoblas secara optimal.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada dosen pembimbing dan penguji skripsi yang telah memberikan bimbingan, arahan, serta masukan yang berharga selama proses penyusunan skripsi hingga penulisan artikel ini. Ucapan terima kasih juga disampaikan kepada semua pihak yang telah memberikan dukungan dan kontribusi dalam penyelesaian penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

1. Wahjuni, Sri; Mandanie, Sefy Ayu. Fabrication of combined prosthesis with castable extracoronary attachments (laboratory procedure). *Journal of Vocational Health Studies*, 2017, 1.2: 75-81.
2. Smeets R, Stadlinger B, Schwarz F, Beck-Broichsitter B, Jung O, Precht C, et al. Impact of Dental Implant Surface Modifications on Osseointegration. Vol. 2016. *BioMed Research International*. Hindawi Limited; 2016: 1-16.
3. Tetelepta R, Machmud E, Dokter P, Spesialis Prostodonsia G. Pengaruh penambahan bahan bioaktif pada implan gigi berdasarkan pemeriksaan histologi (Effect of addition of bioactive materials on dental implant based on the histology examination). Vol. 4, *Makassar Dent J*. 2015: 135-137.
4. Koenig LJ .Dental implants and imaging of the jaws. *Semin Ultrasound CT MRI*.2015 Oct;36(5):415-27.



5. Elias CN, Meirelles L. Improving osseointegration of dental implants. Vol. 7, Expert Review of Medical Devices. 2010. p. 241–56.
6. Osman RB, Swain M V. A critical review of dental implant materials with an emphasis on titanium versus zirconia. Vol. 8, Materials. MDPI AG; 2015. p. 932–58.
7. Mohseni E, Zalnezhad E, Bushroa AR. Comparative investigation on the adhesion of hydroxyapatite coating on Ti-6Al-4V implant: A review paper. *Int J Adhes Adhes.* 2014;48:238–57.
8. Sukmana I, Eka Risano AY, Arif Wicaksono M, Adi Saputra R. Perkembangan dan Aplikasi Biomaterial dalam Bidang Kedokteran Modern: A Review. *INSOLOGI: Jurnal Sains dan Teknologi.* 2022 Oct 29;1(5):635–46.
9. Mussano F, Genova T, Munaron L, Faga MG, Carossa S. Ceramic Biomaterials for Dental Implants: Current Use and Future Perspectives. In: *Dental Implantology and Biomaterial.* InTech; 2016:64-5.
10. Vicente J, Neto C, Beatriz A, Teixeira V, Cândido A, Reis D. Hydroxyapatite coatings versus osseointegration in dental implants: A systematic review. 2023:1-2.
11. Cavalcanti JH de L, Matos PC, de Gouvêa CVD, Carvalho W, Calvo-Guirado JL, Aragonese JM, et al. In vitro assessment of the functional dynamics of titanium with surface coating of hydroxyapatite nanoparticles. *Materials.* 2019;12(5).
12. Khvostov M V., Bulina N V., Zhukova NA, Morenkova EG, Rybin DK, Makarova S V., et al. A study on biological properties of titanium implants coated with multisubstituted hydroxyapatite. *Ceram Int.* 2022 Dec 1;48(23):34780–92.
13. Łukaszewska-Kuska M, Krawczyk P, Martyla A, Hędzerek W, Dorocka-Bobkowska B. Hydroxyapatite coating on titanium endosseous implants for improved osseointegration: Physical and chemical considerations. *Advances in Clinical and Experimental Medicine.* 2018 Aug 1;27(8):1055–9.
14. Faeda RS, Tavares HS, Sartori R, Guastaldi AC, Marcantonio E. Biological Performance of Chemical Hydroxyapatite Coating Associated With Implant Surface Modification by Laser Beam: Biomechanical Study in Rabbit Tibias. *Journal of Oral and Maxillofacial Surgery.* 2009;67(8):1706–15.
15. Wang X, Mei L, Jiang X, Jin M, Xu Y, Li J, et al. Hydroxyapatite-Coated Titanium by Micro-Arc Oxidation and Steam-Hydrothermal Treatment Promotes Osseointegration. *Front Bioeng Biotechnol.* 2021 Aug 19;9.
16. Bryington MS, Hayashi M, Kozai Y, Vandeweghe S, Andersson M, Wennerberg A, et al. The influence of nano hydroxyapatite coating on osseointegration after extended healing periods. *Dental Materials.* 2013 May;29(5):514–20.
17. Breeding K, Jimbo R, Hayashi M, Xue Y, Mustafa K, Andersson M. The effect of hydroxyapatite nanocrystals on osseointegration of titanium implants: An in vivo rabbit study. *Int J Dent.* 2014;2014:5-6.
18. Resnik, Randolph. *Misch's Contemporary Implant Dentistry.* Elsevier Health Sciences, fourth. 2021. 20–7 p.
19. Eom TG, Jeon GR, Jeong CM, Kim YK, Kim SG, Cho IH, et al. Experimental study of bone response to hydroxyapatite coating implants: Bone-implant contact and removal torque test. *Oral Surg Oral Med Oral*



- Pathol Oral Radiol. 2012 Oct;114(4):411–8.
20. Jing W, Zhang M, Jin L, Zhao J, Gao Q, Ren M, et al. Assessment of osteoinduction using a porous hydroxyapatite coating prepared by micro-arc oxidation on a new titanium alloy. *International Journal of Surgery*. 2015 Dec 1;24:51–6.
 21. Suwanprateeb J, Suvannapruk W, Chokevivat W, Kiertkrittikhon S, Jaruwangsanti N, Tienboon P. Bioactivity of a sol–gel-derived hydroxyapatite coating on titanium implants in vitro and in vivo. *Asian Biomedicine*. 2018 Feb 1;12(1):35–44.
 22. Lim HP, Park SW, Yun KD, Park C, Ji MK, Oh GJ, et al. Hydroxyapatite Coating on TiO₂ Nanotube by Sol–Gel Method for Implant Applications . *J Nanosci Nanotechnol*. 2017 Sep 29;18(2):1403–5.
 23. Park YJ, Choi KH, Hahn BD, Lee YC, Song JY, Park YT, et al. New bone formation between bare titanium surface and hydroxyapatite coating by the aerosol deposition technique in the nasal mucosal penetration model. *Journal of Craniofacial Surgery*. 2013 Mar;24(2):632–5.
 24. Lee JH, Lee JM, Kim YH, Kim MS, Kim KN. Evaluation of dental implant with hydroxyapatite coating by laser-induced hydrothermal synthesis: in vitro and in vivo experimental study. *Discov Nano*. 2025;20(1):43.