

PERAN *CALCIUM* DALAM PERGERAKAN GIGI ORTODONTI

(LITERATURE REVIEW)

Diajukan untuk melengkapi salah satu syarat

mencapai gelar Sarjana Kedokteran Gigi



BAIQ DHINDA AULIA HIDAYATI

J011191061

DEPARTEMEN ORTODONTI

FAKULTAS KEDOKTERAN GIGI

UNIVERSITAS HASANUDDIN MAKASSAR

2022

HALAMAN PENGESAHAN

Judul : Peran *Calcium* Dalam Pergerakan Gigi Ortodonti

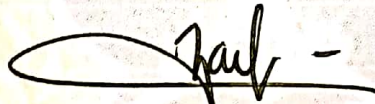
Oleh : Baiq Dhinda Aulia Hidayati

Telah Diperiksa dan Disahkan

Pada Tanggal 26 Oktober 2022

Oleh :

Pembimbing



drg. Baharuddin M Ranggung, Sp.Ort (K)

NIP. 19691231 200501 1 014

Mengetahui

Dekan Fakultas Kedokteran Gigi

†

Universitas Hasanuddin



Prof. Dr. Edy Machmud, drg., Sp.Pros (K)

NIP. 19631104 199401 1 001

SURAT PERNYATAAN

Dengan ini menyatakan mahasiswa yang tercantum dibawah ini:

Nama : Baiq Dhinda Aulia Hidayati

NIM : J011191061

Judul Skripsi : Peran *Calcium* Dalam Pergerakan Gigi Ortodonti

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

Makassar, 26 Oktober 2022

Koordinator Perpustakaan
FKG UNHAS



Amiruddin, S.Sos

NIP. 19661121 199201 1 003

PERNYATAAN

Yang bertanda tangan dibawah ini:

Nama : Baiq Dhinda Aulia Hidayati

NIM : J011191061

Dengan ini menyatakan bahwa skripsi yang berjudul "*Peran Calcium Dalam Pergerakan Gigi Ortodonti*" 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 perundang-undangan yang berlaku jika ternyata skripsi ini sebagian atau keseluruhannya merupakan plagiat dari orang lain. Demikian pernyataan ini dibuat untuk dipergunakan semestinya.

Makassar, 26 Oktober 2022



Baiq Dhinda Aulia Hidayati

NIM. J011191061

KATA PENGANTAR

Assalamu'alaikum warahmatullahi wabaraktuh

Segala puji syukur kehadiran Allah SWT karena berkat rahmat dan hidayah-Nya penulis memperoleh ilmu dan pengetahuan untuk menyelesaikan skripsi yang berjudul “*Peran Calcium Dalam Pergerakan Gigi Ortodonti*” dengan baik, sekaligus menjadi syarat untuk mencapai gelar Sarjana Kedokteran Gigi (S.KG) pada program studi Pendidikan Dokter Gigi Fakultas Kedokteran Gigi, Universitas Hasanuddin.

Shalawat serta salam, semoga senantiasa tercurah kepada Rasulullah Muhammad SAW sebagai suri tauladan dimuka bumi ini yang telah membawa peradaban, membawa manusia dari zaman kejahilian menuju zaman yang beradab. Berbagai hambatan dan rintangan penulis hadapi selama penyusunan skripsi ini. Namun, terselesaikannya skripsi ini tidak terlepas dari bantuan banyak pihak, sehingga pada kesempatan ini dengan segala kerendahan hati dan penuh rasa hormat penulis mengucapkan terima kasih kepada semua pihak yang terlibat, yang telah memberikan bantuan moril dan materil baik langsung maupun tidak langsung dalam penyusunan skripsi ini hingga selesai, terutama kepada yang saya hormati:

1. **Prof. Dr. drg. Edy Machmud., M.Kes. Sp.Pros (K)** sebagai Dekan Fakultas Kedokteran Gigi Universitas Hasanuddin atas bantuan dan bimbingannya selama penulis menjalani proses perkuliahan.

2. **drg. Baharuddin M Ranggung, Sp.Ort (K)** selaku dosen pembimbing yang telah dengan sabar memberi bimbingan, arahan dan senantiasa memberikan nasehat kepada penulis selama penyusunan skripsi ini.
3. **drg. Rika Damayanti Syarif, M.Kes** dan **drg. Zilal Islamy Paramma, Sp.Ort** selaku dosen penguji yang telah meluangkan waktunya untuk memberikan bimbingan, masukan, arahan dan koreksi dalam proses penyusunan skripsi ini.
4. **Prof. Dr. drg. M. Hendra Chandha, MS** selaku penasehat akademik yang senantiasa memberikan motivasi, nasihat dan bimbingan selama perkuliahan.
5. **Seluruh Dosen, Staf Akademik, Staf Perpustakaan FKG Unhas, dan Staf Bagian Ortodonti** yang telah banyak membantu penulis.
6. Kedua orang tua tercinta dari penulis, Ayahanda **Lalu Abdul Hamid S.H;** dan Ibunda **Sri Zuhaida S.Pd** dan kakak dari penulis **Baiq Humayya Julyandhara S.Pd** dan **Lalu Shoulhan Firdhaus S.T** serta adik penulis **Lalu Jhiadurrahman Fikri** yang telah setia memberi motivasi, doa dan dukungan dalam berbagai aspek.
7. Teman seperjuangan skripsi, saudari **Reski Wulan Salsabila** yang telah banyak membantu penulis dalam penyusunan skripsi dan banyak memberi motivasi bagi penulis.
8. Teruntuk saudara **Promisix** yang telah menemani, membantu, mendoakan dan memberi dukungan penulis selama menempuh pendidikan.
9. Kepada teman-teman seperjuangan penulis yaitu **Nury Azkiyah Hamid, Virly Medina Andalusia, Safira Yuni Puspita, Adnan Akram, dan M. Gibraltar**

Wansha Wibisono yang telah banyak membantu penulis dalam proses perkuliahan dan pembelajaran serta senantiasa memberi motivasi kepada penulis.

10. Kepada sahabat-sahabat **Caps** yaitu **Dinda Febyan Prameswari, Adha Ika Putri Nabila, Rizqia Ayu Sucita, Aenun Jariyah, dan Aprillia Ika Dewi Anjani** yang mendukung dan memberikan semangat selama proses mengerjakan skripsi.
11. Teruntuk sahabat-sahabat penulis **Nadia Shafa Salsabila dan Salwa Rizky Aprillia** yang telah mendoakan, membantu dan menemani penulis dalam memberi motivasi.
12. Teman-teman seperjuangan **Alveolar 2019** yang telah setia menjadi teman yang baik bagi penulis.

Akhir kata, penulis mengucapkan terima kasih kepada semua pihak yang tidak dapat disebutkan satu per satu untuk semua dukungan dan motivasi yang diberikan kepada penulis. Penulis menyadari bahwa dalam skripsi ini masih jauh dari kesempurnaan dan masih terdapat banyak kekurangan serta kesalahan yang tidak disadari penulis. Penulis mengharapkan kritik dan saran dari pembaca, demi perbaikan penulisan selanjutnya di masa yang akan datang.

Makassar, 26 Oktober 2022



Baiq Dhinda Aulia Hidayati

NIM : J011191061

ABSTRAK

Peran *Calcium* Dalam Pergerakan Gigi Ortodonti

Baiq Dhinda Aulia Hidayati¹

Mahasiswa Fakultas Kedokteran Gigi Universitas Hasanuddin, Indonesia

dhindaulia19@gmail.com

Latar belakang: *Calcium* merupakan salah satu mineral yang vital dan diperlukan oleh tubuh dalam jumlah yang lebih besar dibanding mineral lainnya. *Calcium* adalah salah satu mikronutrien penting untuk kesehatan tulang. *Calcium* dapat membantu dalam perawatan ortodonti dengan meningkatkan aktivitas osteoklas dalam proses remodeling tulang sehingga terjadi pergerakan gigi ortodonti. **Tujuan Penelitian:** Mengetahui peran *calcium* dalam peningkatan osteoklas pada proses remodeling tulang pada pergerakan gigi ortodonti. **Metode:** Metode yang digunakan dalam penulisan ini adalah *literature review*. **Hasil:** Hasil dari 8 sintesis jurnal penelitian ilmiah didapatkan 6 jurnal yang menunjukkan bahwa *calcium* berperan dalam meningkatkan osteoklastogenesis pada daerah tekanan ortodonti dan menyebabkan resorpsi tulang dan proses remodeling tulang sehingga terjadi pergerakan gigi ortodonti dengan penggunaan *calcium* efektif berkisar 300-1100 mg. Namun terdapat 2 penelitian lain yang menunjukkan hasil yang berbeda dan tidak signifikan. **Kesimpulan:** Penggunaan *calcium* dapat meningkatkan aktivitas osteoklas pada proses remodeling tulang dalam perawatan ortodonti. Penggunaan yang paling efektif yakni sekitar 1000 mg. Penggunaan *calcium* dapat mempercepat laju pergerakan gigi secara ortodonti dengan cara meningkatkan produksi dari osteoklas. Penggunaan *calcium* juga efektif digunakan pasca perawatan untuk menjaga stabilitas hasil perawatan dan mencegah terjadinya relaps pada perawatan ortodonti.

Kata Kunci: *Calcium*, Pergerakan gigi secara ortodonti, Remodeling tulang, Perawatan ortodonti, Osteoklas.

ABSTRACT

The Role of *Calcium* in Orthodontic Treatment

Baiq Dhinda Aulia Hidayati¹

Student of the Faculty of Dentistry Hasanuddin University, Indonesia

dhindaulia19@gmail.com

Background: *Calcium* is one of the vital minerals and is needed by the body in greater amounts than other minerals. *Calcium* is one of the important micronutrients for bone health. *Calcium* can assist in orthodontic treatment by increasing the activity of osteoclasts in the process of bone remodeling so that orthodontic tooth movement occurs. **Objective:** To determine the role of *calcium* in increasing osteoclasts in the process of bone remodeling in orthodontic tooth movement. **Method:** The results of the synthesis of 8 scientific research journals obtained 6 journals showing that *calcium* plays a role in increasing osteoclastogenesis in orthodontic stress areas and causes bone resorption and bone remodeling processes so that orthodontic tooth movement occurs with the use of effective *calcium* ranging from 300-1100 mg. However, there are 2 other studies that show different results and do not. **Conclusion:** The use of *calcium* can increase the activity of osteoclasts in the process of bone remodeling in orthodontic treatment. The most effective use is around 1000 mg. The use of *calcium* can accelerate the rate of orthodontic tooth movement by increasing the production of osteoclasts. The use of *calcium* is also effective post-treatment to maintain the stability of treatment results and prevent relapse in orthodontic treatment.

Keywords: *calcium*, orthodontic tooth movement, bone remodeling, orthodontic treatment, osteoclasts.

DAFTAR ISI

HALAMAN SAMBUL	i
HALAMAN PENGESAHAN	ii
SURAT PERNYATAAN	iii
PERNYATAAN	iv
KATA PENGANTAR	v
ABSTRAK	viii
ABSTRACT	ix
DAFTAR ISI	xiii
DAFTAR GAMBAR	xiv
DAFTAR TABEL	x
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.2 Tujuan Penulisan	2
1.3 Manfaat Penulisan	2
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	4
2.1 Maloklusi	4
2.2 Perawatan ortodonti.....	4
2.2.1 Definisi perawatan ortodonti.....	4

2.2.1 Tujuan perawatan ortodonti.....	5
2.3 Pergerakan gigi ortodonti.....	6
2.3.1 Definisi pergerakan gigi ortodonti	6
2.3.2 Teori pergerakan gigi ortodonti	6
2.3.3 Fase pergerakan gigi ortodonti.....	7
2.4 Faktor - faktor yang mempengaruhi pergerakan gigi	8
2.4.1 Mineral.....	8
2.4.2 Usia.....	9
2.4.3 Kesehatan jaringan periodontal.....	10
2.5 Remodeling tulang	10
2.5.1 Struktur tulang.....	10
2.5.2 Sel-sel pada remodeling tulang	11
2.5.3 Remodeling tulang	13
2.5.4 Siklus pada remodeling tulang.....	14
2.6 <i>Calcium</i>	18
2.6.1 Peran dan fungsi <i>calcium</i>	19
2.6.2 Manfaat <i>calcium</i>	20
2.6.3 Sumber <i>calcium</i>	21
2.7 Peran <i>calcium</i> dalam pergerakan gigi ortodonti.....	22

BAB III KERANGKA TEORI DAN KERANGKA KONSEP	24
3.1 Kerangka Teori.....	24
3.2 Kerangka Konsep	25
BAB IV METODE PENULISAN.....	26
4.1 Desain penulisan.....	26
4.2 Kriteria Inklusi dan Eksklusi.....	26
4.2.1 Kriteria Inklusi	26
4.2.1 Kriteria Inklusi	26
4.3 Sumber penulisan	26
4.4 Alur penulisan	27
BAB V PEMBAHASAN.....	28
BAB VI PENUTUP.....	45
6.1 Kesimpulan	45
6.2 Saran	45
DAFTAR PUSTAKA	46
LAMPIRAN	51

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1. Siklus Remodeling Tulang.....	18
--	----

DAFTAR TABEL

Tabel 5.1. Sintesa Jurnal.....	36
---------------------------------------	----

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Kesehatan gigi dan mulut merupakan faktor penting yang harus diperhatikan sedini mungkin. Kesehatan Gigi dan Mulut dapat di definisikan sebagai keadaan sehat dari jaringan keras dan jaringan lunak gigi serta unsur-unsur yang berhubungan dalam rongga mulut, tanpa penyimpangan oklusi dan kehilangan gigi. Kondisi kesehatan gigi dan mulut masyarakat di Indonesia maupun dunia masih menjadi masalah serius. Global Burden of Disease Study memperkirakan hampir 3,5 miliar orang di seluruh dunia mengalami masalah kesehatan gigi dan mulut. Di Indonesia, terjadi peningkatan masalah kesehatan gigi dan mulut pada tahun 2013 hingga 2018, dari 25,9% menjadi 57,6%. Salah satu masalah kesehatan gigi dan mulut yang sering terjadi adalah Maloklusi.^{1,2}

Maloklusi merupakan tiga masalah kesehatan gigi tertinggi selain karies gigi dan penyakit periodontal. Maloklusi didefinisikan sebagai kondisi abnormal yang ditandai dengan ketidaksesuaian hubungan rahang atas dan rahang bawah atau bentuk abnormal pada posisi gigi. Oklusi dikatakan normal jika terdapat hubungan yang harmonis antara gigi atas dan gigi bawah. Maloklusi dapat disebabkan karena faktor ekstrinsik maupun faktor intrinsik³.

Dalam menangani masalah maloklusi dapat dilakukan dengan perawatan ortodonti. Perawatan ortodonti bertujuan untuk memperbaiki susunan dan kedudukan gigi-geligi untuk mendapatkan relasi gigi-geligi yang stabil, perbaikan pengunyahan, keseimbangan otot dan keserasian estetika wajah yang harmonis. Alat ortodonti yang digunakan pada perawatan ortodonti diklasifikasikan menjadi dua jenis yaitu alat lepasan dan alat cekat. Perawatan ortodonti umumnya membutuhkan waktu yang relative lama sekitar 1-3 tahun^{4,5}.

Penerapan perawatan ortodonti akan menghasilkan gerakan gigi ortodonti. Gerakan gigi ortodonti merupakan proses seimbang dari remodeling tulang. Gaya ortodonti akan mengubah aliran darah dan lingkungan lokal dan menyebabkan terjadinya remodeling tulang. Remodeling tulang ditandai dengan resorpsi tulang pada daerah tarikan dan aposisi tulang pada daerah tarikan⁶.

Pada proses remodeling tulang, salah satu faktor yang mempengaruhi kadar resorpsi akar adalah level *calcium*. Dalam sebuah penelitian yang dilakukan oleh Jung Yun et al, dibuktikan bahwa diferensiasi osteoklas bergantung pada *calcium*. Peningkatan konsentrasi *calcium* merupakan proses untuk menyebabkan terjadinya osteoklastogenesis, yang berperan dalam resorpsi tulang. *Calcium* berikatan dengan kalmodulin mengaktivasi kalsineurin, yang mengarah pada aktivasi NFATc1, suatu faktor transkripsi utama yang diperlukan untuk diferensiasi osteoklas⁷

Berdasarkan uraian tersebut, penulis tertarik untuk mengkaji peran *calcium* dalam pergerakan gigi ortodonti.

1.2 Rumusan Masalah

Bagaimana peran *calcium* dalam proses remodeling tulang pada pergerakan gigi ortodonti?

1.3 Tujuan Penulisan

Untuk mengetahui peran *calcium* terhadap peningkatan osteoklas untuk pergerakan gigi ortodonti.

1.3 Manfaat Penulisan

Bagi Dokter Gigi

1. Menambah wawasan dan pengetahuan dokter gigi tentang peran *calcium* pada pergerakan gigi ortodonti.

2. Sebagai bahan pertimbangan bagi dokter gigi dalam melakukan perawatan ortodonti dengan menggunakan *calcium* pada pergerakan gigi ortodonti.
3. Sebagai bahan pertimbangan bagi dokter gigi untuk memperhatikan asupan *calcium* dalam pergerakan gigi pada tahap resorpsi tulang dalam remodeling tulang.

Bagi Masyarakat

1. Sebagai dasar pembuatan regulasi dalam meningkatkan derajat kesehatan gigi dan mulut di masyarakat, khususnya di Indonesia.
2. Dapat memberikan pengetahuan kepada pasien dan masyarakat mengenai peran *calcium* dalam pergerakan gigi ortodonti.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Maloklusi

Maloklusi didefinisikan sebagai suatu kondisi yang menyimpang dari oklusi normal atau suatu kondisi yang menyimpang dari relasi normal suatu gigi terhadap gigi yang lainnya². Menurut World Health Organization (WHO) maloklusi adalah cacat atau gangguan fungsional yang dapat menjadi hambatan bagi kesehatan fisik maupun emosional dari pasien yang memerlukan perawatan. Maloklusi disebabkan karena beberapa faktor seperti kebiasaan herediter, kebiasaan buruk, penyakit sistemik, dan perkembangan kerusakan dari sumber yang tidak diketahui, misalnya dari trauma baik trauma prenatal, cedera saat lahir, dan trauma postnatal³

Penentuan maloklusi dapat didasarkan pada enam kunci oklusi normal menurut Andrew yakni: 1) Hubungan yang tepat dari gigi molar pertama permanen pada bidang sagital 2) Angulasi mahkota gigi-gigi insisivus yang tepat pada bidang transversal 3) Inklinasi mahkota gigi-gigi insisivus yang tepat pada bidang sagital 4) Tidak adanya rotasi gigi 5) Adanya kontak antar gigi yang rapat, tanpa celah maupun berjejal 6) Bidang oklusal datar atau sedikit melengkung³.

2.2 Perawatan Ortodonti

2.2.1 Definisi Perawatan Ortodonti

Ortodonsia dapat diterjemahkan sebagai ilmu pengetahuan yang bertujuan memperbaiki letak gigi yang tidak teratur atau tidak rata. Perawatan ortodonti adalah perawatan yang dilakukan untuk memperbaiki

susunan dan letak gigi yang tidak tertatur. Keadaan gigi yang tidak teratur disebabkan oleh malposisi gigi. Malposisi gigi akan menyebabkan malrelasi dan menimbulkan maloklusi yaitu penyimpangan terhadap oklusi normal. Maloklusi dapat terjadi karena adanya kelainan dental, kelainan skletal, kombinasi dentoskletal maupun karena otot-otot pengunyahan⁸.

Alat yang digunakan dalam perawatan ortodonti dapat dibagi mejadi 2 yakni piranti lepasan dan piranti cekat. Berdasarkan periode, perawatan ortodonti dibagi dalam dua periode yakni periode aktif dan pasif. Periode aktif adalah periode di mana alat ortodonti yang memiliki tekanan mekanis digunakan untuk memperbaiki gigi-gigi yang malposisi. Contoh alat pada periode aktif adalah peranti aktif dan peranti pasif^{8,9}.

2.2.2 Tujuan Perawatan Ortodonti

Perawatan ortodonti bertujuan mencegah dan memperbaiki keadaan abnormal dari bentuk muka yang disebabkan oleh kelainan rahang dan gigi. Perawatan ortodonti juga memiliki berbagai tujuan lain, diantaranya memperbaiki fungsi pengunyahan, meningkatkan daya tahan gigi terhadap terjadinya karies karena terkoreksinya kondisi gigi berdesakan yang rentan terjadinya impaksi makanan, menghindarkan terjadinya kerusakan jaringan periodontal, serta memperbaiki fungsi bicara⁹.

Kebutuhan perawatan ortodonti seseorang dapat diukur menggunakan indeks maloklusi, yaitu dengan Index of Orthodontic Treatment Need (IOTN). Indeks ini terdiri dari Aesthetic Component dan Dental Health Component. Aesthetic Component mengukur penyimpangan susunan gigi pasien dilihat dari aspek anterior dalam kondisi oklusi^{10,11}.

2.3 Pergerakan Gigi Ortodonti

2.3.1 Definisi Pergerakan Gigi Ortodonti

Pergerakan gigi ortodonti adalah proses yang menggabungkan adaptasi fisiologis tulang alveolar terhadap tekanan mekanis yang terjadi melalui proses remodeling tulang alveolar dan jaringan periodontal sebagai respons terhadap gaya ortodonti. Dalam kondisi normal atau sehat, remodeling tulang terjadi secara terkoordinasi dan efisien, yang terdiri dari resorpsi tulang pada daerah tekanan dan pembentukan tulang pada daerah tarikan¹².

2.3.2 Teori Pergerakan Gigi Ortodonti

Gaya ortodonti yang diterapkan pada struktur gigi menghasilkan pergerakan gigi dengan deposisi dan resorpsi tulang alveolar yang disebut remodeling. Tiga teori pergerakan gigi yang dapat terjadi antara lain adalah¹³:

1. *Bone-bending theory*

Teori ini terjadi ketika gaya ortodonti diterapkan pada gigi, gaya ortodonti akan diteruskan pada semua jaringan disekitar area penerapan gaya. Gaya-gaya ini akan membengkokkan tulang, gigi, dan ligamen periodontal. Tulang memiliki struktur lebih elastis dibanding struktur lainnya, tulang dapat dengan mudah ditekuk dan mempercepat terjadinya proses pergerakan gigi¹³.

2. *Biological electricity theory*

Teori ini dikemukakan oleh Bassett dan Becker pada tahun 1962. Menurut mereka, setiap kali tulang alveolar tertekuk, tulang akan melepaskan sinyal listrik yang akan berpengaruh pada pergerakan gigi. Karakteristik dari sinyal ini adalah:

- (a) Dimulai ketika gaya diterapkan dan pada saat yang sama menghilang dengan cepat bahkan dengan gaya yang dipertahankan.

(b) Dapat menghasilkan sinyal yang sama di sisi yang berlawanan ketika gaya dilepaskan.

Setelah terjadi pembengkokan tulang, ion-ion akan berinteraksi satu sama lain dengan adanya medan listrik dan menyebabkan sinyal listrik dan perubahan suhu. Area dengan muatan elektronegatif dicirikan oleh peningkatan tingkat aktivitas osteoklas dan area muatan elektropositif ditandai dengan peningkatan tingkat aktivitas osteoblas. Defleksi tulang alveolar oleh gaya ortodonti disertai dengan perubahan konsekuensial pada ligamen periodontal menjelaskan teori ini¹³.

3. Teori Tekanan-Tarikan

Penelitian histologis oleh Sandstedt (1904), Oppenheim (1911) dan Schwarz (1932), berhipotesis bahwa gigi bergerak dalam ruang periodontal dengan menciptakan sisi tekanan dan tarikan. Ini menyebabkan perubahan aliran darah di ligamentum periodontal. Perubahan ini menyebabkan kadar oksigen pada daerah tekanan lebih sedikit dibanding daerah tarikan. Tekanan oksigen yang rendah menyebabkan penurunan aktivitas adenosin trifosfat. Jika gaya melebihi tekanan 20-25 g/cm² dari permukaan akar akan menyebabkan terjadinya nekrosis jaringan akibat periodonsium yang tercekik. Proses ini menyebabkan diferensiasi osteoklas dalam ruang ligamentum periodontal yang tertekan tidak terjadi dan digantikan dengan diferensiasi yang tertunda dari osteoklas dari ruang sumsum tulang yang berdekatan dan menyebabkan resorpsi lemah serta menghilangkan lamina dura di sebelah PDL yang tertekan. Pergerakan gigi mengikuti penyelesaian proses ini pada sisi tekanan^{11,13}.

2.3.3 Fase Pergerakan Gigi Ortodonti

Burstone pada tahun 1962 mengusulkan tiga fase pergerakan gigi yakni fase awal, fase lag dan fase pascalag. Fase awal terjadi segera setelah penerapan gaya pada gigi. Pergerakannya cepat karena

perpindahan gigi di ruang periodontal. Periode waktu fase awal biasanya terjadi antara dua puluh empat jam sampai dua hari. Pergerakan gigi terjadi di dalam soket tulang. Karena gaya yang diterapkan pada gigi, terjadi tekanan dan tarikan pada ligamentum periodontal dan menyebabkan ekstravasasi pembuluh darah, *chemo-attraction* sel inflamasi dan perekrutan progenitor osteoblas dan osteoklas¹³.

Setelah fase awal terjadi, ada fase lag dengan pergerakan minimal atau terkadang tidak ada pergerakan sama sekali. Fase ini terjadi karena hialinisasi ligamentum periodontal yang tertekanan. Pergerakan gigi akan terjadi setelah jaringan nekrosis dan dihilangkan oleh sel. Pada fase lag pergerakan gigi berhenti selama dua puluh sampai tiga puluh hari dan selama jangka waktu ini semua jaringan nekrotik dihilangkan bersama dengan resorpsi sumsum tulang yang berdekatan. Jaringan nekrotik dari gigi dihilangkan oleh makrofag¹³.

Fase ketiga adalah fase post lag di mana pergerakan gigi meningkat secara bertahap atau tiba-tiba dan biasanya terlihat setelah empat puluh hari setelah penerapan gaya awal. Telah dihipotesiskan bahwa selama perpindahan gigi, terjadi perkembangan dan pembuangan jaringan nekrotik yang berkelanjutan¹³.

2.4 Faktor-Faktor Yang Mempengaruhi Pergerakan Gigi Ortodonti

2.4.1 Mineral

Pertumbuhan dan perkembangan gigi dipengaruhi oleh zat gizi. Pertumbuhan gigi yang sehat akan terjadi kalau semua unsur gizi tersedia dalam jumlah yang memadai. Zat-zat gizi diperlukan oleh gigi dan jaringan periodonsium secara terus-menerus selama hidup untuk memelihara keutuhannya. Defisiensi energi, protein, Fe, Zn, Ca, P, vitamin D, asam folat, dan vitamin C pada manusia menyebabkan kelainan pada gigi dan

rahang¹⁴.

Mineral merupakan salah satu zat gigi yang berperan dalam menyusun struktur dasar tulang dan gigi. *Calcium* merupakan salah satu mineral yang sangat vital dan diperlukan oleh tubuh dalam jumlah yang lebih besar dibanding mineral lainnya. Sekitar 99% *calcium* terdapat di dalam jaringan keras yaitu terdapat pada tulang dan gigi sedangkan 1% *calcium* terdapat pada darah, dan jaringan lunak. Selain fungsi utamanya dalam membangun dan memelihara tulang dan gigi, *calcium* juga berperan penting dalam aktivitas enzim tubuh¹⁴

2.4.2 Usia

Pasien dewasa menunjukkan penurunan tingkat pergantian tulang, yang terkait dengan terbatasnya jumlah sel progenitor, penurunan kapasitas pembentukan pembuluh darah, dan kepadatan fibroblas. Dinding alveolus juga ditutupi oleh osteoblas yang tidak aktif, yang disebut sel-sel pelapis, Jumlah osteoblas dan osteoklas aktif sangat berkurang dan terjadi perubahan struktural osteoblas. Tulang menjadi lebih padat secara bertahap, sedangkan tulang kortikal berkurang dan kekosongan Howship meningkat. Serat Sharpey berkurang dengan insersi yang tidak teratur ke dalam tulang, sedangkan serat utama lainnya menjadi lebih tebal dengan bertambahnya usia. Penemuan ini menunjukkan bahwa pasien dewasa mengalami penurunan responsivitas kompleks dentoalveolar yang menua, dan mengganggu pembentukan tulang serta resorpsi selama pergerakan gigi ortodonti. Remodeling tulang yang diinduksi secara ortodonti terkait dengan ekspresi berbagai mediator inflamasi, komponen matriks ekstraseluler dan enzim pengurai jaringan, kehadirannya dalam cairan sulkus gingiva diduga terkait dengan laju pergerakan gigi¹⁵.

2.4.3 Kesehatan Jaringan Periodontal

Gaya ortodonti menyebabkan terjadinya pergerakan gigi, dimana gaya yang diberikan pada perawatan ortodonti menyebabkan remodeling pada gigi dan jaringan periodontal. Gaya ortodonti dihasilkan dari tekanan tulang alveolar dan ligamentum periodontal oleh osteosit pada satu sisi, dan tarikan ligamentum periodontal pada sisi yang lain. Tulang mengalami resorpsi pada sisi tekanan dan mengalami aposisi pada sisi tarikan¹⁴.

Gaya ortodonti ringan akan menyebabkan iskemia pada ligamentum periodontal, yang menstimulasi pembentukan tulang dan resorpsi, sehingga menyebabkan pergerakan gigi secara berkelanjutan. Gaya ortodonti dengan tekanan sedang akan menyebabkan ligamentum periodontal mengecil dan menghasilkan resorpsi tulang secara lambat. Gaya ortodonti yang kuat akan menyebabkan hancurnya pembuluh darah ligamentum periodontal pada sisi tekanan dan menyebabkan iskemia serta degenerasi ligamentum periodontal lokal yang menghasilkan hialinisasi dengan pergerakan gigi yang lebih lambat¹⁵.

2.5 Remodeling Tulang

2.5.1 Struktur Tulang

Tulang merupakan jaringan yang tersusun oleh sel dan matriks kolagen. Tulang terdiri dari 50%-70% mineral, 20%-40% matriks organik, 5%-10% air, dan <3% lipid. Matriks organik tulang terdiri dari serat kolagen tipe I sekitar 90%-95% dan sejumlah kecil protein lain seperti osteocalcin (OC) dan alkaline phosphatase. Kandungan mineral tulang sebagian besar dalam kristal kecil hidroksiapatit $\text{Ca}_{10}(\text{PO}_4)_6(\text{OH})_2$, dengan sejumlah kecil karbonat, magnesium, dan asam fosfat yang disimpan ke serat kolagen

untuk memberikan kekakuan mekanik dan kekuatan tulang, kristal hidroksiapatit inilah yang membuat struktur tulang menjadi keras^{16,17}.

Tulang secara konstan mengalami remodeling sepanjang hidup sebagai respons terhadap stres mekanis dan kebutuhan *calcium* dalam cairan ekstraseluler. Unit remodeling tulang terdiri dari sekelompok osteoklas dan osteoblas yang berpasangan erat yang secara berurutan melakukan resorpsi tulang lama dan pembentukan tulang baru^{16,17}.

2.5.2 Sel Sel Pada Remodeling Tulang

Remodeling tulang memerlukan koordinasi tiga jenis sel, yaitu: osteosit, osteoblas, dan osteoklas^{18,19}.

1) Osteosit

Osteosit mewakili 90-95% dari semua sel tulang dalam kerangka orang dewasa. Dalam tulang manusia, mereka memiliki umur panjang sampai 25 tahun, sedangkan rata-rata waktu paruh osteoblas adalah 150 hari. Osteosit adalah turunan dari osteoblas. Mereka berasal dari sel punca mesenkim di sumsum tulang. Ketika osteoblas berhenti membentuk matriks baru, osteoblas dapat menjadi osteosit¹⁸.

Osteosit adalah sel berbentuk bintang, lebih kecil dari osteoblas, dengan silia dan sitoplasma. Ketika matriks osteoid termineralisasi, osteoblas tertanam ke dalam fase mineral dan mengubah dirinya menjadi osteosit. Dengan demikian, tubuh osteosit terlokalisasi dalam lakuna mineral, dan dikelilingi oleh cairan tulang. Cairan ini adalah cairan khusus yang menyediakan oksigen dan nutrisi, dan menjaga kelangsungan hidup sel-sel tulang¹⁸.

Transformasi dari osteoblas menjadi osteosit adalah proses aktif yang disebut osteositogenesis, di mana kunci diferensiasinya adalah protein E11, karena merupakan penanda spesifik pertama yang diekspresikan oleh

osteosit. Ini menyebabkan perubahan yang mendalam dalam reorganisasi protein sitoskeletal, dan melibatkan protein sitoskeletal yang terkait dengan pembentukan morfologi. Osteosit, osteoblas, dan osteoklas bertindak sebagai saluran dan mampu bereaksi terhadap rangsangan secara bersamaan¹⁸.

2) Osteoblas

Osteoblas adalah sel berbentuk kubus, yang berkembang dengan baik di retikulum endoplasma dan bertanggung jawab untuk sintesis protein osteoid matriks. Osteoblas merupakan sel khusus pembentuk tulang yang berkembang dari sel punca mesenkimal poten pluri. Sel-sel ini dapat berdiferensiasi menjadi berbagai sel seperti adiposit, miosit, kondrosit, dan osteoblas tergantung pada faktor regulasi transkripsi yang bekerja pada mereka^{18,19}.

Osteoblas menghasilkan tulang melalui sintesis dan sekresi kolagen tipe I. Kolagen tipe I membentuk protein matriks tulang utama. Osteoblas juga membantu dalam mineralisasi osteoid tulang yang baru terbentuk. Mineralisasi dicapai dengan pelepasan fosfat lokal dari vesikel matriks turunan osteoblas yang ditemukan di dalam osteoid. Bersama dengan *calcium* dari cairan ekstraseluler, kristal hidroksiapatit dihasilkan^{18,19}.

3) Osteoklas

Osteoklas adalah sel berinti banyak yang besar yang berasal dari sel prekursor mononuklear dari garis turunan makrofag monosit. CSF-1 (*colony-stimulating factor 1*) dan RANKL (*receptor activator of nuclear factor kappa-B ligand*) adalah sitokin yang sangat penting untuk kelangsungan hidup, ekspansi dan diferensiasi prekursor osteoklas baik *in vitro* dan *in vivo*. Rasio ekspresi RANKL/OPG (*osteoprotegerin*) menentukan derajat diferensiasi dan fungsi osteoklas¹⁸

Diferensiasi osteoklas bergantung pada pensinyalan melalui c-fms dalam sel prekursor mononuklear yang mengatur ekspresi RANKL dan mengatur gen osteoklas esensial. Gen-gen ini diperlukan untuk pematangan prekursor osteoklas serta fungsi halus dari osteoklas berinti banyak yang matang. Pembentukan osteoklas meningkat dalam kondisi inflamasi seperti rheumatoid arthritis melalui aksi sinergis sitokin pro-inflamasi dan RANKL serta oleh diferensiasi sel dendritik menjadi osteoklas¹⁸.

Agar osteoklas dapat diaktifkan dan resorpsi tulang dapat dimulai, osteoklas dewasa yang tidak terpolarisasi harus berikatan dengan matriks tulang. Ketika osteoklas mengikat tulang, mereka menjadi terpolarisasi. Osteoklas terpolarisasi yang melekat pada matriks tulang kemudian membentuk podosom serta domain membran yang berbeda¹⁹.

2.5.3 Remodeling Tulang

Selama hidup, tulang mengalami pemodelan dan remodeling untuk tumbuh atau berubah bentuk. Pemodelan tulang adalah proses di mana tulang berubah bentuk atau ukuran sebagai respons terhadap pengaruh fisiologis atau kekuatan mekanis yang dihadapi oleh kerangka, sementara remodeling tulang terjadi sehingga tulang dapat mempertahankan kekuatan dan homeostasis mineralnya¹⁶.

Resorpsi tulang dan pembentukan tulang sangat erat kaitannya dalam remodeling tulang, ketidakseimbangan kedua proses ini menyebabkan gangguan tulang seperti osteoporosis ketika terjadi kehilangan tulang yang berlebihan dan osteopetrosis ketika ada pembentukan tulang yang berlebihan. Sel-sel utama yang terlibat dalam remodeling tulang adalah osteoblas, osteosit dan osteoklas¹⁶.

Remodeling tulang merupakan proses penting dalam pergerakan gigi ortodonti. Gaya ortodonti mengubah aliran darah dan lingkungan lokal. Perubahan gaya ini menyebabkan generasi dan propagasi kaskade

pensinyalan dan remodeling jaringan terkait dengan menggambarkan reaksi biokimia dan seluler dan peristiwa molekuler, seperti pembangkitan sinyal dan transduksi, re- cytoskeletal organisasi, ekspresi gen, diferensiasi, proliferasi, sintesis dan sekresi produk spesifik, dan apoptosis yang terjadi pada jaringan termineralisasi dan nonmineral termasuk pembuluh darah terkait dan elemen saraf^{7,17}.

Remodeling tulang, masing-masing diatur oleh osteoklas dan osteoblas, dan berlangsung di BMU (*Bone Multicellular Units*). BMU dibentuk oleh osteoblas, osteoklas, osteosit, sel-sel lapisan tulang dan pembuluh darah, dan merupakan tempat khusus di mana tim sel-sel tulang bekerja bersama-sama. Tujuan pertama dari remodeling tulang adalah untuk regulasi homeostasis mineral. Tujuan kedua adalah untuk mengganti tulang tua atau rusak dengan tulang baru, menjaga massa tulang dan integritas kerangka¹⁸.

2.5.4 Siklus Remodeling Tulang

Siklus remodeling tulang terdiri dari lima tahap, aktivasi, resorpsi, reverseal, pembentukan tulang dan terminasi yang terjadi selama beberapa minggu. Kelompok osteosit dan osteoblas yang terlibat dalam resorpsi dan pembentukan tulang, di setiap area tulang yang sedang mengalami remodeling, diatur dalam BMU. Setiap BMU terbungkus oleh sel-sel pelapis tulang yang menciptakan lingkungan unik untuk resorpsi-pembentukan yang digabungkan^{19,20}.

BMU aktif terdiri dari osteoklas resorpsi tulang yang menutupi permukaan tulang yang baru terbuka, mempersiapkannya untuk deposisi tulang pengganti. Osteoblas mengikuti osteoklas, mensekresi dan menyimpan osteoid tulang yang tidak termineralisasi. Siklus ini terjadi selama 120-200 hari di kortikal dan trabekular tulang, masing-masing. Susunan sel yang teratur dalam BMU sangat penting dalam memastikan urutan yang benar dari fase proses remodeling tulang: aktivasi, resorpsi, reverseal, pembentukan dan terminasi^{19,20}.

1. Aktivasi

Inisiasi remodeling tulang adalah langkah penting pertama yang memastikan bahwa, dalam kesehatan, remodeling hanya terjadi bila diperlukan. Aktivasi adalah tahap pertama dari remodeling tulang. Sebelum ini tulang dalam keadaan diam. Sinyal remodeling awal dideteksi oleh tulang. Sinyal ini dapat berupa hormonal, dari aksi estrogen atau PTH pada sel-sel tulang yang menanggapi perubahan sistemik homeostasis, atau mekanis. Kekuatan fisik yang menyebabkan ketegangan mekanis dan mikro menyebabkan kerusakan pada kerangka yang kemudian diterjemahkan ke dalam sinyal biologis yang juga dapat dideteksi oleh osteosit. Setelah deteksi sinyal, sel-sel lapisan tulang menarik kembali, membran endosteal yang dicerna oleh aksi kolagenase dan prekursor osteoklas direkrut dari sirkulasi dan diaktifkan. Osteoklas kemudian berdiferensiasi dan osteoklas berinti banyak bermigrasi dan menempel pada permukaan tulang memulai resorpsi dengan mensekresi ion hidrogen dan enzim khususnya cathepsin K sehingga memecah matriks tulang^{19,20}.

Parathyroid hormone (PTH), *calciotropic hormone* dihasilkan untuk mempertahankan homeostasis *calcium*. PTH dan *calciotropic hormone* disekresikan oleh kelenjar paratiroid sebagai respons terhadap penurunan kadar *calcium* serum. Bekerja langsung pada ginjal dan tulang dan secara tidak langsung pada usus. Dalam tulang, PTH berikatan dengan reseptor PTH pada permukaan osteoblas dan sel stroma yang mengaktifkan ekspresi MCSF (*macrophage colony-stimulating factor*) dan RANKL yang menginduksi diferensiasi dan aktivasi osteoklas¹⁹.

Reseptor estrogen diekspresikan oleh osteoklas dan osteoblas. Estrogen adalah hormon penting dalam mengendalikan umur sel tulang dengan menyebabkan apoptosis pra-osteoklas dan osteoklas, sementara menghambat apoptosis osteoblas dan osteosit dan mencegah resorpsi tulang yang berlebihan. Pembentukan osteoklas juga direduksi oleh estrogen

melalui penghambatan sintesis RANKL oleh osteoblas dan osteosit dan secara simultan produksi oleh sel-sel OPG ini¹⁹.

2. Resorpsi

Osteoklas memediasi resorpsi tulang berlangsung sekitar 2-4 minggu selama setiap siklus. Awalnya, osteoklas memompa proton, yang dihasilkan oleh *Carbonic Anhydrase II*, sehingga menurunkan pH hingga serendah 4,5 ke dalam kompartemen resorpsi untuk melarutkan mineral tulang. Penataan ulang dari sitoskeleton osteoklas menghasilkan perlekatan pada permukaan tulang, pembentukan zona penyegelan dan pembentukan *ruffled border* yang menyediakan area permukaan sekretorik yang ditingkatkan. Selanjutnya, mereka mengeluarkan enzim lain seperti matriks metaloproteinase, cathepsin K dan lain-lain untuk mencerna matriks tulang organik. Hal ini menyebabkan pembentukan rongga yang dikenal sebagai lakuna Howship pada permukaan tulang trabekular. Osteoklas berinti banyak kemudian menjalani apoptosis yang mengakhiri fase resorpsi^{19,20}.

3. Reverseal

Fase reverseal, di mana resorpsi tulang beralih ke pembentukan, terjadi sekitar 4-5 minggu. Permukaan tulang yang baru diresorpsi disiapkan untuk deposisi matriks tulang baru. Persiapan permukaan tulang dilakukan oleh sel-sel dari garis turunan osteoblas yang menghilangkan matriks kolagen yang tidak termineralisasi yang disimpan untuk meningkatkan perlekatan osteoblas^{19,20}.

Setelah resorpsi tulang, rongga berisi berbagai sel termasuk monosit, osteosit dan pra-osteoblas. Sel tersebut direkrut untuk memulai pembentukan tulang. Sinyal kopling yang menghubungkan akhir resorpsi tulang dengan awal pembentukan tulang. Berbagai sinyal kopling seperti TGF- β (*Transforming Growth Factor-B*) dalam matriks berkorelasi dengan tulang dan indeks *turn-over* tulang seperti osteocalcin serum dan

tulang-spesifik alkali fosfatase menghambat produksi RANKL oleh osteoblas sehingga menurunkan resorpsi osteoklas. Osteoklas digantikan oleh sel-sel turunan osteoblas yang memulai pembentukan tulang^{19,20}.

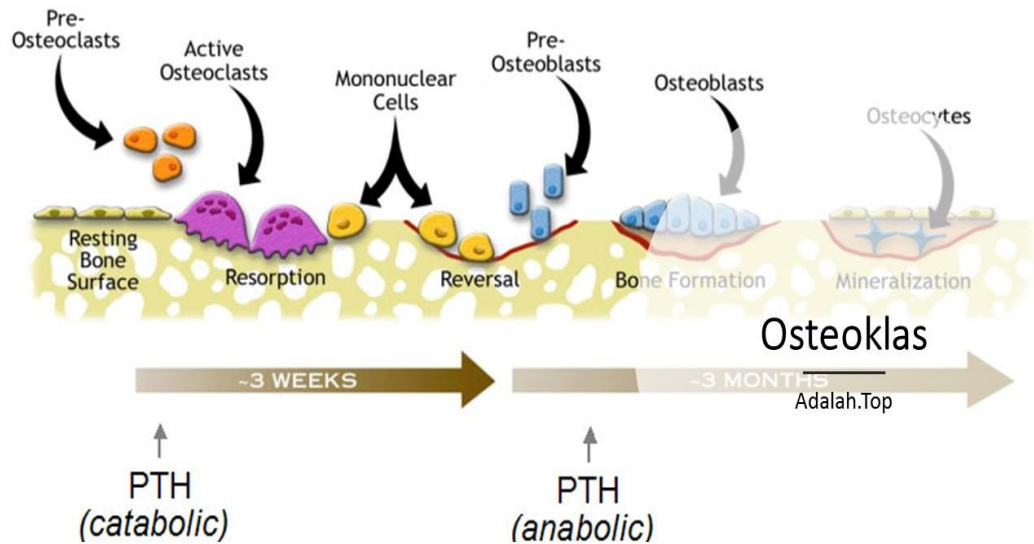
4. Pembentukan Tulang

Pembentukan tulang baru dapat dibagi menjadi dua bagian. Pertama, osteoblas mensintesis dan mensekresi matriks osteoid kaya kolagen tipe 1. Kedua, osteoblas berperan dalam mengatur mineralisasi osteoid. Pembentukan tulang dapat memakan waktu antara 4 dan 6 bulan. Osteoblas mensintesis matriks baru yang mengandung protein untuk mengisi rongga yang ditinggalkan oleh osteoklas. Matriks tulang baru (osteoid) ini terdiri dari protein seperti kolagen tipe I^{19,20}.

Osteoid membentuk sekitar 50% volume tulang dan 40% berat tulang. Saat matriks tulang baru secara bertahap termineralisasi, matriks tulang akan membentuk tulang baru. Pembentukan tulang baru oleh osteoblas terjadi sampai mereka berubah menjadi lapisan sel-sel yang sepenuhnya menutupi permukaan tulang yang baru terbentuk. Osteoblas yang terkubur di dalam matriks tulang yang baru terbentuk berubah menjadi osteosit lengkap dengan jaringan kanalikuli yang luas yang menghubungkannya dengan sel-sel lapisan permukaan tulang, osteoblas, dan osteosit lainnya. Setelah pembentukan tulang selesai, antara 50% dan 70% osteoblas mengalami apoptosis dengan sisanya menjadi osteosit atau sel pelapis tulang^{19,20}.

5. Terminasi

Fase terakhir adalah proses mineralisasi atau kalsifikasi yang dimulai sekitar 30 hari setelah pembentukan osteoid. Setelah mineralisasi selesai, osteoblas mengalami apoptosis, berubah menjadi sel-sel pelapis tulang atau terkubur di dalam matriks tulang dan akhirnya berdiferensiasi menjadi osteosit. Osteosit memainkan peran kunci dalam menandakan akhir remodeling melalui sekresi antagonis terhadap osteogenesis^{19,20}.



Gambar 2.1. Siklus Remodeling Tulang

Sumber: Katsimbri P. The biology of normal bone remodeling. John Wiley & Sons Ltd Eur J Cancer Care. 2017: 2-4

2.6 Calcium

Calcium merupakan salah satu mineral yang sangat vital dan diperlukan oleh tubuh dalam jumlah yang lebih besar dibanding mineral lainnya. *Calcium* adalah salah satu mikronutrien penting untuk kesehatan tulang. *Calcium* merupakan mineral penting dalam metabolisme manusia dan termasuk sekitar 1-2% dari berat badan manusia dewasa. Di dalam tubuh, calcium ditampung pada jaringan tulang²¹.

Peran *calcium* dalam tubuh meliputi; membangun tulang dan menjaganya agar tetap sehat, menginduksi osteoklas yang berperan dalam remodeling tulang, pembekuan darah, kontraksi otot, membantu saraf dalam mengirim pesan dan menjaga keseimbangan asam dan basa dalam aliran darah. *Calcium* adalah pembawa pesan kedua universal dengan peran penting di hampir semua jenis sel.

Pensinyalan *calcium* dapat mengontrol proliferasi, diferensiasi, transkripsi, aktivasi dan apoptosis dalam sel-sel tulang seperti osteoblas, osteoklas dan osteosit^{22,23}.

Tubuh tidak dapat memproduksi *calcium* baru sehingga dibutuhkan *calcium* dari asupan makanan yang mengandung *calcium*. *Calcium* bertindak sebagai sumber metabolisme kebutuhan melalui proses remodeling. Penyerapan *calcium* dipengaruhi oleh kecukupan vitamin D, adanya pengikat *calcium* dalam makanan seperti oksalat, fosfat, dan fitat, kelompok umur dan keadaan fisiologis. Tulang membutuhkan banyak vitamin D dan *calcium* sepanjang kehidupan awal terutama selama masa kanak-kanak dan remaja²⁴.

2.6.1 Peran dan Fungsi *Calcium*

Calcium merupakan mineral yang penting untuk manusia, 99 persen *calcium* di dalam tubuh manusia terdapat di tulang. Dan sebanyak 1 persen *calcium* terdapat di dalam cairan tubuh seperti serum darah, di sel-sel tubuh, dalam cairan ekstraseluler dan intraseluler²⁵.

a) Peran *calcium* dalam cairan tubuh²⁵

- Kontraksi dan relaksasi otot
- Transmisi impuls syaraf
- Pembekuan darah
- Mengatur sekresi hormon
- Sebagai faktor pendukung pada beberapa enzim

b) Peran *calcium* untuk tubuh manusia²⁵

- Sebagai penguat struktur tulang
- Sebagai bank *calcium*, jika *calcium* dalam darah menurun maka tubuh akan mengambil cadangan dari tulang dengan bantuan beberapa hormon.

c) Fungsi *calcium* bagi tubuh²⁵

- Pembentukan tulang dan gigi, dengan asupan *calcium* yang baik, tulang dan gigi menjadi kuat. Asupan *calcium* sangat penting untuk ibu hamil dan menyusui, sehingga anak-anaknya mempunyai gigi dan tulang yang sehat. Untuk tulang anak-anak yang kekurangan *calcium* dan vitamin D akan menjadi kurang kuat, bahkan bentuk kakinya bisa menjadi X atau O.
- Mengatur pembekuan darah
- Kontraksi otot dan relaksasi otot, bila *calcium* rendah maka otot tidak dapat relaksasi sehingga menimbulkan kejang. Pengendalian *calcium* di dalam darah oleh vitamin D, hormon paratiroid/PTH dan hormon kalsitonin.
- Menginduksi diferensiasi osteoklas dan terjadinya remodeling tulang.

2.6.2 Manfaat *Calcium* Bagi Tubuh

- Pembentukan dan Pemeliharaan Tulang dan Gigi.

Anak-anak memerlukan *calcium* untuk pertumbuhan tulang dan gigi mereka. Kekurangan *calcium* dapat mengakibatkan pertumbuhan tulang anak tidak sempurna dan menderita penyakit rickets. Orang dewasa membutuhkan *calcium* untuk terus-menerus meremajakan sistem tulang dan giginya.²⁵.

- Mencegah Osteoporosis.

Bila tidak mendapat cukup *calcium* dari makanan, tubuh akan mengambilnya dari persediaan *calcium* pada persendian tangan, kaki dan tulang panjang lainnya. Kekurangan konsumsi *calcium* dalam waktu lama akan mengakibatkan tubuh mengambilnya langsung dari tulang-tulang padat. Hal ini mengakibatkan tulang keropos dan menyebabkan osteoporosis²⁵.

- Penyimpanan Glikogen.

Calcium berperan dalam proses penyimpanan glikogen. Bila tidak ada *calcium*, tubuh akan merasa lapar terus-menerus karena tidak dapat menyimpan glikogen.

- Melancarkan fungsi otot, otak dan sistem syaraf.

Otot, otak dan sistem syaraf membutuhkan *calcium* agar dapat berfungsi optimal. Kekurangan *calcium* dapat menyebabkan kejang otot dan gangguan fungsi otak dan sistem syaraf²⁵.

2.6.3 Sumber *Calcium*

Asupan *calcium* dapat dihasilkan dari produk susu seperti susu, yogurt dan keju. Makanan kaya *calcium* seperti keju dapat menyediakan 1 g *calcium* per 100 g, sedangkan susu dan yogurt dapat menyediakan antara 100 mg hingga 180 mg per 100 g, dan untuk sereal biasanya mengandung sekitar 30 mg per 100 g. Selain produk susu, kacang-kacangan dan biji-bijian juga mengandung *calcium*, terutama almond, wijen, chia, kacang kedelai, kacang merah, kacang polong, tempe, dan tahu yang dapat menyediakan antara 250 hingga 600 mg per 100 g. Sayuran juga mengandung *calcium* seperti kangkung, brokoli, daun papaya, daun singkong, peterseli dan selada air, yang menyediakan antara 100 dan 150 mg per 100 g^{24,25}.

Sumber *calcium* yang lain juga dapat berasal dari salah satu bentuk sisa yang dihasilkan dari pengolahan ikan yakni tulang ikan yang mengandung mineral cukup tinggi dibandingkan bagian tubuh yang lain karena unsur utama dari tulang ikan adalah *calcium*, fosfor dan karbonat. Tulang tersusun terutama dari *calcium* dan fosfor yang mengalami biomineralisasi dan membentuk senyawa *calcium* fosfat^{24,26}.

2.7 Peran *Calcium* dalam Pergerakan Gigi Ortodonti

Penerapan gaya ortodonti pada gigi menyebabkan resorpsi tulang alveolar di daerah tekanan dan pembentukan tulang di daerah tarikan. Remodeling tulang merupakan proses penting dalam pergerakan gigi ortodonti. Remodeling tulang memerlukan koordinasi tiga jenis sel, yaitu: osteosit, osteoblas, dan osteoklas. Selama pergerakan gigi ortodonti terjadi interaksi imun tulang. Banyak mediator terlarut yang diproduksi oleh sel imun, termasuk sitokin, kemokin, dan faktor pertumbuhan, mengatur aktivitas osteoklas dan osteoblas. Ketika terjadi peningkatan *calcium* atau fosfor, peningkatan jumlah unit remodeling tulang juga akan menyebabkan peningkatan aktivitas osteoklas yang ada^{7,27}.

Calcium merupakan molekul sederhana, tetapi memiliki berbagai fungsi seluler. *Calcium* bertindak sebagai pembawa pesan dalam banyak proses biologis. Pensinyalan *calcium* dapat mengontrol proliferasi, diferensiasi, transkripsi, aktivasi dan apoptosis dalam sel-sel tulang seperti osteoblas, osteoklas dan osteosit²³.

Pada remodeling tulang, *calcium* berperan dalam mengatur diferensiasi dan fungsi osteoklas. Osteoklas adalah sel raksasa berinti banyak yang bertanggung jawab atas dekalsifikasi dan resorpsi matriks tulang. Osteoklas berdiferensiasi dari garis turunan makrofag monosit sitokin dan RANKL. RANKL berfungsi untuk menginduksi diferensiasi osteoklas dengan mengaktifkan faktor transkripsi NFATc1 (*nuclear factor of activated T cells*) yang diperlukan untuk osteoklastogenesis. Pensinyalan RANKL menginduksi perubahan osilasi pada *calcium*. Osilasi *calcium* akan memainkan peranan penting dalam diferensiasi seluler, fungsi, dan kematian osteoklas. Osilasi *calcium* dapat menginduksi osteoklastogenesis, memungkinkan terjadinya diferensiasi osteoklas, dan resorpsi tulang melalui sel cineurin^{26,28}.

Dalam sebuah penelitian yang dilakukan oleh Jung Yun et al, dibuktikan bahwa diferensiasi osteoklas bergantung pada *calcium*. Peningkatan konsentrasi

calcium merupakan proses untuk menyebabkan terjadinya osteoklastogenesis, yang berperan dalam resorpsi tulang. *Calcium* berikatan dengan kalmodulin mengaktifasi kalsineurin, yang mengarah pada aktivasi NFATc1 yang diperlukan untuk diferensiasi osteoklas²⁹.

Lijian et al juga melakukan penelitian pada sampel tikus dan didapatkan bahwa *calcium* fosfat dapat menginduksi lebih banyak pembentukan tulang baru pada galur tikus. Tikus yang telah diberikan *calcium* fosfat menunjukkan terjadinya peningkatan osteoklas hal ini dibuktikan setelah dilakukan pewarnaan menggunakan TRAP (*antioxidant parameter*) untuk mengekspresikan osteoklas. Osteoklas ini akan menyebabkan resorpsi tulang dan remodelling³⁰.

Kecepatan pergerakan gigi ortodonti salah satunya ditentukan oleh remodeling tulang. Pemberian *calcium* berperan dalam proses remodeling tulang dengan memediasi diferensiasi osteoklas. Diferensiasi osteoklas bergantung pada RANKL. RANKL memainkan peran penting dalam induksi remodeling tulang yakni pembentukan dan aktivasi osteoklas. Ekspresi RANKL dalam ligamentum periodontal (PDL) akan menyebabkan pembentukan osteoklas yang berperan dalam resorpsi. Pemberian *calcium* menyebabkan pengaktifan RANKL yang berperan dalam peningkatan osteoklas, peningkatan osteoklas menyebabkan terjadinya remodeling tulang dan pergerakan gigi kemudian mengikuti siklus dari remodeling tulang dan stabilitas hasil perawatan³¹.