

**MODIFIKASI PERMUKAAN PADA IMPLAN GIGI BERBAHAN  
TITANIUM UNTUK MEMPERCEPAT PROSES OSSEOINTEGRASI**

***LITERATURE REVIEW***

*Diajukan untuk melengkapi salah satu syarat  
mencapai Gelar Sarjana Kedokteran Gigi*



**DISUSUN OLEH :**

**ANDI MUHAMMAD RAFI NUR IMAM**

**J011191033**

**DEPARTEMEN PROSTODONSIA  
PROGRAM STUDI PENDIDIKAN DOKTER GIGI  
FAKULTAS KEDOKTERAN GIGI  
UNIVERSITAS HASANUDDIN  
MAKASSAR**

**2022**

**MODIFIKASI PERMUKAAN PADA IMPLAN GIGI BERBAHAN  
TITANIUM UNTUK MEMPERCEPAT PROSES OSSEOINTEGRASI**

***LITERATURE REVIEW***

**SKRIPSI**

*Diajukan untuk melengkapi salah satu syarat  
mencapai Gelar Sarjana Kedokteran Gigi*

**DISUSUN OLEH:**

**ANDI MUHAMMAD RAFI NUR IMAM**

**J011191033**

**DEPARTEMEN PROSTODONSIA**

**FAKULTAS KEDOKTERAN GIGI**

**UNIVERSITAS HASANUDDIN**

**2022**

**LEMBAR PENGESAHAN**

**Nama : Andi Muhammad Rafi Nur Imam**

**NIM : J011191033**

**Judul Skripsi : Modifikasi Permukaan Pada Implan Gigi Berbahan Titanium  
Untuk Mempercepat Proses Osseointegrasi**

**Telah diperiksa dan Disahkan  
Pada Tanggal 31 Oktober 2022**



**Oleh :**

**Pembimbing**

  
**drg. Irfan Dammar, Sp. Pros (K)**  
**NIP. 197706302009041003**

**Mengetahui,**

**Dekan Fakultas Kedokteran Gigi**

  
**Universitas Hasanuddin**  
  
**Prof. Dr. drg. Edy Machmud, Sp. Pros(K)**  
**NIP. 19631104 199401 1 001**

## SURAT PERNYATAAN

Dengan ini menyatakan bahwa mahasiswa yang tercantum dibawah ini:

Nama : Andi Muhammad Rafi Nur Imam

NIM : J011191033

Judul : Modifikasi Permukaan Pada Implan Gigi Berbahan Titanium Untuk  
Mempercepat Proses Osseointegrasi

Menyatakan bahwa judul skripsi yang diajukan adalah judul baru yang tidak terdapat di Perpustakaan Fakultas Kedokteran Gigi Universitas Hasanuddin.

Makassar, 31 Oktober 2022

Koordinator Perpustakaan FKG UNHAS

  
Amiruddin, S.Sos  
NIP. 19661121 199201 1 003

## PERNYATAAN

Yang bertandatangan dibawah ini:

Nama : Andi Muhammad Rafi Nur Imam

NIM : J011191033

Dengan ini menyatakan bahwa skripsi yang berjudul "**Modifikasi Permukaan Pada Implan Gigi Berbahan Titanium Untuk Mempercepat Proses Osseointegrasi**" adalah benar merupakan karya sendiri dan tidak melakukan tindakan plagiat dalam penyusunannya. Adapun kutipan yang ada dalam penyusunan karya ini telah saya cantumkan sumber kutipannya dalam skripsi. Saya bersedia melakukan proses yang semestinya sesuai dengan peraturan perundangan yang berlaku jika ternyata skripsi ini sebagian atau keseluruhannya merupakan plagiat dari karya orang lain.

Demikian pernyataan ini dibuat untuk dipergunakan seperlunya.

Makassar, 31 Oktober 2022



**Andi Muh Rafi Nur Imam**

**NIM J011191033**

## KATA PENGANTAR

### **Assalamualaikum Warrahmatullahi Wabarakatuh**

Puji syukur kehadiran Allah SWT, atas limpahan rahmat dan karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi berupa *literature review* yang berjudul “**Modifikasi Permukaan Pada Implan Gigi Berbahan Titanium Untuk Mempercepat Proses Osseointegrasi**” dapat penulis selesaikan. Shalawat serta salam senantiasa tercurahkan kepada junjungan kita Nabi Muhammad SAW, yang menjadi suri tauladan bagi kita sepanjang zaman.

Berbagai hambatan penulis alami selama penyusunan skripsi ini, tetapi berkat doa, dukungan, dan bimbingan dari berbagai pihak, skripsi ini dapat terselesaikan dengan tepat waktu. Oleh karena itu, pada kesempatan ini penulis pertama-tama ingin mengucapkan terima kasih serta penghormatan dan penghargaan kepada orang tua penulis yakni, Ayahanda **Andi Eka Arifianto** dan Ibunda **Hj Hania**, karena doa dan restunya sehingga rahmat Allah tercurah, serta kasih sayang dan kesabarannya dalam memberikan dukungan baik material maupun moril sehingga skripsi ini dapat terselesaikan. Dalam kesempatan ini, dengan segala kerendahan hati, penulis ingin mengucapkan terima kasih kepada:

1. **Allah Subhanahu Wa ta’ala** karena atas izin dan keberkahan-Nya penulis diberikan kemudahan dalam penyusunan skripsi ini
2. **Prof. Dr. drg. Edy Machmud, Sp.Pros(K)** selaku Dekan Fakultas Kedokteran Gigi Universitas Hasanuddin dan Dosen Penguji atas bantuan, masukan, saran dan bimbingannya selama penulis mengikuti pendidikan dijenjang S1 atau pre-klinik
3. **drg. Irfan Dammar, Sp. Pros (K)** selaku dosen pembimbing skripsi yang telah meluangkan waktu untuk memberikan arahan, bimbingan, dan nasihat kepada penulis selama penyusunan skripsi ini.
4. **drg. Supiaty, M.Kes.** selaku dosen pembimbing akademik yang telah membantu dan mengarahkan penulis untuk terus meningkatkan prestasi iii

dalam segi akademik. Insya Allah suatu hari nanti penulis dapat membalas jasa - jasa beliau, Aamiin

5. **Dr. drg. Ike Damayanti Habar, Sp.Pros (K).** selaku dosen penguji skripsi yang telah meluangkan waktu untuk memberikan kritik dan saran yang membangun dalam penyusunan skripsi ini.
6. **Seluruh Dosen, Staf Akademik, Staf Perpustakaan FKG Unhas, dan Staf Bagian Prostodonsia** yang telah banyak membantu penulis
7. Sahabat penulis **Aditya Reynaldi Lomo & Eshin Usami Nur Rahman** yang telah mendukung, memberi semangat, motivasi, memberi saran dan teguran kepada penulis, menghibur, menjadi saudara, mendengar keluh kesah penulis, dan memudahkan urusan penulis baik dalam penyusunan skripsi maupun selama masa perkuliahan.
8. Sahabat **BOBA tersayang dan terkasih (Asrawaty, Reski Wulan Salsabila, Haryadi Putra Burhanuddin, Muh Yusuf Aqyla)** yang telah mendukung, memberi semangat, menghibur, menemani saat penulis berada pada titik terendah, serta memudahkan urusan penulis baik dalam penyusunan skripsi maupun selama masa perkuliahan. Semoga hubungan pertemanan kita tidak putus hingga kita berada di puncak kesuksesan masing - masing.
9. Sahabat seperjuangan penulis **Al – Ghumaisha, Finka Afifah Ummiati, Nurul Aulia Ramdhani, Rani Amalia Putri,** yang telah memberi semangat, mendukung, menghibur, menemani saat penulis berada pada titik terendah, mendengarkan keluh kesah penulis, serta membantu penulis dalam mengambil keputusan baik dalam penyusunan skripsi maupun selama masa perkuliahan. Semoga kelak hubungan pertemanan kita dapat menuntun kita menuju kesuksesan bersama.
10. Sahabat **XLHomiez (Dandy Khalil, Dhika Khoirunnisa, Dhea Aurelia Miranda Syam, Rayhana Adhifah Muqarramah, Widya Inayah Salsabila)** yang telah memberi dukungan, menghibur, dan membantu penulis dalam mengambil keputusan baik dalam penyusunan skripsi maupun selama masa perkuliahan.

11. Sahabat penulis, **Nurhaliza Harla, Izzah Karimah** yang senantiasa membantu penulis dalam penyusunan skripsi hingga selesai.
12. Teman inspiratif **Alveolar 2019** yang tidak bisa penulis sebutkan satu per satu karena telah membantu penulis baik dalam masa perkuliahan maupun selama penyusunan skripsi hingga selesai.
13. Teman inspiratif **Alveolaki** yang senantiasa membantu menghibur, serta menemani penulis baik dalam masa perkuliahan maupun selama penyusunan skripsi hingga selesai.
14. **TWICE**, yang telah menghibur, memberikan motivasi dan dukungan, serta menemani hari-hari penulis baik dalam masa perkuliahan maupun selama penyusunan skripsi.
15. **Billie Eilish, Rex Orange County, Kyungsoo, Marvel**, yang telah menghibur, memberikan motivasi dan dukungan, serta menemani hari-hari penulis baik dalam masa perkuliahan maupun selama penyusunan skripsi.
16. Pihak-pihak lain yang membantu secara langsung maupun tidak langsung yang tidak dapat disebutkan satu per satu.

Akhir kata penulis mengucapkan banyak terima kasih kepada semua pihak yang telah berkontribusi dalam penyusunan skripsi ini, walaupun pada penyusunan skripsi berupa *literature review* ini masih terdapat banyak kekurangan dan jauh dari kata sempurna karena keterbatasan ilmu yang penulis miliki. Penulis juga mengharapkan agar skripsi ini dapat bermanfaat bagi penulis maupun para pembaca..

**Wassalamualaikum warrahmatullahi wabarakaatuh.**

Makassar, 31 Oktober 2022



Penulis



## ABSTRAK

### MODIFIKASI PERMUKAAN PADA IMPLAN GIGI BERBAHAN TITANIUM UNTUK MEMPERCEPAT PROSES OSSEOINTEGRASI

Andi Muhammad Rafi Nur Imam<sup>1</sup>, Irfan Dammar<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Mahasiswa S1 Fakultas Kedokteran Gigi Universitas Hasanuddin,

<sup>2</sup>Dosen Departemen Prostodonsia Fakultas Kedokteran Gigi Universitas Hasanuddin

**Latar Belakang:** Kehilangan gigi merupakan kondisi lepasnya satu atau lebih gigi dari tempatnya. Kehilangan gigi dapat ditindaklanjuti dengan menggunakan implan gigi. Implan gigi merupakan gigi tiruan yang ditanamkan secara invasif ke dalam tulang alveolar untuk menggantikan gigi yang hilang. Bahan yang banyak digunakan untuk implan gigi adalah jenis titanium (Ti) karena memiliki beragam keuntungan akan tetapi menghasilkan osseointegrasi yang kurang baik sehingga dibutuhkan modifikasi pada permukaan implannya. Modifikasi permukaan implan merupakan teknik yang digunakan untuk meningkatkan kekasaran permukaan, meniru struktur tulang secara fisik, dan untuk meningkatkan biokompatibilitas implan. **Tujuan:** Penulisan kajian literatur ini bertujuan untuk mengetahui apa saja modifikasi permukaan yang dapat dilakukan untuk mempercepat proses osseointegrasi implan gigi berbahan titanium **Metode:** *Literature Review*. Adapun langkahnya yaitu mengumpulkan informasi dari beberapa sumber, melakukan kompilasi data menggunakan metode sintesis informasi dari literatur/jurnal, dan tinjauan literatur. **Hasil:** Berdasarkan kajian literatur dan analisis jurnal yang telah dilakukan, beragam modifikasi permukaan dapat dilakukan untuk mempercepat proses osseointegrasi pada implan gigi berbahan titanium. **Kesimpulan:** Modifikasi permukaan dapat mengubah morfologi dari permukaan implan gigi berbahan titanium sehingga dapat membantu pembentukan tulang baru antar implan dengan tulang dan meningkatkan osseointegrasi antara tulang dan implan gigi berbahan titanium

**Kata Kunci:** Modifikasi permukaan, implan gigi titanium, osseointegrasi

## ABSTRACT

### SURFACE MODIFICATION ON TITANIUM DENTAL IMPLANT TO ACCELERATE OSSEOINTEGRATION PROCESS

Andi Muhammad Rafi Nur Imam<sup>1</sup>, Irfan Dammar<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Undergraduate Student of the Faculty of Dentistry, Hasanuddin University

<sup>2</sup>Lecturer of the Department of Prosthodontics, Faculty of Dentistry,  
Hasanuddin University

**Background:** Tooth loss is a condition where one or more teeth are removed from their place. Tooth loss can be treated with dental implants. Dental implants are artificial teeth that are implanted invasively into the alveolar bone to replace missing teeth. The material that is widely used for dental implants is titanium (Ti) because it has various advantages but produces poor osseointegration so that modifications to the implant surface are needed. Implant surface modification is a technique used to increase surface roughness, physically mimic bone structure, and to improve implant biocompatibility. **Objective:** The purpose of this literature review is to find out what surface modifications can be done to accelerate the osseointegration process of titanium dental implants. **Method:** Literature Review. The steps are collecting information from several sources, compiling data using information synthesis methods from literature/journals, and reviewing literature. **Results:** Based on the literature review and journal analysis that has been carried out, various surface modifications can be carried out to accelerate the osseointegration process in titanium dental implants. **Conclusion:** Surface modification can change the morphology of the surface of titanium dental implant so that it can help the formation of new bone between implants and bone and increase osseointegration between bone and titanium dental implant.

**Keywords:** Surface modification, titanium dental implant, osseointegration

## DAFTAR ISI

<b>SAMPUL</b> .....	<b>i</b>
<b>LEMBAR PENGESAHAN</b> .....	<b>iii</b>
<b>SURAT PERNYATAAN</b> .....	<b>iv</b>
<b>PERNYATAAN</b> .....	<b>v</b>
<b>KATA PENGANTAR</b> .....	<b>vi</b>
<b>ABSTRAK</b> .....	<b>ix</b>
<b>BAB I</b> .....	<b>1</b>
<b>PENDAHULUAN</b> .....	<b>1</b>
1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Rumusan Masalah .....	3
1.3 Tujuan Penulisan .....	4
1.3.1 Tujuan Umum .....	4
1.3.2 Tujuan Khusus .....	4
1.4 Manfaat Penulisan .....	4
1.4.1 Manfaat Teoritis.....	4
1.4.2 Manfaat Praktis .....	4
<b>BAB II</b> .....	<b>6</b>
<b>TINJAUAN PUSTAKA</b> .....	<b>6</b>
2.1 Implan Gigi.....	6
2.2 Bahan Implan Gigi .....	6
2.2.1 Logam .....	6
2.2.2 Keramik .....	8
2.2.3 Polimer.....	9
2.3 Osseointegrasi .....	10
2.3.1 Definisi.....	10
2.3.2 Proses Osseointegrasi .....	10
2.3.3 Faktor yang Memengaruhi Keberhasilan Osseointegrasi .....	13
2.4 Modifikasi Permukaan .....	14
2.4.1 Modifikasi Permukaan Fisik.....	15
2.4.2 Modifikasi Permukaan Kimia.....	17
2.4.3 Modifikasi Permukaan Biologis .....	20

2.5 Kerangka Teori.....	23
<b>BAB III.....</b>	<b>24</b>
<b>METODOLOGI PENULISAN.....</b>	<b>24</b>
3.1 Jenis Penulisan .....	24
3.2 Kriteria Kelayakan .....	24
3.2.1 Kriteria Inklusi.....	24
3.2.2 Kriteria Eksklusi .....	24
3.3 Strategi Pencarian Jurnal .....	25
3.4 Metode Pengumpulan Data .....	25
<b>BAB IV .....</b>	<b>27</b>
<b>PEMBAHASAN .....</b>	<b>27</b>
4.1 Analisis Sintesa Jurnal.....	34
4.2 Analisis Persamaan dan Perbedaan Jurnal .....	46
<b>BAB V.....</b>	<b>48</b>
<b>PENUTUP.....</b>	<b>48</b>
5.1 Kesimpulan.....	48
5.2 Saran.....	49
<b>DAFTAR PUSTAKA .....</b>	<b>50</b>

## **DAFTAR GAMBAR**

<b>Gambar 2.1.....</b>	<b>12</b>
<b>Gambar 4.1 .....</b>	<b>36</b>
<b>Gambar 4.2 .....</b>	<b>38</b>
<b>Gambar 4.3 .....</b>	<b>39</b>

## **DAFTAR TABEL**

<b>Tabel 3.1.....</b>	<b>25</b>
<b>Tabel 3.2.....</b>	<b>26</b>
<b>Tabel 4.1.....</b>	<b>35</b>
<b>Tabel 4.2 .....</b>	<b>37</b>

# **BAB I**

## **PENDAHULUAN**

### **1.1 Latar Belakang**

Gigi merupakan bagian tubuh yang memiliki fungsi dan peran penting bagi tubuh manusia. Gigi berfungsi dalam pengunyahan, estetik, dan bicara serta memiliki pengaruh terhadap status gizi serta kualitas hidup seseorang. Fungsi gigi dapat terganggu jika terjadi kehilangan gigi dan dapat menyebabkan penurunan kualitas hidup seseorang akibat kurangnya kemampuan mengunyah, penurunan tingkat kepercayaan diri, hingga gangguan kemampuan berbicara.<sup>1,2</sup>

Kehilangan gigi merupakan kondisi lepasnya satu atau lebih gigi dari tempatnya. Kehilangan gigi biasanya terjadi pada anak-anak mulai usia 6 tahun yang mengalami hilangnya gigi sulung yang nantinya akan digantikan dengan gigi permanen.<sup>3</sup> Setiap orang akan mempertahankan gigi permanennya sepanjang hidup, sehingga kehilangan gigi permanen pada orang dewasa merupakan hal yang sangat dihindari. Kehilangan gigi dapat disebabkan oleh beberapa penyebab seperti trauma, penyakit periodontal, dan karies.<sup>2</sup>

Menurut Riset Kesehatan Dasar (RISKESDAS) Nasional tahun 2018, prevalensi kehilangan gigi kurang dari 28 gigi di Indonesia adalah 51,4 % dengan persentase tertinggi pada usia 65 tahun ke atas yaitu sebesar 79,8% , kemudian diikuti oleh umur 55-64 tahun yaitu sebesar 70,2%, sedangkan prevalensi kehilangan gigi lebih dari 28 gigi di Indonesia adalah 1,3% dengan persentase tertinggi pada usia 65 tahun ke atas yaitu sebesar 9%, kemudian diikuti oleh umur 55-64 tahun yaitu sebesar 2,6%. Prevalensi penggunaan gigi tiruan sebagian di Indonesia menurut Riset Kesehatan Dasar (RISKESDAS) Nasional tahun 2018 yaitu 3,5% dengan persentase terbesar pada umur di atas 55-64 tahun yaitu 6,5% yang kemudian diikuti oleh umur di atas 65 tahun yaitu 6,4%. Prevalensi penggunaan gigi tiruan penuh di Indonesia menurut RISKESDAS Nasional tahun 2018 yaitu 1,2% dengan persentase terbesar pada umur di atas 65 tahun yaitu 5,8% yang kemudian diikuti oleh umur 55-64 tahun yaitu 2,9%.<sup>4</sup>

Kehilangan gigi dapat mengakibatkan beberapa kerugian seperti kesulitan mengunyah, adanya gigi yang supraerupsi, miring atau bergeser jika tidak segera ditindak lanjuti. Oleh karena itu, kehilangan gigi dapat ditindaklanjuti dengan mengganti gigi yang hilang menggunakan implan gigi.<sup>5,6</sup> Beberapa kelebihan dari implan gigi yaitu dapat menggantikan gigi yang hilang dengan gigi tiruan dengan estetis yang baik, gigi tiruan yang digunakan tidak perlu dilepas untuk dibersihkan, dan implan gigi tidak membutuhkan gigi lain agar dapat melekat pada rongga mulut sehingga implan gigi tidak mengorbankan gigi tetangga untuk dijadikan sebagai penyangga.<sup>6</sup>

Implan gigi merupakan gigi tiruan yang ditanamkan secara invasif ke dalam tulang alveolar baik rahang atas maupun rahang bawah untuk menggantikan gigi yang hilang.<sup>7,8</sup> Implan gigi ditanamkan ke dalam rahang, oleh karena itu implan gigi memiliki retensi dan dukungan kekuatan pada pemasangan gigi tiruan, sehingga pemasangan implan gigi ini dapat berfungsi untuk mengembalikan fungsi kunyah, estetis dan fungsi bicara.<sup>7,9</sup> Secara klinis, keberhasilan implan gigi dapat dilihat dalam beberapa tolak ukur seperti kepuasan pasien, estetis, stabilitas implan gigi, tidak adanya infeksi jaringan lunak di sekitar implan, retensi implan gigi, dan kehilangan tulang yang minimal jika dilakukan foto radiografi.<sup>9</sup> Bahan yang digunakan untuk implan gigi dapat dibedakan menjadi empat kelompok yaitu besi, keramik, polimer, dan *hybrid*.<sup>10</sup> Hingga tulisan ini dibuat, bahan yang banyak digunakan untuk implan gigi adalah jenis titanium (Ti) karena bahan ini memiliki densitas yang rendah, kekuatan yang tinggi, bersifat non toksik, serta memiliki ketahanan terhadap korosi. Meskipun memiliki beberapa keuntungan tersebut, salah satu kekurangan yang dimiliki oleh bahan titanium adalah osseointegrasi yang terjadi antara implan dengan tulang kurang baik.<sup>9</sup>

Osseointegrasi merupakan hubungan struktural dan fungsional antara tulang dengan permukaan implan gigi yang ditanamkan ke dalam rahang.<sup>11</sup> Osseointegrasi ini merupakan kunci dari stabilitas implan gigi dan dianggap sebagai syarat kesuksesan suatu implan gigi.<sup>9,11</sup> Osseointegrasi pada implan gigi di anggap telah terbentuk jika tidak ada pergerakan progresif antara implan gigi



dengan tulang yang berkontak langsung.<sup>12</sup> Proses osseointegrasi dapat dipengaruhi oleh dua faktor yaitu lingkungan antarmuka tulang-implan gigi dan desain dari implan gigi itu sendiri. Bahan, permukaan, dan topologi dari implan dapat memengaruhi proses osseointegrasi.<sup>10</sup> Implan gigi berbahan titanium menghasilkan osseointegrasi yang kurang baik sehingga dibutuhkan modifikasi pada permukaan implannya.<sup>9</sup>

Modifikasi permukaan implan merupakan teknik yang digunakan pada permukaan implan gigi untuk meningkatkan kekasaran permukaan, meniru struktur tulang secara fisik, dan untuk meningkatkan biokompatibilitas implan. Modifikasi pada permukaan implan gigi berperan penting karena permukaan implan gigi merupakan salah satu faktor penting yang dapat memengaruhi proses osseointegrasi. Modifikasi permukaan implan dapat dibagi menjadi tiga kategori yaitu fisik, kimia, dan biologi yang memiliki keuntungan dan batasannya tersendiri.<sup>10</sup> Berdasarkan hal tersebut, penulis tertarik untuk mengkaji lebih dalam mengenai beragam modifikasi permukaan yang dapat dilakukan untuk mempercepat proses osseointegrasi pada implan gigi berbahan titanium.

## **1.2 Rumusan Masalah**

Berdasarkan latar belakang yang telah dijelaskan, maka dapat diperoleh rumusan masalah yaitu:

1. Apa saja modifikasi permukaan yang dapat dilakukan untuk mempercepat proses osseointegrasi pada implan gigi berbahan titanium?
2. Apa saja modifikasi permukaan fisik yang dapat dilakukan untuk mempercepat proses osseointegrasi pada implan gigi berbahan titanium?
3. Apa saja modifikasi permukaan kimia yang dapat dilakukan untuk mempercepat proses osseointegrasi pada implan gigi berbahan titanium?
4. Apa saja modifikasi permukaan biologis yang dapat dilakukan untuk mempercepat proses osseointegrasi pada implan gigi berbahan titanium?
5. Apakah menggabungkan modifikasi permukaan dapat menghasilkan osseointegrasi yang lebih baik?

### **1.3 Tujuan Penulisan**

#### **1.3.1 Tujuan Umum**

Mengetahui apa saja modifikasi permukaan yang dapat dilakukan untuk mempercepat proses osseointegrasi pada permukaan implan berbahan titanium.

#### **1.3.2 Tujuan Khusus**

1. Mengetahui modifikasi permukaan fisik yang dapat dilakukan untuk mempercepat proses osseointegrasi pada permukaan implan berbahan titanium
2. Mengetahui modifikasi permukaan kimia yang dapat dilakukan untuk mempercepat proses osseointegrasi pada permukaan implan berbahan titanium
3. Mengetahui modifikasi permukaan biologis yang dapat dilakukan untuk mempercepat proses osseointegrasi pada permukaan implan berbahan titanium.

### **1.4 Manfaat Penulisan**

#### **1.4.1 Manfaat Teoritis**

Hasil penulisan diharapkan dapat meningkatkan pengetahuan mengenai modifikasi permukaan yang dapat dilakukan untuk mempercepat proses osseointegrasi pada permukaan implan gigi berbahan titanium.

#### **1.4.2 Manfaat Praktis**

1. Memberi informasi mengenai modifikasi permukaan yang dapat dilakukan untuk mempercepat proses osseointegrasi pada permukaan implan gigi berbahan titanium.

2. Penulisan ini diharapkan dapat digunakan sebagai salah satu acuan penggunaan modifikasi permukaan pada implan gigi berbahan titanium untuk mempercepat proses osseointegrasi.

## **BAB II**

### **TINJAUAN PUSTAKA**

#### **2.1 Implan Gigi**

Implan gigi merupakan alat prostetik yang secara bedah di tanamkan ke dalam tulang alveolar baik rahang atas atau rahang bawah dengan tujuan untuk menggantikan gigi yang hilang. Implan gigi dapat juga diartikan sebagai substansi yang ditempatkan di dalam tulang dengan tujuan untuk menyediakan retensi dan dukungan bagi protesa gigi cekat atau lepasan.<sup>8,13</sup>

#### **2.2 Bahan Implan Gigi**

Bahan yang digunakan untuk implan ortopedik telah mengalami perkembangan yang signifikan. Dapat menahan beban kunyah, biokompatibel, tahan terhadap fraktur, dan tidak korosi merupakan sifat-sifat yang harus dimiliki oleh bahan implan yang ideal. Bahan yang memiliki sifat mekanis yang mirip dengan tulang dapat meningkatkan jumlah dan kecepatan pertumbuhan tulang. Berdasarkan sifat bahan yang digunakan untuk fabrikasi, implan gigi dapat dibagi menjadi tiga kelompok : logam, keramik, dan polymer.<sup>10,14</sup>

##### **2.2.1 Logam**

Logam merupakan bahan implan gigi yang telah digunakan selama bertahun-tahun dan tetap menjadi bahan yang paling sering digunakan dalam bedah ortopedik karena sifat biomekanis yang dimiliki oleh bahan logam.<sup>10</sup>

##### **1. Titanium**

Titanium (Ti) merupakan bahan yang paling sering digunakan sebagai implan di seluruh dunia. Titanium merupakan bahan pilihan untuk implan karena titanium memiliki potensi yang baik untuk bergabung dengan tulang. Titanium menjadi bahan yang paling sering digunakan karena memiliki daya tahan yang tinggi, tahan terhadap

korosi, dan memiliki modulus elastisitas yang rendah. Ti6Al4V (Titanium ; 6% aluminium ; 4% vanadium) merupakan titanium dengan sifat mekanis yang baik dibandingkan dengan titanium lainnya. Aluminium dalam Ti6Al4V dapat meningkatkan kekuatan dan kepadatan logam sedangkan vanadium dapat mencegah korosi pada aluminium. Kekurangan dari bahan titanium adalah titanium dapat menimbulkan reaksi alergi. Alergi bahan titanium dapat menimbulkan eskim wajah, dermatitis, ruam, dan gingiva hiperplastik.<sup>10,14</sup>

## 2. Tantalum

Tantalum (Ta) merupakan bahan yang inert dan tahan terhadap korosi dengan titik leleh yang sangat tinggi (3,017°C). Tantalum sangat konduktif terhadap panas dan listrik dan memiliki sifat biokompatibilitas yang lebih baik dibandingkan Titanium. Reaksi oksidasi pada Ta dapat menyediakan adhesi, proliferasi, dan diferensiasi osteoblast yang lebih baik dibandingkan Ti6Al4V. Selain biokompatibilitas yang baik, Ta juga memiliki koefisien terhadap friksi yang tinggi. Akan tetapi, struktur Ta yang tinggi poros menyebabkan topography yang akurat sulit terbentuk pada bahan Ta. Bahan Ta terbatas dan memiliki biaya pembuatan yang tinggi sehingga Ta hanya diproduksi sebagai *powder* dan di lapisi pada permukaan implan.<sup>10</sup>

## 3. Logam cobalt-chromium

Logam cobalt-chromium (CoCr) merupakan logam yang memiliki sifat mekanis yang baik dan tahan terhadap korosi. Cobalt meningkatkan kekuatan dari logam dan chromium meningkatkan ketahanan terhadap korosi. Akan tetapi, osseointegrasi dan biokompatibilitas dari bahan ini tidak lebih baik dari logam Ti. Bahan ini juga bersifat rapuh dan dapat menyebabkan reaksi alergi. Logam cobalt-chromium tidak lagi digunakan sebagai bahan implan gigi.<sup>10,15</sup>

### 2.2.2 Keramik

Keramik merupakan bahan inorganik yang dibuat dengan sintering dan pemadatan partikel padat pada suhu yang tinggi. Bahan keramik telah mengalami perkembangan dalam hal sifat mekanis sejak pertama kali diperkenalkan pada tahun 1970an.<sup>10</sup> Keramik sebagai bahan implan gigi memiliki beberapa keuntungan seperti bersifat inert terhadap proses biodegradasi dan memiliki kekuatan yang tinggi sehingga bahan ini cocok diaplikasikan pada implantologi. Akan tetapi, bahan ini memiliki beberapa kekurangan seperti memiliki keuletan rendah dan bersifat rapuh sehingga bahan ini memerlukan perhatian yang lebih.<sup>16</sup> Beberapa jenis keramik yang digunakan sebagai bahan implan gigi yaitu zirkonia, alumunium oksida, dan kalsium fosfat.<sup>10,16</sup>

#### 4. Zirkonia

Zirkonia ( $ZrO_2$ ) merupakan bentuk oksidasi dari zirkonium yang merupakan keramik yang telah digunakan sebagai implan biomedis sejak tahun 1969. Zirkonia memiliki sifat tahan terhadap korosi dan goresan, biokompatibel, dan tidak menyebabkan reaksi alergi pada manusia. Zirkonia digunakan sebagai bahan implan gigi karena memiliki warna putih yang menyerupai warna alami gigi. Zirkonia memiliki tiga tipe status kristallografi berdasarkan suhunya. Zirkonia murni berada pada fase monoclinic (M) yang kemudian akan berubah menjadi tetragonal (T) jika suhunya dinaikkan hingga 1170 derajat celcius. Fase T kemudian akan berubah menjadi cubic (C) jika suhunya dinaikkan hingga 2370 derajat celcius. Fase T merupakan fase metastabil dengan kekuatan tertinggi. Zirkonia dapat berubah dari fase T hingga fase M dan menyebabkan retak dan berkurangnya kekerasan permukaan implan. Untuk mencegah hal tersebut, beragam oksida ditambahkan pada zirkonia agar tetap pada fase T.<sup>10</sup>

## 5. Alumunium Oksida

Alumunium oksida ( $Al_2O_3$ ) merupakan jenis keramik polikristalin yang didapatkan dari bubuk alumunium oksida dan dibuat menjadi implan pada suhu yang tinggi. Alumunium oksida merupakan bahan yang memiliki ketahanan terhadap korosi yang baik, kompatibilitas yang baik, dan memiliki kekuatan yang tinggi sehingga alumunium oksida dianggap sebagai bahan implan yang baik. Kekurangan dari bahan ini adalah bahan ini bersifat inert, rapuh, berpotensi pecah saat di insersi kan, dan membatasi potensi osteogenik.<sup>10,16</sup>

## 6. Keramik Kalsium Fosfat

Keramik kalsium fosfat merupakan bahan yang non-immunogenik dan bersifat biokompatibel terhadap jaringan. Hidroksiapatit dan Tricalcium fosfat merupakan jenis kalsium fosfat yang paling sering digunakan. Bahan ini dapat menghasilkan ikatan langsung antara implan dan tulang sehingga bahan ini biasanya digunakan sebagai bahan *grafting* untuk memfasilitasi pembentukan tulang baru. Bahan ini juga digunakan sebagai pelapis implan untuk mempercepat penyembuhan tulang disekitar implan. Akan tetapi, beberapa penelitian menunjukkan bahwa tidak ada perubahan integrasi antara implan yang dilapisi kalsium fosfat dengan implan yang tidak dilapisi kalsium fosfat.<sup>16</sup>

### 2.2.3 Polimer

Implan gigi berbahan polimer pertama kali di perkenalkan pada tahun 1930an. Polimer memiliki modulus elastisitas yang rendah, biokompatibel, dan memiliki pemanjangan terhadap fraktur yang tinggi. Modulus elastisitas pada bahan polimer hampir mirip dengan jaringan lunak. Jika dibandingkan dengan biomaterial lain, bahan polimer memiliki kekuatan yang rendah.<sup>10,16</sup>

## 1. *Polyetheretherketone* (PEEK)

*Polyetheretherketone* (PEEK) merupakan bahan termoplastik semikristalin yang terbuat dari reaksi alkilasi dari bisfenolat yang pertama kali diperkenalkan pada tahun 1990an.<sup>10</sup> Keuntungan utama dari PEEK adalah modulus elastisitasnya (3,6 GPa) yang dapat ditingkatkan hingga menyerupai modulus elastisitas dari tulang kortikal (18 GPa) menggunakan fiber karbon. Bahan ini dapat digunakan pada pasien yang memiliki alergi terhadap bahan titanium. Beberapa penelitian menyatakan bahwa sifat bioinert dan permukaan halus dari PEEK dapat menghalangi proses osseointegrasi dan dapat menginduksi terbentuknya enkapsulasi fibrosa. Kekurangan lain dari PEEK adalah bahan ini memiliki sifat antibakteri yang kurang pada permukaannya dan bahan pelapis yang ada pada permukaannya dapat terlepas dan menyebabkan inflamasi serta osteolisis.<sup>10,16</sup>

## 2.3 Osseointegrasi

### 2.3.1 Definisi

Osseointegrasi merupakan hubungan struktural dan fungsional antara tulang dengan permukaan implan tanpa melibatkan jaringan pengikat. Osseointegrasi terdiri dari dua kosa kata latin yaitu 'os' yang artinya tulang dan 'integrasi' yang artinya menyatu secara keseluruhan. *American Academy of Implant Dentistry* (AAID) mendefinisikan osseointegrasi sebagai pelekatan biologis yang kuat, langsung dan bertahan lama dari implan ke tulang tanpa intervensi dari jaringan pengikat.<sup>13,17,18</sup>

### 2.3.2 Proses Osseointegrasi

Osseointegrasi merupakan proses dinamis yang melibatkan respons kaskade dan sifat permukaan implan memegang peran besar terhadap kesuksesan prosesnya. Kaskade kejadian biologis seluler dan ekstraseluler



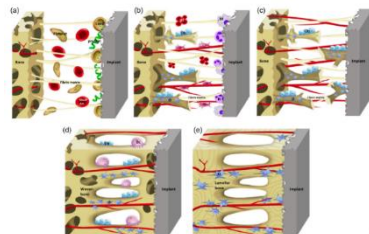
terlibat dalam penyembuhan tulang di sekitar implan. Saat implan ditanamkan, terjadi respons inflamasi yang menyebabkan dilepaskannya beberapa protein seperti sitokin dan faktor pertumbuhan yang akan membentuk bekuan darah. Protein dan lipid dari bekuan darah tersebut kemudian akan terserap oleh permukaan implan dan kemudian melapisi permukaan implan. Lapisan protein ini bertindak sebagai penanda bagi proliferasi dan migrasi sel. Kekuatan adhesi dan tipe protein dipengaruhi oleh sifat dari permukaan implan seperti fitur topografi, kekasaran permukaan, dan hidrofilisitas. Platelet darah kemudian akan membentuk matriks fibrin yang berperan sebagai perantara atau “jembatan” bagi pelekatan dan migrasi sel.<sup>10</sup>

Makrofag dan neutrofil kemudian akan melekat pada implan melalui fibrin matriks 2-3 hari setelah implan ditanamkan. Makrofag dan neutrofil kemudian akan menghilangkan patogen dan jaringan nekrotik serta menyediakan ruang bagi pembuluh darah baru dengan mengurai bekuan darah. Angiogenesis kemudian terjadi pada celah antara implan dengan tulang empat hari setelah implan ditanamkan. Sel punca mesenkimal (SPM) kemudian akan berkumpul di sekitar struktur pembuluh darah. Dipengaruhi oleh sitokin dan faktor pertumbuhan, SPM mengalami diferensiasi dan berubah menjadi osteoblas yang dapat menghasilkan matriks ekstraseluler dan membentuk tulang woven imatur. Permukaan implan dan komunikasi sel dapat memengaruhi SPM untuk terdiferensiasi menjadi fibroblas yang dapat merangsang pembentukan membran fibrosa pada permukaan implan gigi dan mengganggu proses pembentukan tulang.<sup>10</sup>

Pembentukan tulang woven akan terjadi selama 1-2 minggu setelah implan ditanamkan dan fase ini disebut fase oseokonduktif. Tulang woven merupakan tipe primitif dari jaringan tulang yang di karakteristik kan dengan fibril kolagen acak, kepadatan mineral yang rendah, dan osteosit berbentuk iregular.<sup>10,18</sup> Terdapat dua jenis osteogenesis yang terjadi berdasarkan tempat SPM melekat, yaitu osteogenesis berjarak dan osteogenesis kontak. Osteogenesis berjarak merupakan pembentukan tulang yang dimulai dari

tulang yang kemudian akan bermigrasi ke permukaan implan melalui fibrin matriks. Osteogenesis kontak merupakan pembentukan tulang yang diinisiasi secara langsung pada permukaan implan. Kedua proses osteogenesis ini terjadi secara interaktif, di mana tulang yang mengalami osteogenesis berjarak dapat mengirimkan sinyal untuk menginduksi osteogenesis kontak.<sup>10</sup> Osteogenesis kontak dan berjarak ini dapat menyediakan stabilitas sekunder bagi implan.<sup>10,18</sup>

Celah antara tulang dengan implan kemudian akan dipenuhi oleh tulang woven dalam dua minggu dan kemudian proses terakhir dari osseointegrasi yaitu aposisi dan *remodeling* tulang terjadi. Pada tahap ini osteoklas dan osteoblas bekerja secara harmonis dan tulang woven secara bertahap akan berubah menjadi tulang fiber paralel dan kemudian berubah menjadi tulang lamellar.<sup>10</sup> Tulang fiber paralel merupakan tahap menengah antara tulang woven dan tulang lamellar sedangkan tulang lamellar merupakan tipe tulang paling rumit yang memiliki kekuatan paling tinggi.<sup>18</sup> Pada tahap ini osteoklas menyerap tulang yang baru terbentuk untuk mengatasi *microcrack* dan mengoptimalkan permukaan tulang untuk pembentukan tulang lamellar. Osteoklas membentuk *sealing zone* dan membuat beragam mikrotopografi dan nanotopografi yang mengandung informasi biokimia yang akan mengarahkan osteoblas ke bagian yang membutuhkan pembentukan tulang baru. Proses ini kemudian terjadi secara berkelanjutan selama satu tahun atau lebih.<sup>10</sup>



**Gambar 2.1** Proses osseointegrasi pada implan. (a). Penyerapan protein dan lipid dari bekuan darah. (b). Angiogenesis dan pembentukan tulang *woven* (c). Osteogenesis berjarak dan osteogenesis kontak. (d). Tulang *woven* memenuhi celah antara tulang dan implan serta terjadi proses *remodeling* tulang (e). Tulang *woven* berubah menjadi tulang lamellar.

### **2.3.3 Faktor yang Memengaruhi Keberhasilan Osseointegrasi**

Keberhasilan osseointegrasi suatu implan dapat dinilai dari beberapa aspek mulai dari stabilitas hingga foto radiografi dari implan. Implan gigi dianggap tidak mengalami osseointegrasi jika terdapat mobilitas dan terdapat radiolusensi pada foto radiografinya. Keberhasilan osseointegrasi ditandai dengan tidak adanya mobilitas pada implan saat di uji secara klinis, foto radiografi tidak menunjukkan radiolusensi, resorpsi tulang kurang dari 0.2 mm, dan tidak adanya gejala yang muncul seperti nyeri, infeksi, parasthesia, dan neuropati.<sup>11,13</sup>

Terdapat dua jenis faktor yang dapat mempengaruhi keberhasilan osseointegrasi suatu implan, yaitu faktor umum dan faktor implan. Faktor umum yang memengaruhi osseointegrasi meliputi terapi radiasi, porositas yang tidak tepat, penggunaan obat seperti Cyclosporin A, Warfarin, Cisplatin, serta riwayat medis pengguna implan seperti osteoporosis, usia lanjut, merokok, kekurangan nutrisi, dan penyakit fungsi ginjal. Faktor implan merupakan faktor yang dapat memengaruhi osseointegrasi yang berasal dari implan gigi.<sup>18</sup> Terdapat beberapa aspek dari implan gigi yang dapat memengaruhi keberhasilan osseointegrasi, yaitu:

#### **1. Desain implan**

Desain dari implan dapat memengaruhi keberhasilan dari osseointegrasi. Implan berbentuk menyerupai akar gigi disarankan untuk memperoleh osseointegrasi yang baik.<sup>13</sup> Implan dengan panjang yang sesuai dapat membantu proses osseointegrasi sehingga tidak disarankan menggunakan implan dengan panjang kurang dari 10 mm. Diameter dari implan juga dapat memengaruhi proses osseointegrasi. Implan dengan diameter lebih dari 5 mm tidak terlalu menguntungkan bagi proses osseointegrasi.<sup>18</sup>

## 2. Permukaan implan

Permukaan implan memiliki peran penting dalam proses osseointegrasi. Porositas dan kekasaran permukaan implan dapat memengaruhi keberhasilan osseointegrasi. Porositas yang sempit dan kekurangan porositas pada permukaan implan dapat mengurangi pertumbuhan tulang di mana porositas yang sempit dapat mengurangi vaskularisasi yang dapat menghambat pertumbuhan tulang. Permukaan implan yang kasar dapat meningkatkan adhesi dari platelet, monosit, dan osteoblas pada implan dan dapat bertindak sebagai jalan bagi fosfokinase C dan A yang dapat membantu proses pembentukan tulang. Osteogenesis kontak dan berjarak dapat terjadi pada permukaan implan yang kasar sedangkan pada permukaan implan yang halus lebih sering terjadi osteogenesis berjarak. Permukaan implan yang kasar juga dapat mengurangi terjadinya peri-implanitis dan kebocoran ionik.<sup>18</sup>

### **2.4 Modifikasi Permukaan**

Sifat dari permukaan implan memiliki peran penting terhadap proses osseointegrasi sehingga dibutuhkan modifikasi pada permukaan implan untuk meningkatkan sifat dari permukaan implan dan membantu proses osseointegrasi. Modifikasi permukaan merupakan teknik yang digunakan pada permukaan implan gigi untuk meningkatkan kekasaran permukaan implan, meniru struktur tulang asli, dan meningkatkan biokompabilitas implan.<sup>10</sup> Modifikasi permukaan dapat meningkatkan biokompabilitas implan dan mempercepat proses osseointegrasi sehingga waktu perawatan pada pasien dapat di perpendek. Modifikasi permukaan implan menghasilkan perubahan morfologi permukaan implan tanpa memengaruhi sifat fisik dari bahan implan.<sup>19</sup> Modifikasi permukaan dapat dibagi menjadi tiga yaitu fisik, kimia, dan biologis.<sup>10</sup>

### 2.4.1 Modifikasi Permukaan Fisik

Modifikasi permukaan fisik mengubah topografi dan morfologi dari permukaan implan menggunakan teknologi *dry transformation* untuk menciptakan lingkungan yang mendukung bagi proses osseointegrasi. Modifikasi permukaan fisik yang dapat digunakan yaitu *grit blasting*, *plasma spraying*, *physical vapor deposition* (PVD), dan *additive manufacturing* (AM).<sup>10</sup>

#### 1. *Grit Blasting*

*Grit blasting* merupakan modifikasi permukaan yang digunakan untuk meningkatkan kekasaran permukaan implan dengan cara menembakkan partikel abrasif pada permukaan implan.<sup>8,10</sup> Terdapat beberapa jenis partikel yang dapat digunakan untuk *grit blasting* yaitu titanium, kalsium fosfat, dan aluminium. Aluminium merupakan partikel yang paling sering digunakan. Modifikasi ini merupakan modifikasi yang simpel dan memakan biaya yang tidak banyak.<sup>8,10</sup>

Permukaan implan yang kasar dari *grit blasting* ini kemudian akan membantu adhesi sel pada permukaan implan. Kekasaran permukaan implan dipengaruhi oleh partikel yang digunakan, baik ukuran, bentuk, dan sifatnya. Penggunaan partikel aluminium pada *grit blasting* dapat membentuk permukaan isotropik. *Grit blasting* dapat dipadukan dengan *acid-etching* untuk mempercepat proses osteogenesis. Kekurangan dari modifikasi ini adalah kekasaran permukaan yang terbentuk dapat meningkatkan pelekatan dari bakteri.<sup>8,10</sup>

#### 2. *Additive Manufacturing* (AM)

*Additive manufacturing* (AM) merupakan teknologi yang mampu membuat struktur tiga dimensi kompleks pada skala mikro atau nanometer. Modifikasi ini dapat membentuk struktur secara lapis-demi-lapis yang sulit untuk didapatkan melalui proses tradisional.

Proses pembuatan lapis-demi-lapis pada AM dapat dilakukan menggunakan laser dan sinar elektron.<sup>10,20</sup> Kelebihan dari modifikasi ini adalah dapat digunakan pada semua jenis bahan yang tersedia dalam bentuk bubuk, dapat menghasilkan bentuk yang rumit dengan detail, memiliki fleksibilitas yang tinggi. Modifikasi permukaan ini dapat berkontribusi pada adhesi SPM, sekresi fosfat alkalin, dan deposisi kolagen.<sup>10</sup> Modifikasi ini dapat membuat implan berdasarkan *computerized tomography* (CT) dari pasien sehingga dapat menghasilkan hubungan yang sesuai dengan implan dan kontur tulang dari pasien.<sup>21</sup>

### 3. *Plasma Spraying*

*Plasma spraying* merupakan teknik penyemprotan thermal di mana bahan di semprotkan pada permukaan untuk melapisi seluruh permukaan pada saat bahan dalam kondisi meleleh atau semi-meleleh. Bahan dalam bentuk bubuk dimasukkan ke dalam plasma dan kemudian akan dilelehkan pada suhu sekitar 1000 derajat celcius. Bahan yang telah meleleh kemudian akan disebarkan ke permukaan implan hingga menutupi permukaan implan dan kemudian akan memadat dan membentuk deposit atau lapisan *lamellae*.<sup>10,22</sup> Suhu yang sesuai dibutuhkan agar bahan dapat mencapai bentuk cair dan tidak kembali menjadi bentuk padat sebelum mencapai permukaan implan. Suhu yang terlalu tinggi dapat menyebabkan bahan menguap sebelum mencapai permukaan implan.<sup>22</sup> Modifikasi permukaan ini merupakan modifikasi yang aman dan tidak memakan biaya yang banyak serta komposisi kimia yang ada selama proses modifikasi permukaan tidak bertahan pada permukaan implan. Modifikasi permukaan ini dapat meningkatkan biokompatibilitas, ketahanan terhadap panas, korosi, dan kerusakan, serta dapat meningkatkan proses osseointegrasi.<sup>10,22</sup>

#### 4. *Physical Vapor Deposition* (PVD)

*Physical vapor deposition* (PVD) merupakan modifikasi permukaan yang menghasilkan bahan berbentuk uap yang menutupi permukaan implan. Modifikasi permukaan ini mengubah bahan berbentuk kental menjadi bentuk uap untuk kemudian di depositkan pada permukaan implan dalam bentuk kental. Deposisi dengan cara *sputtering* merupakan teknik yang paling sering digunakan untuk implan gigi. Penyebaran ion selama proses *sputtering* menghilangkan ion substrat pada permukaan implan untuk membentuk ruang bagi bahan yang akan melapisi permukaan. Bahan pelapis akan melekat dengan kuat pada permukaan implan. Modifikasi permukaan ini dapat meningkatkan ketahanan terhadap korosi dan kerusakan serta meningkatkan biokompatibilitas dan kekerasan dari permukaan implan. Penelitian menunjukkan bahwa PVD dapat memberikan sifat antibakteri dan dapat meningkatkan angiogenesis pada permukaan implan.<sup>10,23</sup>

#### 2.4.2 Modifikasi Permukaan Kimia

Tujuan modifikasi permukaan implan kimia yaitu untuk membentuk hubungan kimia antara bahan pelapis permukaan implan dengan tulang. Modifikasi permukaan kimia dapat mengubah permukaan implan melalui beragam reaksi kimiawi seperti karbonisasi, oksidasi, atau nitridasi. Modifikasi permukaan kimia yang dapat dilakukan adalah oksidasi anodik (anodisasi), sol-gel, etsa asam, penggunaan alkali dan *chemical vapor deposition* (CVD).<sup>10</sup>

##### 1. Oksidasi anodik (anodisasi)

Oksidasi anodik (anodisasi) merupakan proses elektrokimiawi yang dipercepat di mana *oxide film* di aplikasikan pada permukaan implan anoda selama implan direndam didalam cairan elektrolit. Modifikasi permukaan ini digunakan untuk meningkatkan sifat anti

korosi pada implan. Oksidasi anodik dapat meningkatkan bioaktivitas, osseointegrasi, kekasaran permukaan, dan hidrofilitas dari implan. Kekasaran permukaan mikro dan submikro yang terbentuk melalui oksidasi anodik dapat meningkatkan adhesi osteoblas pada permukaan implan.<sup>10,24</sup>

## 2. Sol-gel

Sol-gel merupakan modifikasi temperatur rendah yang membentuk senyawa oksida atau padat melalui perlakuan panas. Pada modifikasi ini senyawa organik atau anorganik mengalami polimerisasi hidrolisis dan berubah menjadi solusi koloid (sol) yang kemudian secara bertahap akan berubah menjadi sistem dua fase yang menyerupai gel. Implan kemudian dicelupkan ke dalam solusi tersebut dan diangkat pada waktu yang telah ditentukan. Cairan yang tersisa kemudian akan dihilangkan melalui proses pengeringan yang akan membuat struktur menyusut. Perlakuan panas kemudian dilakukan untuk meningkatkan sifat mekanis dan polikondensasi. Modifikasi ini dilakukan pada temperatur rendah sehingga komposisi kimia dari bahan pelapis dapat diatur. Jika dikombinasikan dengan bahan pelapis lain, sol-gel dapat membentuk lapisan bioaktif yang dapat merespons terhadap struktur tulang.<sup>10,19</sup>

## 3. Etsa asam

Etsa asam merupakan modifikasi permukaan yang menggunakan asam kuat untuk mengubah permukaan implan. Asam yang dapat digunakan dalam modifikasi ini dapat berupa asam nitrat ( $\text{HNO}_3$ ), asam hidroklorik (HF), dan asam sulfur ( $\text{H}_2\text{SO}_4$ ).<sup>25</sup> Permukaan implan yang dikurangi pada modifikasi ini dapat dipengaruhi oleh konsentrasi asam, jenis asam yang digunakan, waktu proses etsa asam, dan temperatur.<sup>8,25</sup> Asam sulfur ( $\text{H}_2\text{SO}_4$ ) merupakan jenis



asam yang telah terbukti efektif dalam meningkatkan kekasaran permukaan implan.<sup>25</sup>

Etsa asam dapat menghilangkan lapisan pasif dan membuka permukaan implan yang ada di bawahnya. Etsa asam dapat menghasilkan permukaan implan yang kasar, meningkatkan migrasi dan retensi sel osteogenik, meningkatkan adhesi dan pembentukan tulang, serta meningkatkan osseointegrasi. Modifikasi ini dapat mengurangi risiko kontaminasi pada modifikasi *blasting*.<sup>8,19,25</sup> Kekurangan dari modifikasi ini adalah dapat terjadi perubahan kimia pada permukaan implan yang diberi perlakuan etsa asam.<sup>19</sup>

#### 4. Perlakuan basa

Perlakuan basa merupakan modifikasi permukaan yang dilakukan dengan merendamkan implan ke dalam solusi tinggi basa dan kemudian diberikan perlakuan panas. Perlakuan basa dapat membentuk lubang nano dan meningkatkan nukleasi apatit pada permukaan implan.<sup>8,26</sup> Perlakuan basa yang digabungkan dengan etsa asam dapat meningkatkan porositas permukaan dan meningkatkan bioaktivitas tanpa mengganggu struktur poros dan sifat mekanis dari bahan implan.<sup>8,26</sup>

#### 5. *Chemical vapor deposition (CVD)*

*Chemical vapor deposition (CVD)* merupakan modifikasi permukaan di mana senyawa gas mengalami reaksi kimia pada permukaan yang telah dipanaskan dan kemudian membentuk film padat pada permukaan implan. Sama seperti PVD, prosedur deposisi dan kondensasi bahan juga terlibat. Hal yang membedakan antara PVD dan CVD adalah pelapisan deposit pada permukaan implan, CVD melapisi permukaan implan melalui ikatan kimia sedangkan PVD melapisi permukaan implan menggunakan daya

fisik. Modifikasi ini dapat meningkatkan potensi osseointegrasi dan dapat membentuk struktur homogen.<sup>10</sup>

### **2.4.3 Modifikasi Permukaan Biologis**

Modifikasi permukaan biologis merupakan modifikasi yang menggunakan penanaman sel dan pelapis biologis yang dapat meningkatkan pelekatan, diferensiasi, dan proliferasi dari osteoblas. Modifikasi ini merupakan modifikasi tambahan yang dilakukan untuk meningkatkan osseointegrasi. Sel yang ditanamkan ke dalam implan dapat berupa sel punca yang diturunkan dari sumsum tulang (BMSCs), sel punca adiposa mesenkimal (AMSCs), sel punca mesenkimal (MSCs), dan sel punca embrionik. Protein yang ditanamkan ke dalam implan adalah faktor pertumbuhan endotel vaskular (VEGF) dan protein matriks ekstraseluler (EMC). Penanaman sel ke dalam implan dapat meningkatkan adhesi, pertumbuhan, dan diferensiasi osteogenik serta dapat meningkatkan pembentukan tulang. Kekurangan dari modifikasi ini adalah sel dan protein yang ditanamkan ke dalam implan dapat menembus jaringan atau ruang di sekitarnya sehingga menimbulkan efek samping dan pembentukan membran fibrosa.<sup>10</sup>

#### **1. *Platelet Rich Plasma* (PRP)**

Secara biologis, plasma merupakan bagian non-seluler dari darah. *Platelet Rich Plasma* (PRP) merupakan plasma darah kaya platelet yang dapat meningkatkan penyembuhan dan aposisi awal tulang. Pengaplikasian PRP dengan asam zoledronik pada permukaan implan dapat memberikan hasil fungsional dan estetika yang baik. Penelitian menunjukkan bahwa permukaan implan yang dimodifikasi menggunakan PRP dengan asam zoledronik dapat meningkatkan jumlah filopodia pada osteoblast yang melekat pada permukaan implan yang menunjukkan bahwa PRP memiliki potensi untuk meningkatkan aposisi awal tulang dan stabilitas implan dental, terutama pada pasien yang menjalani perawatan bisfosfonat.<sup>27</sup>

## 2. *Extracellular Matrix* (ECM)

Selama proses osseointegrasi, fibroblas mengeluarkan molekul ECM seperti kolagen, vitronektin, dan fibronektin yang akan memandu sel osteoprogenitor menuju permukaan yang membutuhkan pertumbuhan tulang baru. Interaksi sel ECM dapat mengaktifkan sinyal untuk meningkatkan penyembuhan tulang. Permukaan implan yang dilapisi dengan molekul ECM seperti kolagen sulfat atau kolagen hyaluronan dapat meningkatkan pembentukan dan maturasi tulang sehingga pengaplikasian ECM pada permukaan implan dinilai dapat memberikan hasil yang baik terhadap proses osseointegrasi.<sup>27</sup>

## 3. *Arginylglycylaspartic Acid* (RGD)

*Arginylglycylaspartic Acid* (RGD) merupakan asam amino spesifik yang berperan penting dalam migrasi dan adhesi sel osteogenik. RGD dapat menghasilkan interaksi sel yang dapat mengakibatkan pelekatan sel seperti adhesi osteoblas.<sup>27,28</sup> Penelitian menunjukkan bahwa implan yang dilapisi oleh RGD dapat meningkatkan kontak *bone-to-implant* selama tiga bulan pasca implantasi. Akan tetapi, terdapat penelitian yang menunjukkan bahwa dalam dua minggu pasca implantasi, tidak terdapat kontak *bone-to-implant* dan pengisian tulang baru pada permukaan implan.<sup>27</sup>

## 4. Peptida P15

Peptida P15 merupakan asam amino buatan yang dapat meniru sifat *cell-binding* dari kolagen manusia. Pengaplikasian peptida P15 pada permukaan implan dapat meningkatkan pelekatan sel osteoblas dan mesenkimal serta meningkatkan pelepasan dan diferensiasi sel osteogenik yang dapat meningkatkan proses osseointegrasi. Jika digabungkan dengan *competence-stimulating peptide* (CSP), peptida ini dapat memberikan dampak terhadap aktivitas osteogenik dan menekan pembentukan biofilm.<sup>27</sup>

## 5. *Strontium-Incorporated Protein*

*Strontium-Incorporated Protein* dapat meningkatkan kontak *bone-to-implant*, pembentukan tulang, dan sifat mekanis dari implan secara signifikan jika diaplikasikan pada permukaan implan. Jika ditinjau lebih spesifik, modifikasi ini dapat meningkatkan adhesi awal, proliferasi, dan diferensiasi osteogenik dari sel stroma sumsum tulang, meningkatkan pelepasan gen osteogenik seperti *bone morphogenetic protein 2* (BMP-2), serta dapat meningkatkan kemampuan pembentukan tulang baru. Terdapat beberapa teknik yang dapat dilakukan untuk melapisi permukaan implan dengan *strontium-incorporated protein* akan tetapi teknik pelapisan tidak memberikan pengaruh besar terhadap kontak antar tulang dan permukaan implan.<sup>27</sup>

## 6. Faktor Pertumbuhan

Platelet dan makrofag yang ada pada fase awal osseointegrasi melepaskan beberapa faktor pertumbuhan seperti *transforming growth factor  $\beta$*  (TGF $\beta$ ), dan faktor pertumbuhan fibroblast (FGF) yang dapat membantu inisiasi fase osseointegrasi selanjutnya. Pengaplikasian faktor pertumbuhan tersebut pada permukaan implan dapat mempercepat proses osseointegrasi. Protein morfogenik tulang (BMP) seperti BMP-2, BMP-4, dan BMP-7 yang merupakan bagian dari TGF $\beta$  dapat merangsang pembentukan tulang. Jika dilapiskan pada permukaan implan, BMP dapat meningkatkan regenerasi tulang serta memberikan kontak *bone-to-implan* dan pembentukan tulang baru yang lebih baik.<sup>27</sup>

Faktor pertumbuhan fibroblas khususnya FGF-2 dapat secara langsung meningkatkan proliferasi dari osteoblas. Penyebaran dan diferensiasi sel serta osseointegrasi dapat meningkat jika diaplikasikan nanopartikel FGF 2 pada permukaan implan.<sup>27</sup>

## 2.5 Kerangka Teori

