

Aspek Biologis Pergerakan Gigi secara Ortodonsi

(The Biologic Aspect of Orthodontic Tooth Movement)

Muhammad Nurul Amin¹, Nur Permatasari²

¹Bagian Biomedik, Fakultas Kedokteran Gigi, Universitas Jember

²Bagian Farmakologi, Fakultas Kedokteran, Universitas Brawijaya Malang

Abstract

Orthodontic appliance used to correct malocclusion which may include dental abnormalities, jaw relationship abnormalities, growth disorder of bone-forming facial or oral soft tissues disorder. Mechanical force of orthodontic appliance applied to suppress the teeth and periodontal tissue including gingiva, periodontal ligament and alveolar bone. This process involves the alveolar bone remodeling. Orthodontic mechanical force will cause the periodontal area is divided into two areas: pressure and strain area. In the pressure area, mechanical force will stimulate osteoclasts to perform alveolar bone resorption. Whereas strain area, osteoblasts will perform new alveolar bone formation. Orthodontic tooth movement has three phases process. The phase is initial phase, lag phase and postlag phase. The third phase of tooth movement mechanism involving cellular and molecular reactions in the periodontal tissues.

Keyword: orthodontic appliance, tooth movement, alveolar bone remodeling

Korespondensi (Correspondence): Muhammad Nuru Amin. Jalan Tawangmangu No 56, Jember, Jawa Timur – Indonesia-68126. Telp. 0331-331032. E-mail. (m_nurul_amin.fkg@unej.ac.id)

Alat ortodonsia digunakan untuk membetulkan oklusi yang salah (maloklusi), berupa kelainan gigi, kelainan relasi rahang, kelainan pertumbuhan tulang pembentuk wajah ataupun kelainan jaringan lunak sekitar mulut.^{1,2} Penggunaan alat ortodonsia untuk membetulkan maloklusi melibatkan proses remodeling tulang alveolar. Proses tersebut dapat dirangsang menggunakan gaya mekanis yang didapat dari aktivasi komponen-komponen alat yang diaplikasikan untuk menekan gigi dan diteruskan pada jaringan sekitar gigi termasuk gingiva, ligamen periodontal dan tulang alveolar.³

Gaya mekanis menyebabkan daerah sekitar gigi terbagi menjadi dua daerah yaitu daerah tekanan dan daerah regangan. Pada daerah tekanan, gaya mekanis akan merangsang osteoklas untuk melakukan resorpsi tulang alveolar. Dilain pihak, pada daerah regangan akan terjadi pembentukan tulang alveolar baru yang dilakukan oleh osteoblas. Kedua proses ini selain tergantung dari faktor lokal daerah tersebut (seperti hormon atau mediator lainnya) juga sangat dipengaruhi oleh besarnya gaya yang diterima. Gaya yang kecil menyebabkan resorpsi dan pembentukan tulang alveolar baru sangat kecil ataupun tidak terjadi, sedangkan gaya yang terlalu besar dapat mengaktifasi lebih dominan kerja osteoklas untuk meresorpsi dibanding kerja osteoblas dalam pembentukan tulang alveolar, sehingga resorpsi yang terjadi berlebihan (*underminning resorption*).²

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. Dilain pihak, pada daerah regangan, osteoblas teraktifasi untuk melakukan aktifitas pembentukan tulang baru (reposisi). Jika gaya memadai maka proses resorpsi dan aposisi tulang alveolar ini dalam keadaan seimbang.^{4,5}

Dari kondisi tersebut maka perlu diketahui mekanisme pergerakan gigi dengan menggunakan aplikasi alat ortodonsia

JENIS PERGERAKAN GIGI SECARA ORTODONSIA

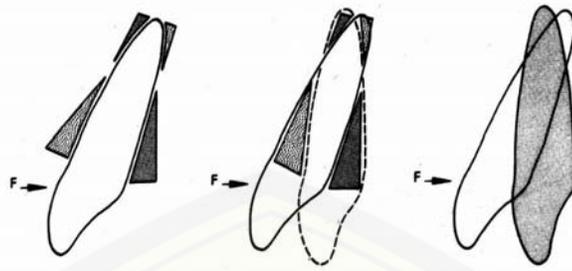
Menurut Mulyani⁶, pergerakan gigi secara ortodonsia terdiri dari:

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 ortodonsia 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 (gambar 1).^{5,7}

2. Pergerakan bodily=translasi

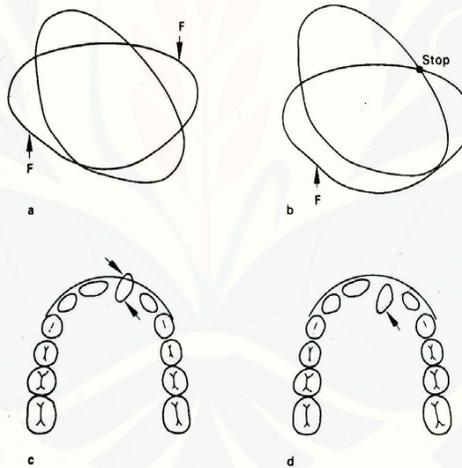
Bodily adalah pergerakan translasi menyeluruh dari sebuah gigi ke posisi yang baru, dengan semua bagian dari gigi bergerak dalam jumlah yang setara.



Gambar 1. Pergerakan Tipping ^{1,6}



Gambar 2. Pergerakan bodily ^{1,6}



Gambar 3. Pergerakan Rotasi ^{1,6}

Tekanan harus diaplikasikan pada daerah mahkota yang lebar dan setiap pergerakan tilting harus dibatasi. Pergerakan bodily mengakibatkan resorpsi tulang terjadi pada daerah tekanan dan pembentukan tulang terjadi pada daerah tarikan (Gambar 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 (Gambar 3).^{5,7}

4. Pergerakan vertikal

Pergerakan vertikal ada dua jenis yaitu pergerakan ekstrusi dan intrusi dimana kedua pergerakan ini memperoleh kekuatan dengan arah yang berlawanan.

Ekstrusi adalah pergerakan gigi keluar dari alveolus dimana akar mengikuti mahkota. Ekstrusi gigi dari soketnya dapat terjadi tanpa resorpsi dan deposisi tulang yang dibutuhkan untuk pembentukan kembali dari mekanisme pendukung gigi. Pada umumnya pergerakan ekstrusi mengakibatkan tarikan pada seluruh struktur pendukung (Gambar 4a).

Intrusi adalah pergerakan gigi secara vertikal

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 (Gambar 4b)

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 (Gambar 5)

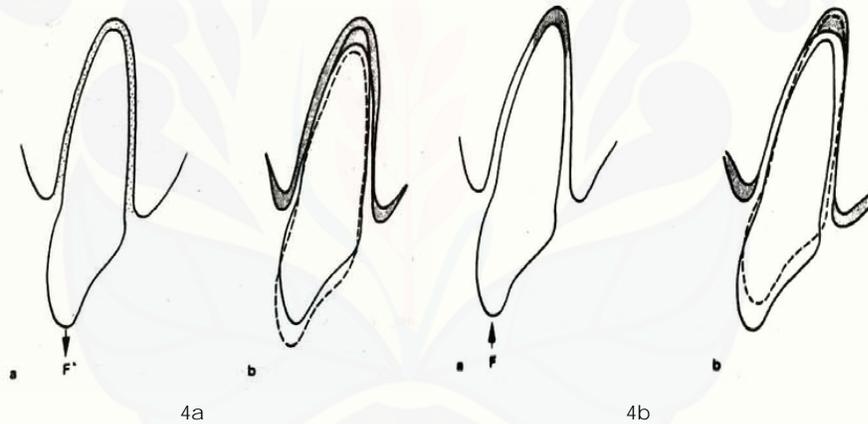
mendekat dan daerah tarikan adalah daerah periodonsium yang mengalami tarikan karena gigi bergerak menjauh. Daerah tekanan akan mengalami resorpsi tulang sedangkan daerah tarikan akan mengalami aposisi tulang. Di sisi tekanan, dengan tekanan ringan, tulang alveolar yang diresorpsi langsung oleh banyak multinukleat osteoklas di *Howship lacunae*.⁸ Dengan kekuatan yang besar, jaringan periodontal dikompresi, yang menyebabkan trombosis kapiler, kematian sel, dan produksi lokal daerah bebas sel disebut hialinisasi (karena penampilan *glasslike* yang menyerupai hialin tulang rawan secara histologis). Pada daerah tersebut, resorpsi osteoklastik dari dinding alveolar yang berdekatan tidak terjadi secara langsung, tapi diprakarsai oleh proses yang disebut oleh Sandstedt sebagai undermining resorption dari ruang sumsum terdekat. Sebagaimana dibahas kemudian, ketika tulang dikenakan deformasi mekanik terus menerus, permukaan cekung ditandai dengan osteogenesis dan bagian cembung permukaan dengan resorpsi tulang.

TEORI PERGERAKAN GIGI

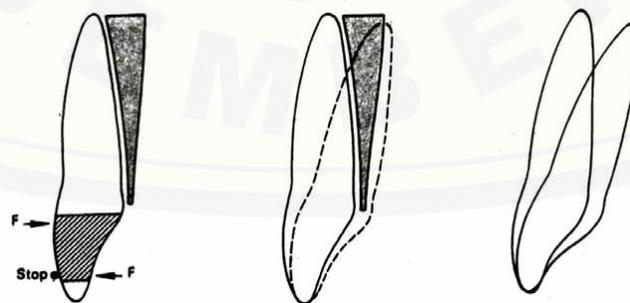
Ada berbagai teori pergerakan gigi⁸, secara umum dapat dibagi:

1. Pressure Tension Theory

Lebih dari 100 tahun yang lalu Sandstedt, Oppenheim dan Scwharz menyatakan bahwa jika gigi mendapatkan gaya ortodonsia maka akan terjadi daerah tekanan dan regangan. Daerah tekanan adalah daerah periodonsium yang mengalami tekanan karena gigi bergerak



Gambar 4. Pergerakan Vertikal. (4a) Ekstrusi dan (4b) Intrusi⁶



Gambar 5. Pergerakan Torque⁶

Penelitian histologis klasik tentang pergerakan gigi oleh Sandstedt (1904), Oppenheim (1911), dan Schwarz (1932) menyebabkan mereka berhipotesis bahwa gigi bergerak dalam ruang periodontal dengan menghasilkan sisi tekanan dan sisi tarikan. Hipotesis pada sisi tekanan, ligamen periodontal (PDL) menampilkan disorganisasi dan berkurangnya produksi serat. Di sini, replikasi sel menurun tampaknya karena penyempitan pembuluh darah. Di sisi tarikan, stimulasi diproduksi oleh peregangan hasil serat bundel PDL di peningkatan replikasi sel. Aktivitas proliferasi ditingkatkan mengarah pada akhirnya ke peningkatan produksi serat. Schwarz menyatakan lebih lanjut, dengan menghubungkan respon jaringan terhadap besarnya tekanan yang diaplikasikan dengan tekanan darah kapiler. Dapat disimpulkan bahwa tekanan disampaikan sebagai bagian dari terapi ortodonsia tidak boleh melebihi tekanan darah kapiler (20-25 g/cm² dari permukaan akar).⁹

Jika melebihi tekanan ini, kompresi dapat menyebabkan nekrosis jaringan melalui "sesak napas dari periodontium terjepit." Penerapan tingkat kekuatan yang lebih besar akan menghasilkan kontak fisik antara gigi dan tulang, menghasilkan resorpsi di bidang tekanan dan *undermining resorption* atau hialinisasi dalam ruang sumsum yang berdekatan. Ini mendalilkan bahwa lebar perubahan dalam menyebabkan perubahan dalam populasi sel PDL dan peningkatan aktivitas selular. Ada jelas gangguan serat kolagen dalam PDL, dengan bukti kerusakan sel dan jaringan. Tanda pertama dari hialinisasi adalah adanya inti pyknotic 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-sel ini juga mengisap bagian bawah tulang berbatasan langsung dengan wilayah nekrotik PDL dan dikeluarkan bersama-sama 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, sedang pada pemberian tekanan yang besar, pergerakan gigi seperti melompat.

2. Blood Flow Theory

Teori ini disebut juga sebagai *fluid dynamic theory* yang diperkenalkan oleh Bien

pada tahun 1966. Berdasar teori ini, 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, elemennya selular, pembuluh darah dan perlekatan substansi dasar berisi serat-serat periodontal. Kandungan PDL menghasilkan kondisi hidrodinamik yang unik dan menyerupai mekanisme hidrolik 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.

3. Bone Bending and Piezoelectric Theory

Bone bending pada tulang alveolar merupakan hal yang penting dalam pergerakan gigi secara ortodonsia, hal ini pertamakali dikemukakan oleh Farrar (1988). Ketika alat ortodonsia 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.

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 ke 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 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.

MEKANISME PERGERAKAN GIGI

Pergerakan gigi yang diinduksi dengan pemberian gaya mekanis oleh alat ortodonsia mempunyai 3 fase dalam proses pergerakan gigi. Fase tersebut adalah *initial phase*, *lag phase* dan *postlag phase*. Pada *initial phase* dikarakteristikkan sebagai pergerakan secara cepat dan terjadi segera setelah aplikasi gaya pada gigi. Laju fase ini sebagian besar dihubungkan dengan displacement gigi pada celah ligamen

preiodontal. Segera setelah fase ini, maka akan terjadi *lag phase*, fase ini berkebalikan dengan fase sebelumnya yang mempunyai laju yang rendah bahkan sama sekali tidak terjadi pergerakan gigi. Hialinisasi 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. Pada fase ketiga akan terjadi laju pergerakan secara gradual atau meningkat secara tiba-tiba.^{9,10}

Reaksi selular dan jaringan mulai pada *initial phase* segera terjadi setelah gaya mekanis diaplikasikan. Gaya mekanis tersebut menyebabkan tekanan dan peregangan pada serabut ligamen periodontal serta sel-sel pada daerah ligamen periodontal di daerah tekanan dan regangan. Proses kompleks ini mengawali rekrutmen dari progenitor osteoklas dan osteoblas, seperti dimulainya ekstravasasi dan kemotaksi sel-sel radang. Keberadaan daerah hialinisasi di daerah tekanan pada fase awal sudah dilaporkan pada beberapa penelitian.¹⁰

Perubahan deformasi pada tulang alveolar yang diakibatkan gaya mekanis akan di respon oleh osteosit, yang merupakan sel yang sensitif dan sebagai mekanoreseptor pada tulang. Sel ini dalam merespon gaya mekanis dengan cara meningkatkan ekspresi *glucose-6-phosphatase dehydrogenase*, *H-uridine*, *c-fos* dan *insulin-like growth factor-1*. Sehingga akan memicu reaksi-reaksi inflamasi selanjutnya.⁸

Pada *Bone Bending dan Piezoelectric theory*⁸ menyebutkan bahwa Ketika alat ortodonsia diaktivasi, gaya yang diberikan pada gigi disalurkan ke semua jaringan di sekelilingnya sehingga gigi akan bergerak lebih besar dibandingkan dengan lebar ligamen periodontal 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. 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 ke bentuk semula dan aliran elektron akan terjadi pada arah yang berlawanan

Hal ini didukung oleh Krishnan and Davidovitch⁹ yang menyebutkan bahwa fase awal pergerakan gigi secara ortodonsia selalu melibatkan respons inflamasi akut yang ditandai oleh vasodilatasi kapiler dan migrasi leukosit ke kapiler. Sel-sel yang bermigrasi ini memproduksi berbagai sitokin. Sitokin ini merangsang sintesis dan sekresi berbagai substansi untuk sel target seperti prostaglandin, *growth factor* dan berbagai

sitokin.

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-sel endotel, osteoblas dan sel-sel tulang alveolar. Selama periode ini leukosit terus bermigrasi ke jaringan paradental dan mengatur proses *remodeling*.¹¹

Keterkaitan inflamasi akut pada fase awal pergerakan gigi juga dikemukakan oleh Dolche¹⁰ (2002), yang menyebutkan bahwa Respon inflamasi akut adalah gambaran khas pada fase awal pergerakan gigi secara ortodonsia. Sitokin yang dikeluarkan oleh *mononuclear cells* sebagai mediator kimiawi yang berinteraksi dengan sel-sel tulang secara langsung ataupun tidak langsung. IL-1 dapat meningkatkan sintesis dan sekresi beberapa substansi termasuk prostaglandin ataupun *growth factors* lainnya. PG dapat menstimulasi resorpsi tulang dan meningkatkan laju pergerakan gigi secara ortodonsia

Lag phase dipresentasikan sebagai pergerakan yang terhenti, dimana terjadi rekrutmen sel-sel dan persiapan mikroenvironmen bagi ligamen periodontal dan tulang untuk mengalami remodeling. Fase ini terjadi ketika osteoklas sudah terekrut dan osteoblas teraktivasi.¹⁰

Gambaran fase kedua ini sejalan dengan Krishnan and Davidovitch⁹ yang menyatakan bahwa 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 hialinisasi dan terhentinya pergerakan gigi. Pembersihan jaringan nekrotik dan resorpsi tulang yang berasal dari daerah *alveolar bone marrow* (indirect resorption) dan dari arah ligament periodontal yang normal (undermining resorption) memungkinkan dimulainya kembali pergerakan gigi. Proses komprehensif ini membutuhkan perekrutan sel-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-sel ini beraktifitas secara bersamaan menghilangkan jaringan nekrotik dari ligament periodontal dan yang berbatasan dengan tulang alveolar pada daerah tekanan. Pada daerah regangan, *quiescent osteoblasts (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 kearah permukaan tulang alveolar melalui serat-serat Sharpey's secara simultan, dilanjutkan fibroblast pada daerah regangan memulai multifikasi dan remodeling matriks

disekitarnya.¹²

Pernyataan ini didukung oleh Bien dalam *fluid dynamic theory*⁸ yang menyatakan bahwa 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.

Pada fase lanjut pergerakan gigi secara ortodonsia, 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 hialinisasi 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 pada daerah tekanan bukan merupakan reaksi terhadap gaya tetapi terjadi untuk menghilangkan jaringan tulang iskemik yang berdekatan dengan jaringan hialinisasi. Resorpsi tulang langsung selanjutnya dapat dianggap sebagai bagian dari proses remodeling. Dan didaerah regangan terjadi deposisi, keberadaannya ditandai dengan *alkaline phosphatase osteoblastic*.^{3,10}

Selain itu, dalam *pressure tension theory*⁸ menyebutkan bahwa 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, sedang pada pemberian tekanan yang besar, pergerakan gigi seperti melompat.

Sedangkan Farrar dalam *Bone Bending dan Piezoelectric theory*⁸ menyatakan bahwa 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.

Dari penjelasan di atas dapat

disimpulkan bahwa Mekanisme pergerakan gigi secara ortodonsia mempunyai tiga fase yaitu *initial phase*, *lag phase* dan *postlag fase*. Ketiga fase tersebut terjadi secara berkesinambungan, sehingga bila terjadi gangguan pada salah satu fase maka proses pergerakan gigi juga terganggu.

DAFTAR PUSTAKA

- 1) Foster T.D. Buku Ajar Ortodonsia. Edisi 3. Jakarta : Penerbit Buku Kedokteran EGC. 1997 : 168-83
- 2) Thailaner B, Ryegh P, Reitan K. Tissue Reactions in Orthodontics. In: Graber TM, Vanarsdall RL, Vig KWL, editors: Orthodontics. Current Principles and Techniques. St. Louis: Elsevier Inc. 2000 : 203-11
- 3) Krishnan V and Davidovitch Z. On a Path To Unfolding The Biological Mechanisms of Orthodontic Tooth Movement: Journal of Dental Research 2009; 88 : 597 – 608
- 4) Hill, P. A. Bone Remodelling, British Journal of Orthodontics 1998; 25 : 101-107.
- 5) William J.K. Prinsip dan Praktik Alat-alat Ortodonsia Cekat. Jakarta : Penerbit Buku Kedokteran EGC. 2000 : 1-8
- 6) Mulyani. Biomekanika Pergerakan Gigi. Jakarta : Widya Medika. 1994
- 7) Balajhi S.I. Orthodontics The Art and Science. 3 ed. New Delhi : AryaMedi Publishing House. 2006 : 187-219
- 8) Meikle MC. The Tissue, Cellular and Molecular Regulation of Orthodontic Tooth Movement : 100 Years After Carl Sandstedt. European J Orthod 2006; 28 : 221-40
- 9) Krishnan V, Davidovitch Z. Cellular, Molecular and Tissue-level Reactions to Orthodontic Force. Am J Orthod Dentofacial Orthop 2006 ; 129-469
- 10) Dolce, C., J. Scott Malone, Timothy T. Wheeler. Current Concepts in The Biology of Orthodontic Tooth Movement. Seminars in Orthodontics 2002. Volume 8, Issue 1, March, p. 6-12
- 11) Capelli J., Fidel R, Figueredo CM, Teles RP. Change in the Gingival fluid volume during maxillary canine retraction. Dental Press J. Orthod. 2010. Vol.15. No.2
- 12) Henneman, S., J. W. Von den Hoff and J. C. Maltha . Mechanobiology of tooth movement. European Journal of Orthodontics 2008. (30) : 299-306