

Low intensity pulsed ultrasound in orthodontic tooth movement

Low intensity pulsed ultrasound dalam pergerakan gigi ortodonti

¹Karima Qurnia Mansjur, ¹Mansjur Nasir, ¹Zilal Islamy Paramma, ²Isma Wahyuni

¹Department of Orthodontic

²Clinical Dental Student

Faculty of Dentistry, Hasanuddin University

Makassar, Indonesia

Correspondence author: Karima Qurnia Mansjur, e-mail: karimaqurnia@gmail.com

ABSTRACT

Orthodontic treatment that takes a long time carries a large risk of complications such as caries or root resorption. Various surgical and nonsurgical interventions have been performed, but non-surgical interventions are currently not widely accepted by orthodontists. Low Intensity Pulsed Ultrasound (LIPUS) is a form of non-invasive technology that has been used in the medical field for more than six decades. In the field of dentistry, LIPUS stimulation has been studied, among others, to improve bone remodelling, regeneration of cementum, gingiva and periodontal ligament. This article aims to review the mechanism of LIPUS in orthodontic tooth movement. This review is expected to become a clinical practice guide to shorten the duration of orthodontic treatment using LIPUS in the future.

Keywords: LIPUS, orthodontic tooth movement, treatment duration

ABSTRAK

Perawatan ortodonti yang memakan waktu lama memiliki risiko komplikasi yang besar seperti karies ataupun resorpsi akar. Berbagai intervensi baik bedah maupun non bedah telah dilakukan, namun intervensi non bedah saat ini belum diterima dengan luas oleh ortodontis. *Low intensity pulsed ultrasound* (LIPUS) adalah salah satu bentuk teknologi non invasif yang telah digunakan di bidang medis lebih dari enam dekade. Pada bidang kedokteran gigi, stimulasi LIPUS telah diteliti diantaranya dapat meningkatkan remodeling tulang, regenerasi sementum, gingiva serta ligamentum periodontal. Artikel ini bertujuan untuk mengulas mekanisme LIPUS dalam pergerakan gigi ortodonti. Ulasan ini diharapkan dapat menjadi panduan praktik klinis untuk mempersingkat durasi perawatan ortodonti menggunakan LIPUS di masa depan.

Kata kunci: LIPUS, pergerakan gigi ortodonti, durasi perawatan.

Received: 1 January 2021

Accepted: 1 April 2021

Published: 1 August 2021

PENDAHULUAN

Salah satu permasalahan gigi dan mulut adalah kelainan susunan gigi yang disebut maloklusi,¹ yang adalah suatu penyimpangan pertumbuhan dentofasial, selain mengganggu fungsi kunyah, telan dan bicara, juga mengganggu keindahan wajah. Maloklusi merupakan masalah yang cukup besar dan menempati urutan ketiga diantara masalah gigi dan mulut setelah karies dan penyakit periodontal sehingga harus mendapat perhatian khusus dari dokter gigi.² Beberapa peneliti di bidang ortodonti mengatakan bahwa prevalensi maloklusi pada remaja Indonesia menunjukkan angka yang sangat tinggi, sebesar 89% dan berdasarkan Riskesdas kejadian maloklusi di Indonesia mencapai angka 80%.³

Dengan meningkatnya jumlah pasien dewasa yang melakukan perawatan ortodonti, banyak teknologi telah dikembangkan dan masih dalam tahap penelitian untuk mempercepat gerakan gigi dengan tujuan mempersingkat durasi perawatan. Salah satu inovasi terbaru terapeutik dalam bidang ortodonti yaitu *low-intensity pulsed ultrasound* (LIPUS) atau stimulasi ultrasound berdenyut intensitas rendah; adalah salah satu bentuk teknologi non invasif yang telah digunakan di bidang medis lebih dari enam dekade. Di bidang kedokteran gigi, beberapa pustaka telah menunjukkan percepatan yang

signifikan pada pergerakan gigi ortodonti dan mengurangi resorpsi akar gigi yang diinduksi secara ortodonti pada hewan dan manusia.⁴

LIPUS telah disetujui secara klinis banyak digunakan, telah disetujui *Food and Drug Administration* (FDA) untuk mempercepat penyembuhan tulang setelah cedera, penyatuan dan kerusakan tulang lainnya serta telah banyak digunakan terutama dalam kedokteran di bidang olahraga dan terapi miofungsional untuk mengurangi kekakuan sendi, nyeri dan kejang otot, serta meningkatkan mobilitas otot.⁶ Berbagai penelitian menunjukkan bahwa LIPUS mempercepat jalur diferensiasi sel induk mesenkim dalam garis keturunan osteogenik melalui fosforilasi aktif jalur protein kinase yang diaktivasi mitogen, regulasi siklo-oksigenase-2, prostaglandin E2 dan menstimulasi protein morfogenetik tulang.⁶

Pada kajian pustaka ini dibahas mengenai peranan LIPUS dalam pergerakan gigi ortodonti

TINJAUAN PUSTAKA

Pergerakan gigi pada perawatan ortodonti

Pergerakan gigi ortodonti merupakan proses yang mengkombinasikan adaptasi tulang alveolar secara fisiologis terhadap tegangan mekanis dengan cedera re-

versibel yang kecil terhadap periodonsium. Pada kondisi sehat, gerakan seperti itu dilakukan dengan remodeling tulang yang sangat terkoordinasi dan efisien, yang memerlukan rangkaian pembentukan tulang setelah resorpsi tulang.⁷

Pergerakan gigi ortodonti terjadi akibat ada rangsangan mekanis yang diurutkan dari remodeling tulang alveolar dan ligamentum periodontal (LPD). Remodeling tulang merupakan proses resorpsi pada daerah tekanan dan pembentukan tulang baru pada daerah tegangan.⁸ Secara umum, beban tekanan dan tegangan menginduksi baik secara langsung maupun tidak langsung melepaskan sinyal spesifik molekul aktif/agen biologis dari berbagai sel lokal termasuk fibroblas, makrofag, sementoblas, osteoblas, osteoklas, dan sel-sel pembuluh darah lokal. Agen spesifik ini ditunjukkan berbeda di berbagai tempat di sekitar gigi yang dimuat secara mekanis dan memicu respon jaringan dinamis yang terlibat dalam pergerakan gigi.¹⁰ Pada saat gigi diberi tekanan, terjadi penurunan aliran darah pada sisi yang ditekan dan peningkatan aliran darah pada sisi tegangan. Tekanan lebih besar dapat memutus aliran darah dan terjadi kematian sel di bawah tekanan (hialinisasi).⁷ Burstone pada tahun 1962 mengemukakan tiga fase pergerakan gigi, yaitu *initial phase*, *lag phase*, dan *post lag phase*.

Fase *initial* terjadi setelah pemberian tekanan pada gigi, terjadi 24-48 jam. Akibat dari gaya mekanis tersebut, menyebabkan tekanan dan peregangan pada serabut serta sel-sel LPD di daerah tekanan dan regangan, menyebabkan pembesaran pembuluh darah, *chemoattraction* sel inflamasi dan formasi osteoklas dan osteoblas.¹⁰ Fase *lag*, pergerakan gigi berhenti selama 20-30 hari, terjadi penampakan susunan serabut LPD yang abnormal. Gangguan aliran darah akibat distorsi yang terjadi akan menggiring ke pembentukan area hialinisasi dan terhentinya pergerakan gigi. Pembersihan tulang yang berasal dari daerah *alveolar bone marrow*, sebagai *indirect resorption*, dan dari daerah LPD yang normal, sebagai *undermining resorption* memungkinkan dimulainya kembali pergerakan gigi. Jaringan nekrotik dari tulang dan LPD yang tertekan dihilangkan oleh makrofag, *foreign body giant-cell*, dan osteoklas.^{9,10} Fase *post lag* juga dikenal sebagai fase akselerasi dan linear,¹⁰ daerah gigi mengalami tekanan tampak serat kolagen tanpa orientasi yang jelas. Terjadi pembentukan permukaan tulang yang tidak beraturan yang menunjukkan terjadinya *frontal resorption*. Resorpsi tulang yang terjadi pada fase ini yang dianggap sebagai remodeling tulang.^{9,10}

Definisi LIPUS

Ultrasonografi adalah suatu bentuk energi mekanik yang dapat disalurkan melalui jaringan yang ber-

beda sebagai tekanan gelombang. Frekuensi gelombang tersebut di atas batas pendengaran manusia. Ultrasonografi telah digunakan dalam kedokteran pada operasi bedah, aplikasi terapeutik, dan diagnostik. LIPUS merupakan energi ultrasonik, tetapi diberikan pada intensitas yang jauh lebih rendah daripada energi ultrasonik tradisional.⁴ Selain itu, LIPUS memiliki imunogenisitas serta toksisitas yang rendah, selektivitas yang tertarget, dapat diaplikasikan berulang kali yang menjadikannya non invasif. Namun, beberapa spesifikasi seperti parameter, variasi teknik, protokol aplikasi pada LIPUS yang ditemukan dalam pustaka dapat menyebabkan kebingungan bagi klinisi.¹⁵

Parameter aplikasi LIPUS yang paling umum digunakan adalah intensitas pada $0,03 \text{ W/cm}^2$ atau dikenal sebagai 30 mW/cm^2 , durasi denyut 1:4 pada 1.000 Hz, dan frekuensi pada 1,5 MHz. Selain itu, untuk aplikasi terapeutik biasa, intensitas LIPUS yang diterapkan dapat berkisar $30\text{--}100 \text{ mW/cm}^2$.¹⁶

Telah dilaporkan bahwa LIPUS mempercepat perbaikan tulang yang normal bila diterapkan setiap hari selama tiga minggu bila diterapkan 15-20 menit/hari dengan intensitas $30\text{--}50 \text{ mW/cm}^2$.⁵

Perangkat LIPUS dalam bidang ortodonti

Sebuah penelitian studi klinis retrospektif terbaru oleh Kaur (2020) meneliti pengaruh dari LIPUS dalam mengurangi durasi perawatan terhadap pasien yang menggunakan piranti Invisalign SmartTrack. Perangkat LIPUS yang digunakan ialah Aevo System™ by SmileSonica (Alberta, Canada) dengan parameter adalah sebagai berikut: frekuensi ultrasonik 1,5 MHz, durasi denyut $200 \mu\text{s}$, frekuensi pengulangan denyut 1 kHz, dan intensitas rata-rata spasial-temporal 30 mW/cm^2 . Penggunaan LIPUS ini bersifat non invasif, bertenaga baterai, portabel, dan wajib digunakan selama 20 menit/hari.⁴



Gambar 1 LIPUS (Sistem Aevo) A elektronik genggam, B corong, dan C gel penghubung ultrasound. (Sumber: Kaur H, Bialy TE. Shortening of overall orthodontic treatment duration with LIPUS. J Clin Med 2020)

Perangkat ini terdiri dari tiga komponen utama, yaitu 1) elektronik genggam yang mengontrol perawatan LIPUS dan memberikan informasi tentang prosedur dan status perawatan. Perangkat ini didukung oleh baterai isi ulang. Informasi yang ditampilkan di layar adalah sisa waktu perawatan, tingkat pengisian baterai, tanggal dan waktu saat ini, serta catatan lengkap parameter perawatan; 2) dua corong, untuk perawatan lengkung rahang atas dan bawah. Setiap corong mirip dengan pelindung mulut dan terdiri dari 10 pemancar ultrasound yang telah diatur di dalam enkapsulasi biokompatibel yang fleksibel. Semua komponen internal diselenggarakan dengan rapat ke elektronik genggam dengan kabel; 3) gel penghubung ultrasound, gel tanpa rasa, yang disediakan dalam kantong sekali pakai dioleskan ke bagian dalam dinding corong sebelum memulai setiap perawatan. Pasien diinstruksikan untuk mengaplikasikan gel secara tipis sehingga transmisi LIPUS dapat disalurkan dengan baik dari corong.

Didapatkan bahwa pasien yang dirawat dengan LIPUS menunjukkan penurunan 49% dalam waktu perawatan secara keseluruhan dibandingkan pasien yang menjalani perawatan ortodonti dengan Invisalign saja.⁴

Penelitian uji acak terkendali atau uji klinis desain *split-mouth* oleh El Bialy et al menggunakan LIPUS (*Orthosonic Treatment*TM).⁵ Setiap pasien memiliki dua perangkat yang sama yang dapat digunakan secara bergantian setiap bulan, sehingga perangkat tersebut dapat dikembalikan ke pabrik untuk memverifikasi kalibrasi intensitasnya. Pada penelitian ini, digunakan parameter serta waktu aplikasi yang sama setiap harinya dengan Kaur et al⁴. Pada penelitian Bialy, rentang waktu yang diaplikasikan selama 24 minggu pada pasien yang menjalani perawatan ortodonti terbukti dapat meningkatkan laju pergerakan gigi rerata 29%, serta meminimalkan *orthodontically induced root resorption* (OIRR) dibandingkan dengan sisi kontrolnya. Studi pendahuluan oleh Raza et al¹¹ dan Maurya et al¹⁴ juga menunjukkan bahwa aplikasi LIPUS terbukti mengurangi OIRR dibanding dengan grup kontrol dan meningkatkan laju pergerakan gigi pada kasus protrusi bimaxilaris. Hal ini didukung oleh beberapa penelitian yang menggunakan hewan coba, diyakini bahwa efek yang ditimbulkan oleh LIPUS tidak mengganggu pergerakan gigi ortodonti.^{12,13}

Mekanisme LIPUS

Pergerakan gigi ortodonti atau *orthodontic tooth movement* (OTM) adalah suatu proses terbentuknya kembali tulang yang di dalamnya terdapat interaksi beragam jenis sel yang berbeda seperti osteoblas, osteoklas dan osteosit. LIPUS telah terbukti meningkatkan pembentukan tulang dan diferensiasi osteoblas dengan cara meningkatkan proliferasi osteoprogenitor sel

dengan meningkatkan ekspresi protein morfogenetik tulang 2 yaitu (BMP-2), (BMP-7), dan (Runx2) atau dikenal sebagai faktor transkripsi untuk diferensiasi osteoblas dari sel induk mesenkim. Meskipun LIPUS telah terbukti meningkatkan ekspresi penanda osteogenik dalam banyak penelitian, LIPUS juga meningkatkan RANK-L (penggerak reseptor dari faktor inti kappaligan) ekspresi protein dalam osteoklas untuk mempercepat resorpsi tulang. Di dalam osteoblas LIPUS meningkatkan protein pembentuk tulang osteoprotegerin (OPG) dan alkalin fosfatase (ALP).

LIPUS di intensitas 100 dan 150 mW/cm² terbukti menunjukkan penurunan jumlah dan aktivitas osteoklas, dan peningkatan dalam ekspresi OPG/RANK-L pada tikus yang diobati dengan LIPUS. Dalam studi lain, gen RANK-L mengalami ekspresi paling mendalam selama minggu ketiga penerapan LIPUS. Di sisi lain, ekspresi OPG tetap konstan selama tiga minggu dalam kultur sel osteoblas tikus yang membuktikan bahwa LIPUS meningkatkan osteoklastogenesis selama regenerasi tulang. Dalam sebuah studi oleh Feres et al, LIPUS menunjukkan peningkatan aktivitas osteoklas tanpa osteoblas. Hasil studi retrospektif ini menunjukkan bahwa pada sisi kompresi aplikasi gaya ortodonti, LIPUS meningkatkan aktivitas osteoklas sedangkan pada sisi ketegangan, LIPUS mempercepat aktivitas osteoblas dan meningkatkan regenerasi tulang, sehingga mempercepat pergerakan gigi.⁴

Resorpsi akar dapat muncul sebagai komplikasi selama atau setelah pergerakan gigi ortodonti. LIPUS meningkatkan jumlah sel dan aktivitas dalam LPD yang penting dalam renovasi tulang alveolar. Stimulasi mekanis dari LIPUS diterima oleh reseptor pada membran sel seperti integrin dan *G-protein coupled receptors* (GPCR) untuk mengaktifkan jalur mekanotransduksi yang berbeda dalam sel tulang. Ini mengarah pada peningkatan gen ekspresi, yang menyebabkan peningkatan ekspresi protein. Penggunaan LIPUS dapat meminimalkan resorpsi akar yang diinduksi secara ortodontik dengan cara meningkatkan deposisi sementum dan dentin yang dapat menyediakan lapisan pencegahan terhadap resorpsi akar dan dapat meningkatkan jumlah sel dan aktivitas di sekitar LPD yang penting dalam renovasi tulang alveolar.^{5,18}

PEMBAHASAN

Perawatan ortodonti merupakan salah satu tindakan terapeutik yang rutin dilakukan di bidang kedokteran gigi. Perawatan ortodonti didasarkan pada premis bahwa ketika gaya dikirim ke gigi dan demikian ditransmisikan hingga melekat ke jaringan yang berdekatan, peristiwa mekanis, kimiawi dan seluler tertentu terjadi di dalam jaringan yang memungkinkan perubahan struktur dan berkontribusi pada pergerakan gigi. Ini

mebutuhkan penerapan gaya ortodonti yang optimal tetapi dapat menghasilkan gerakan gigi yang maksimal dengan kerusakan ireversibel yang minimal pada akar, LPD dan tulang alveolar. Karena penerapan gaya terbatas, berbagai modalitas lain telah diterapkan untuk mempercepat pergerakan gigi. Berbagai alat bantu farmakologis telah digunakan untuk mempercepat pergerakan gigi ortodonti seperti prostaglandin, 1,25 (OH) 2 D3 (bentuk aktif Vitamin D), steroid dan lain-lain.⁶

Penggunaan LIPUS dalam mempercepat pergerakan gigi ortodonti pada sebuah penelitian yang dilakukan pada tikus menunjukkan efek positif; penggunaan secara rutin dapat menunjukkan peningkatan pergerakan gigi yang signifikan ($p < 0,05$) dibandingkan dengan sisi yang tidak dirawat dengan LIPUS. Xue dkk mengemukakan bahwa stimulasi LIPUS menyebabkan peningkatan ekspresi gen *pathway* HGF/Runx2/BMP-2 dan ekspresi RANK-L yang menyebabkan percepatan pergerakan gigi atau OTM.⁶

Laju pergerakan gigi ortodonti bergantung pada remodeling tulang alveolar dan faktor pembatas laju pergerakan gigi adalah resorpsi tulang pada permukaan

tulang dan LPD. Makrofag, odontoklas, dan osteoklas direkrut di area hialinasi untuk menghilangkan jaringan nekrotik, yang selanjutnya mengarah pada resorpsi jaringan termineralisasi dengan mengeluarkan asam fosfat tahan tartrat (TRAP), *Cathepsin-K*, dan matriks *metalloproteinase-9* (MMP-9).⁵ LIPUS terbukti memiliki efek biostimulatori pada osteoblas dan osteoklas, serta dapat merangsang jumlah sel dan meningkatkan aktivitas dalam LPD yang penting dalam renovasi tulang alveolar.^{5,18} Meskipun telah banyak studi klinis dengan LIPUS, tetap ada kekurangannya yaitu dalam penelitian terdahulu jumlah sampelnya kecil serta peranti LIPUS yang biayanya tidak termasuk ekonomis untuk pasien.^{4,17}

Disimpulkan bahwa LIPUS dapat digunakan sebagai alat yang efektif dan non invasif untuk mempercepat pergerakan gigi serta mengurangi OIRR sehingga dapat mengurangi durasi perawatan. Beberapa penelitian membuktikan bahwa LIPUS memiliki efek positif pada pergerakan gigi dan metabolisme sel periodontal sehingga dapat menjadi alat terapi yang menjanjikan untuk regenerasi jaringan pendukung gigi.

DAFTAR PUSTAKA

1. Laguhi VA. Gambaran maloklusi dengan menggunakan HMAR pada pasien di Rumah Sakit Gigi dan Mulut Universitas Sam Ratulangi Manado. *J e-GiGi* 2014;(2).
2. Kusnoto JD. Buku ajar jilid 1 ortodonti. Jakarta: EGC; 2015.
3. Adhani K. Perbedaan indeks karies antara maloklusi ringan dan berat pada remaja di Ponpes Darul Hijrah Martapura. *Dentino Jurnal Kedokteran Gigi* 2014; (2): 13-7.
4. Kaur H, Bialy TE. Shortening of overall orthodontic treatment duration with LIPUS. *J Clin Med* 2020.
5. Bialy T, Farouk K, Carlyle T. Effect of LIPUS on tooth movement and root resorption: a prospective multi-center randomized controlled trial. *J Clin Med* 2020 (9): 804.
6. Giri DK. Effectiveness of Lipus in accelerating orthodontic tooth movement. *Int J Adv Res* 2017; 5(6): 178-81.
7. Nimeri G, Chung HK, Nasia ASK, Racher C. Acceleration of tooth movement during orthodontic treatment-A frontier in orthodontics. *Progress in Orthodontics* 2013; 14(42): 1-8.
8. Asiry MA. Biological aspects of orthodontic tooth movement: A review of literature. *Saudi J Biol Sci* [Internet] 2018; 25(6): 1027–32. Available from: <https://doi.org/10.1016/j.sjbs.2018.03.008>.
9. Amin MN, Permatasari N. Aspek biologis pergerakan gigi secara ortodonsi. *Stomatognatic* 2016;13: 22–7.
10. Feller L, Khammissa RAG, Schechter I, Moodley A, Thomadakis G, Lemmer J. Periodontal biological events associated with orthodontic tooth movement: the biomechanics of the cytoskeleton and the extracellular matrix. *Sci World J* 2015.
11. Raza H, Major P, Dederich D. Effect of low-intensity pulsed ultrasound on orthodontically induced root resorption caused by torque: a prospective, double-blind, controlled clinical trial. *J Angle Orthod* 2016; 86:550-7. [PubMed] [Google Scholar]
12. Inubushi T, Tanaka E, Rego EB, Ohtani J, Kawazoe A, Tanne K, et al. Ultrasound stimulation attenuates resorption of tooth root induced by experimental force application. *2013; 53(2): 497-506.*
13. Daghreer AS, Doschak M, Sloan AJ, Major PW, Heo G, Scurtescu C, et al. Effect of low-intensity pulsed ultrasound on orthodontically induced root resorption in beagle dogs. *Ultrasound Med Biol* 2014; 40(6): 1187-96.
14. Maurya RK, Singh H, Kapoor P, Jain U, Mitra R. Effects of low-level laser and low intensity pulsed ultrasound therapy on treatment duration and pain perception. *J Clin Orthod* 2019; 53: 154–62.
15. Bains VK, Mohan R, Bains R. Application of ultrasound in periodontics: Part II. *J Indian Soc Periodontol* 2008; 12:55-61
16. Xin Z, Lin G, Lei H, Lue TF, Guo Y. Clinical applications of low-intensity pulsed ultrasound and its potential role in urology. *Transl Androl Urol* 2016; 5(2): 255-66. doi:10.21037/tau.2016.02.04.
17. Xu M, Wang L, Wu S. Review on experimental study and clinical application of low intensity pulsed ultrasound in inflammation. *Quant Imaging Med Surg* 2021; 11(1): 443-62. doi:10.21037/qims-20-680.
18. El-Bialy T, Aldaghreer LS, Sloan AJ. The effect of low intensity pulsed ultrasound in a 3D ex vivo orthodontic model, *J Dent* 2011; 39(10): 693-9. <https://doi.org/10.1016/j.jdent.2011.08.001>.