

Chemical modification of titanium implant surfaces to accelerate osseointegration in implant treatment

Modifikasi permukaan titanium implan secara kimiawi untuk mempercepat oseointegrasi pada perawatan implan

¹Muh. Ramli Wardana, ²Irfan Dammar, ³Ade Lola Zafira¹Residen Departemen Prostodonsia Fakultas Kedokteran Gigi Universitas Hasanuddin²Departemen Prostodonsia Fakultas Kedokteran Gigi Universitas Hasanuddin³Mahasiswa Klinik Fakultas Kedokteran Gigi Universitas Hasanuddin

Makassar, Indonesia

Corresponding author, e-mail: 2irfandammar@unhas.ac.id**ABSTRACT**

According to the 2018 Basic Health Research, the index of tooth loss in Indonesia is 19%. Dental implants are one of the treatments for tooth loss. The prevalence of dental implant users has increased by 14% per year. The materials used for implants vary greatly, one of which is titanium. Titanium has high biocompatibility, but its surface needs to be modified to accelerate osseointegration. Chemical surface modification changes the chemical properties of the carrier surface to produce specific interactions between surface molecules and cells, which not only affects the surface properties of the cells but also causes changes in their internal structure and function. This literature review discusses various chemical methods that can be used to modify the surface of titanium implants to improve and accelerate the osseointegration process. It is concluded that modifications to the surface of dental titanium implants can alter the morphology and properties of the implant surface, thereby stimulating bone growth around the implant and improving the osseointegration process.

Keywords: chemical surface modification, titanium dental implants, osseointegration.**ABSTRAK**

Menurut Riset Kesehatan Dasar tahun 2018 indeks kehilangan gigi di Indonesia sebesar 19%. Dental implan merupakan salah satu perawatan dalam kasus kehilangan gigi. Peningkatan prevalensi pengguna implan gigi sebesar 14% pertahun. Bahan implan yang digunakan sangat beragam, salah satunya adalah titanium. Bahan titanium memiliki nilai biokompatibilitas yang tinggi namun permukaan bahan ini perlu dimodifikasi untuk mempercepat oseointegrasi. Modifikasi permukaan secara kimia akan mengubah sifat kimia permukaan pembawa untuk dapat menghasilkan interaksi yang spesifik antara molekul permukaan sel, yang bukan hanya memengaruhi sifat permukaan sel tapi juga menyebabkan perubahan struktur internal dan fungsi sel. Kajian pustaka ini membahas berbagai metode kimia yang dapat digunakan untuk modifikasi permukaan titanium implan dalam meningkatkan dan mempercepat proses oseointegrasi. Disimpulkan bahwa modifikasi pada permukaan titanium implan dental dapat mengubah morfologi dan sifat permukaan implan sehingga merangsang pertumbuhan tulang di sekitar implan dan meningkatkan proses oseointegrasi.

Kata kunci: modifikasi permukaan secara kimiawi, implan gigi titanium, oseointegrasi

Received: 10 January 2025

Accepted: 5 October 2025

Published: 1 April 2026

PENDAHULUAN

Menurut Riset Kesehatan Dasar tahun 2018, indeks kehilangan gigi di Indonesia sebesar 19%, kehilangan gigi pada usia 25-34 tahun sebesar 12,1% yang semakin meningkat pada usia 65 tahun keatas (30,6%).¹ Kehilangan gigi akibat dari rusaknya jaringan keras gigi atau periodontal dapat mengakibatkan banyak masalah seperti berkurangnya fungsi kunyah, migrasi gigi, fonetik, masalah pada temporomandibula, dan bahkan dapat menyebabkan berkurangnya kualitas hidup serta kesehatan. Beberapa solusi terhadap kehilangan gigi yakni penggantian dengan gigi tiruan lepasan maupun cekat.^{2,3}

Implan dental merupakan sebuah pilihan perawatan yang dapat diandalkan dalam merehabilitasi berbagai kasus kehilangan gigi, baik sebagian ataupun seluruh. Implan gigi digunakan sebagai pengganti gigi, yang ditanamkan secara invasif ke dalam tulang alveolar, tentunya akan memicu reaksi antigen antibodi karena implan tersebut dianggap sebagai suatu benda asing sehingga akan terjadi reaksi antara jaringan hidup dan permukaan bahan.⁴⁻⁶

Salah satu bahan yang digunakan dalam implan gigi yakni titanium, yaitu sejenis logam yang memiliki sifat reaktif tinggi, atau secara pasif mampu membentuk lapisan pelindung oksida sehingga resisten terhadap korosi. Titanium memiliki kekuatan tinggi, modulus elastisitas yang tinggi, kepadatan dan massa yang rendah, memiliki biokompatibilitas yang tinggi serta berhubungan dengan oseointegrasi. Oseointegrasi pada implan gigi mencerminkan fiksasi biologis dan mekanis dari perlekatan implan ke dalam tulang alveolar di bawah fungsi klinis yang normal. Proses oseointegrasi ini memakan waktu hingga berminggu-minggu.^{6,7}

Pada perawatan implan gigi, modifikasi permukaan implan dianggap sebagai suatu pendekatan yang sangat penting dalam mendukung proses oseointegrasi. Salah satu metode modifikasi permukaan implan yakni perlakuan secara kimia, yang akan mengubah sifat kimia permukaan pembawa untuk dapat menghasilkan interaksi yang spesifik antara molekul permukaan sel, yang bukan hanya memengaruhi sifat permukaan sel tapi juga menyebabkan perubahan dalam

struktur internal dan fungsi sel.^{7,8}

Kajian ini membahas modifikasi permukaan titanium implan secara kimiawi untuk mempercepat oseointegrasi pada perawatan implan.

TINJAUAN PUSTAKA**Implan gigi**

Implan gigi pertama kali diperkenalkan oleh *Peringvar Brane-mark* dengan konsep oseointegrasi implan ke dalam tulang. Implan menjadi salah satu alternatif terbaik dalam penanganan kasus kehilangan gigi. Penggunaan implan dental dapat membantu mengembalikan simetris fungsional gigi sehingga membantu dalam menjaga kepadatan dan bentuk tulang rahang. Salah satu keuntungan dalam penggunaan implan adalah kemampuannya berdiri sendiri tanpa dukungan struktur sekitar seperti kasus gigi tiruan cekat.^{3,5}

Penggunaan implan dental memiliki tingkat kesuksesan 91% dalam kurun waktu 10 tahun pada kasus kehilangan gigi. Keberhasilan implan ini dapat dilihat dengan beberapa parameter, antara lain fungsi klinis seperti pengembalian fungsi pengunyahan dan bicara, nilai estetika, kepuasan pasien, stabilitas protesis, tidak ada infeksi jaringan lunak peri-implan, implan tidak goyang, tidak ada rasa sakit yang dikeluhkan pasien, serta tidak ada kehilangan tulang secara radiografi.^{5,9}

Titanium

Titanium merupakan bahan non-magnetik; bahan implan yang digunakan untuk aplikasi medis karena memiliki nilai biokompatibilitas dan biomekanis yang baik jika dibandingkan dengan logam lainnya, sifat *inert*, oseointegrasi, dentitas yang rendah serta ketahanan terhadap korosi yang cukup tinggi, modulus mekanikal yang cocok dengan tulang bila dibandingkan dengan bahan lain. Titanium merupakan bahan yang paling sering digunakan dalam bidang kedokteran gigi sebagai kawat gigi dan implan gigi karena sifat biokompatibilitasnya yang baik. Jika titanium ditanam di dalam tulang, jaringan sekitar akan bereaksi dan pemasangan implan gigi mengaktifkan sistem imun yang menimbulkan reaksi antara *host* dan bahan biomaterial.^{10,11}

Oseointegrasi

Awal mula kata *osseointegrasi* muncul sebagai sebuah konsep yang menyebut oseointegrasi sebagai *hubungan struktural dan fungsional langsung antara tulang hidup yang teratur dan permukaan implan yang menutupi beban*. Sedangkan menurut *American Academy of Implant Dentistry*, oseointegrasi didefinisikan sebagai *kontak yang terjalin tanpa interposisi jaringan non tulang antara tulang yang direnovasi normal dan implan yang memerlukan transfer dan distribusi beban yang berkelanjutan dari implan ke dan di dalam tulang*.^{12,13}

Istilah-istilah tersebut diperkenalkan untuk menggambarkan bukti histologi sebagai bukti kesuksesan perawatan implan gigi setelah ditempatkan pada tulang alveolar. Oseointegrasi pada implan mencerminkan fiksasi secara biologis dan mekanis dari perlekatan implan ke tulang alveolar di bawah suatu fungsi klinis yang normal. Proses penyatuan antara implan dan tulang ini memakan waktu yang cukup lama, yakni 3-6 bulan. Hal ini diperlukan untuk dapat menempatkan mahkota atau gigi tiruan pada implan gigi sehingga mampu mengembalikan fungsi dari gigi sepenuhnya.^{14,15}

Permukaan implan gigi

Permukaan implan dental adalah salah satu bagian yang bersentuhan dengan biologi; keunikan dari permukaan ini mengarahkan respon dan memengaruhi kekuatan mekanik antara implan dan jaringan. Beberapa tekstur permukaan substrat implan titanium yang beragam telah diuji untuk meningkatkan oseointegrasi. Perlakuan permukaan ini dilakukan untuk mengontrol pertumbuhan dan aksi metabolisme osteoblas yang dikultur. Kekasaran permukaan juga terbukti memengaruhi sitokin dan produksi faktor pertumbuhan oleh osteoblas; peningkatan kekasaran permukaan memungkinkan produksi TGF- β yang secara langsung meningkatkan propagasi sel osteoblas. Kekasaran permukaan implan memiliki efek nyata pada pergerakan sel serta pertumbuhan sel. Hal ini menunjukkan bahwa struktur implan memengaruhi interaksi antara logam dan jaringan hidup.^{16,17}

Modifikasi permukaan secara kimiawi

Modifikasi secara kimia relatif kompleks dalam mekanisme persiapan dan biayanya cukup mahal. Metode kimia ini memberikan titanium karakteristik permukaan yang bioaktif. Modifikasi permukaan implan dental secara kimia artinya mengubah sifat permukaan pembawa untuk dapat menghasilkan interaksi yang spesifik antara molekul permukaan sel, yang bukan hanya memengaruhi sifat permukaan sel tapi juga menyebabkan perubahan dalam struktur internal dan fungsi sel. Modifikasi permukaan implan secara kimia dapat dilakukan dengan beberapa metode, antara lain *sol-gel*, *acidic treatment*, *chemical vapor deposition (CDV)*, *hydrogen peroxide treatment*.^{10,18}

PEMBAHASAN

Beberapa modifikasi secara kimia dilakukan pada permukaan implan gigi berbahan titanium, yang ditujukan untuk mempercepat proses oseointegrasi. Beberapa artikel telah membahas modifikasi permukaan secara kimiawi ini telah dipilih dan telah dilakukan analisis untuk menilai metode kimiawi yang paling baik dalam mempercepat proses oseointegrasi pada perawatan implan.

Pada penelitian oleh Djustina, dkk berjudul *uji mikrostruktur prototype implan gigi titanium pasca perlakuan modifikasi permukaan alternate soaking process dengan konsentrasi CaCl₂ dan Na₂HPO₄ yang berbeda*, menunjukkan bahwa ada keterkaitan permukaan berporus dengan bidang kesehatan. Permukaan dengan ukuran porus yang melebihi 100 μ m dianggap baik pada pembentukan tulang. Hubungan ini didasarkan pada permukaan titanium yang berporus akan

menghasilkan tempat yang digunakan pada proses angiogenesis dan migrasi dari sel-sel tulang. Penelitian oleh Djustina dkk ini menghasilkan lapisan permukaan dengan tingkatan poros yang berbeda dari tiap sampel. Dari hasil uji mikrostruktur penelitian dengan menggunakan *alternate soaking process* yang dikombinasikan dengan *pre-treatment* dengan menggunakan *etsa asam H₂SO₄ 40%* dan *alkali treatment* atau dengan pemanfaatan suhu yakni 600°C selama 30 menit, menghasilkan lapisan porus pada permukaan titanium dental yang berbeda. Pada sampel L1 dengan CaCl₂ 67 mmol/L dan Na₂HPO₄ 40 mmol/L dan L2 dengan CaCl₂ 200 mmol/L dan Na₂HPO₄ 120 mmol/L didapatkan ukuran porus di atas 100 μ m yang diprediksi akan menginduksi pertumbuhan jaringan tulang lebih cepat jika dibandingkan dengan sampel L0 dan L3 konsentrasi CaCl₂ 600 mmol/L dan Na₂HPO₄ 360 mmol/L. Porus pada permukaan implan terjadi akibat inisiasi etsa asam H₂SO₄ yang telah digunakan. Modifikasi permukaan dengan *alternate soaking process* sejalan dengan proses terbentuknya porus melalui lapisan ion titanium. Pada sampel L1 dan L2 konsentrasi CaCl₂ dan Na₂HPO₄ lebih sedikit, sehingga memiliki pelarut air (senyawa polar) yang lebih banyak. Hal ini mengakibatkan proses pelepasan ion tetap berlanjut berbeda dengan sampel L3 yang memiliki konsentrasi lebih tinggi dan mengakibatkan kandungan pelarut air lebih sedikit sehingga proses pelepasan ion dan pembentukan porus menjadi terhambat. Dari gambaran SEM potongan melintang dapat terlihat lapisan putih yang diduga merupakan lapisan TiO₂ yang terbentuk secara alami yang menghambat pelepasan ion (korosi). Lapisan inilah yang menyebabkan titanium memiliki biokompatibilitas yang lebih baik. Hal ini menandakan proses *pre-treatment* dan modifikasi permukaan dengan *alternate soaking process* justru menipiskan lapisan TiO₂ dan menurunkan nilai biokompatibilitas pada titanium implan dental.⁹

Berdasarkan penelitian oleh Liu, dkk berjudul *evaluation of the osseointegration of dental implants coated with calcium carbonate: an animal study* dengan menginvestigasi efek dari implan dental titanium yang dilapisi oleh kalsium karbonat yang telah dimodifikasi dengan *standblasting* dan etsa asam (SA). Implan kalsium karbonat yang telah diendapkan etsa asam (CC-SA) dan implan yang hanya dimodifikasi dengan *standblasting* dan etsa asam (SA) tidak menunjukkan perbedaan yang signifikan pada minggu pertama. Pada minggu kedua didapatkan pembentukan tulang baru pada kedua implan. Pada keduanya didapatkan banyak osteoblas berbentuk kubus yang berkontak dengan matriks tulang dekat dengan permukaan implan. Sedangkan pada minggu ke-4 didapatkan perbedaan yang cukup signifikan, yaitu lebih banyak osteoblas di area dekat permukaan implan CC-SA. Pada minggu ke-12 didapatkan tulang telah matang dengan osteoid yang termineralisasi pada kedua jenis implan. Liu dkk menemukan bahwa permukaan yang dilapisi dengan kalsium karbonat dapat meningkatkan kontak tulang ke implan (BIC_ALL) yang terjadi dalam waktu 4 minggu. Didapatkan pula hasil pembentukan tulang baru (BIC_GAP) yang lebih tinggi pada permukaan yang dilapisi kalsium karbonat pada minggu ke-2 hingga ke-4. Berdasarkan penelitian tersebut dapat disimpulkan bahwa implan yang dilapisi kalsium karbonat dan telah dilakukan pengendapan pada etsa asam menunjukkan biokompatibilitas dan sifat osteokonduktif yang baik setelah masa penyembuhan 12 minggu. Lapisan ini meningkatkan atau mempercepat penyembuhan awal tulang dan penyembuhan secara klinis sehingga dapat meningkatkan proses oseointegrasi.¹⁸

Dari penelitian oleh Ozel, dkk ditunjukkan nilai kekasaran permukaan implan modifikasi menggunakan *sandblasting* dan etsa asam (SLA) hampir 2,93 mm dengan kisaran 1,2-3,9 mm untuk permukaan

implan dengan modifikasi *sandblasting* dan etsa asam yang telah dimodifikasi (SLAktif) dengan prosedur pengasaran yang sama. Permukaan titanium yang kasar secara klinis menginduksi oseointegrasi yang cepat jika dibandingkan dengan permukaan yang halus. Ozel, dkk melakukan penelitian mengukur stabilitas implan antara permukaan implan yang dimodifikasi dengan SLA dan SLAktif. Stabilitas implan diukur dengan menggunakan analisis frekuensi resonansi selama masa penyembuhan. Pengukuran stabilisasi implan ini dilakukan pada kedua jenis implan dan didapatkan rerata nilai stabilisasi ≥ 80 pada interval 1 dan 3 bulan pascaoperasi. Dari hasil tersebut diketahui bahwa implan dengan permukaan SLA dan SLAktif memiliki beberapa perbedaan pada minggu ke-0, 1, 2, dan 3 yaitu implan SLAktif mengalami sedikit penurunan stabilisasi pada minggu ke-4, meskipun tidak signifikan. Pada minggu ke-8 hingga minggu ke-12 kedua implan ini memiliki nilai yang sama atau signifikan secara statistik karena stabilitas primer telah didapatkan secara sempurna; terjadi peningkatan stabilitas pada tiap minggunya.¹⁹

Utami, dkk. menunjukkan bahwa teknik Sol-Gel Dip dengan melapisi substrat titanium menggunakan larutan HA selama 20 detik dengan 200 rpm dan di-*sintering* pada 5500C selama 2 jam menghasilkan lapisan tipis HA tanpa didapatkan retakan. Lapisan HA yang tidak memiliki retakan ini menunjukkan bahwa telah terjadi perlindungan pada substrat permukaan titanium dari korosi. Respon permukaan implan dan tulang pada pelapisan menggunakan HA umumnya akan terlihat permukaan implan yang kasar. Dengan metode ini permukaan implan mengalami kekasaran dari 1 kali pencelupan sehingga diperoleh kekasaran yang homogen. Apabila pelapisan dilakukan dengan 2 kali pencelupan maka diperoleh ketebalan yang berlebih dan memicu terjadinya retakan pada lapisan HA yang berdampak pada oseointegrasi yang tidak sempurna. Lapisan HA dapat meningkatkan proliferasi sel yang lebih baik sehingga diperoleh pertumbuhan tulang yang lebih cepat dan formasi tulang baru yang kuat. Menurut Utami dkk, aplikasi lapisan HA ini juga menstimulus adaptasi tulang serta dapat memberikan kontak erat dan lebih cepat antara tulang dan implan. Oseointegrasi dapat terjadi jika jarak implan dan tulang tidak lebih dari 10 nm. Pelapisan pada permukaan implan akan menyebabkan ikatan pada bagian dalam dan luar dari lapisan itu sendiri, lapisan dalam akan berikatan dengan logam dari implan itu sendiri sedangkan bagian luarnya akan berikatan atau menyatu dengan tulang di sekelilingnya.⁵

Sidiqa menyimpulkan dalam metode sol-gel dilakukan secara dua tahapan reaksi yakni hidrolisis yaitu terjadi reaksi senyawa *precursor* dengan H₂O yang akan menghasilkan senyawa metal hidroksida. Reaksi kedua yakni reaksi kondensasi, yang melibatkan hasil dari reaksi hidrolisis yang kemudian akan saling berikatan membentuk rantai oksida dan menghasilkan senyawa metal oksida. Metode sol-gel kemudian menghasilkan lapisan yang homogen, murni dan stoikiometris. Hal ini terjadi akibat dari pencampuran dengan menggunakan skal molekuler, temperatur pembakaran yang rendah akibat dari ukuran partikel yang kecil dan luas permukaan yang besar akan memungkinkan diperoleh ukuran partikel nano yang homogen dari peralatan yang sederhana.²⁰

Pada penelitian oleh Lee dkk, dengan judul *In vivo comparison between the effects of chemically modified hydrophilic and anodically oxidized titanium surface on initial bone healing*, yang menggunakan dua jenis implan yang berbeda yakni implan yang dimodifikasi secara kimia (modSLA) dan implan dengan oksidasi anodic yang digunakan untuk melihat pengaruh implan terhadap respon tulang yang terjadi. Pada permukaan implan ditemukan sejumlah kecil pem-

entukan tulang baru hanya setelah satu minggu masa penyembuhan. Hal ini terlihat jelas pada beberapa spesimen yang menunjukkan setidaknya awal pembentukan tulang baru atau pembentukan tulang aktif pada sisi pemotongan bagian dalam tulang kortikal dan bagian dalam sumsum tulang. Pola pertumbuhan yang terjadi pada kedua implan ini terlihat berbeda; pola pertumbuhan lebih besar secara statistik terlihat pada implan modSLA, meskipun tidak terlihat perbedaan yang signifikan. Didapatkan juga trabekula kecil yang baru terbentuk yang menggilingi kedua permukaan implan. Implan modSLA memiliki keunggulan tersendiri jika dibandingkan dengan sifat permukaan yang dianodisasi. Sifat hidrofilik yang terdapat pada implan modSLA ternyata memiliki dampak penting dalam respon tulang, hidrofilisitas permukaan akan memengaruhi integritas jaringan lunak dan jaringan keras. Implan anodisasi juga dianggap memiliki keunggulan dalam BIC karena ulir yang cukup pendek jika dibandingkan dengan implan modSLA. Lee, dkk menemukan bahwa BIC jauh lebih tinggi sebagai respon dari implan modSLA, kekasaran yang didapatkan pada permukaan kedua implan tersebut berbeda, yaitu implan modSLA memiliki kekasaran yang lebih jika dibandingkan dengan implan anodisasi. Namun, permukaan yang dianodisasi ternyata memiliki kekasaran yang cukup serta menjadi keuntungan untuk respon tulang jika dibandingkan dengan permukaan yang kasar.²¹

Lupi dan Rizzo menyebutkan potensi yang tinggi pada polarisasi anodic dapat dimanfaatkan untuk menambah ketebalan lapisan titanium oksida (TiO₂) pada permukaan dari implan. Ketebalan lapisan ini akan bertambah secara bertahap hingga 100 μ m. Polarisasi anodic ini kemudian akan bertumbuh serta akan terjadi pula interaksi pada 2 substrat yakni substrat dalam dan substrat luar. Substrat dalam menunjukkan hubungan antara tulang dan oksida sedangkan substrat luar akan menunjukkan hubungan antara oksida dan elektrolit. Karena interaksi yang terjadi ini, ion, molekul dan nanopartikel yang sebelumnya teradsorpsi ke antar permukaan oksida dan elektrolit dapat dimasukkan ke lapisan oksida anodic yang sedang tumbuh. Polarisasi anodic telah dieksplorasi untuk melumpuhkan kolagen pada permukaan implan gigi titanium dan memperoleh efek positif pada oseointegrasi.²²

Menurut Smeets dkk, potensi tinggi pada polarisasi anodic dimanfaatkan untuk menambah ketebalan lapisan TiO₂ pada permukaan implan dental titanium yang terjadi secara bertahap. Modifikasi secara elektrokimia pada permukaan implan pemanfaatan *oksidasi anodic* mampu meningkatkan ketebalan lapisan TiO₂ pada implan titanium konvensional dari 17-200 μ m hingga 600-1000 μ m. Dengan demikian, akan didapatkan permukaan berpori dengan struktur mikro. Ukuran dari pori sekitar 1,3-2,0 mm², dengan porositas 20% dan tingkat kekasaran permukaan sedang. Jenis permukaan implan ini juga disebut sebagai *titanium porous oxide* (TPO) atau implan permukaan titanium porous. Dalam oksidasi anodic, implan terkena sirkuit listrik dengan implan berfungsi sebagai anoda. Oksidasi anodic mungkin secara efektif ditransfer ke leher implan untuk membuat segel jaringan lunak yang rapat. Permukaan titanium berstruktur nano yang dihasilkan oleh oksidasi anodic telah terbukti menyebarkan adesi, proliferasi dan deposisi matriks ekstrasel fibroblas gingiva manusia.²³

Menurut Dua, dkk penggunaan metode uap kimia logam organik (MOCVD) dilakukan untuk persiapan lapisan dari titanium oksida. Hubungan dari Ti dan MOCVD menunjukkan potensi implantasi tulang yang lebih tinggi. Disamping itu, hal ini juga menunjukkan aktivitas hidrofilik yang tinggi yang akan memengaruhi atau berdampak pada respon tulang. Hidrofilisitas pada permukaan ini akan memengaruhi integritas jaringan lunak dan jaringan keras.²⁴

Disimpulkan bahwa modifikasi permukaan implan dental secara kimia menghasilkan oseointegrasi paling baik, yaitu telah disintesis yakni dengan *etsa asam* yang dipadukan dengan modifikasi fisik yakni *sandblasting* serta modifikasi biologi dengan penggunaan kalsium karbonat memiliki biokompatibilitas dan sifat osteokonduktif selama masa penyembuhan 12 minggu. Kontak tulang ke implan telah terjadi pada minggu ke-4 serta pembentukan tulang mengalami peningkatan dari minggu ke-2 hingga minggu ke-4. Modifikasi permukaan secara kimia pada bahan implan dental titanium dapat menambah keka-

saran pada permukaan serta membantu pembentukan tulang baru di sekitar implan, yang dapat membantu percepatan proses oseointegrasi. Untuk itu perlu dilakukan kajian yang lebih mendalam mengenai perbandingan antara berbagai metode modifikasi permukaan secara kimiawi dalam hal efektivitas, biokompatibilitas, biodegradabilitas dan potensi klinis dengan mengacu pada perkembangan terbaru dalam penggunaan teknologi nanomaterial dan biomolekul untuk meningkatkan efisiensi modifikasi permukaan secara kimiawi pada implan titanium.

DAFTAR PUSTAKA

1. Kementerian Kesehatan Republik Indonesia. Riset Kesehatan Dasar 2018. Jakarta: Badan Penelitian dan Pengembangan Kesehatan (LPB) 2018
2. Puspitasari GA, Lisda D, Kusumadewi AN. Pola kehilangan gigi berdasarkan klasifikasi Kennedy serta penyebab utama kehilangan gigi pada rahang atas atau rahang bawah usia dewasa muda. *Jurnal Kedokteran Gigi Universitas Padjadjaran* 2022;34(3):216-25
3. Dwiseptyoga S, Suwandi T. Penatalaksanaan kehilangan gigi posterior dengan implan dental. *Jurnal Kedokteran Gigi Terpadu*. 2022;4(1):110-3.
4. Elani HW, Starr JR, Silva JDD, Gallucci GO. Trends in dental implant use in the U.S., 1999-2016 and projections to 2026. *J Dent Res* 2018;97:1424-30
5. Utami DP, Indrani DJ, Eriwati YK. Peran metode modifikasi permukaan implan terhadap keberhasilan osseointegrasi. *J Ked Gi Unpad* 2019;31:95-101
6. Fitriani CY, Wibawa A. Biokompatibilitas material titanium implan gigi. *Insisiva Dent J* 2019;8(2):53-8
7. Hoque MDE, Showwa NN, Ahmed M, Rashid AB, Sadique SE, Bialy TE, et al. Titanium and titanium alloys in dentistry: current trends, recent developments and future prospects. *Heliyon*. 2022;8:1-19
8. Xue T, Attarilar S, Liu S, Liu J, Song X. Surface modifications techniques of titanium and its alloys to functionally optimize their biomedical properties: the-matic review. *Frontiers in Bionengineering and Biotechnology* 2020;8:1-19
9. Djustina N, Syam AAS, Faza Y, Cahyanto A. Uji mikrostruktur prototype implan gigi titanium pasca perlakuan modifikasi permukaan alternate soaking process dengan konsentrasi CaCl₂ dan Na₂HPO₄ yang berbeda. *Jurnal Kedokteran Gigi Universitas Padjadjaran*. 2021;33(3):247-53
10. Leni D, Gunawarman, Yetri Y, Affi J. Perilaku titanium murni (CPTi grade 2) terhadap lapisan Hydroksiapatite untuk aplikasi medis. *Jurnal Optimasi Sistem Industri* 2018;1(1):1-7
11. Muharni R, Dewi AS. Perilaku korosi paduan titanium Ti6Al4V ELI dilapisi biokeramik pada cairan modifikasi air ludah buatan pada temperature yang berfluktuasi. *Jurnal Rekayasa Energi Manufaktur* 2021;6(1):23-7
12. Matos GRM. Surface roughness of dental implant and osseointegration. *J Maxillofac Oral Surg* 2022;20(1):1-4
13. Jayesh R, Dhinakarsamy V. Osseointerasi. *J Pharm Bioall Sci* 2015;7(5):5226-30
14. Alghamdi HS, Jansen JA. The development and future of dental implants. *Dent Mater J* 2020;39(2):167-72
15. Goel M, Metha R, Kumar A, Kumar V, Bhayana G, Wadhwa S. Implant surface modification and osseointegrasi past, present and future. *J Oral Health Comm Dent* 2014;8(2):113-8
16. Padmanabhan SP. Osseointegration. *J Indian Prostodont Soc* 2013;13(1):2-6
17. Abraham CM. A brief historical perspective on dental implants, their surface coating and treatment. *Open Dent J* 2014;8(1):50-5
18. Liu Y, Zou Y, Jiang T, Liang YD, Zhang Z, wang YN. Evaluation of the osseointegration of dental implants coated with calcium carbonate: An study animal. *Int J Oral Sci* 2017;9(3):133-8
19. Ozel GS, Inan O, Acar AS, Iyidigan GA, Dolanmaz D, Yildirim G. Stability of dental implants with sandblasted and acid-etched (SLA) and modified (SLActive) surface during the osseointegration period. *J Dent Res Dent Clin Dent Prosp* 2021;15(4):226-31
20. Sidiqa AN, Rahaju A, Trilarasati T, Khoirunnisa M. Pengukuran kekerasan karbonat apatit dengan penguat zirconia sebagai aplikasi implan gigi. *Padjajaran J Dent Res Student* 2020;4(1):21-6
21. Lee HJ, Yang IH, Kim SK, Yeo IS, Kwon TK. In vivo comparison between the effects of chemically modified hydrophilic and anodically oxidized titanium surface on initial bone healing. *J Periodont Impl Sci* 2015;45(3):94-100
22. Lupi SM, Torchia M, Rizzo S. Biochemical modification of titanium oral implants. *Mater* 2021;14:1-18
23. Smeets R, Stadlinger B, Schwarz F, Broichsitter BB, Jung O, Precht C, et al. Impact of dental implant surface modification on osseointegration. *BioMed Res Int* 2016:1-16
24. Du J, Li X, Li K, Gu X, Qi W, Zhang K. High hydrophilic sintered TiO₂ nanowires by chemical vapor deposition. *J Alloy Compound* 2016;6(182):893-7