

**BIOMEKANIKA PERGERAKAN GIGI DALAM PERCEPATAN  
PERAWATAN ORTODONTI  
*LITERATURE REVIEW***

**SKRIPSI**



*Diajukan untuk melengkapi salah satu syarat  
Mencapai Gelar Sarjana Kedokteran Ggi*

**OLEH :**

**PUPUT NURUL FADILA**

**J011171318**

**DEPARTEMEN ORTODONTI  
FAKULTAS KEDOKTERAN GIGI  
UNIVERSITAS HASANUDDIN**

**2020**



**BIOMEKANIKA PERGERAKAN GIGI DALAM PERCEPATAN  
PERAWATAN ORTODONTI**

*LITERATURE REVIEW*

**SKRIPSI**

*Diajukan untuk melengkapi salah satu syarat  
Mencapai Gelar Sarjana Kedokteran Ggi*

**OLEH :**

**PUPUT NURUL FADILA**

**J011171318**

**DEPARTEMEN ORTODONTI  
FAKULTAS KEDOKTERAN GIGI  
UNIVERSITAS HASANUDDIN**

**2020**



## LEMBAR PENGESAHAN

**Judul** : BIOMEKANIKA PERGERAKAN GIGI DALAM PERCEPATAN PERAWATAN  
ORTODONTI

**Oleh** : PUPUT NURUL FADILA / J011171318

Telah diperiksa dan disahkan pada tanggal, 06 November 2020

Oleh :

Pembimbing

drg. Baharuddin MR. Sp. Ort (K)  
NIP. 196912312005011014

Mengetahui,

Dekan Fakultas Kedokteran Gigi  
Universitas Hasanuddin



drg. Muhammad Ruslin, M.Kes., Ph.D., Sp. BM (K)  
NIP. 197307022001121001



## SURAT PERNYATAAN

Dengan ini menyatakan mahasiswa yang tercantum di bawah ini:

Nama : Puput Nurul Fadila

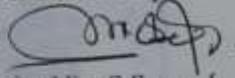
NIM : J011171318

Judul : Biomekanika Pergerakan Gigi Dalam Percepatan Perawatan Ortodonti

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

Makassar, 06 Agustus 2020

Koordinator Perpustakaan FKG Unhas



Amiruddin, S. Sosy

NIP. 19661121 199201 1 003



## PERNYATAAN KEASLIAN TULISAN

Saya yang bertanda tangan dibawah ini:

Nama : PUPUT NURUL FADILA  
NIM : J011171318  
Jurusan : Pendidikan Dokter Gigi

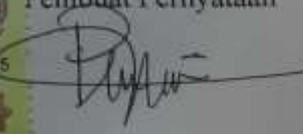
Menyatakan dengan sebenar-benarnya bahwa skripsi dengan judul "Biomekanika Pergerakan Gigi Dalam Percepatan Perawatan Ortodonti", ini adalah benar karya tulis saya , dan bukan merupakan pengambil alihan tulisan atau pikiran orang lain dan diakui sebagai hasil tulisan atau pikiran sendiri. Apabila kemudian hari terbukti atau dapat dibuktikan skripsi ini hasil jiplakan, saya bersedia, menerima sanksi atas perbuatan tersebut.

Demikian surat pernyataan ini saya buat dengan sebenar-benarnya agar dapat digunakan sebagaimana mestinya.

Makassar, 6 November 2020



Pembuat Pernyataan

  
**PUPUT NURUL FADILA**  
NIM. J011171318



## ABSTRAK

# BIOMEKANIKA PERGERAKAN GIGI DALAM PERCEPATAN PERAWATAN ORTODONTI

Puput Nurul Fadila<sup>1</sup>

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

[puputnurul290799@gmail.com](mailto:puputnurul290799@gmail.com)

**Latar Belakang:** Biomekanika ortodonti adalah mempelajari efek biologis yang terjadi pada jaringan pendukung gigi aplikasi gaya mekanik selama perawatan ortodonti. Perawatan ortodonti mengaplikasikan gaya mekanik ke periodonsium, sehingga gigi bergerak sesuai keinginan. Periodontium adalah jaringan pendukung gigi yang berfungsi sebagai peredam kejut terhadap tekanan pengunyahan. **Tujuan:** Untuk mengkaji biomekanika pergerakan gigi dalam mempercepat hasil perawatan ortodonti. **Metode:** Metode yang digunakan dalam penulisan ini adalah *Literature Review*. **Hasil:** Dari hasil sintesis 17 jurnal penelitian ilmiah didapatkan bahwa biomekanika pergerakan gigi dapat terjadi karena faktor remodeling tulang, mediator kimiawi serta faktor biologis yang terjadi pada tingkat molekuler dan menghasilkan pergerakan gigi yang lebih cepat dengan kerusakan jaringan selama pergerakan gigi. Pergerakan gigi juga terbagi menjadi fase katabolik yang disebabkan oleh osteoklas dan fase anabolik terjadi untuk mengembalikan tulang alveolar. **Kesimpulan:** Pergerakan gigi melalui kompleks dentoalveolar yang merupakan rangkaian sinergis dari fenomena fisik dan biologis remodelling jaringan, sehingga sangat penting untuk memiliki pemahaman yang tepat mengenai biomekanika pergerakan gigi dalam percepatan perawatan ortodonti.

Kata kunci : Biomekanika pergerakan gigi, pergerakan gigi, percepatan perawatan ortodonti.



## ABSTRACT

### BIOMECHANICS OF TOOTH MOVEMENT IN ACCELERATION OF ORTHODONTIC TREATMENT

Puput Nurul Fadila<sup>1</sup>

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

[puputnurul290799@gmail.com](mailto:puputnurul290799@gmail.com)<sup>1</sup>

**Background:** Orthodontic biomechanics is the study of the biological effects that occur in the dental support tissue application of mechanical forces during orthodontic treatment. Orthodontic treatment applies a mechanical force to the periodontium, allowing the teeth to move as desired. The periodontium is the tooth supporting tissue that functions as a shock absorber against masticatory pressure. **Objective:** To study the biomechanics of tooth movement in accelerating the results of orthodontic treatment. **Method:** The method used in this paper is Literature Review. **Results:** From the synthesis results of 17 scientific research journals, it was found that the biomechanics of tooth movement could occur due to bone remodeling factors, chemical mediators and biological factors that occurred at the molecular level and resulted in faster tooth movement with tissue damage during tooth movement. Tooth movement also becomes a catabolic phase caused by osteoclasts and anabolic phase occurs to restore alveolar bone. **Conclusion:** The movement of teeth through the dentoalveolar complex is a synergistic series of physical and biological phenomena of tissue remodeling, so it is very important to have a proper understanding of the biomechanics of tooth movement in accelerating orthodontic treatment.

**Keywords:** Biomechanics of tooth movement, tooth movement, acceleration of orthodontic treatment.



## KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan kepada Allah SWT yang telah melimpahkan berkat dan rahmat-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan *literature review* yang berjudul “ **Biomekanika Pergerakan Gigi dalam Percepatan Perawatan Ortodonti** “ dengan tepat waktu.

Shalawat serta salam penulis haturkan kepada baginda Rasulullah Muhammad Shallallahu ‘alaihi wa sallam, manusia terbaik yang Allah pilih untuk menyampaikan risalah-Nya dan dengan sifat amanah yang melekat pada diri beliau, risalah tersebut tersampaikan secara menyeluruh sebagai sebuah jalan cahaya kepada seluruh ummat manusia di muka bumi ini.

Berbagai hambatan penulis alami selama penyusunan *literature review* ini berlangsung, tetapi berkat doa,dukungan,dan bimbingan dari berbagai pihak, *literature review* ini dapat terselesaikan dengan baik di waktu yang tepat

1. **drg. Muhammad Ruslin, M.Kes, Ph.D., Sp.BM (K)** selaku Dekan Fakultas Kedokteran Gigi Universitas Hasanuddin yang senantiasa memberikan kepercayaan, nasihat dan dukungan kepada penulis sehingga penyusunan *literature review* ini dapat terselesaikan.
2. **Prof. Dr. Drg. Eddy Machmud, Sp.Pros(K)** selaku Wakil Dekan I yang telah memudahkan jalan penulis dalam penyusunan skripsi serta senantiasa memberikan dukungan dan motivasi kepada penulis.
3. **drg.Muhammad Ikbal, Sp.Pros** selaku penasehat akademik yang senantiasa memberikan nasihat, bimbingan dann motivasi, sehingga penulis ini dapat menyelesaikan *literature review* ini dengan baik.
4. **drg. Baharuddin M Ranggung, Sp. Ort (K)** selaku pembimbing skripsi yang telah banyak meluangkan waktu, tenaga, dan pikiran untuk memberikan bimbingan, saran, dan motivasi kepada penulis sehingga *literature review* ini dapat berjalan dan terselesaikan.
5. **Dr. Drg Eka Erwansyah,M.Kes., Sp.Ort (K)** dan **drg. Zilal Islamy mma,Sp.Ort**, selaku penguji yang telah memberikan saran maupun



kritik yang membangun. Semoga Allah *Subhanahu wa ta'ala* melimpahkan rahmat-Nya serta memberikan kesehatan kepada dokter beserta keluarga.

6. **Seluruh dosen / staf pengajar** Fakultas kedokteran Gigi Universitas Hasanuddin yang telah banyak memberikan ilmu yang sangat bermanfaat bagi penulis.
7. **Staf pegawai** Fakultas Kedokteran Gigi Universitas Hasanuddin yang telah banyak membantu penulis.
8. **Rifqiyanti Ismi** selaku partner skripsi yang telah memberikan semangat dan telah banyak membantu dari awal sampai akhir menyelesaikan *literature review* ini.
9. Ayahanda **ABBAS** dan ibunda **JUNAEDAH** terima kasih telah memberikan kasih sayang berupa dukungan moril dan materil serta iringan do'a dan restunya kepada penulis dalam menjalani perkuliahan hingga saat ini. Semoga Allah SWT memberikan kesehatan beserta limpahan rahmat-Nya.
10. Kepada Adik penulis **VIVIT FARADILLA** dan **PUTRI REZKI FEBRIANI** dan keluarga yang tak bisa disebutkan satu persatu, terima kasih telah memberikan kasih sayang berupa dukungan moril dan material serta iringan doa'a dan restunya kepada penulis dalam menjalani perkuliahan hingga saat ini. Semoga Allah SWT memberikan kesehatan beserta limpahan rahmat-Nya.
11. **DIDIT FEBRIANTO** yang selalu memberikan motivasi dan dukungan selama menyelesaikan *literature review* ini.
12. Sahabat Pejuang Skripsweetku **Hujar Mursyidaya Risa B, Agil Malinda, Diesyahwati Melania Sutarsa, Meuthia Alysha Fauziah Nusaly**, yang telah memberikan support tanpa hanti dan semangat kepada penulis untuk menyelesaikan *literature review* ini.
13. Teman seperjuangan *literature review* di Departemen Ortodonti yang telah memberikan motivasi dan semangat dalam penyelesaian *literature review* ini.
14. Teman seperjuangan Obturasi 2017 yang senantiasa saling ada untuk semua serta saling memberikan semangat dan doa dalam menyelesaikan *literature review* ini bersama-sama.

pihak-pihak lainnya yang tidak dapat disebutkan satu persatu. Semoga bantuan yang telah diberikan kepada penulis bernilai dan Allah SWT akan memberikan balasan lebih dari hanya sekedar ucapan terima



dari penulis. Mohon maaf atas segala kesalahan yang disengaja maupun tidak disengaja dalam rangkaian pembuatan *literature review* ini. Semoga *literature review* ini dapat memberikan manfaat dalam perkembangan ilmu kedokteran gigi kedepannya.

Makassar, 5 September 2020

Hormat Kami



Penulis



## DAFTAR ISI

<b>HALAMAN SAMPUL</b> .....	<b>i</b>
<b>HALAMAN JUDUL</b> .....	<b>ii</b>
<b>LEMBAR PENGESAHAN</b> .....	<b>iii</b>
<b>SURAT PERNYATAAN</b> .....	<b>iv</b>
<b>PERNYATAAN KEASLIAN TULISAN</b> .....	<b>v</b>
<b>ABSTRAK</b> .....	<b>vi</b>
<b>KATA PENGANTAR</b> .....	<b>vii</b>
<b>DAFTAR ISI</b> .....	<b>x</b>
<b>DAFTAR GAMBAR</b> .....	<b>xii</b>
<b>DAFTAR TABEL</b> .....	<b>xiii</b>
<b>LAMPIRAN</b> .....	<b>xiv</b>
<b>BAB I PENDAHULUAN</b> .....	<b>1</b>
1.1 Latar Belakang.....	3
1.2 Rumusan Masalah.....	3
1.3 Tujuan Penelitian.....	3
1.4 Manfaat.....	3
1.4.1 Manfaat Teoritis.....	3
1.4.2 Manfaat Praktis .....	3
<b>BAB II TINJAUAN PUSTAKA</b> .....	<b>4</b>
2.1 Pergerakan Gigi .....	4
2.1.1 Teori Pergerakan Gigi.....	5
2.1.2 Mekanisme Pergerakan Gigi dalam Perawatan Ortodonti.....	14
2.2 Jenis -Jenis Pergerakan Gigi secara Ortodonti .....	21
2.2.1 Pergerakan <i>Tipping</i> .....	21
2.2.2 Pergerakan <i>Bodily Translasi</i> .....	21
2.2.3 Pergerakan Rotasi .....	21
2.2.4 Pergerakan Vertikal .....	21
2.2.5 Pergerakan <i>Torque</i> .....	22
Percepatan Pergerakan Gigi dalam Perawatan Ortodonti.....	23
Pendekatan Biologis/ Farmakologis .....	23



2.3.2	Stimulasi Fisik/ Biomekanik.....	23
2.3.3	Pendekatan Bedah.....	24
2.3.4	Terapi Laser Tingkat Rendah .....	28
2.3.5	<i>Self ligating</i> .....	28
<b>BAB III KERANGKA TEORI DAN KONSEP .....</b>		<b>30</b>
3.1	Kerangka Konsep.....	30
3.2	Kerangka Teori.....	31
<b>BAB IV METODOLOGI PENELITIAN .....</b>		<b>32</b>
4.1	Rancangan Strategi Pencarian Literature Review .....	32
4.2	Kriteria Literature Review.....	32
4.3	Tahapan Literature Review.....	33
<b>BAB V PEMBAHASAN .....</b>		<b>34</b>
5.1	Hasil Kajian Literature Review .....	34
5.2	Pembahasan .....	45
<b>BAB VI PENUTUP .....</b>		<b>55</b>
6.1	Kesimpulan.....	55
6.2	Saran .....	55
<b>DAFTAR PUSTAKA .....</b>		<b>56</b>



## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Kombinasi proses resorpsi dan aposisi pada tulang alveolar .....	4
Gambar 2.2 Mekanisme pergerakan gigi pada perawatan ortodonti.....	15
Gambar 2.3 Pergerakan <i>Tipping</i> .....	22
Gambar 2.4 Pergerakan <i>Bodily</i> .....	22
Gambar 2.5 Pergerakan Rotasi.....	22
Gambar 2.6 Pergerakan Vertikal .....	23
Gambar 2.7 Pergerakan <i>Torque</i> .....	23
Gambar 2.8 Skema pergerakan gigi paska dilakukannya <i>prosedur corticotomy</i> .....	24
Gambar 2.9 Prosedur bedah <i>corticotomy</i> .....	26



## DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Proses remodeling tulang .....	10
Tabel 5.1 Sintesis jurnal .....	34
Tabel 5.2 Kekuatan optimal untuk ortodonti pergerakan gigi .....	50



## LAMPIRAN

Lampiran 1 undangan hasil skripsi.....	60
Lampiran 1 undangan proposal skripsi.....	61
Kartu kontrol.....	62



# BAB I

## PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Biomekanika adalah studi tentang mekanika yang diterapkan pada sistem biologis jaringan pendukung gigi pada perawatan ortodonti. Biomekanika pergerakan gigi adalah efek gaya terhadap gigi dan respon sel tubuh seperti kompresi ligamen periodontal, deformasi tulang, dan lukanya jaringan. Perawatan ortodonti mengaplikasikan gaya mekanik ke periodonsium, sehingga gigi bergerak sesuai dengan hasil perawatan ortodonti. Periodontium adalah jaringan pendukung gigi yang berfungsi sebagai peredam kejut terhadap tekanan pengunyahan.<sup>1,2</sup>

Pergerakan gigi ortodonti dapat diperoleh melalui remodeling tulang alveolar dan jaringan periodontal sebagai respon terhadap gaya mekanik. Aplikasi gaya ortodonti pada gigi menyebabkan resorpsi tulang alveolar pada daerah kompresi dan aposisi tulang di daerah tarik. Tulang alveolar terus mengalami proses renovasi yang merupakan proses kompleks termasuk resorpsi dan pembentukan tulang. Renovasi tulang membutuhkan koordinasi tiga jenis sel, yaitu: osteosit, osteoblas dan osteoklas. Suatu kekuatan mekanik dapat menginduksi osteosit yang bertindak sebagai reseptor mekanik untuk mendeteksi perubahan aliran darah dalam kanalikuli tulang dan merespons melalui sinyal transmisi ke osteoblas, kemudian osteoblas merangsang diferensiasi osteoklas dan resorpsi tulang.<sup>1,2,4</sup>

Alat ortodonti digunakan untuk memperbaiki maloklusi, berupa kelainan gigi, kelainan relasi rahang, kelainan pertumbuhan tulang pembentuk wajah ataupun kelainan jaringan lunak sekitar mulut. Proses tersebut dapat dirangsang menggunakan gaya mekanis yang didapat dari aktivasi komponen peranti yang diaplikasikan untuk menekan gigi dan diteruskan pada jaringan sekitar gigi meliputi gingiva, ligamen periodontal dan tulang alveolar.<sup>2,9</sup>

Gaya mekanis menyebabkan daerah sekitar gigi terbagi menjadi dua daerah daerah tekanan dan daerah regangan. Pada daerah tekanan, gaya mekanis merangsang osteoklas untuk melakukan resorpsi tulang alveolar. Pada daerah regangan akan terjadi pembentukan tulang alveolar baru yang dilakukan oleh osteoblas. Kedua proses ini selain tergantung dari faktor lokal daerah tersebut juga dipengaruhi oleh faktor sistemik. Hormon atau mediator lainnya juga sangat dipengaruhi oleh besarnya



gaya yang diterima. Gaya dengan tekanan kecil menyebabkan resorpsi dan pembentukan tulang alveolar, sedangkan gaya dengan tekanan besar dapat mengaktifasi lebih dominan kerja osteoklas untuk meresorpsi tulang alveolar dibanding kerja osteoblas dalam pembentukan tulang alveolar, sehingga resorpsi yang terjadi berlebihan (*underminning resorption*).<sup>1,2,9</sup>

Gaya yang adekuat atau memadai akan menghasilkan resorpsi yang sesuai disebut sebagai *frontal resorption*. Setelah proses resorpsi selesai maka osteoklas akan mengalami *apoptosis* sehingga proses resorpsi berhenti. Pada daerah regangan, osteoblas teraktivasi untuk melakukan aktivasi pembentukan tulang baru *reposisi*. Jika gaya memadai maka proses resorpsi dan aposisi tulang alveolar ini dalam keadaan seimbang. Pergerakan gigi merupakan hal yang mendasari perawatan ortodonti. Mekanisme yang berada di balik reaksi seluler terhadap gaya mekanis yang diaplikasikan pada gigi merupakan hal yang sangat menarik dalam pembahasan pergerakan gigi ortodonti. Pandangan umum tentang biomekanika pergerakan gigi dan upaya hasil percepatan perawatan ortodonti dapat menggerakkan gigi sehingga di peroleh gigi geligi yang baik serta mencapai fungsi estetik dan oklusi.<sup>2,3</sup>

Waktu dalam perawatan ortodonti merupakan hal yang sangat diperhatikan oleh pasien.<sup>41</sup> Waktu yang dibutuhkan untuk perawatan ortodonti cekat berkisar sekitar 20-30 bulan sehingga pemakaian peranti ortodonti cekat dapat mempengaruhi estetik dan kebersihan mulut pasien. Perawatan ortodonti yang lama dapat menyebabkan beberapa kerugian seperti efek psikososial pasien, karies, resesi gingiva, serta resorpsi akar gigi. Dalam mengurangi lama perawatan ortodonti sangat direkomendasikan untuk membantu meningkatkan kepuasan pasien serta menjaga kesehatan mulut pasien. Untuk mengurangi waktu perawatan ortodonti maka dibutuhkan percepatan pergerakan gigi.<sup>42</sup>

Percepatan pergerakan gigi merupakan prosedur memanipulasi jaringan pendukung gigi pada tulang rahang untuk mengurangi jangka waktu perawatan ortodonti serta mengurangi efek samping dari perawatan ortodonti. Percepatan

pergerakan gigi sangat terbatas dan bergantung pada konsep biomekanika yaitu mengontrol pergerakan gigi yaitu osteoblas dan osteoklas. Berbagai cara dilakukan untuk meningkatkan percepatan pergerakan gigi dengan mencegah terjadinya resorpsi tulang tanpa merusak jaringan pendukung gigi. Percepatan pergerakan gigi yang disarankan untuk mempercepat



pergerakan gigi yaitu stimulasi agen kimia seperti hormon paratiroid, vitamin D3, osteocalcin, dan kortikosteroid, stimulasi bedah seperti *corticotomy*, piezoinisiasi, *micro-osteoperforation*, serta stimulasi fisik seperti stimulasi mekanis, dan laser.<sup>28,43</sup>

Berdasarkan uraian yang dipaparkan, maka timbul gagasan penulis untuk menyusun suatu karya ilmiah yang mengkaji biomekanika pergerakan gigi dalam percepatan perawatan ortodonti.

## 1.2 Rumusan Masalah

Adapun rumusan masalah pada kajian *literature review* ini:

Bagaimana biomekanika pergerakan gigi dalam mempercepat hasil perawatan ortodonti?

## 1.3 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan dari kajian *literature review* ini:

Mengkaji biomekanika pergerakan gigi dalam mempercepat hasil perawatan ortodonti.

## 1.4 Manfaat

### 1.4.1 Manfaat Teoritis

1. *Literature review* ini dapat dijadikan sebagai salah satu sumber ilmu dalam bidang ortodonti
2. Sebagai salah satu acuan yang akan diaplikasikan dalam penatalaksanaan percepatan hasil perawatan ortodonti

### 1.4.2 Manfaat Praktis

*Literature review* ini diharapkan dapat menjadi salah satu sumber energi bagi praktisi dalam merencanakan percepatan hasil perawatan ortodonti.

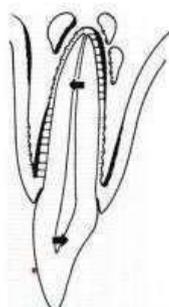


## BAB II

### TINJAUAN PUSTAKA

#### 2.1 Pergerakan Gigi

Pergerakan gigi pada perawatan ortodonti konvensional dihasilkan melalui tekanan terhadap ligamen periodontal, dimana tekanan tersebut akan menghasilkan modifikasi histologis dan biomolekuler menjadi pada jaringan periodontal yang akan mengaktifkan serangkaian proses resorpsi dan aposisi pada tulang alveolar. Mempertahankan integritas dari suatu jaringan periodontium umumnya sulit dicapai dalam perawatan ortodonti, serta dihubungkan dengan durasi perawatan yang panjang. Perawatan ortodonti konvensional merupakan standar dalam merawat malposisi gigi pada pasien dewasa, akan tetapi hal ini dapat menyebabkan permasalahan apabila dikerjakan pada pasien yang memiliki jaringan berupa tulang yang tipis, dimana memungkinkan terjadinya kelainan dehisensi pada akar atau resesi gingiva.<sup>15,16,24</sup>



Gambar 2.1 Kombinasi proses resorpsi dan aposisi pada tulang alveolar ( Sumber : Nurul Muhammad A,Permatasari N).<sup>1</sup>

Pergerakan gigi ortodonti merupakan kombinasi dari resorpsi dan aposisi tulang pada sisi tekanan dan tarikan yang keduanya akan memberikan pengaruh pada respon seluler.

pergerakan gigi ortodonti normal, osteoklas muncul dipermukaan tulang yang berada pada daerah tekanan dalam waktu 48 jam. Sel ini



meresorpsi tulang alveolar yang akan menandai dimulainya pergerakan gigi. Osteoblas muncul didaerah tarikan yang menyebabkan aposisi matriks tulang untuk pembentukan tulang alveolar baru. Ligamen periodontal juga mengalami *remodeling* dengan mediasi dari fibroblas.<sup>5,6</sup>

Gerakan gigi ortodonti diperoleh melalui *remodeling* tulang alveolar dan jaringan periodontal sebagai respons terhadap kekuatan mekanik. Penerapan kekuatan ortodonti pada gigi menyebabkan resorpsi tulang alveolar di daerah kompresi dan pembentukan tulang di area tarik. Tulang terus mengalami proses renovasi yang merupakan proses yang kompleks termasuk resorpsi dan pembentukan tulang. Renovasi tulang membutuhkan koordinasi tiga jenis sel, yaitu: osteosit, osteoblas dan osteoklas.<sup>7,8</sup>

### 2.1.1 Teori Pergerakan Gigi

#### A. Teori Tekanan-Tarikan

Teori tekanan-tarikan merupakan teori klasik pergerakan gigi yang menghubungkan pergerakan gigi dengan perubahan seluler yang dihasilkan oleh messenger kimiawi akibat perubahan aliran darah dalam ligamen periodontal. Aliran darah akan berkurang bila ligamen periodontal mendapat tekanan dan akan bertambah atau tetap jika ligamen periodontal mendapat tarikan. Perubahan aliran darah akan mengubah keadaan kimia darah. Level oksigen akan berkurang pada daerah tekanan dan akan bertambah pada daerah tarikan. Proporsi relatif metabolit yang lain juga akan berubah. Perubahan kimia ini akan menyebabkan pelepasan molekul biologis lainnya dan kemudian menstimulasi diferensiasi dan aktivitas seluler.<sup>3,6</sup>

Pada sisi tekanan, ruang ligamen periodontal akan menjadi sempit, terjadi konstiksi vaskular, replikasi sel dan produksi serat kolagen menurun, yang kemudian diikuti oleh resorpsi tulang. Sebaliknya pada sisi tarikan, ruang ligeman periodontal akan semakin lebar, vaskularisasi meningkat, replikasi



sel dan produksi serat kolagen juga meningkat, dan akan terjadi aposisi tulang.<sup>9</sup>

## B. Teori Piezoelektrik

Ketika alat ortodonti diaktifkan, gaya yang diberikan pada gigi akan ditransmisikan ke seluruh jaringan di sekitarnya. Gaya ini akan menyebabkan pelengkungan tulang alveolar. Teori piezoelektrik menghubungkan pergerakan gigi pada perubahan metabolisme tulang yang dikontrol oleh sinyal listrik yang dihasilkan oleh pelengkungan tulang alveolar. Tulang alveolar pada sisi tarikan memiliki konfigurasi konkaf, bermuatan elektronegatif dan menstimulasi peningkatan aktivitas osteoblas sehingga terjadi deposit tulang, sedangkan pada sisi tekanan tulang memiliki permukaan konveks bermuatan elektropositif atau netral dan menunjukkan peningkatan aktivitas osteoklas sehingga terjadi resorpsi tulang.<sup>1,2,6</sup>

Piezoelektrik adalah fenomena yang dapat diamati pada bahan berkrystal, yaitu deformasi yang terjadi pada struktur kristal akan menghasilkan aliran listrik karena adanya perpindahan elektron pada kristal-kristal tersebut. Mineral tulang, kristal hidroksi apatit dan matriks kolagen merupakan struktur kristal organik yang memiliki sifat piezoelektrik. Sinyal piezoelektrik memiliki dua karakteristik istimewa, yaitu (1) sinyal yang cepat hilang, bila gaya diaplikasikan akan timbul sinyal piezoelektrik yang kemudian akan cepat hilang walaupun gaya tetap dipertahankan, dan (2) bila gaya dihentikan akan timbul sinyal yang sama tetapi berlawanan arah.<sup>1,6,9</sup>

## C. Mekano Transduksi

Gaya ortodonti yang diaplikasikan pada gigi akan menyebabkan terjadinya perubahan pada ligamen periodontal dan deformasi tulang. Selanjutnya gaya mekanik dari alat ortodonti akan diubah ke dalam bentuk kejadian molekuler melalui transduksi sinyal, peristiwa ini disebut sebagai mekano transduksi.<sup>1,2</sup>

Gaya mekanis yang diaplikasikan ditransduksi dari matriks *ekstraseluler* ke *sitoskeleton* yang berada di dalam sel melalui protein permukaan sel.



*Sitoskeleton* memiliki tiga komponen utama, yaitu mikrotubulus, mikrofilamen, dan filamen intermediat. Mikrofilamen tampaknya merupakan komponen yang paling cocok untuk mendeteksi perubahan yang terjadi. Berkas mikrofilamen berakhir pada suatu tempat spesifik pada membran sel dan membentuk pertemuan dengan matriks ekstraseluler, pertemuan ini disebut kontak fokal atau plak adesi atau adesi fokal (*focal adhesion*). Suatu protein integral yang ada pada membran sel, yaitu integrin, inilah yang menghubungkan matriks ekstraseluler dengan sitoskeleton. Suatu jalur transduksi sinyal dapat terbentuk oleh karena integrin terikat pada fibronectin yang berada di ekstraseluler dan pada talin yang berada di intraseluler. Kompleks talin-integrin ini kemudian berikatan dengan aktin dan vinkulin yang merupakan sub unit protein dari mikrofilamen sitoskeleton. Adesi matriks ekstraseluler ke *sitoskeleton* ini akan menginduksi reorganisasi dari *sitoskeleton*, sekresi dan sitokin, aktivasi ribosom dan transkripsi gen.<sup>2,8</sup>

Sinyal ekstraseluler yang berasal dari messenger pertama misalnya berupa hormon paratiroid, neurotransmitter, dan prostaglandin akan dibawa oleh integrin ke dalam sel, yang kemudian menstimulasi terbentuknya messenger kedua intraseluler. Messenger kedua ini kemudian berinteraksi dengan enzim seluler, menimbulkan respon seperti sintesis protein atau kerusakan glikogen.<sup>1,2,9</sup>

Ada dua jalur messenger kedua yang sering dihubungkan dengan mekanotransduksi, yaitu jalur *cyclic adenosine monophosphate (cAMP)* dan jalur *phosphoinositide (PI)*. Messenger pertama seperti hormon atau prostaglandin akan mengaktifkan *adenylate cyclase*, suatu enzim yang mengkatalisis perubahan ATP menjadi cAMP, sehingga akan menyebabkan peningkatan jumlah cAMP intraseluler. cAMP akan mengaktifkan protein kinase A, suatu enzim yang bertanggung jawab terhadap fosforilasi protein. Selain itu, cAMP juga akan meningkatkan konsentrasi ion kalsium intraseluler. Pada jalur *phosphoinositide (PI)*, reseptor pada membran sel

teraktivasi akan membentuk *inositol phosphate*, yang kemudian akan menjadi *phosphotydylinositol biphosphate (PIP2)* oleh enzim *lipase*. PIP2 kemudian akan dipecah menjadi *diacylglycerol* dan *inositol*



*triphosphate*. *Diacylglycerol* akan mengaktifkan protein kinase C yang bertanggung jawab terhadap fosforilasi protein; sedangkan *inositol triphosphate* akan menstimulasi pelepasan ion kalsium dari penyimpanan intraseluler di retikulum endoplasma, mengontrol pemasukan kalsium pada membran plasma melalui saluran kalsium, serta berperan dalam peningkatan sintesis DNA. Kedua jalur messenger kedua ini tidak berdiri sendiri, tetapi berjalan bersama-sama. Keduanya menyebabkan aktivasi protein kinase dan peningkatan kalsium intraseluler yang akan memicu fosforilasi protein, yang akhirnya menuntun pada respon seluler.<sup>1</sup>

Kejadian mekanotransduksi pada adesi fokal diperantarai oleh berbagai mediator yang terlibat dalam remodeling jaringan pada pergerakan gigi ortodonti, antara lain asam arakidonat, neurotransmitter, sitokin, growth factors, dan colony stimulating factors. Berbagai faktor yang terlibat dalam remodeling tulang.<sup>5</sup>

Ketika sel mengalami deformasi oleh gaya mekanis, fosfolipid membran sel akan melepaskan asam arakidonat dengan bantuan enzim fosfolipase. Asam arakidonat kemudian dimetabolisme menghasilkan eikosanoid, di antaranya adalah prostaglandin, leukotrin dan tromboksan. Eikosanoid ini terlibat dalam remodeling tulang yang diinduksi secara mekanis. Leukotrin merupakan stimulator resorpsi tulang yang kuat. Transduksi sinyal mekanis ke dalam respon biologis diperantarai oleh prostaglandin. Prostaglandin akan mengaktifkan *adenylate cyclase* diikuti peningkatan cAMP dan kalsium intraseluler, serta stimulasi sintesis DNA. Prostaglandin juga merupakan mediator yang penting dalam aktivasi dan diferensiasi osteoklas.<sup>5,8,9</sup>

Pada area terjadinya tekanan atau tarikan karena pengaruh alat ortodonti, ujung saraf yang terdistorsi akan melepaskan neurotransmitter vasoaktif. Mekanoreseptor dari saraf mengandung berbagai neuropeptida, seperti substansi P, *vasoactive intestinal polypeptide (VIP)*, dan *calcitonin gene-related peptide (CGRP)*. Neuropeptida tersimpan dalam ujung saraf dan akan dilepaskan jika ujung saraf mengalami distorsi. Neuropeptida ini bertindak sebagai neurotransmitter. Ketiga neuropeptida ini merupakan vasodilator,



yang akan meningkatkan aliran vaskular dan permeabilitas vaskular, menstimulasi ekstravasasi plasma, serta mempercepat migrasi leukosit keluar dari kapiler menuju ke jaringan. Sel yang bermigrasi ini mensekresikan banyak molekul pembawa sinyal, termasuk sitokin dan *growth factors*, yang menstimulasi *remodeling* matriks ekstraseluler pada ligamen periodontal dan tulang alveolar. CGRP juga menstimulasi osteoblas dan menghambat osteoklas sehingga penting bagi pembentukan tulang.<sup>2,7,10</sup>

Sebagai respon terhadap gaya ortodonti, sitokin akan dilepaskan untuk mengatur *remodeling* tulang, di antaranya adalah interleukin 1 (IL-1), IL-2, IL-3, IL-6, IL-8, *tumor necrosis factor alpha (TNF $\alpha$ )*, *gamma interferon (IFN $\gamma$ )*, dan *osteoclast differentiation factor (ODF)*. Perbedaan respon sel-sel pada sisi tarikan dan tekanan disebabkan oleh karena adanya sitokin. Pada resorpsi tulang, sitokin yang paling kuat berperan adalah IL-1 yang secara langsung menstimulasi fungsi osteoklast. IL-1 akan menarik leukosit, menstimulasi fibroblas, sel endotel, osteoklas dan osteoblas untuk menghasilkan resorpsi tulang dan menghambat pembentukan tulang. *TNF $\alpha$*  adalah sitokin pro-inflamasi yang menyebabkan inflamasi akut atau kronis dan menstimulasi resorpsi tulang. Beberapa penelitian menunjukkan bahwa *TNF $\alpha$*  secara langsung menstimulasi diferensiasi progenitor osteoklas menjadi osteoklas dengan bantuan *macrophage colony-stimulating factor (M-CSF)*. Sitokin lainnya yang berperan dalam *remodeling* tulang adalah *IFN $\gamma$* , yang akan menstimulasi sintesis sitokin lainnya seperti IL-1 dan *TNF $\alpha$* , juga menginduksi produksi oksida nitrit yang penting bagi osteoblas dan osteoklas, serta dapat menyebabkan resorpsi tulang dengan cara *apoptosis* efektor sel T.<sup>9,10</sup>



Hormones	Polypeptides Parathyroid hormones Calcitonin Insulin Growth hormone Steroid 1,25, dihydroxy vitamin D <sub>3</sub> Glucocorticoids Sex steroids Thyroid hormones
Growth factors	Insulin-like growth factors I & II Transforming growth factor $\beta$ Fibroblast growth factor Platelet derived growth factor Connective tissue growth factors
Cytokines	Bone loss Interleukin-1 Interleukin-6 Interleukin-11 Tumor necrosis factor Osteoclast differentiating factor Bone formation Interleukin-4 Interleukin-13 Interleukin-18 Interferon- $\gamma$ Osteoprotegrin
Colony-stimulating factors	M-CSF G-CSF GM-CSF
Others	Prostaglandins Leukotriens Nitric oxide

Gambar 2.1 Faktor-faktor yang mempengaruhi proses remodeling tulang (Sumber: Iskandar P. Aspek biologis gigi ortodonti).<sup>9</sup>

Sitokin, terutama interleukin, berperan juga dalam sistem RANKL/RANK/OPG yang mengontrol *remodeling* tulang. *Receptor activator of nuclear factor  $\kappa\beta$  ligand (RANKL)* yang berada pada permukaan prekursor osteoklas, menuntun pada diferensiasi prekursor osteoklas menjadi osteoklas matang yang aktif. *Osteoprotegrin (OPG)* akan berkompetisi dengan RANK untuk berikatan dengan RANKL, sehingga dengan adanya OPG akan menghambat tahap akhir diferensiasi osteoklas dan menekan aktivasi matriks osteoklas. Dengan demikian, *remodeling* tulang dikontrol oleh keseimbangan antara ikatan RANK- RANKL dengan produksi OPG.<sup>2,9,10</sup>



*Colony-stimulating factors (CSF)*, termasuk yang dihubungkan dengan granulosit (G-CSF), makrofag (M-CSF), atau kedua tipe sel (GM-CSF) terlibat dalam *remodeling* tulang melalui pembentukan osteoklas yang berperan selama pergerakan gigi. M-CSF berperan dalam pembentukan osteoklas oleh ikatan RANKL/RANK dan akan mengaktifkan osteoklas.<sup>9,10</sup>

*Growth factors* juga berperan dalam *remodeling* tulang yang dihubungkan dengan pergerakan gigi. *Transforming growth factor  $\beta$  (TGF $\beta$ )* yang terkandung dalam matriks ekstraseluler tulang terlibat dalam banyak aktivitas biologis, termasuk pertumbuhan sel, diferensiasi, *apoptosis*, juga dalam proses perkembangan dan *remodeling* tulang. TGF $\beta$  akan meningkatkan diferensiasi sel haemopoetik yang distimulasi oleh RANKL dan M-CSF. *Growth factor* lainnya, *fibroblast growth factor (FGF)* dan *insulin like growth factor (IGF)* memiliki fungsi yang mirip dalam meningkatkan sintesis DNA, proliferasi dan diferensiasi sel. Setiap kali gaya ortodonti menimbulkan kerusakan mekanis pada vaskularisasi periodontal, platelet akan bermigrasi dari pembuluh darah ke ruang ekstraseluler dan menghasilkan *platelet-derived growth factor (PDGF)*. *Connective tissue growth factor (CTGF)* adalah protein lainnya yang dihubungkan dengan matriks ekstraseluler selama *remodeling* pembentukan tulang. Molekul ini meningkatkan invasi vaskular, menstimulasi proliferasi prekursor osteoblas dan membantu mineralisasi tulang baru oleh osteoblas.<sup>9,10</sup>

Faktor penting lainnya dalam pergerakan gigi adalah 1,25 *dehydroxycholecalciferol (1,25 DHCC)*. Agen ini merupakan bentuk aktif dari vitamin D dan memiliki peran penting dalam homeostasis kalsium. 1,25 DHCC merupakan stimulator kuat untuk resorpsi tulang dengan cara menginduksi diferensiasi osteoklas dari prekursornya, serta meningkatkan aktivitas osteoklas yang ada.<sup>2,9</sup>



#### D. Faktor Genetik

Ratusan gen dan ribuan protein berpartisipasi dalam pergerakan gigi ortodonti. Adaptasi tulang terhadap gaya ortodonti bergantung pada gen osteoblas dan osteoklas yang secara tepat mengekspresikan protein yang dibutuhkan pada waktu dan tempat yang tepat. Diferensiasi osteoblas dikontrol oleh gen *Cbfa1* (*core-binding factor alpha-1*) dan *osterix*. *Cbfa1* merupakan faktor transkripsi suatu protein yang mempertinggi atau menekan ekspresi gen yang terekspresi paling awal dan merupakan penanda spesifik untuk pembentukan tulang. *Osterix* merupakan faktor transkripsi lanjutan yang menginduksi osteoblas menghasilkan gen *osteocalcin* yang mengontrol diferensiasi osteoblas melalui efek inhibisi. Selain itu, ditemukan juga gen *LRP5* (*lipoprotein receptor-related protein 5*) yang mengontrol pembentukan tulang alveolar melalui proliferasi osteoblas dan penambahan massa tulang alveolar.<sup>10,11</sup>

Saat ini diidentifikasi ada 96 gen yang terlibat dalam osteogenesis. Secara fungsional, 44 gen dikelompokkan sebagai *growth factors*, 33 sebagai protein matriks ekstraseluler dan 8 sebagai molekul adesi sel. Sedangkan dalam regulasi dan diferensiasi osteoklas, diketahui paling sedikit ada 26 gen yang terlibat, termasuk diantaranya gen *tirosin kinase*, *M-CSF*, *C-fos*, *NF-κB* dalam pembentukan osteoklas, serta *C-tirosin kinase* dan faktor transkripsi mikroftalmia dalam aktivitas osteoklas.<sup>2,10,11</sup>

#### E. Pressure Tension Theory

Daerah tekanan adalah daerah periodonsium yang mengalami tekanan karena gigi bergerak mendekat dan daerah tarikan adalah daerah periodonsium yang mengalami tarikan karena gigi bergerak menjauh. Daerah tekanan akan mengalami resorpsi tulang sedangkan daerah tarikan akan mengalami aposisi tulang. Di sisi tekanan, dengan tekanan ringan, tulang alveolar yang diresorpsi langsung oleh banyak multinukleat osteoklas di *Howship lacunae*.<sup>8</sup> Dengan kekuatan yang besar, jaringan periodontal dikompresi, yang menyebabkan obstruksi kapiler, kematian sel, dan produksi lokal daerah bebas sel disebut osteonektinasi karena penampilan *glasslike* yang menyerupai hialin tulang rawan pada histologis .



Pada daerah tersebut, resorpsi osteoklastik dari dinding alveolar yang berdekatan tidak terjadi secara langsung, tapi diprakarsai oleh proses yang *undermining resorption* dari ruang sumsum terdekat. Ketika tulang dikenakan deformasi mekanik terus menerus, permukaan cekung ditandai dengan osteogenesis dan bagian cembung permukaan dengan resorpsi tulang.<sup>12,13</sup>

Gangguan serat kolagen dalam PDL, dengan bukti kerusakan sel dan jaringan. Tanda pertama dari hialinisasi adalah adanya inti piknotik dalam sel, diikuti oleh bidang aselular, atau zona sel- bebas. Resolusi masalah dimulai ketika unsur-unsur selular seperti *makrofag, giant cell bodies*, dan osteoklas dari daerah yang berdekatan rusak menyerang jaringan nekrotik. Sel ini juga mengisap bagian bawah tulang berbatasan langsung dengan wilayah nekrotik PDL dan dikeluarkan bersama dengan jaringan nekrotik. Proses ini dikenal sebagai *undermining resorption*. Setelah beberapa hari elemen seluler dari daerah PDL yang lain mulai memasuki jaringan yang rusak. Osteoklas terbentuk pada ruang sumsum tulang di dekatnya dan mulai merusak tulang di sekeliling daerah nekrotis sehingga disebut juga *undermining resorption*. Bila terjadi hialinisasi dan *undermining resorption* maka pergerakan gigi akan melambat. Hal ini mungkin disebabkan oleh lambatnya stimulasi pembentukan osteoklas pada sumsum tulang dan lebih tebalnya tulang yang harus diresorpsi. Pergerakan gigi yang simultan terjadi pada *resorpsi frontal*, sedangkan pada pemberian tekanan yang besar pergerakan gigi seperti melompat.<sup>11,12,13</sup>

#### F. Blood Flow Theory

Teori ini disebut juga sebagai *fluid dynamic theory*. Pergerakan gigi timbul karena cairan yang dinamis di dalam PDL. PDL terdapat pada ruangan periodontal yang dibatasi oleh permukaan akar gigi dan tulang alveolar, terdiri dari sistem cairan yang terbuat dari cairan interstitial, elememen seluler, pembuluh darah dan perlekatan substansi dasar berisi serat-serat periodontal. Kandungan PDL menghasilkan kondisi hidrodinamik yang unik dan menyerupai mekanisme hidrolis dan *shock absorber*. Aplikasi gaya eksternal pada gigi menyebabkan terjadinya pergerakan cairan di dalam



kanalikuli. Ketika cairan kanalikuli berkurang, terjadilah *apoptosis* osteosit yang terdapat dalam tulang kemudian akan menarik osteoklas sehingga terjadi resorpsi tulang.<sup>2,4</sup>

### G. Bone Bending and Piezoelectric Theory

Bone bending pada tulang alveolar merupakan hal yang penting dalam pergerakan gigi secara ortodonti. Ketika alat ortodonti diaktivasi, gaya yang diberikan pada gigi disalurkan ke semua jaringan di sekelilingnya sehingga gigi akan bergerak lebih besar dibandingkan dengan lebar PDL yang menyebabkan terjadinya defleksi pada tulang alveolar. Defleksi pada tulang juga memicu keluarnya potensial elektrik pada permukaan tulang atau piezoelectric yang sering ditemukan pada material kristalin.<sup>2,4</sup>

Deformasi atau perubahan bentuk struktur kristal menghasilkan arus listrik seperti elektron yang berpindah dari molekul kristal yang satu ke molekul kristal yang lain. Bila struktur kristal mengalami deformasi, elektron bermigrasi sehingga terjadi aliran listrik. Jika terdapat tekanan maka struktur kristal masih stabil dan tidak terjadi perpindahan elektron, namun jika tekanan dilepaskan, kristal akan kembali pada bentuk semula dan aliran elektron akan terjadi pada arah yang berlawanan. Sumber struktur kristal tidak hanya pada mineral tulang, tapi terdapat juga pada kolagen, hidroksi apatit, batas antara kolagen hidroksiapatit dan mukopolisakarida pada substansi dasar. Pada saat gigi diberi tekanan, tulang alveolar disekitarnya akan mengalami tekukan. Daerah yang cekung diasosiasikan dengan arus negatif dan menyebabkan deposisi tulang sedangkan daerah yang cembung diasosiasikan dengan arus positif dan menyebabkan resorpsi tulang.<sup>2,4,5</sup>

#### 2.1.2 Mekanisme Pergerakan Gigi dalam Perawatan Ortodonti

Mekanisme pergerakan gigi ortodonti yang dijelaskan oleh teori tekanan - tarikan dan teori piezoelektrik keduanya memainkan peran dalam kontrol biologis pergerakan gigi. Gaya mekanis dari alat ortodonti yang diaplikasikan pada gigi

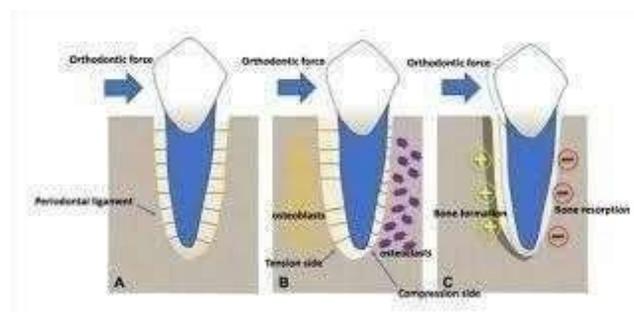
garuhi lima lingkungan mikro, yaitu matriks ekstraseluler, membran sel, ton, matriks protein nukleus dan gen. Respon seluler yang terjadi pada lingkungan mikro ini diperantarai oleh berbagai mediator yang sebagian ikut terlibat juga dalam proses inflamasi.<sup>4,12</sup>



Perawatan ortodonti memerlukan waktu yang cukup lama dan terus menerus mengikuti waktu pertumbuhan dan perkembangan dentofasial yang berbeda pada setiap orang. Perawatan ortodonti merupakan perawatan yang berperan untuk memperbaiki susunan gigi sehingga dapat meningkatkan kemampuan mastikasi, fonetik, serta estetik. Perawatan ortodonti bertujuan untuk menggerakkan gigi atau mengkoreksi malrelasi dan malformasi struktur dentokraniofasial.<sup>13,16</sup>

Pergerakan gigi yang diinduksi dengan pemberian gaya mekanis oleh alat ortodonti mempunyai 3 fase dalam proses pergerakan gigi. Fase tersebut adalah *initial phase*, *lag phase* dan *postlag phase*. Ketiga fase tersebut terjadi secara berkesinambungan, sehingga bila terjadi gangguan pada salah satu fase maka proses pergerakan gigi juga terganggu.<sup>2,3</sup>

Pada saat gigi diberi tekanan, tulang alveolar di sekitarnya akan mengalami tekukan. Daerah yang cekung diasosiasikan dengan arus negatif dan menyebabkan deposisi tulang sedangkan daerah yang cembung diasosiasikan dengan arus positif dan menyebabkan resorpsi tulang.



Gambar 2.2 Mekanisme pergerakan gigi pada perawatan ortodonti (Sumber : Ika Ketut I.S. Velisia J. Yunior A. Brahmanta A. Prameswari N)<sup>5</sup>



## A. Fase -fase dalam Perawatan Pergerakan Gigi

### 1) Fase Initial

*Initial phase* terjadi 24 jam – 48 jam, merupakan pergerakan gigi yang mendadak pada soketnya dengan rata-rata pergerakan gigi 0,4-0,9 mm. Reaksi seluler dan jaringan berupa munculnya osteoklas, osteoblas progenitor dan sel- sel inflamasi.<sup>5,14</sup>

Pada *initial phase* di identik sebagai pergerakan secara cepat dan terjadi segera setelah aplikasi gaya pada gigi. Laju fase ini sebagian besar dihubungkan dengan pemindahan gigi pada celah ligamen periodontal. Segera setelah fase ini, maka akan terjadi *lag phase*, fase ini berkembalikan dengan fase sebelumnya yang mempunyai laju yang rendah bahkan sama sekali tidak terjadi pergerakan gigi. Ligamen periodontal pada daerah tekanan merupakan tanda utama dari fase ini dan tidak terjadi pergerakan gigi sampai sel-sel osteoklas secara lengkap menghilangkan semua jaringan nekrotik.<sup>14,15</sup>

Inflamasi akut yang terjadi merupakan *initial phase* dan bersifat eksudatif. Satu sampai dua hari kemudian fase inflamasi akut menjadi inflamasi kronik bersifat proliferasif yang melibatkan fibroblas, sel endotel, osteoblas dan sel-sel tulang alveolar. Selama periode ini leukosit terus bermigrasi ke jaringan paradental dan mengatur proses remodeling. Respon inflamasi akut adalah gambaran khas pada fase awal pergerakan gigi secara ortodonti. Sitokin yang dikeluarkan oleh *mononuclear cells* sebagai mediator kimiawi yang berinteraksi dengan sel-sel tulang secara langsung ataupun tidak langsung.<sup>2,3</sup>

### 2) Fase Lag

*Lag phase* yang ditandai dengan sedikitnya atau bahkan tidak ada pergerakan gigi biasanya terjadi 2-3 minggu lamanya fase ini bergantung dari berbagai macam faktor seperti densitas tulang alveolar, usia dan banyaknya jaringan hialin yang tentunya berbeda pada setiap pasien.<sup>5,14</sup>



*Lag phase* dipresentasikan sebagai pergerakan yang terhenti, dimana terjadi rekrutmen sel-sel dan bagi ligamen periodontal sehingga tulang alveolar mengalami remodeling. Fase ini terjadi ketika osteoklas sudah terekrut dan osteoblas teraktivasi. Fase kedua pada daerah tekanan dikenali dengan terjadinya penampakan susunan serabut ligamen periodontal yang abnormal. Gangguan aliran darah akibat terjadinya distorsi ini akan membawa pembentukan area hialin dan terhentinya pergerakan gigi. Pembersihan jaringan nekrotik dan resorpsi tulang yang berasal dari daerah *alveolar bone marrow* (*indirect resorption*) dan dari arah ligamen periodontal yang normal (*undermining resorption*) memungkinkan dimulainya kembali pergerakan gigi. Proses komprehensif ini membutuhkan sel fagosit seperti makrofag, *foreign body giant cells*, dan osteoklas yang berasal dari daerah yang berbatasan dengan ligamen periodontal yang belum rusak dan kavitas *alveolar bone marrow*. Sel ini beraktifitas secara bersamaan menghilangkan jaringan nekrotik dari ligamen periodontal dan yang berbatasan dengan tulang alveolar pada daerah tekanan. Pada daerah regangan, osteoblas diam (*bone surface lining cells*) akan membesar dan mulai memproduksi matrik tulang baru (*osteoid*). *Progenitor osteoblast* baru berasal dari populasi *fibroblast-like cells* (*pericytes*) disekitar kapiler ligament periodontal. Sel preosteoblas ini akan berproliferasi dan migrasi ke arah permukaan tulang alveolar melalui serat-serat *Sharpey's* secara simultan, dilanjutkan fibroblas pada daerah regangan memulai multifikasi dan *remodeling* matriks disekitarnya. Aplikasi gaya eksternal pada gigi menyebabkan terjadinya pergerakan cairan di dalam kanalikuli. Ketika cairan kanalikuli berkurang, terjadilah *apoptosis* osteosit yang terdapat dalam tulang kemudian akan menarik osteoklas sehingga terjadi resorpsi tulang.<sup>2,4,5</sup>



### 3) Fase Postlag

*Post-lag phase* ditandai dengan hilangnya jaringan hialin dan terjadinya resorpsi tulang sehingga menyediakan ruang untuk gigi bergeser. Respon inflamasi memungkinkan terjadinya resorpsi tulang sebagai kunci pergerakan dengan melepas berbagai mediator diantaranya *Colony Stimulating Factor (CSF)*, *RANK-L*, *OPG*, *Fibroblas Growth Factor*, *Transforming Growth Factor* dan *Bone Morphogenic Protein*.<sup>5,14</sup>

Fase lanjut pergerakan gigi secara ortodonti juga dikenal sebagai fase akselerasi dan linear. Pada daerah tekanan gigi menunjukkan serat kolagen tanpa orientasi yang tepat. Permukaan tulang yang tidak beraturan ditemukan yang mengindikasikan terjadinya resorpsi langsung atau frontal. Namun, pada beberapa penelitian terbaru ditunjukkan bahwa zona hialin pada daerah tekanan terjadi pada tahap ini khususnya pada daerah yang diaplikasikan gaya yang tinggi. Hal ini menunjukkan bahwa pembentukan dan penghilangan daerah nekrotik merupakan proses yang terjadi secara terus menerus atau lebih dari satu kejadian selama pergerakan gigi. Selain itu juga menunjukkan bahwa resorpsi tulang alveolar pada daerah tekanan bukan merupakan reaksi terhadap gaya tetapi terjadi untuk menghilangkan jaringan tulang yang berdekatan dengan jaringan hialin. Resorpsi tulang langsung selanjutnya dapat dianggap sebagai bagian dari proses *remodeling*. Dan didaerah regangan terjadi deposisi, keberadaannya ditandai dengan *alkaline phosphataseosteoblastic*.<sup>2,9</sup>

## B. Tahap Pergerakan Gigi

### 1) Tahap Tegangan Matriks dan Aliran Cairan

Setelah gaya diaplikasikan pada gigi, terjadi tegangan pada ligamen periodontal dan tulang alveolar. Dalam ligamen periodontal terbentuk tegangan negatif pada sisi resorpsi dan tegangan positif pada sisi aposisi. Tekanan pada matriks ligamen periodontal akan menimbulkan aliran



cairan dalam jaringan ini Tegangan juga terjadi pada tulang melalui serat kolagen yang menghubungkan gigi ke tulang. Tegangan pada tulang akan menghasilkan aliran cairan melalui kanalikuli, yang menyebabkan tegangan geser pada osteosit, sehingga osteosit menjadi aktif. Berkurangnya aliran cairan dalam kanalikuli dan terbentuknya retakan mikro pada tulang akibat beban mekanis akan memicu *apoptosis* osteosit yang diikuti dengan resorpsi tulang.<sup>9,10</sup>

## 2) Tahap Tegangan Sel

Akibat dari tegangan matriks dan aliran cairan, sel-sel dalam ligamen periodontal dan tulang alveolar akan mengalami deformasi. Deformasi pada sel-sel ligamen periodontal secara langsung terjadi melalui transduksi tegangan melalui hubungan antara sel dan matriks, dan deformasi secara tidak langsung diinduksi oleh aliran cairan. Melalui integrin, tegangan pada matriks ekstraseluler akan dibawa ke dalam sel, yaitu ke sitoskeleton, dan akan mengaktifkan protein kinase serta memulai berbagai jalur sinyal intraseluler.<sup>9,11</sup>

## 3) Tahap Aktivasi dan Diferensiasi Sel

Sebagai respon dari deformasi yang terjadi, fibroblas dan osteoblas pada ligamen periodontal dan osteosit pada tulang akan teraktivasi dan menghasilkan berbagai mediator. Osteosit yang aktif menghasilkan mediator seperti *bone morphogenic protein (BMP)* dan *platelet-derived growth factor (PDGF)* yang akan menstimulasi prekursor di dalam ligamen periodontal berdiferensiasi menjadi osteoblas serta menstimulasi aktivitas osteoblas. Osteosit juga menghasilkan berbagai sitokin, oksida nitrit, prostaglandin dan  $TNF-\alpha$  yang akan mengaktifkan prekursor osteoklas dalam ligamen periodontal pada sisi resorpsi. Aktivasi prekursor osteoklas dan diferensiasinya menjadi osteoklas distimulasi oleh mediator-mediator yang dihasilkan oleh ligamen periodontal. Pada sisi tekanan, osteoblas dan fibroblas dalam ligamen periodontal dan osteosit dalam tulang alveolar menghasilkan *CSF*, *RANKL*, *OPG* dan *BMP* yang mengatur diferensiasi osteoklas. Sebelum resorpsi tulang yang sebenarnya terjadi, lapisan osteoid yang tidak termineralisasi harus didegradasi terlebih dahulu melalui aktivitas *MMP (matriks metalloproteinase)*, setelah itu barulah osteoklas



yang terdiferensiasi dapat melekat pada permukaan tulang. Perlekatan ini diperantarai oleh integrin spesifik dan distimulasi oleh osteopontin yang dihasilkan oleh osteoblas dan osteosit. Pembentukan tulang merupakan kombinasi dari sintesis dan mineralisasi matriks ekstraseluler. Sel-sel ligamen periodontal yang teregang akan meningkatkan produksi alkaline fosfatase, osteokalsin, dan protein matriks non-kolagen lainnya yang akan menstimulasi prekursor dalam ligamen periodontal untuk berdiferensiasi menjadi osteoblas, sehingga terjadi deposisi tulang. Matriks ekstraseluler akan didegradasi oleh mediator inflamasi seperti prostaglandin, MMP dan *cathepsin* yang dihasilkan oleh fibroblas dan osteoblas dalam ligamen periodontal. Di samping degradasi, terbentuk juga matriks ekstraseluler baru yang disintesis selama *remodeling* struktur periodontal di sekitar gigi. Sel-sel aktif pada tulang dan ligamen periodontal menghasilkan beberapa mediator yang menstimulasi sintesis matriks ekstraseluler dan mengurangi degradasinya.<sup>9,13,14</sup>

#### 4) Tahapan Remodeling

Kombinasi dari remodeling ligamen periodontal dan aposisi serta resorpsi lokal dari tulang alveolar memungkinkan gigi untuk bergerak. Pada sisi resorpsi, jaringan ligamen periodontal dan tulang alveolar didegradasi untuk menciptakan ruang untuk pergerakan gigi, sementara itu secara bersamaan ligamen periodontal dan tulang yang baru juga terbentuk pada sisi lain untuk mempertahankan perlekatan gigi.<sup>11,13</sup> Berbagai konsep pergerakan gigi yang dikemukakan memperlihatkan kompleksitas dari respon seluler yang terjadi selama pergerakan gigi yang diinduksi oleh gaya mekanis. Respon seluler tersebut akan menghasilkan *remodeling* pada jaringan di sekitar gigi yang penting bagi terjadinya pergerakan gigi. *Remodeling* yang terjadi bukan hanya pada matriks ekstraseluler, tetapi juga pada ligamen periodontal dan tulang alveolar.<sup>3,9</sup>



## 2.2 Jenis -Jenis Pergerakan Gigi secara Ortodonti

Pergerakan gigi secara ortodonti terdiri dari :

### 2.2.1 Pergerakan *Tipping*

Pergerakan *tipping* ialah pergerakan gigi dimana gigi yang miring dapat ditegakkan dan gigi yang tegak dapat dimiringkan untuk mendapatkan hasil yang baik juga oklusi yang harmonis sesuai dengan bentuk lengkung gigi. Tipe pergerakan ini merupakan yang paling sederhana dan mudah dilakukan. Tekanan ortodonti diaplikasikan pada satu titik di mahkota gigi yang menyebabkan gigi miring menjauhi arah tekanan. Mahkota gigi bergerak searah dengan gaya sedangkan apeks gigi bergerak dalam arah yang berlawanan.<sup>1,2</sup>

### 2.2.2 Pergerakan *Bodily Translasi*

*Bodily Translasi* adalah pergerakan translasi menyeluruh dari sebuah gigi ke posisi yang baru, dengan semua bagian dari gigi bergerak dalam jumlah yang setara. Tekanan harus diaplikasikan pada daerah mahkota yang lebar dan setiap pergerakan *tipping* harus dibatasi. Pergerakan *bodily* mengakibatkan resorpsi tulang terjadi pada daerah tekanan dan pembentukan tulang terjadi pada daerah tarikan.<sup>2</sup>

### 2.2.3 Pergerakan Rotasi

Pergerakan rotasi adalah gerakan gigi berputar di sekeliling sumbu panjangnya. Rotasi merupakan suatu penjangkaran gigi yang paling rumit dilakukan dan sukar untuk dipertahankan. Rotasi gigi dalam soketnya membutuhkan aplikasi tekanan ganda. Pergerakan rotasi ini dapat diperoleh dengan memberikan kekuatan pada satu titik dari mahkota dan stop untuk mencegah Bergeraknya bagian mahkota yang lain.<sup>2,9</sup>

### 2.2.4 Pergerakan Vertikal

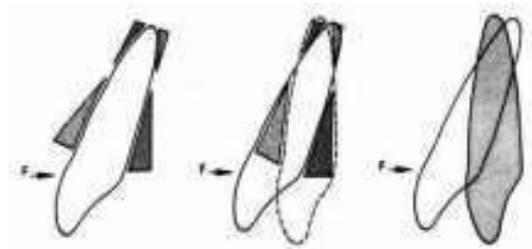
Pergerakan vertikal ada dua jenis yaitu pergerakan ekstrusi dan intrusi dimana kedua pergerakan ini memperoleh kekuatan dengan arah yang berlawanan. Ekstrusi pergerakan gigi keluar dari alveolus dimana akar mengikuti mahkota. gigi dari soketnya dapat terjadi tanpa resorpsi dan deposisi tulang yang an untuk pembentukan kembali dari mekanisme pendukung gigi. Pada a pergerakan ekstrusi mengakibatkan tarikan pada seluruh struktur



pendukung. Intrusi adalah pergerakan gigi secara vertical kedalam alveolus. Intrusi gigi menyebabkan resorpsi tulang, terutama di sekitar apeks gigi. Dalam pergerakan ini, terjadi daerah tekanan pada seluruh struktur jaringan pendukung, tanpa adanya daerah tarikan.<sup>2,9</sup>

### 2.2.5 Pergerakan Torque

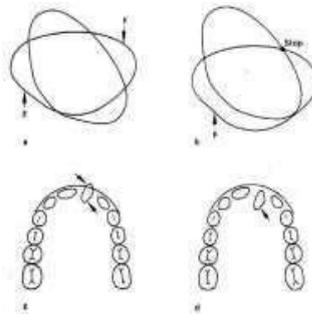
Pergerakan *torque* adalah pergerakan akar gigi dengan hanya sedikit pergerakan mahkota. Pergerakan *torque* mengakibatkan pada daerah tekanan akan terjadi resorpsi jaringan dan pada daerah tarikan terjadi *aposisi* yang menyebabkan gigi miring disekitar apeksnya.<sup>2,9</sup>



Gambar 2.3 Pergerakan *Tipping*

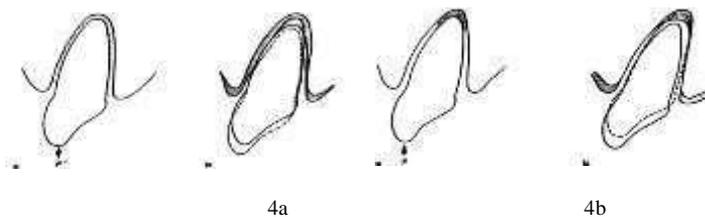


Gambar 2.4 Pergerakan *Bodily*



Gambar 2.5. Pegerakan Rotasi





Gambar 2.6. Pergerakan Vertikal. (4a) Ekstrusi dan (4b) Intrusi



Gambar 2.7. Pergerakan *Torsi*  
(sumber Nurul Muhammad A,Permatasari N)<sup>2</sup>

## 2.3 Percepatan Pergerakan Gigi dalam Perawatan Ortodonti

Metode untuk mempercepat pergerakan gigi ortodonti dapat dipelajari dalam kategori yang berbeda:<sup>28,36,37</sup>

### 2.3.1 Pendekatan Biologis /Farmakologis

Berbagai macam obat telah digunakan sejak lama untuk mempercepat pergerakan gigi ortodonti dan telah memperoleh hasil yang memuaskan. Vitamin D, prostaglandin, interleukin, hormon paratiroid, mispostol, kortikosteroid, osteocalcin, leukotriene. Semua obat ini memiliki beberapa hasil yang berbeda. Sebagai contoh, injeksi vitamin D ke dalam PDL menghasilkan peningkatan level enzim seperti LDH dan CPK. Resorpsi akar dan peningkatan luas keadaan inflamasi disebabkan oleh prostaglandin. Oleh karena itu, tidak ada obat yang dapat mempercepat pergerakan gigi ortodonti dengan aman.

### 2.3.2 Stimulasi Fisik /Biomekanik

Langkah lain untuk mempercepat pergerakan gigi adalah dengan menggunakan terapi bantuan perangkat. Teknik ini meliputi arus listrik langsung, elektromagnetik berdenyut, medan magnet statis, getaran resonansi, dan laser rendah. Ide untuk menggunakan stimulasi fisik atau mekanik berasal dari teori bahwa ketika gaya ortodonti diterapkan pada tulang, menyebabkan tulang mengalami teori penekukan tulang dan mengarah pada pengembangan potensi



bioelektrik. Situs cembung akan bermuatan positif menarik osteoklas dan situs cekung akan bermuatan negatif menarik osteoblas. Ketika gaya diskontinyu diterapkan, menghasilkan potensi bioelektrik dan mengarah pada ide penggunaan gaya dan getaran siklik. Telah diamati bahwa penerapan getaran untuk durasi yang berbeda per hari mempercepat pergerakan gigi antara 15% dan 30% pada hewan.

### 2.3.3 Pendekatan bedah

Teknik bedah telah diakui dalam banyak laporan kasus. Teknik bedah efektif secara klinis untuk pasien dewasa, di mana durasi perawatan ortodonti mungkin sangat penting. PDL dan *remodeling* tulang alveolar merupakan parameter penting dalam pergerakan gigi. Setelah pencangkokan tulang, perombakan tulang patah dan osteotomi meningkat. Beberapa pendekatan pembedahan untuk mempercepat pergerakan gigi adalah bedah alveolar interseptal, osteotomi, kortikotomi, dan teknik piezocision.

Ortodonti dari seluruh dunia telah mencari cara untuk mempercepat pergerakan gigi sehingga meningkatkan efisiensi dari perawatan ortodonti. Suatu konsep untuk mempersingkat waktu perawatan tanpa mengorbankan hasil perawatan yang optimal, telah menjadi tujuan utama dari efisiensi perawatan ortodonti. Upaya ini meliputi administrasi lokal atau sistemik dari obat-obatan seperti *Prostaglandin*, *Vitamin D3* dan *Osteocalcin*, stimulasi fisik atau mekanis seperti arus listrik langsung atau samarium-kobalt; dan melalui kombinasi pembedahan periodontal seperti *prosedur corticotomy*.<sup>15</sup>



Gambar : 2.8 Skema pergerakan gigi paska dilakukannya *prosedur corticotomy*

(Sumber : Abu-Hussein M)<sup>14</sup>



Kombinasi perawatan ortodonti dengan teknik pembedahan periodontal telah diteliti oleh berbagai penelitian dapat memudahkan pergerakan gigi serta memungkinkan penurunan resiko terjadinya kerusakan periodontal. Perawatan bedah periodontal yang dilakukan adalah dengan cara menggunakan teknik *corticotomy*, yaitu teknik pembedahan tulang untuk mengambil sebagian tulang *cortical* dan meninggalkan tulang bagian dalam serta pembuluh darah dalam keadaan utuh. Pembedahan pada tulang alveolar tersebut dilakukan untuk mengurangi mineralisasi serta densitas pada tulang alveolar sehingga pergerakan gigi dapat berlangsung dengan cepat.<sup>16</sup>

Faktor lain yang mendukung keberhasilan dari kombinasi perawatan ortodonti dengan teknik pembedahan periodontal adalah terjadinya *Regional Acceleration Phenomena (RAP) healing* proses pasca *corticotomy* dilakukan. Fenomena ini merupakan proses fisiologis yang kompleks, dimana terjadi percepatan dalam *remodeling*, serta penyembuhan pada jaringan keras dan lunak di daerah *corticotomy* dilakukan.<sup>24</sup>

Penggunaan kombinasi perawatan ortodonti dengan teknik pembedahan *corticotomy*, prosedur *vertical corticotomy* pada sisi bukal dan lingual dan *horizontal osteotomy* pada tulang kortikal dari gigi yang akan digerakkan. Pergerakan gigi yang terjadi dikenal dengan istilah “*bony block movement*”.<sup>24</sup> Prosedur bedah PAOO meliputi insisi sulkular dengan desain preservasi papilla dan dilanjutkan dengan melakukan *full thickness flap* pada regio maksila dan mandibula. Kemudian dilanjutkan dengan elevasi *full thickness flap* untuk mengekspos jaringan tulang dibawahnya sehingga akan didapatkan akses terhadap permukaan tulang. Prosedur *vertical corticotomy* dilakukan dengan menggunakan bur 2-3 mm dibawah puncak tulang alveolar memanjang sampai dengan 2 mm dibawah apeks gigi. Kemudian kedua potongan *vertical corticotomy* ini disambungkan dengan *horizontal corticotomy* pada area apikal. Apabila tulang alveolar memiliki ketebalan lebih dari 2 mm, lakukan tindakan perforasi pada permukaan tulang kortikal hingga mencapai permukaan tulang radikular, hal ini dilakukan untuk mendapatkan banyak suplai darah bagi material *bone graft*.



Tahapan selanjutnya adalah penempatan material *bone graft* pada daerah potongan *corticotomy*, dilanjutkan dengan penutupan *flap* dengan jahitan *interrupted* tanpa tekanan yang berlebih selama dua minggu.<sup>15,16</sup>



Gambar : 2.9 Prosedur bedah *corticotomy*  
(Sumber : Camacho AD, Velásquez SA.)<sup>16</sup>

Tahapan *corticotomy* sendiri umumnya dilakukan dengan menggunakan handpiece sera bur bundar *Tungsten carbide* dengan kedalaman pengambilan tulang sebesar 1-2 mm, yang disertai dengan penggunaan saline sebagai larutan irigasi.

Teknik pembedahan telah dicatat dalam berbagai laporan kasus. Dan merupakan teknik yang efektif secara klinis digunakan untuk pasien dewasa, yang durasi perawatan ortodonti flap mukoperostel sangat penting. Ligamen periodontal dan remodelling tulang alveolar merupakan parameter yang sangat penting dalam pergerakan gigi dan tingkat kembali turnover tulang diketahui meningkat setelah pemberian cangkok tulang, fraktur, dan osteotomi. Oleh karena itu beberapa pendekatan pembedahan telah dilakukan untuk mempercepat pergerakan gigi, seperti *corticotomy* dan teknik *piezocision*.<sup>26</sup>



*cotomy*

ertama kali dilakukan dalam bidang ortodonti oleh Kole. *corticotomy* ensional merupakan salah satu prosedur pembedahan yang umum ankan, yang hanya memotong tulang kortikal dan perforasi tetapi tidak ke

tulang medulla. Prosedur ini dapat mengurangi resistensi dari tulang kortikal dan mempercepat pergerakan gigi. Terbentuk bony blocks dari prosedur *corticotomy* sehingga menyebabkan pergerakan gigi yang lebih cepat.<sup>26</sup>

Prosedur *corticotomy* konvensional meliputi elevasi flap mukoperiosteal full thickness secara bukal dan/atau di lingual, diikuti dengan melakukan *corticotomy* menggunakan mikromotor dibawah irigasi, atau penggunaan instrumen pembedahan piezo. Prosedur ini dapat diikuti dengan penempatan bahan cangkokan, bila diperlukan untuk augmentasi ketebalan tulang.<sup>26</sup>

Kelebihan dari *corticotomy* menyebabkan perubahan minimal pada perlekatan periodontal. Telah dibuktikan oleh beberapa penulis, berhasil untuk mempercepat pergerakan gigi. Dan tulang dapat diaugmentasi, mencegah defek periodontal.<sup>26</sup>

Kekurangan dari teknik ini adalah prosedur yang invasif mengarah ke tingginya morbiditas, dapat membahayakan struktur vital yang didekatnya, bisa timbul rasa nyeri dan pembengkakan pasca pembedahan, dapat menimbulkan infeksi atau nekrosis vaskular, dan kurang dapat diterima oleh pasien.<sup>26</sup>

#### B. Teknik Piezocision

Dibart yang pertama kali menerapkan teknik piezocision yang dimulai dengan insisi pada gingiva bukal, dibawah dari papilla interdental, sejauh mungkin ke gingiva cekat menggunakan scalpel nomor 15. Insisi harus cukup dalam hingga periosteum dan berkontak dengan tulang kortikal. Setelah itu menggunakan instrumen ultrasonik menggunakan BS1 Piezotome untuk melakukan *corticotomy* memotong dengan kedalaman 3 mm melalui insisi yang telah dibuat sebelumnya. Pada area yang memerlukan augmentasi tulang, dilakukan *tunneling* menggunakan elevator yang diinsersikan di antara insisi, untuk membuat ruang yang cukup menerima bahan cangkokan graft. Teknik piezocision tidak menyebabkan kerusakan periodontal. Teknik piezocision dapat digunakan dengan invisalign untuk mendapatkan tampilan estetika yang lebih baik dan juga waktu perawatan dapat dipersingkat. Piezocision merupakan teknik mempercepat pergerakan gigi yang terdapat beberapa manfaat pada jaringan periodontal, estetika, dan aspek ortodonti.<sup>26</sup>



### 2.3.4 Terapi Laser Tingkat Rendah

Terapi laser intensitas rendah dapat mempercepat regenerasi tulang di midpalatal jahitan selama ekspansi palatal yang cepat dan rangsangan sintesis kolagen, yang merupakan matriks utama protein dalam tulang. Efek dari terapi laser intensitas rendah pada histokimia jalur yang berhubungan langsung dengan gigi ortodonti gerakan. Meningkatnya osteoblas dan osteoklas aktivitas setelah terapi laser tingkat rendah diamati *in vivo* dan *in vitro*. Mekanisme yang terlibat dalam percepatan pergerakan gigi adalah dengan produksi ATP dan aktivasi sitokrom C, seperti yang ditunjukkan dalam radiasi laser energi rendah meningkatkan percepatan pergerakan gigi melalui RANK / RANKL dan faktor perangsang koloni makrofag dan ekspresi reseptornya.<sup>26</sup> Terapi laser tingkat rendah sangat bermanfaat dalam percepatan pergerakan gigi untuk meningkatkan remodeling tulang tanpa efek samping pada periodonsium. Panjang gelombang laser 800 nm dan keluaran kekuatan 0,25 mW telah menunjukkan stimulasi yang signifikan metabolisme tulang, osifikasi cepat.<sup>25</sup>

### 2.3.5 Self-ligating

Braket *self-ligating* adalah sistem braket tanpa ikatan yang memiliki perangkat mekanis yang terpasang di braket untuk menutup *slot edgewise*. Tutup menahan archwire di slot braket dan menggantikan elastomer. Dengan braket *self-ligating*, dinding keempat braket yang dapat dipindahkan digunakan untuk mengubah slot menjadi tabung.<sup>38</sup>

Hubungan antara braket *self-ligating* dengan waktu perawatan lebih bersifat observasional dari pada eksperimental. Keuntungan yang disebabkan oleh jenis braket kemungkinan besar akan ditentukan oleh beberapa faktor termasuk keterampilan, standar dan kemampuan operator.<sup>38</sup>

Braket *self-ligating* secara signifikan mengurangi waktu perawatan dan kunjungan tanpa mengganggu hasil oklusal. Tidak ada perbedaan statistik dalam hasil pengobatan. Oleh karena itu braket *self-ligating* tidak menguntungkan atau merugikan dalam hal durasi atau hasil perawatan.<sup>38</sup>

Penggunaan braket Damon tidak mengurangi waktu perawatan secara signifikan atau jumlah total kunjungan atau menghasilkan hasil oklusal yang lebih baik bila dibandingkan dengan braket konvensional dalam perawatan kasus



ekstraksi penurunan waktu perawatan yang signifikan dari 4 hingga 6 bulan dan 4 hingga 7 kunjungan yang lebih sedikit, sedangkan braket *self-ligating* tampaknya tidak menawarkan keuntungan terukur dalam waktu perawatan ortodonti, jumlah kunjungan perawatan, dan waktu yang dihabiskan dalam penyelarasan awal dibandingkan braket ortodonti yang telah disesuaikan sebelumnya.<sup>39</sup>

