



UNIVERSITAS INDONESIA

**PENGARUH TEKANAN ORTODONTIK PADA PERUBAHAN
MIKROSTRUKTUR PERMUKAAN JARINGAN SEMENTUM**

DISERTASI

**HARU SETYO ANGGANI
0606037342**

**FAKULTAS KEDOKTERAN GIGI
PROGRAM DOKTOR ILMU KEDOKTERAN GIGI
JAKARTA
AGUSTUS 2012**



UNIVERSITAS INDONESIA

**PENGARUH TEKANAN ORTODONTIK PADA PERUBAHAN
MIKROSTRUKTUR PERMUKAAN JARINGAN SEMENTUM**

DISERTASI

Diajukan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Doktor

**HARU SETYO ANGGANI
0606037342**

**FAKULTAS KEDOKTERAN GIGI
PROGRAM DOKTOR ILMU KEDOKTERAN GIGI
JAKARTA
AGUSTUS 2012**

PROMOTOR

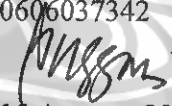
Prof. Bambang Irawan, drg, Ph.D
Guru Besar Tetap Ilmu Material Kedokteran Gigi
Fakultas Kedokteran Gigi
Universitas Indonesia

KO-PROMOTOR

Dr. Harun A. Gunawan, drg,MS,PAK
Staf Pengajar Tetap Departemen Oral Biologi
Fakultas Kedokteran Gigi
Universitas Indonesia

HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS

Disertasi ini adalah hasil karya saya sendiri,
dan semua sumber baik yang dikutip maupun dirujuk
telah saya nyatakan dengan benar.

Nama : Haru Setyo Anggani
NPM : 0606037342
Tanda Tangan : 
Tanggal : 15 Agustus 2012

HALAMAN PENGESAHAN

Disertasi ini diajukan oleh :

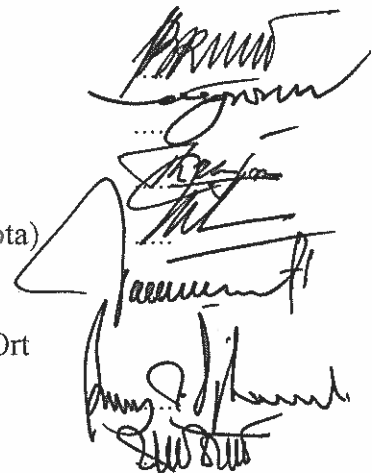
Nama : Haru Setyo Anggani
N P M : 0606037342
Program studi : Ilmu Kedokteran Gigi
Judul disertasi : Pengaruh Tekanan Ortodontik Pada Perubahan Mikrostruktur Permukaan Jaringan Sementum

Telah berhasil dipertahankan di hadapan Dewan Penguji dan diterima sebagai bagian persyaratan yang diperlukan untuk memperoleh gelar Doktor pada program studi Ilmu Kedokteran Gigi Fakultas Kedokteran Gigi Universitas Indonesia.

DEWAN PENGUJI

Promotor : Prof.drg.Bambang Irawan, PhD
Ko promotor : Dr. drg Harun A.Gunawan, MS, PAK
Tim penguji : Dr.drg. Ellyza Herda, Msi (Ketua)
Prof. Dr.drg.Magdalena Lesmana, SpOrt (Anggota)
Dr.Ir.Donanta Dhaneswara, Msi (Anggota)
drg.Benny Mulyono S,MSc,MOrthRCS,PhD,SpOrt (Anggota)
drg. Nurtami Sudarsono, PhD (Anggota)

Ditetapkan di : Jakarta
Tanggal : 15 Agustus 2012



UCAPAN TERIMA KASIH

Alhamdulillah Rabbil Alamin, segala puji syukur ke hadirat Allah Subhanna Wa Ta'ala yang telah melimpahkan segala rahmad dan hidayahNYA kepada kita sekalian. Maka atas perkenan dan ridhoNYA pula pada akhirnya saya alhamdulillah dapat menyelesaikan pendidikan saya di Fakultas Kedokteran Gigi Universitas Indonesia, almamater tercinta ini.

Pendidikan serta penelitian sampai dengan penulisan disertasi ini bukanlah hal yang mudah bagi saya. Sungguh suatu hal yang rasanya mustahil saya lakukan tanpa adanya bantuan, dukungan serta doa dari berbagai pihak. Saya merasa sangat beruntung Allah SWT mengulurkan tanganNYA melalui banyak pihak sehingga memungkinkan saya menyelesaikan tugas pendidikan ini. Perkenankanlah saya menyampaikan dengan setulus hati ucapan terima kasih tak terhingga atas segala hal yang telah diberikan kepada saya sejak awal hingga tugas ini terselesaikan dan insyaallah membawa kebaikan bagi semua pihak.

Pertama, saya sampaikan ucapan terima kasih kepada Rektor Universitas Indonesia Prof.Dr.der.Soz. Gumilar Rusliwa Somantri beserta para Wakil Rektor Universitas Indonesia yang telah memberi kesempatan kepada saya untuk menjalankan tugas belajar dan menyelesaikan pendidikan ini.

Penghargaan serta beribu terima kasih saya sampaikan pula kepada Dekan Fakultas Kedokteran Gigi Universitas Indonesia, Prof.drg Bambang Irawan, PhD yang juga adalah Promotor saya atas kesempatan, bimbingan, perhatian, dukungan serta semangat yang diberikan sehingga saya dapat melalui tahap demi tahap pendidikan ini dengan selamat.

Penghargaan serta rasa terima kasih yang tidak terhingga saya sampaikan kepada Dr.drg Harun A Gunawan, MS, PAK selaku Ko Promotor saya, yang bahkan sudah sejak awal dengan sabar membukakan wawasan serta membimbing saya menjalani liku-liku perjalanan pendidikan, penelitian hingga sampai pada penulisan disertasi ini diantara kesibukan beliau selaku Wakil Direktur Umum dan Fasilitas Universitas Indonesia. Saya bersyukur memiliki Ko Promotor, pembimbing sekaligus kakak yang tidak pernah marah menghadapi kelambatan saya memahami segala hal baru dalam pendidikan dan penelitian saya ini.

Kepada Ketua Dewan Penguji, Dr.drg Ellyza Herda, Msi, tidak ada lain yang dapat saya sampaikan selain terima kasih atas dorongan dan semangat yang diberikan kepada saya. Saran dan masukan serta kesabaranmu ditengah kesibukan sebagai Manajer Riset dan Pendidikan FKGUI, sungguh kuhargai.

Kepada Prof.Dr.drg Magdalena Lesmana, SpOrt, sebagai penguji dan penilai disertasi saya, saya sungguh terkesan dan merasa bersyukur atas dukungan semangat, kemudian masukan yang begitu teliti dan arahan yang telah diberikan kepada saya dengan begitu penuh rasa keibuan. Terima kasih tak terhingga,

semoga Tuhan membalas segala budi baik yang telah saya terima ini dan senantiasa melindungi Prof Magdalena. Amin.

Terima kasih dan penghargaan juga saya sampaikan kepada yang terhormat Dr.Ir. Donanta Dhaneswara, Msi sebagai penguji dan penilai disertasi saya. Waktu dan arahan yang diberikan kepada saya di sela-sela kesibukan sebagai Direktur Umum dan Fasilitas Universitas Indonesia, sungguh amat berharga .

Kepada penguji dan penilai disertasi saya, drg Benny Mulyono Sugiharto, MSc, MOrthRCS, PhD, SpOrt, saya dengan setulus hati dan sesungguhnya hati menyampaikan terima kasih serta penghargaan yang tak terhingga baik atas doa, dukungan maupun masukan-masukannya bagi penulisan disertasi saya ini. Semoga Tuhan YME membalasnya dengan berlipat ganda. Amin.

Terima kasih dan penghargaan saya sampaikan juga kepada drg Nurtami Soedarsono, PhD atas kesediaannya sebagai penguji dan penilai disertasi saya ini walaupun sibuk dalam tugas-tugasnya sebagai Asisten Ketua Program Pasca Sarjana UI dan Konsultan ahli DNA Kepolisian Republik Indonesia.

Penghargaan dan terima kasih sebesar-besarnya saya tujukan juga kepada yang terhormat Prof.dr.drg Mieke Sylvia, SpOrt yang sudah dengan susah payah datang dari Surabaya dalam rangka pendidikan saya. Semoga Tuhan memberkati.

Tidak lupa, rasa terima kasih saya tujukan kepada drg.Ferry Gultom, MBIomed atas perhatian dan kesempatannya untuk berbagi ilmu dan pengetahuan dalam rangka pendidikan saya. Semoga Tuhan memberkati.

Ucapan terima kasih saya sampaikan juga kepada Prof.Dr.drg M F Lindawati S Kusdhany, SpPros beserta seluruh jajaran selaku mantan Ketua Program Pasca Sarjana Fakultas Kedokteran Gigi UI yang telah memberikan kesempatan pada saya untuk mengikuti Program Doktor ini dan sangat membantu proses pendidikan saya. Dalam hal ini tidak lupa saya ucapkan banyak terima kasih kepada Prof.Dr.drg Retno Hayati S, SpKGA, Prof.Dr.drg Tribudi W Rahardjo , SpProst, Prof.Dr.drg Budiharto, SKM, Prof.drg Elza Ibrahim, Mbiomed, PhD, dan drg Anton Raharjo, MKM, PhD.

Rasa syukur dan terima kasih yang tak terhingga saya sampaikan juga kepada guru-guru saya baik yang masih aktif ataupun yang sudah purna bakti Prof.Dr. drg SWA Prayitno , SpPerio, Prof.Dr.SM Soerono Akbar, SpKG, Prof EH Soendoro, SpKG, Prof.drg.Harini Soemartono, SpKGA, almh Prof.Dr.drg D Mardjono, SpProst, drg Winiati Sidharta, SpKG beserta seluruh Guru Besar dan Dosen FKG UI yang telah menanamkan dasar-dasar pendidikan sebagai sarjana yang sangat berguna bagi saya dalam menyelesaikan pendidikan saya ini.

Terima kasih saya sampaikan kepada pimpinan Fakultas Kedokteran Gigi UI, Wakil Dekan Prof.Dr.drg M Suharsini, SpKGA beserta Manajer Bidang Umum dan Keuangan drg Siti Aliyah Pradhono, SpPM, Sekretaris Fakultas Kedokteran Gigi UI drg Hedijanti Joenoes, Msi atas perhatian yang telah diberikan kepada saya selama ini.

Kepada Dr.drg.Yosi Kusuma Eriwati, MSi, drg Siti Triaminingsih, MT, drg Andi Soufyan S, Mkes dan seluruh staf Departemen Ilmu Material Kedokteran Gigi FKGUI diucapkan terima kasih sebesar-besarnya atas kesempatan serta kemudahan dan bimbingannya selama penelitian di Laboratorium IMKG FKGUI. Tidak lupa terima kasih yang setulusnya juga atas keramah tamahan Pak Slamet dan Maryama semasa itu.Semoga Allah SWT membalasnya dengan setimpal.

Pada kesempatan ini saya juga menyampaikan rasa terima kasih saya kepada saudara Zakiyudin staf penelitian di Laboratorium Metalurgi dan Material Fakultas Teknik UI atas bantuannya selama saya melakukan penelitian disana.

Demikian juga kepada saudara Iwan Setiawan staf penelitian di Laboratorium Pusat Penelitian Metalurgi Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia Serpong, disampaikan terima kasih dan penghargaan atas segala jerih payahnya sehingga penelitian saya dapat berlangsung dengan baik disana.

Rasa terima kasih setulus hati saya sampaikan juga pada Dr. Bambang Sugiyono dari FMIPA UI yang sudah membekali saya dengan pengetahuan tentang Ilmu Material diantara kesibukan membimbing para kandidat doktor lain.

Kepada Dr. Adang Bachtiar MD MPH DSc dari FKMUI, rasa syukur dan terima kasih saya panjatkan ke hadirat Allah SWT atas segala perhatian, doa, dukungan moril dan semangat yang tidak terduga diberikan pada saya di saat- saat terakhir pendidikan ini. Hanya Allah SWT yang dapat membalasnya dengan pahala yang berlipat ganda. Amin YRA.

Pada kesempatan ini saya juga menghaturkan terima kasih yang tak terhingga kepada drg Erwin Siregar, SpOrt(K) selaku mantan Ketua Departemen Ortodonsi Fakultas Kedokteran Gigi UI yang telah memberikan ijin kepada saya untuk mengikuti program pendidikan doktor . Demikian pula saya sampaikan dengan segala kerendahan hati rasa terima kasih saya kepada drg Krisnawati, SpOrt(K) selaku Ketua Departemen Ortodonsi Fakultas Kedokteran Gigi UI saat ini, yang telah dengan sabar mendorong dan menunggu proses penyelesaian pendidikan saya ini. Tak lupa tentunya saya haturkan terima kasih dan penghargaan setinggi-tingginya kepada drg Sri Darwati Sadoso, SpOrt, drg DD Yashadhana, SpOrt, almh drg Widokinasih Idris, SpOrt dan Prof. Dr.drg Faruk Hoesin, MDS, SpOrt(K) selaku dosen dan orang tua saya yang tak henti menyemangati saya agar segera menyelesaikan pendidikan saya ini. Rasa terima kasih ini juga didalam hati saya sampaikan kepada senior saya yang tercinta alm Dr.drg Permana Irmansyah Masbirin, SpOrt(K) yang merupakan sumber inspirasi bagi saya dan Departemen Ortodonsi FKGUI pada umumnya. Kepada seniorku Dr.drg Miesje Karmiati P, SU, SpOrt(K), adik-adikku di Departemen Ortodonsi FKGUI, drg Nia Ayu Ismaniati, MDSc, SpOrt(K), drg Retno Widayati, SpOrt (K), drg Maria Purbiati, SpOrt (K), drg Nada Ismah, SpOrt, drg Fadly Jazaldi, SpOrt, drg Benny M Sugiharto MSc, MOrthRCS, PhD, SpOrt dan drg Sariesendy, SpOrt, disampaikan terima kasih sebesar-besarnya dengan setulus hati atas doa, dukungan dan perhatiannya . Semoga Allah SWT membalas segala budi baik yang telah

diberikan. Khusus bagi adikku drg Maria Purbiati, SpOrt(K), rasa terima kasih tak terhingga atas dukungan dan pencerahannya di masa-masa penulisan disertai hingga saat-saat ujian. Sungguh suatu hal yang sangat berarti. Semoga pada gilirannya, Allah bukakan juga pintu kemudahan dan bantuan demi keberhasilan pendidikannya. Amin. Kepada Pak Deddy, Pak Ridwan, almh Bu Wiwiek, Farid dan Nur Asiah di Departemen Ortodonti, terima kasih banyak, kalian telah memudahkan saya dalam menjalankan proses pendidikan saya dengan perhatian dan bantuan kalian. Semoga kita keluarga besar Departemen Ortodonti FKGUI senantiasa dalam lindungan NYA. Amin YRA.

Terima kasih yang tak terhingga saya tujukan juga kepada teman-teman seperjuangan dalam program pendidikan doktor Dr. drg Irene Adyatmaka, Dr. drg M Fahlevy Rizal, SpKGA(K), Dr. drg Dewi Priandini, SpPM dan Dr. drg Yulia Rahmad, Mkes atas kebersamaan, kerjasama dan dukungannya hingga saya sampai juga diujung proses pendidikan ini bersama kalian.

Pada kesempatan ini saya sampaikan rasa syukur dan terima kasih setulus hati atas waktu, perhatian, dorongan semangat dalam diskusi-diskusi yang menyenangkan dari Dr. drg Ratna Meidyawati, SpKG (K) dan Dr.drg Corputty Johan EM, SpDM(K) yang tidak putus asa menyemangati saya untuk menyelesaikan pendidikan ini.

Penghargaan dan terima kasih juga saya sampaikan pada Dr drg Dewi A Margono, SpKG dan Dr drg Rini Susanti, SpOrt atas bantuan dan dukungannya yang sangat tidak terduga. Semoga Allah membalasnya dengan berlipat ganda.

Demikian juga rasa syukur dan terima kasih sedalam-dalamnya saya sampaikan pada drg Mia Amalia, SpOrt yang telah dengan penuh cinta dan dedikasi membantu saya sejak awal dalam proses penulisan. Kepada drg. Adhyana Satya Novanto, SpOrt , Bunda ucapkan terima kasih tak terhingga atas doa, perhatian dan dukungannya. Semoga Allah SWT berkenan membalasnya dengan pahala dan karunia yang melimpah. Terima kasih sepenuh hati juga Mami sampaikan pada drg. Charles Januardy, SpOrt yang telah dengan tanggap memberikan perhatian dan dukungan pada tahap-tahap akhir pendidikan ini. Tuhan memberkati dan semoga sukses selalu.

Terima kasih sebesar-besarnya khusus saya tujukan pada saudara Asep Rahmat Hidayat, Suryanto, M Noh dari Perpustakaan FKGUI yang dengan tekun dan penuh kesabaran senantiasa membantu saya dalam pencarian kepustakaan bahkan hingga tahap-tahap akhir penulisan disertai saya. Allah SWT juga yang akan membalasnya dengan setimpal, insyaallah.

Kepada seluruh staf bagian administrasi pendidikan yang masih aktif maupun yang sudah purnabakti, Pak Sudarsono, Pak Uri Samsuri, Pak Achmad Bisri, Pak Eko Margiono, Pak Ibnu Sungut, Ibu Daryati, saudari Neneng Tarwiyah dan saudari Erni Ismayanti, terima kasih atas perhatian, kesabaran dan dukungannya. Semoga Allah melimpahkan rahmad dan hidayahNYA bagi kita semua.

Kepada Siska Yuniar, hanya Allah SWT yang dapat membalas segala budi baik, kesabaran dan jerih payah yang sudah diberikan. Terima kasih dari lubuk hati yang paling dalam.

Khusus kepada sahabat-sahabatku, dr Indrawati Dardiri, SpOG, Ir kuswarini Kusno, Ir Indrawati Ridwan, Vivien Kusumowardhani, MBA dan dr Siskawati, SpKK, dan Almh Ir Herwina Prabowo, kusampaikan cinta dan terima kasihku pada kalian semua atas dukungan moril yang tiada putusnya dan juga atas kegembiraan dalam persahabatan kita yang dapat menghilangkan kejenuhan dalam proses pendidikan ini. Semoga persahabatan kita dalam ridho Allah. Amin.

Pada kesempatan ini ijin saya memanjatkan doa syukur ke hadirat Allah SWT yang telah memberikan kepada saya orang tua Bapak alm Ir.H.Soenarno Wiyoto serta Mama almh Hj.Noer Suyatin yang telah mendidik dan membekali saya nilai-nilai kehidupan yang sangat penting bagi perjalanan hidup saya. Semoga Allah berkenan memberikan tempat terbaik bagi Bapak dan Mama. Terima kasih Bapak Mama. Terima kasih juga kepada adik-adikku yang tercinta Ita dan Dendy. Kalian selalu mengerti kesulitan-kesulitanku dan selalu siap menggantikan fungsi Mbak kapanpun diperlukan tanpa mengeluh.

Anak-anakku yang tercinta, Reyhan, Arsha dan Hanif, Mama minta maaf kalau selama ini Mama tidak bisa sepenuhnya mengurus kalian. Namun jangan pernah meragukan cinta kasih Mama pada kalian. Kalian adalah permata hati dalam hidup Mama dan Bapak. Terima kasih atas pengertian dan kesabaran yang telah kalian berikan selama Mama dalam masa pendidikan. Insyaallah di masa depan giliran Mama yang mendukung kalian menjalani pendidikan selanjutnya. Amin YRA.

Kepada suami tercinta, Sadik Algadri, waktu telah membuktikan bahwa cinta dan kasih sayangmu telah membawaku sampai pada jenjang pendidikan tertinggi ini. Rasanya ucapan terima kasih saja tidaklah cukup untuk menggambarkan betapa dalam dan tulus rasa terima kasihku. Semoga Allah SWT berkenan melimpahkan karunia sehat lahir batin dan keselamatan dunia akhirat kepadamu dan keluarga kita serta handai taulan yang sudah dengan penuh perhatian mendukungku hingga selesai sudah pendidikanku. Amin Ya Robbal Alamin.

Akhir kata, kepada semua pihak yang sudah atau terlewat saya sebutkan, saya ucapkan sekali lagi terima kasih sebesar-besarnya dan mohon dimaafkan bila selama ini saya telah melakukan kekhilafan-kekhilafan. Semoga Allah SWT berkenan memberikan perlindungan dan keselamatan bagi kita semua. Amin Ya Robbal Alamin.

Jakarta, 15 Agustus 2012

Haru Setyo Anggani

HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI TUGAS AKHIR UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS

Sebagai sivitas akademik Universitas Indonesia, saya yang bertanda tangan dibawah ini :

Nama : Haru Setyo Anggani
NPM : 0606037342
Program studi : Ilmu Kedokteran Gigi
Departemen : Ortodontik
Fakultas : Kedokteran Gigi
Jenis karya : Disertasi

Demi perkembangan ilmu pengetahuan, menyetujui untuk memberikan kepada Universitas Indonesia **Hak Bebas Royalti Noneksklusif (Non-exclusive Royalti-Free Right)** atas karya ilmiah saya yang berjudul :

Pengaruh Tekanan Ortodontik Pada Perubahan Mikrostruktur Permukaan Jaringan Sementum

Beserta pangkat yang ada (jika diperlukan). Dengan Hak Bebas Royalti Noneksklusif di Universitas Indonesia berhak menyimpan, mengalih media /formatkan, mengelola dalam bentuk pangkalan data (database), merawat dan mempublikasikan tugas akhir saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis/pencipta dan sebagai pemilik Hak Cipta.
Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Dibuat di : Jakarta

Pada tanggal : 15 Agustus 2012

Yang menyatakan



Haru Setyo Anggani

ABSTRAK

Nama : Haru Setyo Anggani
Program studi : Ilmu Kedokteran Gigi
Judul : Pengaruh Tekanan Ortodontik Pada Perubahan Mikrostruktur Permukaan Jaringan Sementum

Resorpsi sementum akar gigi dapat merupakan efek samping perawatan ortodontik yang perlu mendapat perhatian. Faktor mekanis perawatan ortodontik adalah salah satu faktor risikonya. Penelitian ini bertujuan menganalisis pengaruh pemberian tekanan ortodontik terhadap perubahan mikrostruktur permukaan jaringan sementum secara laboratorik. Permukaan distal spesimen sementum akar gigi premolar yang dicabut guna kepentingan perawatan ortodontik diberi perlakuan berupa pemberian tekanan 300gr/cm^2 dan 600gr/cm^2 selama 5 hari dan 10 hari. Kemudian diuji kekerasan mikro permukaan, gambaran mikrostruktur permukaan, prosentase elemen mikrostruktur, jarak antar bidang kristal, ukuran butir kristal dan regangan mikro kristal. Ditemukan bahwa pemberian tekanan ortodontik mempengaruhi perubahan jaringan sementum dalam skala mikro maupun nano.

Kata kunci : resorpsi sementum akar, mikrostruktur jaringan sementum.

ABSTRACT

Name : Haru Setyo Anggani
Study Programme : Dentistry
Title : The Influence of Orthodontic Forces on the Alterations Of Cementum Microstructure

Resorption of the root cementum as part of the risks of orthodontic treatment needs to be cautiously considered. This study aims to analyze the influence of given orthodontic force on microstructure alterations of the cementum. The tests were undertaken after the distal aspect of the root cementum was given an orthodontic force of 300gr/cm^2 and 600gr/cm^2 for 5 days and 10 days. Then tested for surface microhardness, surface morphology of the cementum, percentage of microstructural elements, distance between crystal planes, crystalite size and microstrain of the crystals. It was found that the orthodontic force has influences on the cementum tissue alterations in the micro and nano scale.

Keyword : root cementum resorption, cementum microstructure.

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS	ii
LEMBAR PENGESAHAN	iii
UCAPAN TERIMA KASIH	viii
HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI	ix
ABSTRAK	ix
<i>ABSTRACT</i>	x
DAFTAR ISI	xiii
DAFTAR TABEL	xiv
DAFTAR GAMBAR	xv
DAFTAR PERSAMAAN	xvi
DAFTAR ISTILAH	xx
DAFTAR LAMPIRAN	
BAB I. PENDAHULUAN	
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	8
1.3 Pertanyaan Penelitian	9
1.3.2 Pertanyaan Umum	9
1.3.3 Pertanyaan Khusus	9
1.4 Tujuan dan Manfaat Penelitian	9
1.4.1 Tujuan Umum	9
1.4.2 Tujuan Khusus	10
1.4.3 Manfaat Penelitian	10
BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA	
2.1 Sementum	12
2.1.1. Sifat Fisik Sementum	14
2.1.2. Sifat Kimia Sementum	14
2.1.3. Sifat Mekanis Sementum	16
2.1.4. Gambaran Mikrostruktur Jaringan Sementum	17
2.2 Resorpsi Akar Gigi	19
2.2.1. Faktor Risiko Resorpsi Akar Gigi	20
2.3 Tekanan Ortodontik	25
2.3.1. Besar Tekanan Ortodontik	26
2.3.2. Cara Pemberian Tekanan Ortodontik	26
2.3.3. Durasi Tekanan Ortodontik	29
2.3.4. Arah Tekanan Ortodontik	30
2.3.5. Perubahan Jaringan Pendukung Gigi Akibat Tekanan Ortodontik	30
2.3.6. Resorpsi Akar Gigi Akibat Tekanan Ortodontik	32
2.4 Kerangka Teori Penelitian	34

BAB 3. KERANGKA KONSEP DAN HIPOTESIS	
3.1 Kerangka Konsep	35
3.2 Variabel Penelitian	35
3.3 Hipotesis Penelitian	36
3.3.1. Hipotesis Mayor	36
3.3.2. Hipotesis Minor	36
BAB 4. METODE PENELITIAN	
4.1 Jenis dan Rancangan Penelitian	38
4.2 Waktu dan Tempat Penelitian	39
4.3 Definisi Operasional	39
4.3.1 Besar Tekanan Ortodontik	39
4.3.2 Durasi Pemberian Tekanan Ortodontik	39
4.3.3 Kekerasan Mikro Permukaan Jaringan Sementum	39
4.3.4 Gambaran Permukaan Mikrostruktur Jaringan Sementum	39
4.3.5 Prosentase Elemen Mikrostruktur Permukaan Jaringan Sementum	40
4.3.6 Perubahan Kristal Apatit Permukaan Jaringan Sementum	40
4.4 Bahan Penelitian	
4.4.1 Sementum	40
4.4.2 Bahan Analitik Laboratorium	40
4.5 Alat Penelitian	41
4.5.1 <i>Microhardness Tester</i>	41
4.5.2 <i>Scanning Electro Microscope (SEM)</i>	42
4.5.3 <i>Spectrometri/ Energy Dispersive X- Ray (EDX)</i>	42
4.5.4 <i>Diffractionmeter</i> dengan Piranti Lunak <i>APD</i> (<i>Auto Powder Diffraction</i>) dan <i>Bella V2-1</i>	43
4.5.5 Alat Pemberian Tekanan	44
4.6 Diagram Alur Penelitian dan Cara Kerja	45
4.6.1 Diagram Alur Penelitian	45
4.6.2 Cara Kerja	47
4.6.3 Tahap Pengujian	48
4.7 Manajemen Data	51
4.8 Masalah Etika Penelitian	51
Bab 5. HASIL PENELITIAN	
5.1 Hasil Uji Kekerasan Mikro Permukaan Sementum	52
5.2 Hasil Uji Gambaran Permukaan Mikrostruktur Jaringan Sementum dan Prosentase Elemen Mikrostruktur Jaringan Sementum	55
5.3 Hasil Uji Perubahan Kristal Apatit Sementum	58
Bab 6. PEMBAHASAN	
6.1 Kekerasan Mikro Permukaan Jaringan Sementum	61
6.2 Gambaran Permukaan Mikrostruktur Jaringan Sementum	64
6.3 Prosentase Elemen Mikrostruktur Permukaan Jaringan Sementum	65
6.4 Perubahan Kristal Apatit Jaringan Sementum	66
6.5 Pengaruh Tekanan Ortodontik Terhadap Perubahan Mikrostruktur Jaringan Sementum	67

Bab 7. KESIMPULAN DAN SARAN	
7.1 Kesimpulan	69
7.2 Saran	70
DAFTAR PUSTAKA	72
LAMPIRAN	
Lampiran 1 Analisis Data	80
Lampiran 2 Pernyataan Keterangan Lolos Uji Etik Penelitian	111
Lampiran 3 Publikasi Hasil Penelitian	112
Lampiran 4 Daftar Riwayat Hidup	113



DAFTAR TABEL

Tabel 5.1: Nilai Rerata Kekerasan Mikro Permukaan Sementum Sesudah Pemberian Tekanan & Sesudah Aplikasi Asam (VHN)	53
Tabel 5.2: Perbedaan Kekerasan Mikro Permukaan Sementum kelompok perlakuan (Sesudah Pemberian Tekanan) Terhadap Spesimen Kontrol (VHN)	54
Tabel 5.3: Perbedaan Kekerasan Mikro Permukaan Sementum kelompok perlakuan A (Sesudah Aplikasi Asam) terhadap Sementum kontrol (Sesudah Aplikasi Asam)	54
Tabel 5.4: Nilai Rerata Prosentase Elemen Kalsium, Fosfor, Karbon Pada Permukaan Sementum Spesimen B1-B5 (%)	57
Tabel 5.5: Nilai Panjang Kisi Kristal (\AA), Besar Butir Kristal (nm) dan Regangan Mikro Kristal (ϵ) Permukaan Sementum Spesimen B1-B5	58

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	: Gambaran sementum aseluler dan sementum seluler	13
Gambar 2.2	: Penebalan sementum pada bagian apikal gigi yang berperan terhadap panjang akar	13
Gambar 2.3	: Ilustrasi skematik yang menampilkan struktur kolagen tipe 1	15
Gambar 2.4	: Ilustrasi skematik potongan potongan transversal 4 buah fibril yang memperlihatkan organisasi kristal dalam lapisan-lapisan yang searah	18
Gambar 2.5	: Kristal apatit yang berbentuk heksagonal, kedudukan ion Ca, PO ₄ dan OH serta arah axis c sisi a	19
Gambar 2.6	: Grafik tekanan ortodontik <i>continuous</i>	26
Gambar 2.7	: Grafik tekanan ortodontik <i>intermittent</i>	27
Gambar 2.8	: Grafik tekanan ortodontik <i>interrupted</i>	27
Gambar 2.9	: Kerangka teori penelitian	34
Gambar 3.1	: Kerangka konsep penelitian	35
Gambar 4.1	: Rancangan penelitian	38
Gambar 4.2	: <i>Microhardness tester</i>	41
Gambar 4.3	: <i>Scanning Electrone Microscope (SEM)</i> dan <i>Spektrometri/ Energy Dispersive X-ray (EDX)</i>	42
Gambar 4.4	: <i>X – Ray Diffractometer</i>	43
Gambar 4.5	: Alat pemberian tekanan	44
Gambar 4.6	: Alur penelitian kelompok perlakuan 1	45
Gambar 4.7	: Alur penelitian kelompok perlakuan 2	46
Gambar 4.8	: Spesimen sementum	47
Gambar 4.9	: Random alokasi sampel	48
Gambar 5.1	: Gambaran spektromikrograf permukaan sementum pada pembesaran 500x serta hasil analisis EDX pada spesimen B1(kontrol) dan spesimen yang mendapat tekanan 300gr/cm ² selama 5 hari (B2), spesimen yang mendapat tekanan 600gr/cm ² selama 5 hari (B3)	56
Gambar 5.2	: Gambaran spektromikrograf permukaan sementum pada pembesaran 500x serta hasil analisis EDX pada spesimen B4 yang mendapat tekanan 300gr/cm ² selama 10 hari dan spesimen B5 ditekan 600gr/cm ² selama 10 hari	57
Gambar 5.3	: Grafik hasil uji XRD sementum B1 – B5	59

DAFTAR PERSAMAAN

Persamaan 4.1: Rumus perhitungan ukuran butir kristal (<i>Crystallite size</i>) rumus Scherrer.	50
Persamaan 4.2: Rumus perhitungan regangan mikro kristal (<i>Micro strain</i>)	51



DAFTAR ISTILAH

Apatit

Suatu senyawa kalsium fosfat yang memiliki rumus kimia $\text{Ca}_{10}(\text{PO}_4)_6 \cdot \text{X}_2 \cdot \text{X}$ dapat berupa (OH), F, CO_3 , atau Cl. Apatit merupakan kristal yang stabil dan berbentuk heksagonal dan merupakan mineral penyusun utama jaringan keras tubuh pada manusia seperti pada tulang, dentin, email dan sementum.

APD (Auto Powder Diffraction)

Adalah suatu metode pengujian yang menggunakan sinar X yang ditembakkan pada spesimen material uji berbentuk bubuk sehingga menghasilkan pendaran difraksi sinar X. Digunakan untuk analisis jenis senyawa material uji, analisis panjang kisi kristal, ukuran butir kristal dan besar perubahan regangan mikro kristal material uji.

Begg

Suatu sistem mekano terapi di bidang ortodontik yang bekerja pada satu titik singgung sehingga lebih bebas friksi namun kurang kendali.

Bella V2-1

Suatu piranti lunak pada sistem *Powder X Ray Diffraction*, guna mengukur besar butir kristal dan regangan mikro kristal.

Dahllite

Adalah suatu kristal karbont apatit yang mungkin terdapat pada tulang dan sementum gigi.

Edgewise

Suatu sistem mekano terapi di bidang ortodontik yang bekerja secara kontak bidang sehingga friksinya besar namun pergerakan gigi lebih terkendali.

EDX (*Energy Dispersive X-Ray*)

Adalah suatu metode analisis kadar elemen pada suatu permukaan material uji, digunakan bersama dengan alat SEM.

Frontal resorption

Resorpsi tulang di daerah yang berhadapan dengan ligamen periodontal.

Crystalite size

Ukuran besar butir kristal apatit, dinyatakan dalam nanometer (nm).

ICDD (International Conference on Diffraction Data)

Merupakan kumpulan data berbagai material yang sudah ditemukan di dun

Kristal

Suatu zat, substansi atau material yang tersusun dari atom atau molekul atau ion dalam suatu pola susunan yang teratur satu sama lainnya.

Micro strain

Regangan mikro yang terjadi pada kristal apatit karena perubahan struktur atau kedudukan atom akibat suatu perlakuan.

pH

Tingkat keasaman suatu material cair, dengan parameter konsentrasi ion hidrogen.

Perlakuan

Aktifitas intervensi yng diberikan pada spesimen material uji. Dalam penelitian ini adalah pemberian tekanan sebesar 300gram/cm² dan 600gram/cm² dengan durasi 5 (lima) hari dan 10 (sepuluh) hari.

Replacement resorption

Merupakan resorpsi tulang dengan derajat yang lebih parah, sehingga tulang menggantikan materi gigi yang teresorpsi dan diikuti dengan terjadinya ankilosis.

Resorpsi permukaan / *Surface resorption*

Resorpsi tulang atau sementum yang berjalan secara terbatas, area yang terkena kecil dan diikuti dengan perbaikan spontan dari daerah yang berdekatan dengan area resorpsi tersebut.

Resorpsi inflamasi

Resorpsi sementum yang terjadi karena perubahan keasaman cairan periodontal di dalam socket gigi sehingga resorpsi dapat cepat meluas hingga ke tubulus dentin.

Rotasi

Arah pergerakan gigi yang berputar pada sumbu giginya.

Saline

Suatu cairan fisiologis, mengandung 0,9 % NaCl

Torquing

Arah pergerakan akar gigi searah datangnya tekanan tanpa atau dengan diikuti pergerakan mahkota gigi.

Trace element

Substansi mineral yang dibutuhkan dalam jumlah kecil.

Undermining resorption

Resorpsi yang tidak terjadi pada tulang yang berhadapan dengan ligamen periodontal melainkan terjadi di belakang dan di atas zona hyalinisasi.

Zona hyalinisasi

Suatu zona jaringan yang mengalami nekrosis atau degenerasi struktur sel dan vaskuler.

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1 Analisis Data	80
Lampiran 2 Pernyataan Keterangan Lolos Uji Etik Penelitian	111
Lampiran 3 Publikasi Hasil Penelitian	112
Lampiran 4 Daftar Riwayat Hidup	113



BAB 1 PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Pergerakan gigi dalam perawatan ortodontik pada dasarnya membutuhkan ruang dan tekanan. Tekanan yang dimaksud disini adalah tekanan ortodontik, yaitu tekanan yang ditimbulkan oleh pemakaian piranti alat ortodontik cekat maupun lepasan. Tekanan yang dibutuhkan untuk menggerakkan gigi adalah tekanan optimal, dengan pengertian bahwa tekanan ortodontik yang diberikan dapat memberikan hasil pergerakan gigi yang maksimal tanpa menimbulkan kerusakan pada jaringan gigi dan jaringan pendukungnya. Sebaliknya, tekanan ortodontik yang tidak optimal justru tidak memberikan hasil sesuai yang diinginkan, dan bahkan dapat memunculkan reaksi-reaksi jaringan yang merugikan.¹

Ketika suatu tekanan ortodontik dikenakan pada gigi, jaringan gigi dan jaringan periodontal akan memberikan reaksi, dan pada akhirnya menghasilkan pergerakan gigi secara ortodontik. Selain reaksi-reaksi yang memang sudah diperkirakan muncul, adakalanya juga disertai dengan reaksi-reaksi iatrogenik. Adapun reaksi iatrogenik disini antara lain adalah meningkatnya risiko terjadinya karies, peradangan gingiva, kehilangan tulang alveolar, kerusakan permukaan email gigi, reaksi jaringan pulpa dan resorpsi akar gigi.¹

Resorpsi akar gigi adalah suatu konsekuensi patologis dari suatu pergerakan gigi secara ortodontik yang kadang tidak terelakkan. Dalam penelitian tentang faktor prediksi dan pencegahan resorpsi akar gigi, ditemukan bahwa pasien-pasien yang berasal dari Asia lebih sedikit yang mengalami resorpsi akar gigi dibandingkan pasien yang berkulit putih maupun kulit berwarna lainnya (hispanik).² Beberapa tahun sebelumnya, ditemukan bahwa resorpsi akar gigi yang teramati sesudah perawatan ortodontik selesai, ternyata sesudah beberapa tahun tidak mempengaruhi fungsi gigi yang bersangkutan.^{3,4} Temuan-temuan tersebut seakan menyiratkan bahwa kejadian resorpsi akar gigi bukanlah sesuatu yang

mengkhawatirkan. Namun demikian, kejadian resorpsi akar gigi tetap merupakan hal yang perlu mendapat perhatian bila ditemukan dikemudian hari. Terutama apabila hal tersebut menjadi keluhan, sehingga profesi kedokteran pada umumnya, dan profesi kedokteran gigi pada khususnya dapat menghadapi risiko berhadapan dengan tuntutan hukum.⁵

Hingga saat ini, pemeriksaan radiologis masih merupakan cara yang paling umum guna mendeteksi adanya resorpsi akar gigi. Hanya saja hal tersebut terdeteksi justru pada saat sudah 60-70% jaringan telah termineralisasi hilang karena resorpsi. Disimpulkan dari beberapa penelitian bahwa pemeriksaan radiografis bukanlah sarana yang memadai guna mendiagnosis secara akurat adanya resorpsi akar pada tahap dini. Hal ini terutama bila resorpsi terjadi pada permukaan bukal dan lingual, sekalipun resorpsi berat, tetap sulit dideteksi secara radiografis.^{5,6,7}

Penelitian Balducci menemukan adanya suatu biomarker dalam *Gingival Crevicular Fluid* yaitu *DSP (Dentin Sialo Protein)* dan *PP (Dentin Phosphophoryon)* yang dapat memonitor adanya resorpsi akar gigi sekaligus menunjukkan indikasi apakah proses resorpsi akar gigi tersebut masih berlangsung atau tidak.⁸ Namun temuan ini tampaknya belum umum dipakai. Sehingga pemeriksaan radiografis masih merupakan cara pemeriksaan adanya resorpsi akar gigi yang masih dipakai hingga saat ini.

Resorpsi akar gigi merupakan keadaan kehilangan jaringan sementum gigi yang dapat mengenai juga lapisan gigi dibawahnya yaitu jaringan dentin. Resorpsi akar gigi ini memiliki beberapa tingkat keparahan. Yang paling ringan adalah bila resorpsi hanya meliputi lapisan terluar sementum akar gigi. Kemudian lebih parah lagi, resorpsi dapat meliputi sementum hingga dentin. Pada tahap ini meskipun masih dapat melakukan reparasi diri, namun vitalitas gigi yang bersangkutan sudah terancam karena terbukanya jalan dari sementum ke arah dentin. Yang terparah adalah bila resorpsi akar gigi sudah menyeluruh sehingga mengakibatkan perubahan bentuk apikal akar gigi atau bahkan sudah mengurangi panjang akar gigi. Pada saat itu, regenerasi sementum sudah tidak mungkin terjadi, terutama bila kerusakan tersebut telah

menyebabkan hilangnya lapisan perisementum yang merupakan lapisan sel-sel sementogenik.⁹

Resorpsi akar gigi dikatakan terjadi akibat adanya multi faktor. Faktor – faktor tersebut adalah faktor biologis, faktor lokal, serta faktor mekanis. Faktor biologis yang diduga merupakan faktor risiko yang dapat menyebabkan terjadinya resorpsi akar gigi antara lain kelainan metabolik atau adanya penyakit sistemik, lalu faktor usia, faktor gender dan faktor genetik. Termasuk didalam hal ini adalah kelainan pembentukan sementum. Kondisi gigi dan jaringan periodontal tertentu juga dipercaya juga merupakan faktor lokal risiko terjadinya resorpsi akar gigi. Kondisi tersebut meliputi adanya trauma, kondisi struktur gigi dan akar gigi, kepadatan tulang alveolar, adanya gigi yang hilang, kedalaman sulkus periodontal, dan impaksi gigi sebelahnya.¹⁰

Faktor usia, yang diduga berpengaruh terhadap terjadinya resorpsi akar telah banyak diteliti, namun hasilnya berbeda-beda.^{2,10-15} Selain faktor usia, faktor gender juga diduga merupakan faktor risiko terjadinya resorpsi akar gigi, namun hal ini masih menjadi perdebatan.^{2,14,16,17} Faktor biologis lain yang diduga berperan dalam terjadinya resorpsi akar gigi yaitu faktor genetik. Meskipun pola penurunannya belum jelas, namun diduga yang berperan dalam terjadinya resorpsi akar gigi adalah protein *inflammatory cytokines*.^{17,18,19} *Bone turnover* yang rendah seringkali juga dikaitkan dengan terjadinya resorpsi akar gigi.²⁰

Sedangkan faktor lokal yang diduga berhubungan dengan terjadinya resorpsi akar gigi, antara lain keadaan jaringan periodontal yang kurang baik, seperti adanya trauma oklusi, adanya parafungsi serta adanya kebiasaan buruk atau habit seperti *tongue thrusting* dan *nailbiting*. Pada keadaan tersebut, jaringan periodontal mengalami kelebihan beban secara terus menerus, akibatnya sementum mengalami kerusakan dan lapisan dentin dibawahnya akan terbuka.²¹ Sedangkan faktor lokal adanya anomali gigi tidak dipandang memiliki risiko tinggi untuk terjadinya resorpsi akar gigi.²²

Faktor lokal lainnya yang diduga merupakan faktor risiko adalah impaksi gigi disebelah gigi yang teresorpsi. Impaksi gigi kaninus seringkali

menyebabkan akar gigi insisif lateral mengalami resorpsi, bahkan terkadang akar gigi insisif sentral juga ikut teresorpsi.^{23,24} Hal lain yang diduga berperan dalam terjadinya resorpsi akar gigi adalah bentuk apikal akar gigi. Gigi dengan ujung akar yang menyebar lebih berisiko terhadap terjadinya resorpsi akar gigi diikuti dengan ujung akar yang berbentuk pipet dan akar yang meruncing.^{2,16} Demikian pula gigi berakar panjang, dikatakan lebih rentan terhadap terjadinya resorpsi akar gigi karena gigi dengan akar panjang membutuhkan gaya yang lebih besar untuk bergerak dan perpindahan akar yang terjadi juga lebih besar selama pergerakan *tipping* dan *torquing*.²⁵

Selain itu, gigi yang mengalami trauma diduga memiliki risiko lebih besar mengalami resorpsi akar gigi dibanding dengan gigi tanpa trauma.²⁶ Gigi vital ternyata memiliki risiko mengalami resorpsi akar gigi lebih besar dibanding dengan gigi nonvital yang telah dirawat saluran akar.^{25,27} Hal ini juga terjadi pada gigi-gigi dengan pembentukan akar yang belum sempurna. Dikatakan hal ini karena adanya lapisan predentin yang tebal.

Faktor lain yang diduga berperan dalam terjadinya resorpsi sementum permukaan akar gigi adalah faktor mekanis perawatan ortodontik. Faktor mekanis dalam hal ini termasuk besarnya tekanan ortodontik, cara pemberian tekanan ortodontik, durasi pemberian tekanan ortodontik serta arah pemberian tekanan ortodontik.^{1,10,28,29} Penelitian oleh Mc Nab melaporkan bahwa kejadian perawatan ortodontik non ekstraksi dengan sistem ortodontik *Edgewise* lebih sedikit menyebabkan resorpsi akar gigi di bandingkan bila dirawat dengan sistem ortodontik *Begg*.²⁹ Tampaknya mekanisme sistem perawatan ortodontik juga berperan dalam meningkatkan faktor risiko resorpsi akar gigi.

Hubungan antara berbagai besar tekanan ortodontik dengan kejadian resorpsi akar gigi telah banyak diteliti. Disimpulkan bahwa makin besar tekanan ortodontik, akan menyebabkan risiko terjadinya resorpsi akar gigi menjadi lebih besar.^{9,30,31} Penelitian mengenai hubungan antara terjadinya resorpsi akar gigi akibat tekanan ortodontik dengan durasi perawatan juga telah banyak dilakukan. Hasilnya memperlihatkan bahwa durasi pemberian tekanan ortodontik yang semakin lama akan memperparah terjadinya resorpsi

pada sementum akar gigi.^{6,32,33} Lebih jauh lagi dikatakan bahwa semakin besar tekanan disertai semakin lamanya durasi pemberian tekanan ortodontik akan meningkatkan risiko resorpsi akar gigi.^{34,35}

Faktor mekanik lain sehubungan dengan tekanan ortodontik yang juga harus diperhatikan adalah cara pemberian tekanan. Dikatakan bahwa tekanan ortodontik yang bersifat diskontinyu lebih sedikit berisiko terjadinya resorpsi akar gigi daripada tekanan ortodontik secara kontinyu. Diduga hal ini dikarenakan adanya periode istirahat pada cara pemberian tekanan ortodontik diskontinyu yang memberi kesempatan guna memperbaiki sirkulasi pada jaringan periodontal sehingga memungkinkan terjadinya reparasi diri jaringan sementum akar gigi.³⁶⁻³⁷

Faktor mekanis lainnya yang dapat menyebabkan resorpsi akar adalah tipe pergerakan gigi. Tipe pergerakan gigi dalam hal ini memiliki makna arah pemberian tekanan. Dikatakan bahwa tipe pergerakan *tipping*, intrusi dan *torquing* merupakan tipe pergerakan gigi yang paling sering menyebabkan terjadinya resorpsi akar gigi.³⁸⁻⁴¹ Lebih jauh lagi, tahun 2011 Bartley N melaporkan bahwa risiko terjadinya resorpsi akar gigi semakin besar pada tipe pergerakan *torque* akar gigi yang sudutnya lebih besar.⁴² Sebelum itu, Mauricio (2006) dalam penelitiannya secara *in vivo* menemukan terjadinya resorpsi akar pada gigi premolar yang digerakkan akarnya (gerakan *torquing*) secara kontinyu.⁴³ Selain tipe-tipe pergerakan gigi tersebut diatas, Wu ATJ pada penelitiannya yang mengukur volume resorpsi akar gigi sesudah pergerakan rotasi, menemukan bahwa tekanan rotasi yang besar cenderung lebih berisiko terhadap terjadinya resorpsi akar gigi dibandingkan bila yang digunakan adalah tekanan rotasi ringan.⁴⁴

Resorpsi akar gigi akibat tekanan ortodontik dipercaya terjadi akibat respon biologis yang cukup kompleks yang saling berkaitan satu dengan yang lainnya. Beberapa penulis menyatakan resorpsi akar gigi diketahui sebagai suatu reaksi inflamasi lokal terhadap adanya tekanan ortodontik (*cit Brezniak,1993*).⁸ Dalam hal ini, tekanan ortodontik merupakan suatu stimulan mekanis, yang apabila diberikan melebihi daya tahan jaringan, maka stimulan tersebut dianggap sebagai suatu bentuk antigen yang

direspons oleh tubuh dengan suatu reaksi yang dapat menyebabkan turunnya pH cairan jaringan setempat. Keasaman akibat turunnya pH cairan jaringan setempat inilah yang menyebabkan gugus hidroksiapatit dalam jaringan sementum mengalami disolusi fisiko kimiawi, yaitu proses demineralisasi sementum.⁴⁵ Selain merupakan suatu proses inflamasi, resorpsi akar gigi juga dapat terjadi akibat aktifitas reaksi imun. Tekanan ortodontik dikatakan dapat menimbulkan munculnya reaksi imun dengan memicu enzim atau sitokin yang kemudian akan mengubah prementoklas menjadi sementoklas yang akan melakukan resorpsi dengan mengeluarkan enzim fosfatase.⁴⁵

Secara histologis, para ahli sepakat bahwa resorpsi akar gigi merupakan bagian dari proses eliminasi zona hyalinisasi yang dilakukan oleh sel-sel makrofag. Pada saat proses eliminasi itulah permukaan perisementum yang terdekat mengalami kerusakan sehingga terbukalah jalan menuju jaringan sementum yang padat mineral. Selanjutnya terjadilah resorpsi sementum akar gigi. Sel-sel yang terlibat aktivitas ini selain *mononucleated macrophage like cells*, juga terdapat *multinucleated TRAP positive giant cells without ruffled border*. Sel-sel ini mungkin adalah suatu osteoklas atau odontoklas yang terlibat dalam aktivitas eliminasi jaringan nekrotik (*cit Brezniak, 1993*).⁹

Sementum sebagai salah satu jaringan keras dalam tubuh manusia, memiliki struktur yang menyerupai tulang meskipun tidak memiliki kekerasan seperti halnya tulang, dentin dan email. Hal ini memang karena kandungan unsur anorganiknya yaitu hidroksiapatit, $\text{Ca}_{10}[\text{PO}_4]_6[\text{OH}]_2$, hanya 45% - 50% tidak seperti halnya tulang (65%), email (97%) dan dentin (70%).^{46,47} Adapun komposisi kandungan mineralnya, sekalipun dikatakan menyerupai tulang, namun belum ada keterangan yang jelas. Terdiri dari Ca, P, CO_2 , Na, Mg, Cl, K, F, Fe, Zn, Sr. Sama halnya dengan tulang, pada gambaran mikroskopik sementum memiliki serat kolagen yang terdapat pada lamela sementum. Serat kolagen tersebut mengandung molekul-molekul kolagen, air dan kristal-kristal mineral dalam tingkat nanometer. Dikatakan pula, kristal mineral yang terdapat dalam tulang atau sementum adalah kristal karbonat apatit yang disebut *dahlite*, berbentuk prisma heksagonal.^{46,47,48}

Beberapa peneliti terdahulu meyakini bahwa kandungan mineral jaringan sementum memiliki pengaruh terhadap kemungkinan terjadinya resorpsi akar gigi (*cit Rex*).⁴⁹ Ditemukan juga bahwa sementum aseluler yang lebih termineralisasi lebih tahan terhadap resorpsi dibandingkan sementum seluler di daerah 2/3 akar gigi sampai dengan apeks.¹³

Kepadatan dan kekerasan jaringan sementum mempengaruhi kerentanan dalam terjadinya resorpsi akar gigi. Makin padat dan keras sementum, makin sulit terjadi resorpsi akar gigi. Karena kekerasan mikro permukaan sementum ditemukan mempunyai hubungan kuat dengan komposisi mineral pada jaringan, maka dapat disimpulkan bahwa sementum yang tinggi kadar mineralnya akan lebih tahan terhadap resorpsi akar gigi.^{48,50}

Temuan-temuan tersebut di atas menyiratkan bahwa jika terjadi resorpsi sementum akar gigi maka sesungguhnya yang terjadi adalah perubahan susunan mineral sementum, atau dengan kata lain telah terjadi deformasi sementum.

Seperti telah disebutkan sebelumnya, penelitian mengenai resorpsi akar gigi akibat perawatan ortodontik telah banyak dilakukan. Penelitian-penelitian tersebut pada umumnya dilakukan secara *in vivo*, dan dilakukan dengan tekanan ortodontik yang bervariasi, baik besaran, cara pemberian tekanan ataupun durasi pemberian tekanan.⁵

Penelitian-penelitian yang sudah dilakukan secara *in vivo* tersebut sulit dibandingkan hasil dan kesimpulannya karena metode penelitian yang digunakan bervariasi. Hingga saat ini masih belum jelas hubungan sebab akibat antara pemakaian tekanan ortodontik dengan kejadian resorpsi akar gigi. Tekanan ortodontik yang sama besarnya tidak memberikan reaksi yang sama pada sementum gigi yang berbeda.⁵

Ada dugaan bahwa resorpsi akar merupakan mekanisme lokal guna mengurangi kekuatan tekanan dengan jalan memperluas area jaringan periodontal. Ada pula anggapan bahwa resorpsi akar gigi adalah suatu efek samping adanya inflamasi yang ditimbulkan oleh penempatan tekanan ortodontik. Bahkan ada yang beranggapan bahwa resorpsi akar gigi merupakan suatu adaptasi akar gigi yang normal sesudah bertahun-tahun.

Ataukah resorpsi akar gigi semata-mata merupakan reaksi atas hilang atau rusaknya integritas lapisan sementum (*cit Brezniak, 2000*).⁵¹ Sampai saat ini, belum ada suatu penelitian yang melihat apa yang sesungguhnya terjadi pada mikrostruktur jaringan sementum gigi bila diberi suatu tekanan ortodontik. Diharapkan dengan akan dilakukannya analisis terhadap akibat pemberian tekanan pada permukaan jaringan sementum, dapat dijelaskan proses terjadinya suatu resorpsi sementum akar gigi.

1.2 Rumusan Masalah

Banyak penelitian sudah dilakukan guna memahami fenomena resorpsi akar gigi. Penelitian-penelitian tersebut umumnya dilakukan secara *in vivo* pada manusia atau hewan percobaan. Penelitian-penelitian terdahulu sulit dibandingkan hasil dan kesimpulannya karena perbedaan metode penelitian, sampel ataupun jenis perlakuan. Guna mengantisipasi faktor-faktor individual yang mungkin mempengaruhi hasil penelitian, dirasa perlu untuk melakukan penelitian secara *in vitro* guna mengetahui perubahan mikrostruktur jaringan sementum yang mungkin terjadi sebagai akibat adanya tekanan ortodontik pada permukaan akar gigi. Dalam hal ini aplikasi asam fosfat dipandang dapat mewakili proses disolusi fisikokimiawi yang sesungguhnya terjadi pada keadaan *in vivo*.

Sekalipun sudah ada penelitian yang menyimpulkan bahwa kepadatan dan kekerasan mikro permukaan jaringan sementum mempengaruhi kerentanan terhadap terjadinya resorpsi akar gigi,⁴⁹ namun perlu dipertanyakan apakah tekanan ortodontik dapat menyebabkan terjadinya perubahan kekerasan mikro permukaan sementum sebagai manifestasi adanya deformasi akibat adanya tekanan ortodontik. Lebih jauh lagi perlu dipertanyakan apakah berbagai besaran tekanan, dan berbagai durasi tekanan ortodontik menyebabkan perbedaan reaksi mikrostruktur jaringan sementum. Perlu dipertanyakan pula perlakuan mana yang berpengaruh pada perubahan sementum akar gigi.

1.3 Pertanyaan Penelitian

1.3.1 Pertanyaan Umum

Apakah pemberian tekanan ortodontik menimbulkan perubahan pada mikrostruktur jaringan sementum gigi.

1.3.2 Pertanyaan Khusus

1.3.2.1 Apakah ada perbedaan perubahan kekerasan mikro permukaan mikrostruktur jaringan sementum setelah pemberian tekanan ortodontik dengan besar dan durasi pemberian tekanan yang berbeda.

1.3.2.2 Apakah ada perbedaan perubahan gambaran permukaan mikrostruktur jaringan sementum setelah pemberian tekanan ortodontik dengan besar dan durasi pemberian tekanan yang berbeda.

1.3.2.3 Apakah ada perbedaan perubahan prosentase elemen mikrostruktur permukaan jaringan sementum setelah pemberian tekanan ortodontik dengan besar dan durasi pemberian tekanan yang berbeda.

1.3.2.4 Apakah ada perbedaan perubahan jarak antar bidang kristal apatit permukaan jaringan sementum setelah pemberian tekanan ortodontik dengan besar dan durasi pemberian tekanan yang berbeda.

1.3.2.5 Apakah ada perbedaan perubahan ukuran butir kristal apatit jaringan sementum setelah pemberian tekanan ortodontik dalam besar dan durasi pemberian tekanan yang berbeda.

1.3.2.6 Apakah ada perbedaan perubahan regangan mikro kristal apatit jaringan sementum setelah pemberian tekanan ortodontik dengan besar dan durasi pemberian tekanan yang berbeda.

1.4 Tujuan dan Manfaat Penelitian

1.4.1 Tujuan Umum

Menganalisis pengaruh pemberian tekanan ortodontik terhadap perbedaan perubahan mikrostruktur permukaan jaringan sementum.

1.4.2 Tujuan Khusus

- 1.4.2.1 Menganalisis perbedaan perubahan kekerasan mikro permukaan jaringan sementum setelah pemberian tekanan ortodontik dengan besar dan durasi pemberian tekanan yang berbeda.
- 1.4.2.2 Menganalisis perbedaan perubahan gambaran permukaan mikrostruktur jaringan sementum setelah pemberian tekanan ortodontik dengan besar dan durasi pemberian tekanan yang berbeda.
- 1.4.2.3 Menganalisis perbedaan perubahan prosentase elemen mikrostruktur permukaan jaringan sementum pemberian tekanan ortodontik dengan besar dan durasi pemberian tekanan yang berbeda.
- 1.4.2.4 Menganalisis perbedaan perubahan jarak antar bidang kristal apatit jaringan sementum setelah pemberian tekanan ortodontik dengan besar dan durasi tekanan yang berbeda.
- 1.4.2.5 Menganalisis perbedaan perubahan ukuran butir kristal apatit jaringan sementum setelah pemberian tekanan ortodontik dengan besar dan durasi tekanan yang berbeda.
- 1.4.2.6 Menganalisis perbedaan perubahan regangan mikro kristal apatit jaringan sementum setelah pemberian tekanan ortodontik dengan besar dan durasi pemberian tekanan yang berbeda.

1.4.3 Manfaat Penelitian

Hasil penelitian diharapkan dapat bermanfaat bagi :

1.4.3.1 Bidang Ilmu

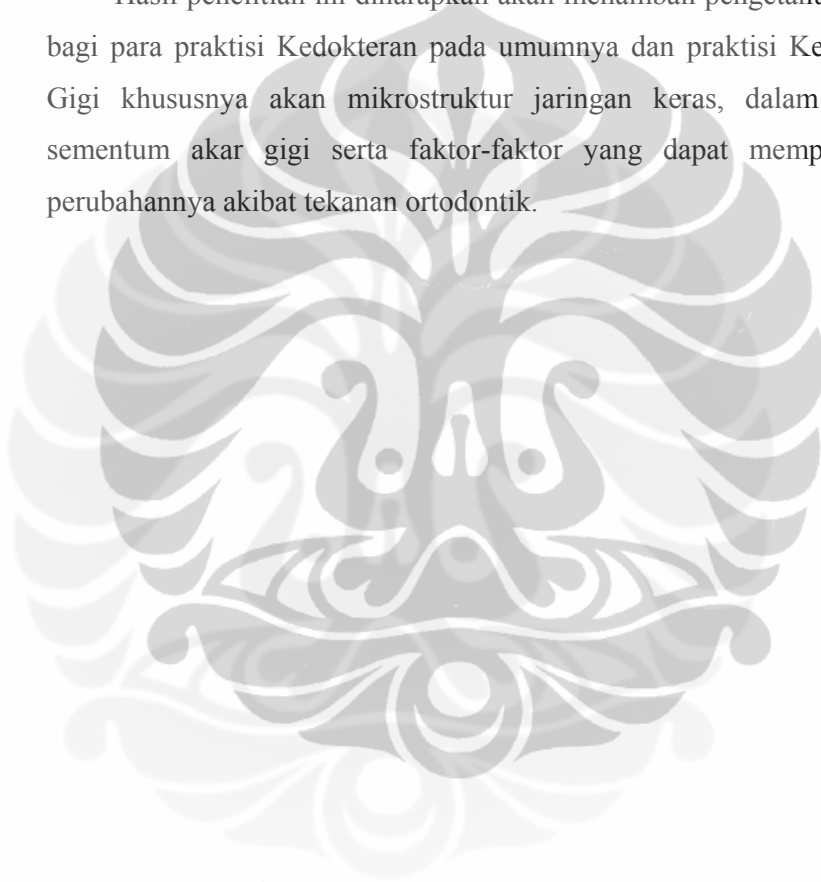
- a. Meningkatkan pemahaman mengenai perubahan mikrostruktur jaringan sementum gigi akibat tekanan ortodontik.
- b. Sebagai referensi bagi penelitian lanjutan mengenai pengaruh tekanan ortodontik pada mikrostruktur jaringan sementum secara *in vivo*.

1.4.3.2 Institusi Pendidikan

- a. Sebagai bagian dari pengembangan penelitian di bidang Ilmu Kedokteran Gigi, khususnya Ortodontik.
- b. Menunjang program Universitas Indonesia dalam pengembangan teknologi nano.

1.4.3.3 Masyarakat

Hasil penelitian ini diharapkan akan menambah pengetahuan dasar bagi para praktisi Kedokteran pada umumnya dan praktisi Kedokteran Gigi khususnya akan mikrostruktur jaringan keras, dalam hal ini sementum akar gigi serta faktor-faktor yang dapat mempengaruhi perubahannya akibat tekanan ortodontik.



BAB 2

TINJAUAN PUSTAKA

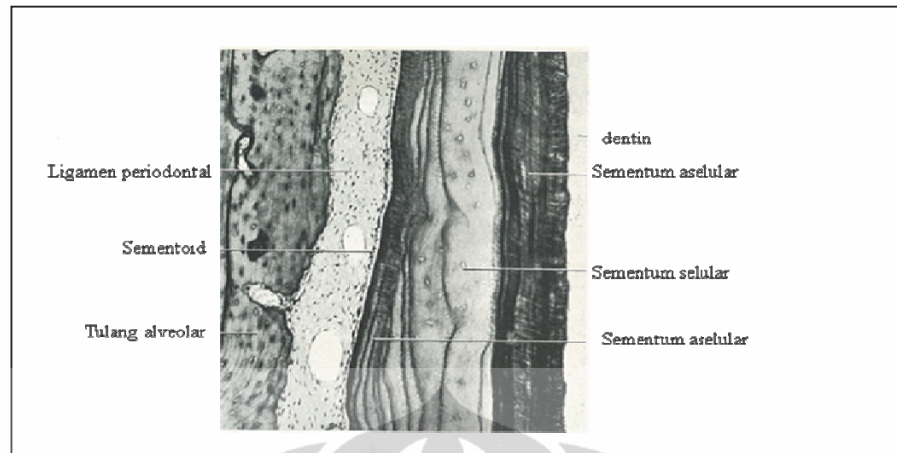
2.1 Sementum

Sementum merupakan salah satu jaringan keras gigi berupa suatu lapisan tipis jaringan termineralisasi yang menyelubungi dentin suatu akar gigi.^{50,51} Dikatakan bahwa lapisan sementum memiliki kemampuan intrinsik untuk melindungi jaringan dentin terhadap proses demineralisasi karena asam.⁴⁷

Tidak seperti jaringan termineralisasi lainnya, sementum tidak begitu menarik perhatian para peneliti. Sementum memiliki ketebalan berbeda-beda pada bagian akar gigi, dan yang paling tebal terdapat di daerah apikal akar serta daerah inter-radikular (50-200 nm). Sementara ketebalan sementum di daerah servik gigi adalah 10-15 nm.⁴⁷ Ketebalan sementum pada kasus dengan penyakit periodontal dikatakan lebih tipis dari pada sementum pada permukaan akar gigi yang sehat, dilihat dengan *Scanning Electrone Microscope*.⁵²

Sementum terbentuk secara perlahan sepanjang hidup. Umumnya terdapat dua jenis, yaitu sementum aseluler dan sementum seluler. Kedua jenis sementum tersebut mengandung serat-serat kolagen dan juga matrik interfibrilari yang terkalsifikasi. Serat-serat kolagen dalam sementum berasal dari dua sumber. Yang pertama adalah dari serat *Sharpey*, merupakan bagian suatu ligamen periodontal yang dibentuk oleh fibroblas (sumber ekstrinsik). Sumber kedua adalah serat-serat yang berasal dari matrik sementum yang dibentuk oleh sementoblas (sumber intrinsik).^{46,47}

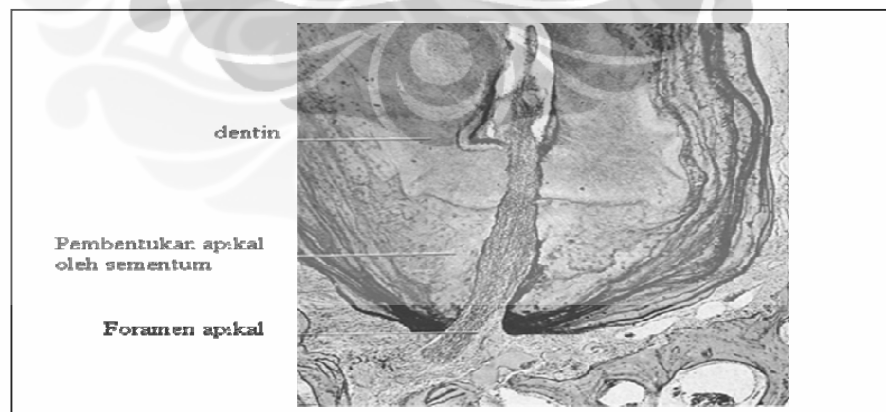
Baik sementum aselular maupun selular terletak teratur dalam lamela-lamela yang dipisahkan oleh garis-garis paralel sumbu panjang akar gigi. Garis-garis ini menggambarkan adanya periode istirahat pada saat pembentukan sementum dan juga merupakan tanda adanya perbedaan mineralisasi pada tiap lamela sementum. Lihat gambar 2.1.^{47,53}



(diambil dari Bhaskar,1990)

Gambar 2.1 Gambaran sementum aseluler dan sementum seluler.⁵³

Secara umum, sementum aseluler banyak terdapat pada setengah panjang akar ke arah mahkota gigi. Sedangkan sementum seluler biasanya terletak pada setengah panjang akar ke arah ujung akar. Adanya sementum seluler pada daerah apikal akar gigi berperan dalam penebalan sementum di daerah tersebut. Penebalan sementum seluler pada apikal akar gigi adalah dalam rangka mengkompensasi pertumbuhan gigi ke arah oklusal. Terlihat pada gambar 2.2.⁵³



(Diambil dari Bashkar, 1990)

Gambar 2.2. Penebalan sementum pada bagian apikal gigi yang berperan terhadap panjang akar .⁵³

Sementum dikatakan memiliki komposisi kimia dan sifat fisik seperti tulang. Sementum bersifat avaskuler dan tidak memiliki persyarafan.^{5,53}

2.1.1 Sifat Fisik Sementum

Sementum berwarna kuning pucat dengan permukaan suram, tetapi lebih halus daripada dentin. Permeabilitas jaringan sementum bervariasi tergantung dari usia dan tipe sementum. Permeabilitas sementum seluler lebih tinggi daripada permeabilitas sementum aseluler. Secara umum, permeabilitas jaringan sementum lebih tinggi dibanding jaringan dentin. Sama halnya pada jaringan dental lainnya, sifat permeabilitas akan menurun seiring dengan penambahan usia.^{47,53}

Kandungan unsur organik sementum lebih rendah dari tulang (65%), dentin (70%), email (97%), maka sementum tidak sekeras email ataupun jaringan keras lainnya. Karena sifatnya yang cenderung lunak dan tipis, maka jaringan sementum akan mudah hilang akibat abrasi bila terjadi resesi gingiva. Hilangnya sementum ini akan menyebabkan terbukanya jaringan dentin.^{47,53}

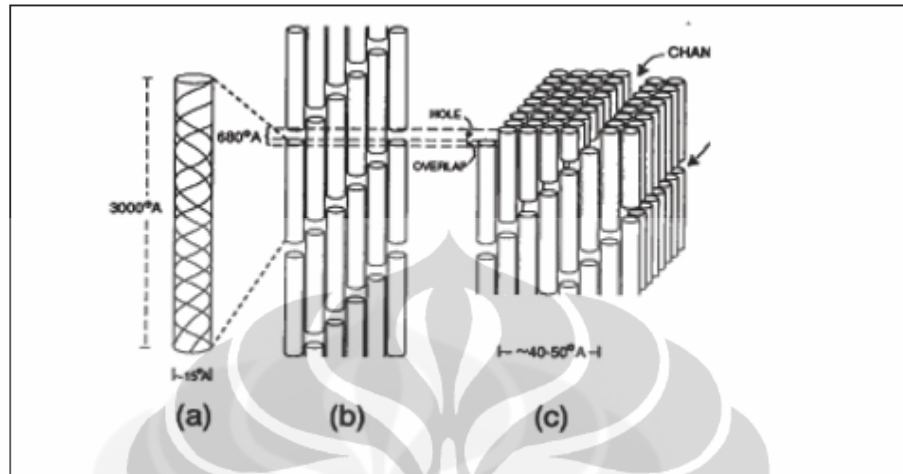
2.1.2 Sifat Kimia Sementum

Sementum kira-kira terdiri dari 65% unsur anorganik (hidroksiapatit) dan 23% sisanya adalah unsur organik (serat kolagen dan matrik non kolagen) dan mengandung 12% air.^{47,53}

Serat kolagen terbanyak adalah kolagen tipe I yang merupakan 90% dari komponen organik. Kolagen lain yang terkait adalah kolagen tipe III, yaitu suatu kolagen yang tidak terjalin silang dan ditemukan dalam konsentrasi tinggi selama perkembangannya, perbaikan serta regenerasi jaringan sementum. Selain kolagen tipe I dan tipe III, terdapat juga kolagen tipe V, tipe XII, dan tipe XIV. Lihat Gambar 2.3.^{46,54}

Selain serat kolagen, unsur organik lainnya adalah protein non kolagen seperti yang ditemukan pada tulang, yaitu alkaline fosfatase,

sialoprotein tulang, fibronektin, osteokalsin, osteonektin, osteopontin, proteoglikan, proteolipid, dan beberapa macam faktor pertumbuhan.^{47,53}



(diambil dari Weiner.S & Traub, 1986)

Gambar 2.3 Ilustrasi skematik yang menampilkan struktur kolagen tipe 1.⁵⁴

Adapun komposisi mineral kandungannya, sekalipun dikatakan menyerupai tulang, namun belum ada keterangan yang jelas. Terdiri dari *Ca*, *P* (sebagai PO_4^{3-} dan HPO_4^{2-}), *P* (sebagai pyrofosfat), CO_2 (sebagai karbonat), *Na*, *Mg*, *Cl*, *K*, *F*, *Fe*, *Zn*, *Sr*.⁴⁸

Seperti halnya dengan email, konsentrasi konstituen atau *trace element* pada sementum, cenderung lebih tinggi pada daerah permukaan luar. Misalnya, dalam hal Fluor, konsentrasi Fluor dalam jaringan sementum aseluler lebih tinggi daripada dalam sementum seluler.^{47,53}

Tahun 2005, Rex melaporkan hasil penelitiannya tentang komposisi mineral dalam sementum gigi. Ditemukan bahwa terdapat variasi inter individual yang sangat luas dalam hal konsentrasi Kalsium, Fosfat dan Fluor dalam sementum. Konsentrasi *Ca*, *P* dan Fluor menurun dari arah servikal ke apikal. Konsentrasi *Ca*, *P* dan Fluor tidak berbeda diantara permukaan bukal dan lingual, hanya saja konsentrasi Fluor di daerah servikal bukal lebih tinggi. Sebaliknya *Ca* dan *P* meningkat dari sepertiga luar ke sepertiga dalam pada sementum di servikal ke 1/3 apikal akar gigi.⁴⁹ Bila dibandingkan dengan tulang, maka lapisan permukaan

sementum lebih banyak mengandung fluor daripada jaringan tulang. Hal ini dikatakan menyebabkan kristal mineral pada sementum lebih stabil dan tahan terhadap disolusi karena asam yang dihasilkan oleh sel-sel klas.⁵⁴

Selanjutnya, pada tahun 2006 Rex meneliti konsentrasi Ca, P dan F pada gigi premolar yang telah dicabut setelah pemberian tekanan yang ringan (25 gram/cm^2) dan pemberian tekanan yang berat (225 gram/cm^2). Hasilnya memperlihatkan bahwa pemberian tekanan ortodontik menyebabkan perubahan prosentase mineral sementum. Prosentase mineral sementum setelah pemberian tekanan yang ringan memperlihatkan sedikit perubahan. Tekanan yang ringan memperlihatkan kecenderungan peningkatan prosentase Ca, P dan F pada area ligamen peridontal yang terkompresi. Lebih jauh, pemberian tekanan yang berat akan menyebabkan penurunan prosentase Ca sementum pada area ligamen periodontal yang teregang. Namun, pada area ligamen periodontal yang tertekan terdapat peningkatan prosentase P pada sementum.⁵⁵

2.1.3 Sifat Mekanis Sementum

Sementum memiliki kekerasan mikro permukaan dan modulus elastisitas yang berbeda pada kedua jenis sementum. Sementum selular, karena kurang terkalsifikasi seperti sementum aselular, dikatakan memiliki kekerasan mikro permukaan dan modulus elastisitas yang lebih rendah daripada sementum aselular.⁵⁶

Tidak banyak peneliti yang sudah meneliti kekerasan mikro permukaan jaringan sementum. Tahun 2001 Malek menyatakan kekerasan mikro permukaan sementum selular (di daerah apikal gigi) adalah $0.29 \pm 0.12 \text{ Gpa}$. Sedangkan sementum aselular (di daerah servikal gigi) memiliki kekerasan mikro permukaan sementum $0.59 \pm 0.05 \text{ Gpa}$ dan modulus elastisitas $9.9 \pm 1.5 \text{ Gpa}$.⁵⁶ Kemudian tahun 2004 Cirano menyatakan bahwa pada gigi kaninus sehat ditemukan kekerasan mikro permukaan jaringan sementum akar sebesar 19,70 VHN. Dikatakan bahwa ini mirip dengan yang ditemukan oleh Warren yaitu kekerasan mikro permukaan sementum tanpa adanya penyakit periodontal adalah 20 VHN,

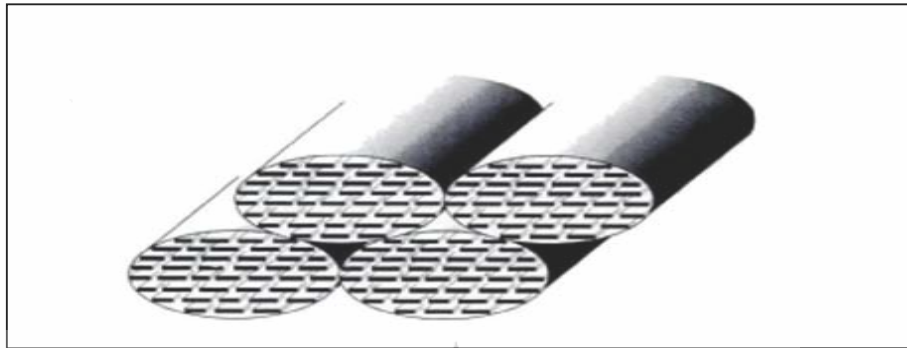
sedangkan bila disertai dengan penyakit periodontal adalah 17 VHN (*cit Cirano*).⁵⁷

Srivicharnkul pada tahun 2005, meneliti kekerasan mikro permukaan dan modulus elastisitas sementum gigi premolar pada 2(dua) kelompok. Kelompok kontrol yaitu gigi premolar yang tidak diberi tekanan. Kelompok yang diberi perlakuan adalah gigi premolar yang diberi tekanan, baik tekanan yang ringan maupun tekanan yang berat. Pemberian tekanan yang ringan disini yakni sebesar 25 gram/cm², sedangkan pemberian tekanan yang berat yakni sebesar 225 gram/cm². Hasil penelitiannya menunjukkan kekerasan mikro permukaan dan modulus elastisitas sementum menurun dari area servikal ke area apikal pada permukaan bukal dan lingual gigi premolar yang tidak diberi tekanan. Penurunan yang sama juga terjadi pada kelompok gigi yang diberi tekanan, baik tekanan yang ringan ataupun tekanan yang berat dan tidak terdapat perbedaan secara statistik antara kelompok kontrol dan kelompok perlakuan.⁵⁸

2.1.4 Gambaran Mikrostruktur Sementum

Sementum dikatakan memiliki struktur menyerupai tulang. Tulang sendiri memiliki tingkatan struktur yang kompleks. Pada tingkat struktur mikro, terlihat sebagai tulang kortikal dan tulang *cancellous*. Setingkat dibawahnya adalah Osteon (trabekula pada skala sub-milimeter/ μm). Kemudian pada tingkat mikron, terdapat lamela-lamela. Di dalam lamela-lamela inilah terdapat serat-serat kolagen. Adapun serat kolagen mengandung molekul-molekul kolagen, air dan kristal-kristal mineral, dalam tingkat nanometer.^{46,47}

Fibril kolagen yang sudah termineralisasi akan tersusun dalam lamela-lamela yang memiliki ketebalan kurang dari satu mikron sampai dengan beberapa mikron. Fibril kolagen dalam bentuk lamela, tersusun dalam alur-alur yang paralel, sehingga susunannya menyerupai struktur kayu lapis (*plywood-like structure*). Lihar Gambar 2.4.⁵⁴



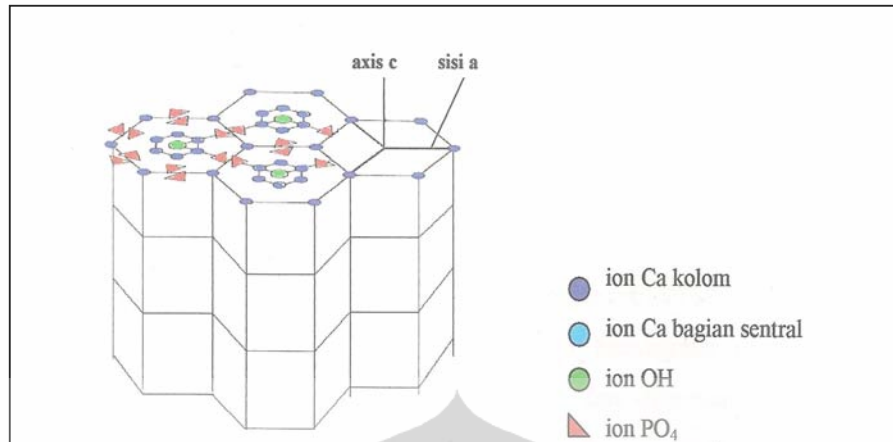
(diambil dari Weiner.S & Traub, 1992)

Gambar 2.4 Ilustrasi skematik potongan transversal 4 buah fibril yang memperlihatkan organisasi kristal dalam lapisan-lapisan yang searah.⁵⁴

Komponen anorganik mineral sementum, seperti halnya tulang, dentin dan email, adalah hidroksiapatit (HA). Namun selain HA, terdapat juga bentuk-bentuk lain dari kalsium dalam tingkatan yang lebih tinggi bila dibandingkan dengan yang terkandung dalam email atau dentin.

Kristal hidroksiapatit dalam mikrostruktur jaringan sementum, bentuk dan ukurannya lebih kecil daripada yang terdapat dalam email misalnya. Ukuran maksimal adalah $40 \times 20 \times 2$ nm, sumbu panjangnya biasanya terletak paralel dengan serat-serat kolagen dalam sementum.⁵⁹

Kristal mineral yang terdapat dalam tulang atau sementum adalah kristal karbonat apatit yang disebut *dahlite*, berbentuk prisma heksagonal. Dalam bentuk makroskopik, kristal tersebut berbentuk *plate-like*, tipis, kadang menyerupai tablet, berukuran sangat kecil ($50 \times 25 \times 1.5 \sim 4$ nm). Terlihat pada gambar 2.5.⁴⁸



(diambil dari Gunawan,2006)

Gambar 2.5 Kristal apatit yang berbentuk heksagonal, kedudukan ion Ca, PO₄ dan OH serta arah axis c dan sisi a.⁶⁰

2.2 Resorpsi Akar Gigi

Resorpsi akar gigi merupakan rusaknya jaringan sementum yang dapat berlanjut hingga jaringan dentin gigi. Berdasarkan tingkat keparahannya, resorpsi akar gigi dapat dibagi menjadi 3 tipe yakni resorpsi permukaan (*surface resorption*), resorpsi inflamasi (*inflammatory resorption*) dan *replacement resorption*. Resorpsi permukaan adalah resorpsi yang berjalan secara terbatas, area yang terkena kecil dan diikuti dengan perbaikan spontan dari daerah yang berdekatan dengan area resorpsi tersebut. Sedangkan pada resorpsi inflamasi, area yang terkena sudah lebih luas hingga ke tubulus dentin. *Replacement resorption* merupakan resorpsi dengan derajat yang lebih parah, dimana tulang telah menggantikan materi gigi yang teresorpsi dan diikuti dengan terjadinya ankilosis (cit Brezniak).⁹

Tingkat keparahan resorpsi permukaan akar gigi juga diklasifikasikan oleh Graber. Berbeda dengan Brezniak, Graber membagi keparahan resorpsi akar gigi menjadi resorpsi permukaan akar superfisial dan resorpsi akar apikal. Resorpsi akar superfisial adalah resorpsi akar dengan area teresorpsi kecil dan bersifat reversibel sedangkan resorpsi

akar apikal bersifat irreversible dan menyebabkan panjang gigi menjadi berkurang.¹

Selain resorpsi akar gigi yang bersifat patologis, resorpsi akar dapat juga bersifat fisiologis, seperti misalnya resorpsi akar gigi sulung yang terjadi sebagai bagian dari proses erupsi gigi permanen pengganti. Dalam hal ini resorpsi umumnya terjadi dimulai dari area apikal gigi sulung hingga area servikal gigi sulung tersebut.

2.2.1 Faktor Risiko Resorpsi Akar Gigi

Resorpsi akar gigi terjadi akibat ketidakseimbangan kemampuan resistensi dan perbaikan jaringan periodontal terhadap gaya yang terjadi pada akar gigi.¹² Studi literatur yang dilakukan oleh Brezniak dan Wasserstein menyatakan, resorpsi akar gigi ini kemungkinan terjadi akibat adanya faktor biologis, faktor lokal kondisi gigi dan jaringan pendukung serta faktor mekanis. Faktor biologis antara lain adalah adanya kelainan metabolik atau adanya penyakit sistemik, faktor usia, faktor gender dan faktor genetik. Selain faktor biologis, kondisi gigi dan jaringan pendukung yang kurang menguntungkan diduga berperan dalam terjadinya resorpsi akar gigi. Faktor-faktor tersebut meliputi adanya trauma, kondisi tertentu pada struktur gigi dan akar, densitas tulang alveolar, adanya gigi yang hilang serta impaksi dari gigi sebelahnya.⁹ Sedangkan faktor mekanis yang diduga berperan dalam terjadinya resorpsi akar gigi dalam hal ini adalah tekanan ortodontik.

Telah banyak penelitian dilakukan untuk melihat pengaruh faktor-faktor biologis terhadap terjadinya resorpsi akar gigi. Penelitian tentang pengaruh usia terhadap terjadinya resorpsi akar gigi telah banyak dilakukan. Namun dengan hasil yang berbeda-beda. Henry (1951), Massler (1954) serta Sameshima (2001) menemukan pasien dewasa lebih rentan terjadi resorpsi akar gigi. Hal ini dihubungkan dengan penurunan respon aktivitas seluler yang terjadi pada orang dewasa, dimana membran periodontalnya menjadi kurang vaskuler, kepadatan tulang bertambah dan adanya pelebaran sementum.^{2,13,14} Tahun 1990, Harris dalam penelitiannya

pada sekelompok orang dewasa dan anak muda menyimpulkan bahwa semakin dewasa seseorang, risiko terjadi resorpsi akar tidak otomatis menjadi semakin besar. Itu semua tergantung pada keadaan seseorang di awal perawatan. Sedangkan McFadden (1989), Beck (1994) serta Nigul (2006) menyatakan usia pasien ternyata tidak berpengaruh terhadap terjadinya resorpsi akar gigi.^{15,16,61}

Faktor lain yang diduga berperan terhadap terjadinya resorpsi akar gigi adalah faktor jenis kelamin. Penelitian yang dilakukan oleh Massler (1954), Harris (1997), Sameshima (2001) serta Nigul (2006) menyatakan tidak ada perbedaan resorpsi akar yang terjadi pada pria dan wanita.^{2,14,16,17}

Selain usia dan jenis kelamin, diduga faktor genetik berperan dalam terjadinya resorpsi akar gigi. Newman pada tahun 1975 mencoba meneliti pengaruh faktor genetik terhadap terjadinya resorpsi akar gigi. Hasil penelitian menyatakan terjadinya resorpsi akar gigi mungkin dipengaruhi oleh faktor genetik, namun pola penurunannya masih belum jelas.⁴⁷ Hubungan faktor genetik dengan terjadinya resorpsi akar gigi juga diteliti lebih lanjut oleh Al Qawasmi pada tahun 2003. Dinyatakan bahwa penurunan produksi IL-1 β berhubungan dengan terjadinya resorpsi akar gigi. IL-1 β merupakan protein *proinflammatory cytokines* yang dihasilkan oleh gen IL-1 dan berperan dalam proses resorpsi tulang. Dikatakan bahwa penurunan produksi IL-1 β akan menyebabkan proses resorpsi pada tulang kortikal berkurang sehingga tekanan pada akar gigi menjadi lebih lama dan diduga menyebabkan resorpsi akar gigi.¹⁹

Seperti telah disebutkan sebelumnya, selain faktor biologis terdapat beberapa keadaan gigi dan jaringan pendukung yang diduga berperan dalam terjadinya resorpsi akar gigi. Gigi yang mengalami trauma diduga memiliki risiko lebih besar terhadap terjadinya resorpsi akar gigi dibanding gigi tanpa trauma.²⁶ Hal yang berbeda terjadi pada penelitian gigi vital dan gigi nonvital terhadap terjadinya resorpsi akar gigi. Gigi vital ternyata diduga memiliki risiko mengalami resorpsi akar yang lebih besar dibanding dengan gigi nonvital yang telah dirawat saluran akar.^{25,27} Pada

gigi yang telah dirawat endodontik memiliki jaringan dentin yang lebih keras dibandingkan dengan gigi vital. Hal ini mungkin merupakan penjelasan mengapa gigi yang telah dirawat endodontik lebih sedikit yang mengalami resorpsi akar gigi (*cit* Graber).¹

Faktor lokal lainnya adalah bentuk ujung akar serta panjang akar. Beberapa penelitian menemukan bahwa bentuk ujung akar merupakan faktor resiko dalam terjadinya resorpsi akar. Sameshima menyatakan gigi dengan ujung akar yang dilaserasi lebih berisiko terhadap terjadinya resorpsi akar. Kemudian diikuti oleh akar gigi dengan ujung akar berbentuk pipet dan akar yang meruncing. Sebaliknya akar dengan ujung yang tumpul lebih resisten terhadap terjadinya resorpsi akar.² Hal yang sama juga dinyatakan dalam penelitian yang dilakukan oleh Mirabella (1995) dan Nigul (2006).^{16,25}

Gigi dengan akar yang panjang lebih rentan terhadap terjadinya resorpsi akar karena gigi dengan akar yang panjang membutuhkan gaya yang lebih besar untuk bergerak dan perpindahan akar yang terjadi juga lebih besar selama pergerakan *tipping* dan *torquing*.²⁵ Hendrix (1994) membandingkan panjang akar pada pasien sebelum dan sesudah dirawat ortodontik berdasarkan tahap pembentukan akar pada saat perawatan. Ditemukan bahwa pasien dengan akar yang belum menutup, mengalami pemanjangan akar selama tahap perawatan aktif, meskipun tidak mencapai panjang akar yang normal.⁶² Hal itu disebabkan karena pada gigi dengan pembentukan akar yang belum sempurna memiliki lapisan predentin yang tebal. Lapisan predentin merupakan jaringan yang tidak terkalsifikasi sehingga tidak teresorpsi oleh sel-sel peresorpsi. Dengan kata lain, pada gigi dengan ujung akar yang belum menutup memiliki proteksi atau resistensi terhadap terjadinya resorpsi akar gigi lebih baik.¹³

Faktor lokal lainnya yang diduga berperan adalah impaksi gigi sebelahnya. Impaksi gigi kaninus seringkali menyebabkan akar gigi insisif lateral menjadi teresorpsi, bahkan terkadang akar gigi insisif sentral juga ikut teresorpsi. Gigi insisif lateral merupakan gigi yang paling sering mengalami resorpsi akar gigi akibat kaninus impaksi karena bentuk

akarnya yang konus. Impaksi gigi kaninus yang posisinya lebih ke medial dengan angulasi horizontal lebih sering menyebabkan resorpsi pada gigi insisif lateral.^{24,25,63}

Jaringan periodontal yang kurang baik karena adanya trauma, seperti pada trauma oklusi, adanya kebiasaan parafungsi serta adanya kebiasaan buruk seperti *tongue thrusting* dan *nailbiting* diduga dapat menyebabkan resorpsi akar gigi. Pada keadaan tersebut, jaringan periodontal mengalami kelebihan beban secara terus menerus, akibatnya sementum mengalami kerusakan dan lapisan dentin dibawahnya akan terbuka. Harris (1993) pernah melaporkan bahwa gigi geligi yang masih lengkap kurang berisiko terhadap resorpsi akar gigi dibandingkan dengan gigi geligi yang sudah tidak lengkap atau dengan kata lain sudah mengalami kehilangan gigi.^{1,21,64}

Selain faktor biologis dan faktor lokal yang telah diuraikan, faktor mekanis yang dalam hal ini berupa tekanan ortodontik diduga berperan dalam terjadinya resorpsi akar gigi. Besarnya gaya, cara pemberian gaya, durasi perawatan serta arah tekanan ortodontik diduga berperan terhadap terjadinya resorpsi akar gigi.

Selain durasi pemberian tekanan, besarnya tekanan ortodontik juga dihubungkan dengan kejadian resorpsi akar gigi. Berbagai perbedaan besar tekanan dan hubungannya dengan resorpsi akar telah diteliti (*cit* Brezniak, 1993).⁹ Salah satunya adalah oleh Harry (1982) yang menemukan bahwa distribusi resorpsi akar gigi berhubungan langsung dengan besarnya tekanan pada permukaan akar gigi. Dan perkembangan daerah resorpsi akar gigi dikatakan lebih cepat sejalan dengan meningkatnya besar tekanan ortodontik yang dipakai. Disimpulkan, makin besar tekanan ortodontik akan lebih menyebabkan resorpsi akar gigi.^{31,65} Dilaporkan oleh Cheng bahwa terjadi proses perbaikan atau reparasi diri sementum sesudah masa retensi 4 (empat) minggu pada pemakaian tekanan orthodontik besar. Sedangkan pada pemakaian tekanan orthodontik ringan, reparasi diri sudah berjalan sebelum masa retensi 4 (empat) minggu.⁶⁶

M.R. Harry (1982) telah melakukan penelitian mengenai terjadinya resorpsi akar gigi akibat tekanan ortodontik yang dihubungkan dengan durasi perawatan. Hasilnya memperlihatkan bahwa durasi pemberian tekanan ortodontik yang semakin lama, akan memperparah terjadinya resorpsi pada permukaan seluler sementum akar gigi.³⁴ Hal tersebut juga didukung oleh penelitian yang dilakukan Sheldon Baumrind (1996), yang menyatakan bahwa resorpsi akar gigi insisif satu akan bertambah 0.38 mm per tahun.¹² Di Jepang, Li-Hua Lu (1999) menemukan bahwa tekanan intrusi pada gigi tikus percobaan yang diberikan pada waktu yang lama dapat meningkatkan frekwensi resorpsi akar gigi.³⁹

Faktor mekanik lain sehubungan dengan tekanan ortodontik yang juga harus diperhatikan adalah cara pemberian tekanan. Py Owman– Mall pada tahun 1995 meneliti hubungan cara pemberian gaya secara kontinyu dan diskontinyu dengan terjadinya resorpsi akar. Hasilnya dinyatakan bahwa tekanan yang bersifat kontinyu memberikan pergerakan gigi yang lebih banyak daripada tekanan ortodontik yang bersifat diskontinyu. Namun tidak ada perbedaan dalam hal terjadinya resorpsi akar.³⁶ Kemudian pada penelitian lain ditemukan bahwa pada cara pemberian tekanan secara diskontinyu justru memberikan kesempatan untuk perbaikan sementum dengan terbentuknya sementum sekunder. Periode istirahat pada pemberian gaya diskontinyu akan memperbaiki sirkulasi pada jaringan pendukung, sehingga memungkinkan terjadinya perbaikan jaringan sementum.^{36,37}

Faktor mekanis lainnya yang dapat menyebabkan resorpsi akar adalah tipe pergerakan gigi. Dikatakan bahwa pergerakan intrusi dan *torquing* merupakan pergerakan gigi yang paling sering berhubungan dengan terjadinya resorpsi akar.³⁵ Kemungkinan resorpsi akar gigi meningkat pada gerakan intrusi karena gaya pada mahkota gigi terkonsentrasi pada bagian apikal gigi dan jaringan periodontal dibawahnya. Sedangkan gerakan *torquing* gigi anterior pada tulang alveolar yang tipis dan densitas tulang yang padat harus dilakukan dengan

hati-hati, karena aplikasi gaya yang mengenai tulang alveolar dengan densitas tulang yang padat dapat menyebabkan resorpsi akar.^{34,35-43}

King (2011) mendapati bahwa pergerakan tipping akar gigi 15⁰ mengakibatkan resorpsi akar gigi lebih besar dari pada pergerakan tipping akar gigi 2,5⁰.⁶⁷ Wu (2011) melaporkan bahwa pada pergerakan rotasi, kejadian resorpsi akar gigi lebih banyak terjadi pada pemakaian tekanan orthodontik yang berat.⁴⁴ Sedangkan pada pergerakan ekstrusi, dilaporkan oleh Montenegro (2011), yaitu bahwa makin besar tekanan ekstrusi yang digunakan maka resorpsi akar makin besar pula.⁶⁸

2.3 Tekanan Ortodontik.

Pergerakan gigi secara ortodontik merupakan hasil pemberian tekanan ortodontik pada gigi. Tekanan ortodontik ini dihasilkan oleh piranti ortodontik seperti kawat, braket, elastik dan lain-lain. Gigi geligi dan jaringan pendukungnya akan memberikan reaksi biologis yang cukup kompleks yang pada akhirnya akan menimbulkan pergerakan gigi di dalam tulang. Hal ini adakalanya disertai dengan adanya kegoyangan gigi dan kadangkala disertai dengan adanya gambaran resorpsi akar gigi secara radiografik.

Guna memperoleh hasil perawatan sesuai dengan tujuan perawatan ortodontik, banyak hal harus diperhitungkan. Diantaranya adalah memperhitungkan besarnya tekanan ortodontik yang diberikan. Berbicara mengenai besarnya tekanan ortodontik berarti berbicara mengenai seberapa ringan atau seberapa berat tekanan tersebut. Perawatan yang ideal seyogyanya membutuhkan tekanan dalam batasan yang cukup dapat memberikan reaksi biologis jaringan gigi dan pendukungnya secara efisien tanpa menimbulkan efek samping. Seringkali hal ini disebut dengan istilah tekanan optimum ortodontik. Yaitu tekanan ortodontik paling ringan yang dapat menggerakkan gigi ke posisi yang diinginkan dalam waktu yang sesingkat-singkatnya tanpa menimbulkan efek samping.^{25,56}

2.3.1 Besar Tekanan Ortodontik

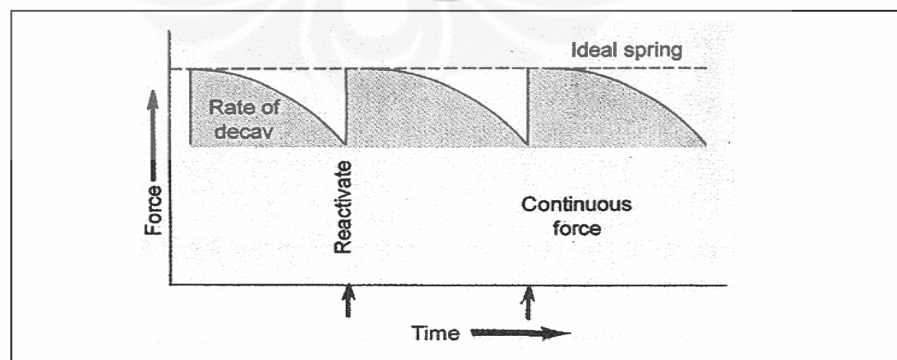
Oppenheim dan Schwarz menyatakan bahwa tekanan ortodontik optimum hendaknya selaras dengan tekanan pembuluh darah kapiler yaitu 20-26 gram/cm² permukaan akar gigi. Secara klinis, tekanan ortodontik optimum memiliki karakteristik sebagai berikut yaitu menghasilkan pergerakan gigi yang relatif cepat, dengan sedikit ketidak nyamanan pada pasien, serta mobilitas gigi tidak menonjol (*cit Singh*).⁶⁹

Penelitian Reitan (1964) secara *in vivo* pada manusia, anjing dan monyet menyimpulkan bahwa tekanan sebesar 50 gram/cm² sesudah 30 hari dapat menimbulkan resorpsi akar minor. Sedangkan tekanan sebesar 100-200 gram/cm² untuk menggerakkan akar gigi cenderung meningkatkan terjadinya resorpsi akar gigi.⁷⁰

2.3.2 Cara Pemberian Tekanan Ortodontik.

Berdasarkan cara pemberian atau aplikasi, tekanan ortodontik dapat dibagi atas tekanan *continuous*, tekanan *intermittent*, dan tekanan *interrupted*.

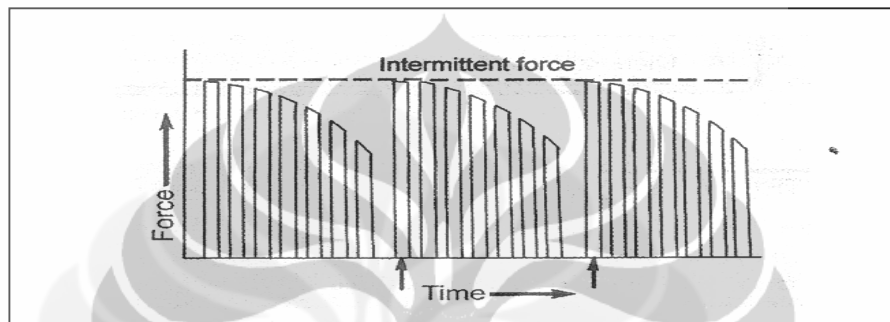
Tekanan *continuous* adalah tekanan ortodontik aktif yang besarnya berkurang sedikit diantara dua waktu kunjungan perawatan. Misalnya pada penggunaan *light wire appliance*. Idealnya tekanan *continuous* yang ringan dapat menghasilkan pergerakan gigi yang paling efisien dengan resorpsi pada permukaan tulang alveolar socket gigi. Terlihat pada gambar 2.6.^{68,71}



(diambil dari Singh, 2004)

Gambar 2.6 Tekanan *continuous* tetap terjaga diantara 2 waktu aktivasi.⁶⁹

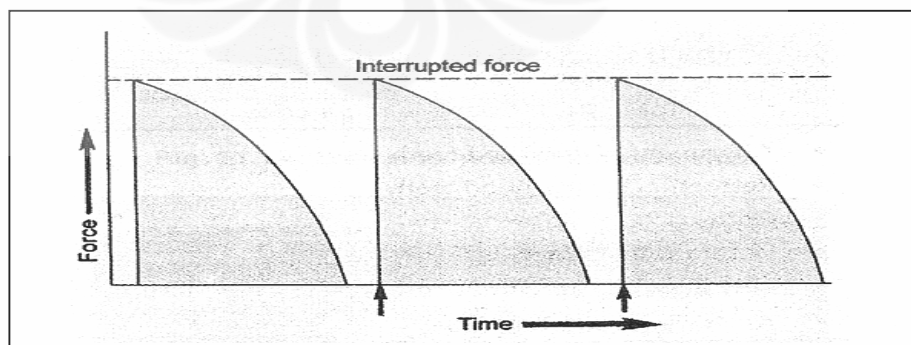
Sedangkan tekanan *intermittent* adalah tekanan ortodontik aktif yang besarnya dapat berkurang sampai dengan nol diantara dua waktu kunjungan perawatan. Tekanan ini biasanya besar, sehingga pergerakan gigi yang dihasilkannya adalah pergerakan gigi yang terjadi karena terjadinya *undermining resorption*, atau resorpsi tulang alveolar yang terjadi jauh dari sumber tekanan atau daerah yang mengalami tekanan. Terlihat pada gambar 2.7.^{68,71}



(diambil dari Singh, 2004)

Gambar 2.7 Tekanan *intermittent* mencapai nol ketika alat dilepas, dan kembali pada besar tekanan semula ketika alat dipasang kembali dalam mulut.⁶⁹

Tekanan *interrupted* adalah tekanan ortodontik atau ortopedik yang tidak aktif pada interval waktu diantara dua waktu kunjungan perawatan. Tekanan umumnya besar, dan berkurang sampai nol pada interval waktu guna memberikan waktu bagi jaringan untuk pulih sampai diaktivasi kembali. Terlihat pada gambar 2.8.^{69,71}



(diambil dari Singh, 2004)

Gambar 2.8 Tekanan *interrupted* mencapai nol diantara 2 waktu aktivasi.⁶⁹

Beberapa peneliti membedakan cara pemberian tekanan menjadi cara pemberian tekanan secara kontinyu dan pemberian tekanan secara diskontinyu. Sama seperti yang telah dijelaskan sebelumnya, pemberian tekanan secara kontinyu disini merupakan tekanan ortodontik aktif yang besarnya sedikit berkurang diantara 2 (dua) waktu aktivasi. Sedangkan yang dimaksud pemberian tekanan secara diskontinyu yaitu pemberian tekanan ortodontik dengan periode istirahat antara 2 (dua) waktu aktivasi.^{28,36}

Py Owman-Mall pada tahun 1995 meneliti hubungan cara pemberian gaya secara kontinyu dan diskontinyu dengan terjadinya resorpsi akar. Penelitian ini menggunakan tekanan sebesar 50 gram/cm² secara *in vivo*. Pemberian tekanan secara kontinyu dalam hal ini yakni diberikan gaya selama 4 minggu dan diperiksa setiap minggunya. Sedangkan kelompok yang diperlakukan secara diskontinyu, diberi tekanan yang sama besarnya selama 4 minggu tanpa diperiksa, kemudian dilanjutkan dengan periode istirahat tanpa tekanan selama 3 minggu, dan diperiksa pada minggu selanjutnya. Hasilnya dinyatakan bahwa tekanan yang bersifat kontinyu memberikan pergerakan gigi yang lebih banyak daripada tekanan ortodontik yang bersifat diskontinyu. Namun tidak ada perbedaan dalam hal terjadinya resorpsi akar. Lebih jauh lagi dikatakan bahwa pada cara pemberian tekanan secara diskontinyu justru memberikan kesempatan untuk perbaikan sementum dengan terbentuknya sementum sekunder.³⁶

Ahu Acar meneliti aplikasi tekanan ortodontik secara kontinyu dan diskontinyu terhadap terjadinya resorpsi akar gigi. Dalam penelitiannya, tekanan ortodontik secara kontinyu dilakukan dengan memberikan gaya melalui karet elastik selama 24 jam sehari. Setiap 24 jam, karet elastik yang lama dilepas dan diganti dengan karet elastik yang baru. Sedangkan pada tekanan ortodontik secara diskontinyu dilakukan dengan pemasangan karet elastik selama 12 jam per hari. Setelah 12 jam, karet elastik dilepas dan terdapat periode istirahat selama 12 jam, baru kemudian karet elastik dipasang kembali. Baik tekanan ortodontik kontinyu dan diskontinyu ini

dilakukan selama 9 (sembilan) minggu, baru kemudian dilakukan analisis untuk melihat resorpsi akar yang terjadi akibat pemberian tekanan ortodontik dengan 2 (dua) cara yang berbeda. Dinyatakan bahwa pemberian tekanan ortodontik secara diskontinyu menyebabkan lebih sedikit terjadi resorpsi akar daripada pemberian tekanan ortodontik secara kontinyu.²⁸

2.3.3 Durasi Tekanan Ortodontik

Berbicara mengenai durasi tekanan ortodontik, yang dimaksud adalah berbicara mengenai berapa lama tekanan ortodontik tersebut dikenakan pada gigi. Beberapa detik setelah gaya yang ringan dikenakan secara terus menerus pada gigi, cairan dalam ligamen periodontal akan tertekan, keluar, dan gigi akan bergerak dalam soketnya. Dalam hitungan menit akan terjadi perubahan aliran darah, perubahan tekanan oksigen serta keluarnya prostaglandin dan *cytokine*. Beberapa jam setelah gaya ortodontik dikenakan, akan terjadi perubahan pada lingkungan kimiawinya yang menyebabkan terjadinya perubahan aktivitas seluler, peningkatan kadar *cyclic adenosine monophosphate* (cAMP) yang merupakan sinyal kimia yang penting bagi aktivitas seluler seperti differensiasi sel.

Selain itu, untuk menggerakkan gigi juga dibutuhkan sel-sel osteoklas dan osteoblas. Osteoklas berfungsi untuk menghancurkan tulang pada area yang berdekatan dengan ligamen periodontal yang terkompresi, sedangkan osteoblas dibutuhkan untuk membentuk tulang baru pada area sebaliknya. Dikatakan, sel-sel osteoklas baru timbul pada area yang berdekatan dengan ligamen periodontal yang terkompresi setelah 48 jam.²⁴

Lamanya tekanan ortodonti dikenakan pada gigi, diduga dapat menimbulkan efek iatrogenik berupa terjadinya resorpsi akar. M.R. Harry (1982) telah melakukan penelitian mengenai terjadinya resorpsi akar gigi akibat tekanan ortodontik yang dihubungkan dengan durasi perawatan. Dalam penelitiannya ditemukan bahwa pemberian gaya 40-60 gram pada hari ke-14 mulai memperlihatkan area kecil resorpsi akar, dan pada hari

ke 35 terlihat zona resorpsi yang lebih luas lagi, begitu pula pada hari ke 200. Hasilnya memperlihatkan bahwa durasi pemberian tekanan ortodontik yang semakin lama, akan memperparah terjadinya resorpsi pada permukaan sementum seluler akar gigi.³⁴

Hal tersebut juga didukung oleh penelitian yang dilakukan oleh Kurol (1996). Kurol meneliti resorpsi akar yang terjadi setelah pemberian gaya kontinyu sebesar 50 cN ($\approx 50\text{gm}$) pada 56 gigi premolar dengan durasi pemberian gaya bervariasi antara 1 hingga 7 minggu. Hasilnya memperlihatkan, terjadi resorpsi akar pada minggu pertama setelah pemberian gaya pada 52 gigi. Pada minggu ketiga, 8 gigi memperlihatkan resorpsi akar apikal yang hampir mencapai pulpa. Pada minggu ketujuh, seluruh gigi memperlihatkan resorpsi kontur akar 20 kali lebih besar dibanding gigi kontrol.³² Pada tahun yang sama, hasil penelitian Baumrind menyatakan bahwa resorpsi akar gigi insisif satu akan bertambah 0.38 mm per tahun.¹¹ Di Jepang, Li-Hua Lu (1999) menemukan bahwa tekanan intrusi pada gigi tikus percobaan yang diberikan pada waktu yang lama dapat meningkatkan frekwensi resorpsi akar gigi.³⁹

2.3.4 Arah Tekanan Ortodontik

Selain hal-hal tersebut diatas, dikatakan bahwa arah pemberian tekanan ortodontik juga merupakan hal yang berperan dalam terjadinya resorpsi akar gigi. Penelitian Parker RJ (1998) menemukan bahwa, pergerakan intrusi gigi insisif disertai pergerakan akar gigi *torque* ke arah lingual adalah faktor prediksi terjadinya resorpsi akar gigi.⁷²

2.3.5 Perubahan Jaringan Pendukung Gigi Akibat Tekanan Ortodontik

Ketika suatu tekanan ortodontik dikenakan pada suatu gigi, terjadi daerah tekanan yang searah dengan arah pergerakan gigi, serta daerah tarikan di daerah yang berlawanan dengan arah pergerakan gigi.

Di daerah tekanan, ligamen periodontal menyempit hingga kurang lebih 1/3 ketebalan mula-mula. Pada saat itu terjadi peningkatan peredaran

darah dalam rangka meningkatkan pasokan darah kapiler. Peningkatan pasokan darah ini berguna untuk mobilisasi sel-sel fibroblas dan osteoklas.

Osteoklas adalah sel resorpsi tulang yang berjajar di sepanjang dinding soket gigi pada sisi tekanan. Sel-sel ini meresorpsi tulang sehingga gigi dapat bergerak di dalam soketnya ke arah pergerakan gigi yang diinginkan. Bila tekanan yang diberikan berada dalam batasan yang dapat diterima secara fisiologis, maka yang terjadi adalah resorpsi tulang di daerah yang berhadapan dengan ligamen periodontal. Resorpsi ini disebut *frontal resorption*.

Sebaliknya bila tekanan yang diberikan, melewati ambang batas tekanan yang dapat diterima secara fisiologis, yang terjadi adalah *undermining resorption*. Resorpsi ini tidak terjadi pada tulang yang berhadapan dengan ligamen periodontal melainkan terjadi di belakang dan atas zona hyalinisasi. Pada daerah tekanan, ligamen periodontal mengalami hyalinisasi karena terputusnya pasokan darah pada pembuluh darah kapiler di daerah itu. Osteoklas yang melakukan resorpsi dalam hal ini, berasal dari sumsum tulang terdekat. Akibat pemberian tekanan, perubahan juga terjadi di daerah tarikan, daerah yang berlawanan dengan arah pergerakan gigi. Di daerah ini terjadi peregangan ligamen periodontal sehingga meningkatkan peredaran darah ke daerah tarikan. Akibatnya terjadi mobilisasi sel-sel fibroblas osteoblas. Sebagai reaksi selanjutnya, osteoblas akan menghasilkan osteoid dan membentuk tulang baru.

Namun tekanan ortodontik yang melampaui ambang batas fisiologis dapat mengakibatkan putusnya ligamen periodontal yang teregang sehingga peredaran darah pun terputus dan terjadi resorpsi tulang sehingga gigi akan mengendur di dalam soketnya.⁶⁹

Secara singkat dapat dikatakan bahwa sampai pada suatu batas besar dan durasi ortodontik tertentu, perubahan yang terjadi pada ligamen periodontal adalah meningkatkan vaskularisasi, proliferasi sel, pembentukan serta dan osteoid pada permukaan tulang.

Bila besar dan durasi tekanan ortodontik melampaui suatu batas tertentu, maka yang terjadi adalah menurunnya vaskularisasi pada ligamen

periodontal dan merusak sel-sel pada tulang yang meregang. Perubahan semakin terlihat dengan adanya resorpsi tulang alveolar sehingga tidak memungkinkan vaskularisasi kembali dari tulang alveolar. Dikatakan juga bila tekanan ortodontik itu kuat dan durasinya lama maka akan terjadi reduksi tinggi tulang alveolar dalam arah vertikal.^{1,73} Smale (2005) melaporkan bahwa resorpsi akar gigi dapat mulai terjadi pada tahap awal perawatan ortodontik. Sekitar 4,1 % pasien yang diteliti mengalami resorpsi akar gigi 1,5 mm atau lebih pada ke 4 (empat) gigi insisif atas. Sekitar 15,5 % mengalami resorpsi akar gigi 2 mm atau lebih pada 1 (satu) atau lebih gigi-gigi insisif sesudah 3-9 bulan pertama dirawat ortodontik.⁷⁴

2.3.6 Resorpsi Akar Gigi Akibat Tekanan Ortodontik

Resorpsi pada jaringan sementum hampir sama dengan resorpsi pada tulang alveolar. Seperti halnya tulang, jaringan sementum juga mengalami penyempitan pada sisi yang terkompresi dan mengalami deposisi pada sisi sebaliknya, namun sementum lebih resisten terhadap terjadinya resorpsi dibandingkan dengan tulang. Hal tersebut yang menyebabkan pada pergerakan gigi secara ortodontik, tulang akan teresorpsi terlebih dahulu dan bila gaya yang diaplikasikan terlalu besar baru akan terjadi resorpsi jaringan sementum gigi.¹

Proses resorpsi akar gigi merupakan proses biologis yang cukup kompleks yang saling berkaitan satu dengan yang lainnya. Beberapa ahli mengatakan proses resorpsi akar sesungguhnya merupakan reaksi inflamasi lokal terhadap adanya tekanan ortodontik, sehingga akan muncul tanda-tanda inflamasi yakni *rubor, calor, tumor, dolor* dan *function laesa*. Inflamasi ini sesungguhnya merupakan komponen fundamental dibalik proses resorpsi akar gigi (*cit Brezniak, 1993*).⁵¹ Sebagaimana diketahui, adanya inflamasi dapat menyebabkan turunnya pH cairan jaringan setempat. Turunnya pH jaringan setempat sebagai reaksi terhadap pergerakan gigi secara ortodontik dapat menyebabkan gugus hidroksiapatit dalam sementum mengalami disolusi fisiko kimiawi. Dengan kata lain, terjadi proses demineralisasi sementum. Pada saat itu gugus hidroksil lepas

dari ikatan hidroksiapatit dan berikatan dengan ion H^+ . Selain merupakan proses inflamasi, resorpsi akar gigi juga terjadi akibat aktivitas reaksi imun. Tekanan ortodontik akan mengaktifkan reaksi imun dengan memicu enzim atau sitokin yang kemudian akan mengubah prementoklas menjadi sementoklas yang akan melakukan resorpsi dengan mengeluarkan enzim fosfatase.⁴⁵

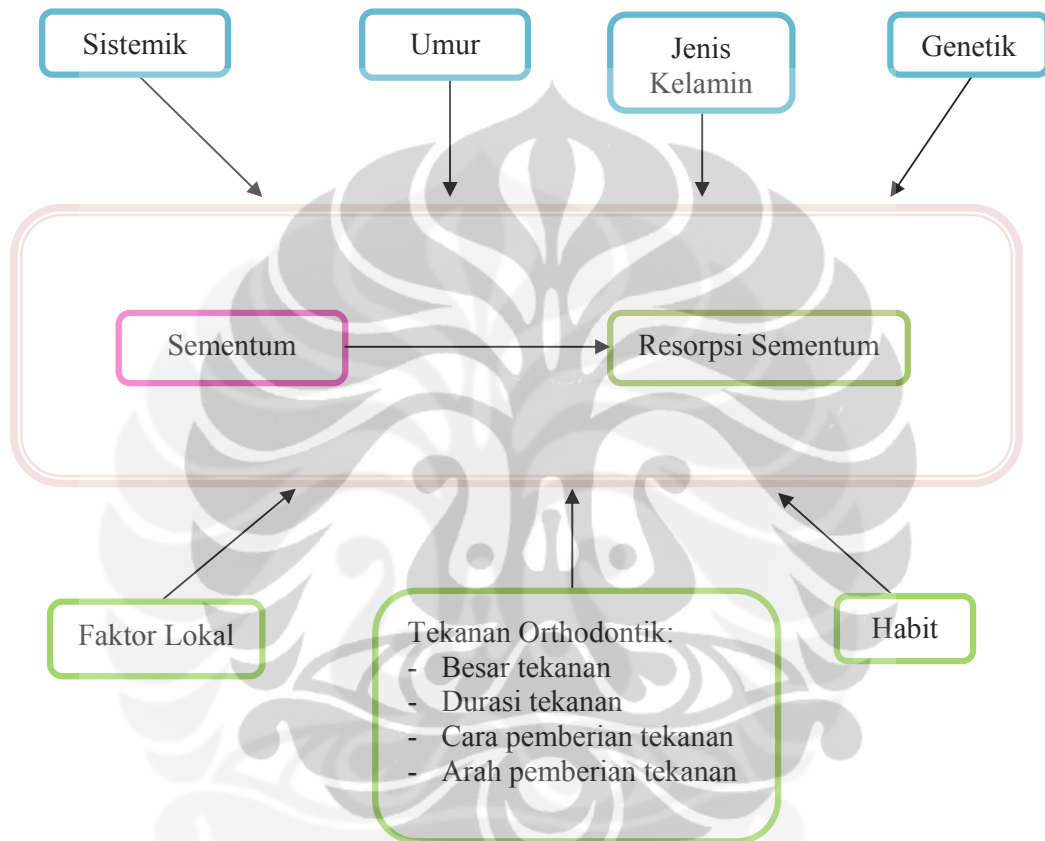
Secara histologis, para ahli sepakat bahwa resorpsi akar gigi merupakan bagian dari proses eliminasi zona hyalinisasi. Hyalinisasi merupakan proses yang ditandai dengan adanya perubahan seluler dan vaskuler yang menyebabkan terjadinya degenerasi struktur sel dan vaskuler tersebut. Bila keadaan ini terus berlanjut terbentuklah nekrosis jaringan, yang disebut zona hyalinisasi.

Proses eliminasi zona hyalinisasi dilakukan oleh sel-sel makrofag yang muncul karena adanya jaringan nekrotik steril sebagai akibat adanya tekanan ortodontik. Pada saat proses eliminasi itulah permukaan sementum yang terdekat mengalami kerusakan sehingga terbukalah jalan ke arah jaringan sementum yang padat mineral. Selanjutnya terjadilah resorpsi sementum akar gigi. Sel-sel yang terlibat aktivitas ini selain *mononucleated macrophage like cells*, juga terdapat *multinucleated TRAP positive giant cells without ruffled border*. Sel-sel ini mungkin adalah suatu osteoklas atau odontoklas yang terlibat dalam aktivitas eliminasi jaringan nekrotik (*Cit Brezniak, 1993*).⁵¹

Resorpsi jaringan yang terkalsifikasi dapat terjadi bila osteoklas dan atau odontoklas dapat menembus lapisan sel formatif yang melapisi jaringan sementum. Odontoklas merupakan sel yang berfungsi meresorpsi jaringan keras gigi, yaitu sementum, dentin dan enamel. Lapisan sel formatif tersebut berfungsi sebagai mekanisme proteksi akar sekaligus juga berpotensi untuk memperbaiki akar. Lapisan ini terdiri dari sementoblas, fibroblas, osteoblas, endotelial dan sel-sel perivaskuler (*cit Brezniak, 1993*).⁹

2.4 Kerangka Teori

Kerangka teori penelitian ini dapat dilihat pada gambar 2.9 dibawah ini.

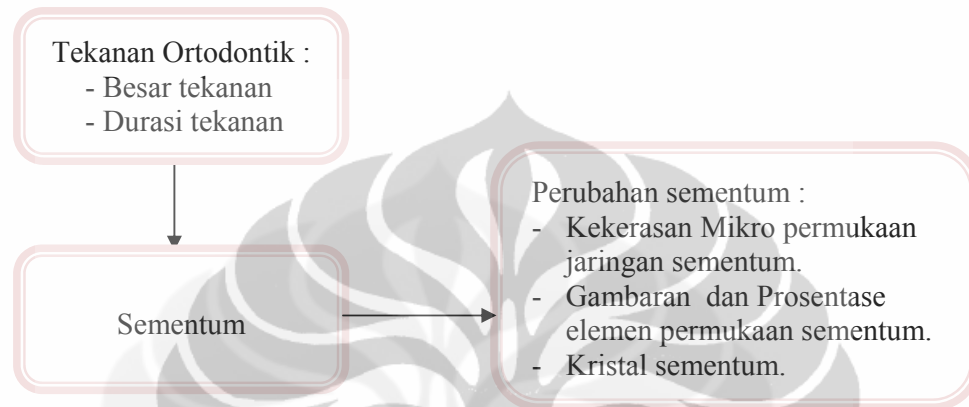


Gambar 2.9 Kerangka teori penelitian.

BAB 3

KERANGKA KONSEP DAN HIPOTESIS

3.1 Kerangka Konsep



Gambar 3.1 Kerangka konsep penelitian.

Penelitian dilakukan pada 2 (dua) kelompok pengujian yang masing-masing terdiri dari kelompok kontrol dan kelompok perlakuan. Pada kelompok pertama akan diteliti tentang Kekerasan Mikro permukaan jaringan sementum. Sedangkan pada kelompok kedua akan diteliti mengenai gambaran permukaan, prosentase elemen serta perubahan kristal apatit permukaan jaringan sementum (mencakup jarak antar bidang kristal, ukuran butir kristal, regangan mikro kristal).

3.2 Variabel Penelitian

3.2.1 Variabel Bebas :

- 3.2.1.1 Besar tekanan ortodontik yang diberikan pada permukaan spesimen sementum, yaitu besar tekanan sesuai dengan yang tertera pada alat sebesar 300 gr/cm^2 dan 600 gr/cm^2 .

3.2.1.2 Durasi pemberian tekanan ortodontik pada permukaan spesimen sementum adalah 5 hari dan 10 hari.

3.2.2 Variabel Terikat :

3.2.2.1 Kekerasan mikro permukaan sementum.

Kekerasan mikro permukaan jaringan sementum yaitu kekerasan mikro permukaan jaringan sementum yang diukur dengan menggunakan *Microhardness Tester* (Shimadzu HMV 2 – TL) dengan Indenter Vickers.

3.2.2.2 Gambaran permukaan dan prosentase elemen mikrostruktur jaringan sementum. Dalam hal ini yaitu gambaran permukaan sementum dan prosentase kalsium, fosfor dan karbon yang diukur dengan SEM / EDX.

3.2.2.3 Perubahan kristal apatit mikrostruktur permukaan jaringan sementum.

Perubahan kristal apatit mikrostruktur jaringan sementum dalam hal ini yaitu perubahan jarak antar bidang kristal (satuan *Angstrom*), perubahan ukuran butir kristal (satuan *nanometer*), serta regangan mikro kristal apatit jaringan sementum (satuan %) diukur dengan menggunakan *Diffraktometer* beserta piranti lunak APD (*Auto Powder Diffraktometer*) dan *Bella V2-1*.

3.3 Hipotesis Penelitian

3.3.1 Hipotesis Mayor

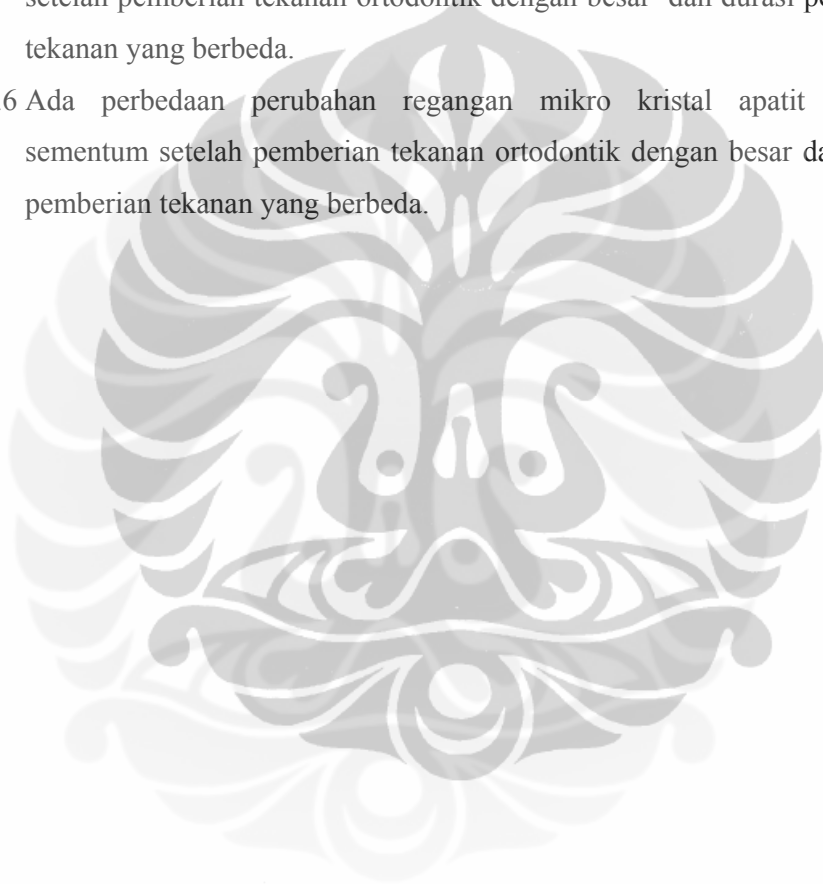
Tekanan ortodontik menyebabkan perbedaan perubahan mikrostruktur permukaan jaringan sementum gigi.

3.3.2 Hipotesis Minor

3.3.2.1 Ada perbedaan perubahan kekerasan mikro permukaan jaringan sementum setelah pemberian tekanan ortodontik dengan besar dan durasi pemberian tekanan yang berbeda.

3.3.2.2 Ada perbedaan perubahan gambaran permukaan mikrostruktur jaringan sementum setelah pemberian tekanan ortodontik dengan besar dan durasi pemberian tekanan yang berbeda.

- 3.3.2.3 Ada perbedaan perubahan prosentase elemen mikrostruktur jaringan sementum setelah pemberian tekanan ortodontik dengan besar dan durasi pemberian tekanan yang berbeda.
- 3.3.2.4 Ada perbedaan perubahan jarak antar bidang kristal apatit jaringan sementum setelah pemberian tekanan ortodontik dengan besar dan durasi pemberian tekanan yang berbeda.
- 3.3.2.5 Ada perbedaan perubahan ukuran butir kristal apatit jaringan sementum setelah pemberian tekanan ortodontik dengan besar dan durasi pemberian tekanan yang berbeda.
- 3.3.2.6 Ada perbedaan perubahan regangan mikro kristal apatit jaringan sementum setelah pemberian tekanan ortodontik dengan besar dan durasi pemberian tekanan yang berbeda.

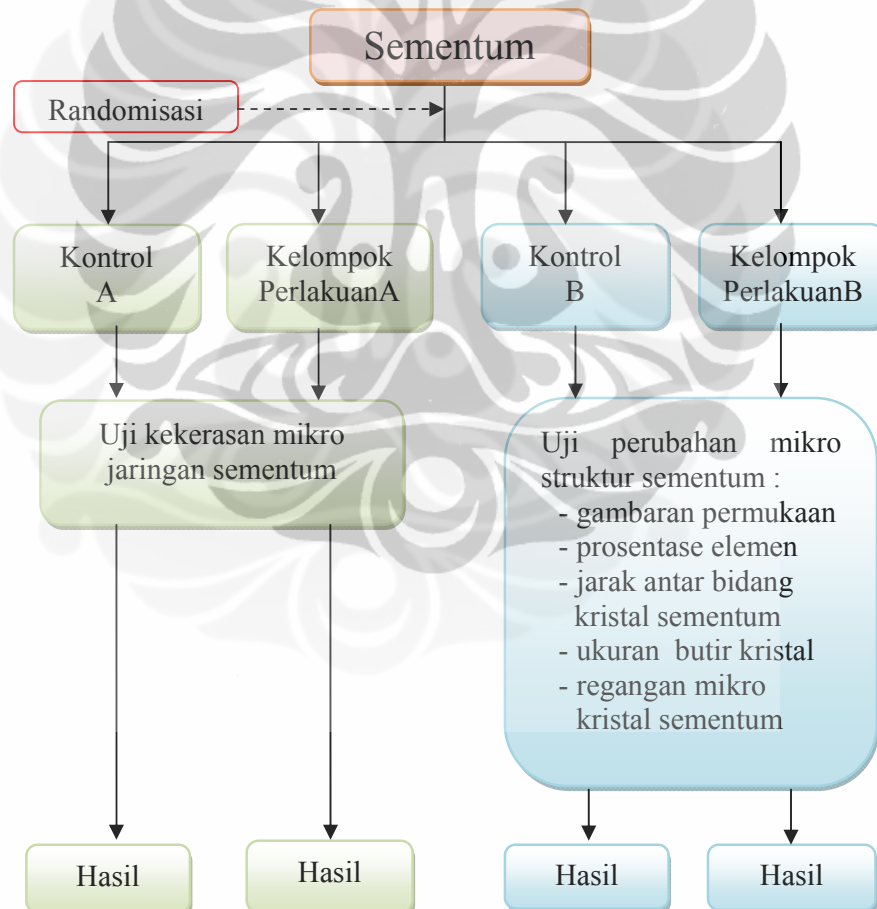


BAB 4 METODE PENELITIAN

Guna mencapai tujuan penelitian ini, yaitu menganalisis perbedaan perubahan mikrostruktur jaringan sementum gigi yang diberi tekanan ortodontik, dirancang suatu desain penelitian eksperimental *in vitro*.

4.1 Jenis dan Rancangan Penelitian

Penelitian dilakukan secara laboratorik uji beda kelompok kontrol dan kelompok perlakuan. Lihat Gambar 4.1.



Gambar 4.1 Rancangan penelitian

4.2 Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian dilakukan pada tahun 2010 di :

- Laboratorium Ilmu Material Kedokteran Gigi Fakultas Kedokteran Gigi Universitas Indonesia. Jakarta Pusat.
- Laboratorium Metalurgi dan Material Fakultas Teknik Universitas Indonesia. Depok.
- Laboratorium Pusat Penelitian Metalurgi Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia. Serpong.

4.3 Definisi Operasional

4.3.1 Besar Tekanan Ortodontik

Besar tekanan ortodontik pada penelitian ini adalah pemberian tekanan kompresi sebesar $300/\text{gr}/\text{cm}^2$ dan $600 \text{ gr}/\text{cm}^2$ dengan memakai alat pemberian tekanan pada seluruh permukaan distal sementum akar gigi.

4.3.2 Durasi Pemberian Tekanan Ortodontik

Durasi pemberian tekanan adalah lamanya pemberian tekanan pada spesimen sementum kelompok perlakuan. Yaitu pemberian tekanan selama 5 (lima) hari dan 10 (sepuluh) hari terus menerus.

4.3.3 Kekerasan Mikro Permukaan Jaringan Sementum

Adalah ketahanan permukaan mikrostruktur jaringan sementum terhadap pemberian tekanan pada daerah uji. Ketahanan atau kekerasan mikro permukaan spesimen sementum ini diuji dengan *Microhardness Tester* (Shimadzu HMV 2 – TL) dengan indenter *Vickers* (satuan VHN).

4.3.4 Gambaran Permukaan Mikrostruktur Jaringan Sementum

Adalah gambaran permukaan mikrostruktur jaringan sementum setelah diberi perlakuan/ tanpa perlakuan (spesimen kontrol). Diuji dengan *Scanning Electron Microscope*.

4.3.5 Prosentase Elemen Mikrostruktur Permukaan Jaringan Sementum

Prosentase elemen mikrostruktur permukaan jaringan sementum adalah prosentase elemen Kalsium, Fosfor dan Karbon yang terdapat pada permukaan spesimen sementum (satuan %). Diuji dengan metoda EDX.

4.3.6 Perubahan Kristal Apatit Jaringan Sementum

Perubahan kristal apatit jaringan sementum dalam penelitian ini menyangkut 3 (tiga) hal. Yaitu jarak antar bidang kristal apatit (satuan Angstrom), ukuran butir kristal apatit (dalam satuan nanometer) dan regangan mikro kristal apatit (dalam %). Perubahan kristal apatit ini diuji dengan metode *X Ray Diffraction* dengan alat *Diffractometer*.

4.4 Bahan Penelitian

4.4.1 Sementum

Sementum pada penelitian ini adalah sementum permukaan akar gigi-gigi premolar yang dicabut guna keperluan perawatan ortodontik. Dengan syarat gigi tersebut tidak karies, tidak memiliki riwayat trauma, tidak sedang dirawat ortodontik, tidak ada riwayat ataupun tanda-tanda penyakit periodontal, tidak ada riwayat ataupun tanda-tanda bruxism, tidak ada bentuk anatomi yang abnormal, pembentukan akar gigi telah sempurna. Adapun permukaan akar yang diberi perlakuan dan diuji adalah permukaan distal akar gigi premolar .

4.4.2 Bahan Analitik Laboratorium

Bahan analitik laboratorium yang digunakan dalam penelitian adalah:

- Aquades
- Larutan saline steril
- Asam fosfat 1%

4.5 Alat Penelitian

4.5.1 *Microhardness Tester*.

Adalah alat uji kekerasan mikro (*microhardness*) suatu material. Kekerasan mikro permukaan merupakan ketahanan permukaan material uji terhadap suatu pemberian tekanan penjejasan selama waktu tertentu secara mekanis. Metode-metode yang sering digunakan untuk mengukur kekerasan mikro material yakni dengan membuat suatu jejas atau indentasi pada permukaan material uji tersebut dengan tekanan tertentu, dan selanjutnya mengukur jejas yang timbul akibat tekanan tersebut. Pada penelitian ini digunakan *Microhardness Tester*. Alat ini merupakan suatu alat yang memiliki indenter intan berbentuk belah ketupat (*Vickers*) sehingga apabila diberi tekanan dan dikenakan pada permukaan suatu material akan menimbulkan jejas berbentuk belah ketupat. Nilai kekerasan mikro permukaan dengan alat ini dinyatakan dengan satuan VHN.⁷⁵ Gambar alat *Microhardness tester* dapat terlihat pada gambar 4.2 dibawah ini.



(Diambil dari Lab IMKG FKG UI 2011)

Gambar 4.2 *Microhardness tester*

4.5.2 *Scanning Electrone Microscope (SEM).*

Adalah suatu mikroskop elektron yang menyapukan sinar elektron pada permukaan material uji. Bila digunakan untuk mengetahui bentuk permukaan material uji, maka material uji harus dilapisi logam tipis agar didapatkan pantulan emisi *secondary electron* yang baik. Namun dalam penelitian ini yang diharapkan adalah pantulan emisi *Backscattered* maka permukaan material uji tidak perlu dilapisi logam tipis.⁷⁵

4.5.3 *Spektrometri/ Energy Dispersive X-ray (EDX).*

Adalah suatu alat yang digunakan bersama dengan *Scanning Electrone Microscope (SEM)*. Pada prinsipnya, alat ini menganalisis energi elektron material uji melalui *Backscattered* (BSD) setelah pemberian sinar elektron. Emisi yang didapat kemudian dikumpulkan oleh suatu detektor. Data yang terkumpul oleh detektor kemudian dianalisis untuk menetapkan susunan elemen berdasarkan emisi energinya, dan kuantitas elemen berdasarkan perbandingan dengan kelompok kontrol.⁷⁵ Gambar alat SEM dan EDX terlihat pada gambar 4.3 dibawah ini.



(Diambil dari Lab Metalurgi FTUI 2011)

Gambar 4.3 *Scanning Electrone Microscope (SEM)* dan *Spektrometri/ Energy Dispersive X-ray (EDX)*.

4.5.4 *Diffractionmeter* dengan piranti lunak APD (*Auto Powder Diffraction*) dan Bella V2-1

Adalah alat yang menggunakan sinar X yang ditembakkan pada spesimen material uji sehingga menghasilkan pendaran difraksi sinar X. Pada penelitian ini, alat ini digunakan untuk analisis panjang kisi kristal, besar butir kristal dan perubahan regangan mikro kristal material uji. Panjang kisi kristal, dianalisis dengan piranti lunak APD (*Auto Powder Diffraction*). Sedangkan ukuran butir kristal dan regangan mikro kristal dianalisis dengan piranti lunak Bella V2-1. Adapun satuan jarak antar bidang kristal adalah Angstrom (\AA), satuan ukuran butir kristal adalah nanometer (nm) dan regangan mikro kristal dinyatakan dalam prosentase terhadap nilai awal regangan mikro kristal^{76,77,78} Gambar alat *X-ray Diffractionmeter* dapat terlihat pada gambar 4.4 dibawah ini.



(Diambil dari LIPI 2011)

Gambar 4.4. *X – Ray Diffractionmeter*

4.6. Diagram Alur Penelitian dan Cara Kerja

4.6.1 Diagram Alur Penelitian

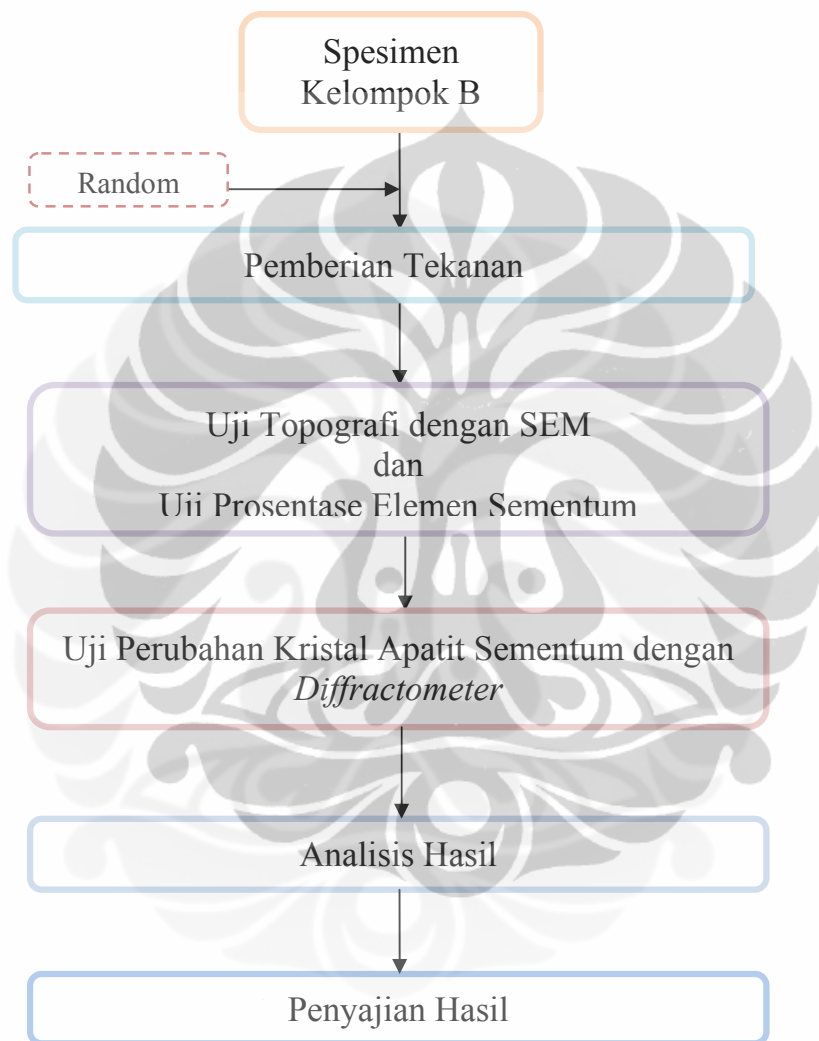
Penentuan spesimen dilakukan secara random sehingga dari 10 (sepuluh) sampel spesimen sementum akan terbentuk 2 (dua) kelompok pengujian yaitu kelompok A dan B. Adapun alur penelitian pada kedua kelompok terlihat pada gambar 4.6 dan 4.7 berikut ini.



Gambar 4.6. Alur penelitian kelompok pengujian A.

Kelompok A diuji kekerasan mikro permukaan sementum. Diawali dengan uji kekerasan mikro permukaan jaringan sementum spesimen

kontrol. Sedangkan ke 4 (empat) spesimen perlakuan diuji kekerasan mikro permukaan sementum sesudah perlakuan. Tahap selanjutnya, spesimen kelompok perlakuan A diberi aplikasi asam fosfat 1%. Lalu uji ulang kekerasan mikro permukaan jaringan sementum.



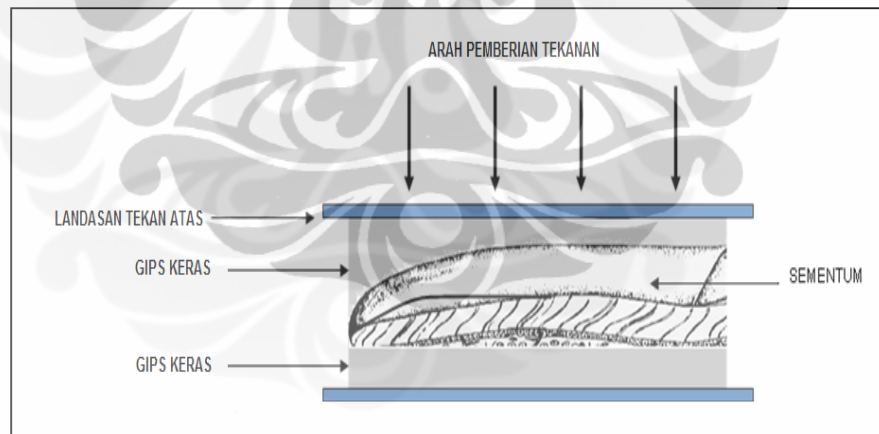
Gambar 4.7 Alur penelitian kelompok pengujian B.

Sedangkan spesimen kelompok pengujian B diuji pertama untuk melihat perubahan gambaran permukaan mikrostruktur jaringan sementum, kedua perubahan prosentase elemen mikrostruktur jaringan sementum dan ketiga perubahan kristal apatit jaringan sementum.

4.6.2 Cara Kerja

4.6.2.1 Persiapan spesimen sementum:

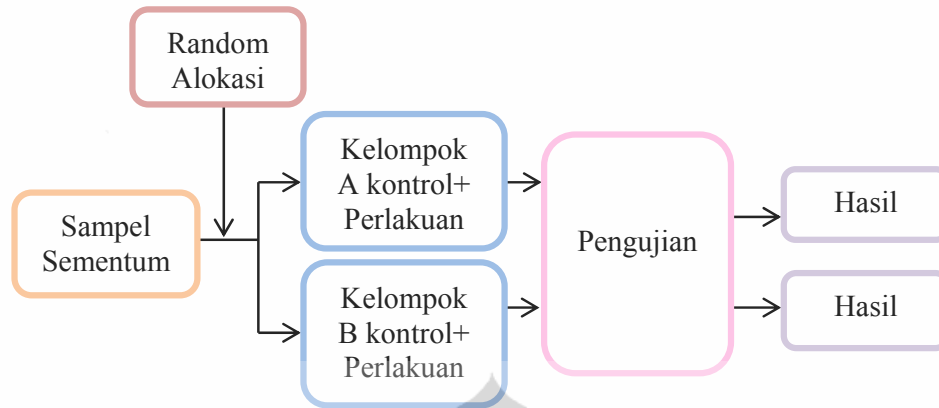
- Sample gigi dibersihkan tanpa tekanan dengan *ultrasonic cleaner*.
- Setelah bersih dari sisa-sisa jaringan periodontal, gigi-gigi dibersihkan dengan aquades dan disimpan di dalam larutan saline.
- Gigi-gigi kemudian dipotong dengan *carborundum disc* sehingga terpisah antara mahkota dan akar giginya. Sementum, terdapat pada bagian akar gigi mulai dari servikal gigi hingga ujung apikal akar.
- Selanjutnya akar gigi- gigi tersebut masing- masing ditanam dalam gips keras sedemikian rupa sehingga permukaan distal akar gigi tidak tertanam dan posisinya relatif sejajar lantai. Selanjutnya permukaan distal spesimen tersebut ditutup dengan gips keras sehingga hanya permukaan distal tertutup dengan gips dengan ketebalan yang sama pada semua spesimen. Di atas gips diberikan landasan terbuat dari kaca tempat tekanan diberikan. Terlihat pada gambar 4.8.



Gambar 4.8 Spesimen sementum

4.6.2.2 Tahap Penentuan Kelompok Sampel Spesimen Sementum

Sesudah tahap persiapan spesimen sementum, selanjutnya dilakukan tahap penentuan kelompok sampel spesimen sementum. Tahap ini dilakukan secara random alokasi. Lihat Gambar 4.9.



Gambar 4.9 Random alokasi sampel.

Spesimen sementum berjumlah 10 (sepuluh) buah. Randomisasi dilakukan guna menentukan 5 (lima) spesimen kelompok pengujian A , serta 5 (lima) spesimen pengujian B .

4.6.2.3 Tahap perlakuan

Tahap perlakuan yang dimaksud disini adalah tahap pemberian tekanan pada spesimen sementum kelompok perlakuan. Pemberian tekanan dilakukan dengan 2 (dua) variabel bebas yaitu besarnya tekanan dan durasi pemberian tekanan. Besarnya tekanan ditetapkan sebesar 300 gr/cm² dan 600gr/cm². Durasi pemberian tekanan adalah selama 5 (lima) dan 10 (sepuluh) hari. Maka terdapat 2 (dua) spesimen yang diberi tekanan sebesar 300 gr/cm² selama 5 (lima) hari ; 2 (dua) spesimen yang diberi tekanan 600gr/cm² selama 5 (lima) hari ; 2 (dua) spesimen diberi tekanan sebesar 300 gr/cm² selama 10 (sepuluh) hari dan 2 (dua) spesimen yang diberi tekanan 600gr/cm² selama 10 (sepuluh) hari.

4.6.3 Tahap pengujian

Hasil perlakuan pada spesimen kelompok pengujian A dinilai berdasarkan parameter kekerasan mikro permukaan sementum setelah diberi tekanan dan aplikasi asam fosfat 1%. Demikian pula penilaian yang dilakukan terhadap 1 (satu) spesimen sementum spesimen kontrol A yang

tidak diberi tekanan. Analisis hasil uji dilihat berdasarkan perbedaan nilai kekerasan mikro permukaan jaringan spesimen sementum kontrol (A1) dengan nilai kekerasan mikro permukaan spesimen sementum perlakuan (A2-A5).

Sedangkan hasil pengujian pada spesimen kelompok pengujian B dinilai berdasarkan parameter gambaran permukaan jaringan sementum, prosentase elemen permukaan mikrostruktur jaringan sementum dan perubahan kristal apatit jaringan sementum dibandingkan dengan hasil pengujian yang sama pada spesimen kontrol.

4.6.3.1 Pengujian Kekerasan Mikro Permukaan Jaringan Sementum

Uji analisis pada spesimen kelompok A adalah uji kekerasan mikro permukaan spesimen sementum. Diawali dengan uji kekerasan mikro permukaan jaringan sementum pada spesimen kontrol maupun spesimen yang mendapat perlakuan. Tahap selanjutnya, spesimen kontrol maupun ke 4 (empat) spesimen perlakuan mendapat aplikasi asam fosfat 1% dan kelimanya kemudian diuji ulang kekerasan mikro permukaan sementum. Pengujian terhadap kekerasan mikro permukaan jaringan sementum dilakukan dengan memakai *Microhardness tester* (Shimadzu HMV2-TL) dengan indenter *Vickers* terhadap permukaan keping-keping spesimen sementum dengan tekanan 25 gram selama 10 detik.

4.6.3.2 Pengujian Perubahan Gambaran Permukaan dan Prosentase Elemen Permukaan Mikrostruktur Jaringan Sementum

Tahap pengujian ini dilakukan dengan memakai *Scanning Electron Microscope* (SEM), yaitu untuk melihat perubahan gambaran pada permukaan jaringan sementum serta menentukan daerah uji pada permukaan spesimen sementum yang sudah mendapat pemberian tekanan dengan besar tekanan serta durasi tekanan yang sudah

ditentukan. Kemudian, pada daerah uji tersebut dilakukan pengujian metode *Energy Dispersive X-Ray/spectrometri* (EDX/EDS) guna mengetahui perbedaan prosentase elemen mikrostruktur pada permukaan spesimen sementum. Pengujian dengan SEM dan EDX ini dilakukan pada spesimen kelompok pengujian B. Data yang diperoleh berupa prosentase elemen Kalsium, Fosfor, Karbon dalam satuan %. Untuk keperluan tersebut digunakan sinar X dengan emisi *backscattered*, i-Probe 900 mA dengan tegangan filamen 15kV dan panjang gelombang dibawah arus 1000mA.

4.6.3.3 Pengujian Perubahan Kristal Apatit Jaringan Sementum

Setelah spesimen-spesimen sementum diuji gambaran permukaan serta prosentase elemen mikrostruktur jaringan sementum, selanjutnya lapisan sementum uji dikikis dan ditumbuk memakai mortar dan pestel sehingga diperoleh 5 (lima) kumpulan serbuk sementum. Kumpulan serbuk tersebut diletakkan pada 5 (lima) *sample holders* dan selanjutnya ditembak dengan sinar X. Dengan demikian, diharapkan akan dihasilkan pendaran difraksi pada panjang gelombang tertentu. Hal tersebut pada penelitian ini digunakan untuk menganalisis jarak antar bidang kristal apatit, ukuran butir kristal apatit dan perubahan regangan mikro kristal apatit. Pengujian ini dilakukan dengan alat Philips *Diffractometer* PW 370, dengan tube anoda Cu, $\lambda = 1,5406 \text{ \AA}$, tegangan filamen 40 KeV, $2\theta = 20^\circ - 60^\circ$, inkremen $\theta = 0,02^\circ$ dan waktu setiap inkremen adalah 1,25 detik. Hasil pengujian dianalisis melalui piranti lunak APD (*Auto Powder Diffraction*), sedang untuk besar kristal digunakan dengan Bella V2-1.⁷⁹

Ukuran butir kristal (*Crystallite size*) dihitung dengan rumus Scherrer:

$$D = \frac{K\lambda}{\beta \cos \theta} \quad (4.1)$$

Keterangan :

D : ukuran butir kristal

K : konstanta (dari 0,7–1,7, disini digunakan $K= 1,0$)

λ : panjang gelombang sinar X

β : Lebar kurva (ditetapkan dengan Bela V2-1)

Regangan mikro (*Micro strain*) dihitung dengan rumus :

$$\beta_s = \eta \tan \theta \quad (4.2)$$

Keterangan :

β_s = lebar kurva

η = regangan mikro

4.7 Manajemen Data

Data yang diperoleh seluruhnya merupakan data numerik. Untuk analisis komparatif dengan data numerik, digunakan uji 1-way ANOVA dan T-test. Batas penetapan kemaknaan untuk seluruh uji adalah 5%.

4.8 Masalah Etika

Sudah diperoleh izin dari komisi etik untuk penggunaan BBT (Bahan Biologi Tersimpan). Selain itu, telah diperoleh juga surat *informed consent* yang ditanda tangani oleh pasien sebagai pernyataan persetujuan bahwa gigi yang akan dicabut itu masing-masing akan dipergunakan sebagai sampel penelitian ini.

BAB 5

HASIL PENELITIAN

Telah dilakukan serangkaian uji laboratorik dalam rangka mencapai tujuan penelitian ini. Secara garis besar, telah dilakukan 2 (dua) rangkaian kegiatan penelitian. Rangkaian penelitian pertama menganalisis apakah pemberian tekanan menyebabkan perubahan kekerasan mikro permukaan sementum. Adapun rangkaian penelitian kedua merupakan penelitian terhadap perubahan permukaan jaringan sementum serta perubahan kristal apatit mikrostruktur sementum sebagai upaya mencari konfirmasi atas terjadinya perubahan mikrostruktur permukaan jaringan sementum.

5.1 Hasil Uji Kekerasan Mikro Permukaan Sementum

Secara garis besar, terlihat bahwa nilai rerata kekerasan mikro permukaan sementum yang mendapat perlakuan pemberian tekanan, lebih kecil daripada sementum yang tidak mendapat tekanan. Demikian pula nilai rerata kekerasan mikro permukaan sementum yang mendapat aplikasi asam lebih kecil daripada nilai kekerasan mikro permukaan sementum yang tidak mendapat aplikasi asam.

Nilai kekerasan mikro permukaan sementum yang diberi tekanan pada daerah 1/3 (sepertiga) servikal, jika dibandingkan dengan nilai kekerasan mikro permukaan sementum kontrol, juga tampak lebih kecil. Berbeda dengan daerah 1/3 (sepertiga) apikal, hanya specimen sementum A3 dan A4 yang nilainya lebih rendah daripada spesimen kontrol. Sedangkan spesimen sementum yang mendapat tekanan paling ringan (A2) dan tekanan paling berat (A5) yang nilai kekerasan mikro permukaannya lebih tinggi daripada spesimen kontrol. Terlihat pada Tabel 5.1 dibawah ini.

Tabel 5.1.
 Nilai Rerata Kekerasan Mikro Permukaan Sementum spesimen A2-A5 Sesudah Pemberian Tekanan & Sesudah Aplikasi Asam

Spesimen	Kekerasan Mikro(VHN) Sesudah Pemberian tekanan		Kekerasan Mikro (VHN) Sesudah Aplikasi Asam	
	Rerata	SD	Rerata	SD
1/3 Servikal				
A 1 (Kontrol)	34,57	2,51	28,90	2,76
A 2	32,17	3,40	25,97	1,33
A 3	22,17	4,02	21,60	1,15
A 4	22,30	1,92	14,23	1,15
A 5	25,20	2,00	15,83	0,51
1/3 Apikal				
A 1 (Kontrol)	28,93	1,50	26,00	1,77
A 2	32,07	3,77	22,90	2,95
A 3	27,97	4,63	14,00	0,61
A 4	22,80	1,06	11,73	0,81
A 5	30,10	3,30	15,07	0,71

Spesimen A1 : tanpa pemberian tekanan

Spesimen A2 : pemberian tekanan 300gr/cm² selama 5 hari

Spesimen A3 : pemberian tekanan 600gr/cm² selama 5 hari

Spesimen A4 : pemberian tekanan 300gr/cm² selama 10 hari

Spesimen A5 : pemberian tekanan 600gr/cm² selama 10 hari

Yang menarik adalah bahwa setelah uji perbedaan secara statistik antar nilai kekerasan mikro permukaan sementum yang mendapat tekanan terhadap sementum yang tidak diberi tekanan, terlihat bahwa nilai kekerasan mikro permukaan sementum bagian servikal berbeda bermakna terhadap sementum kontrol, kecuali yang mendapat tekanan paling ringan (300gr/cm² selama 5 hari). Adapun nilai- nilai kekerasan mikro permukaan sementum bagian apikal yang mendapat tekanan, meskipun reratanya terlihat lebih rendah tetapi secara statistik terlihat tidak berbeda bermakna dengan sementum kontrol (terlihat pada tabel 5.2 berikut ini).

Pada sementum yang kemudian diberi aplikasi asam, nilai kekerasan mikro permukaan di bagian servikal maupun apikal, jika dibandingkan dengan sementum kontrol, tampak berbeda bermakna secara statistik (tabel 5.3).

Tabel 5.2.

Perbedaan Kekerasan Mikro Permukaan Sementum kelompok perlakuan (Sesudah Pemberian Tekanan) Terhadap Spesimen Kontrol (VHN).

Spesimen	p	Perbedaan	IK 95%	
			Min	Mak
<u>1/3 Servikal</u>				
A 2 vs A 1	0,707	-2,40	-9,22	4,42
A 3 vs A 1	0,001*	-12,40	-19,22	-5,58
A 4 vs A1	0,001*	-12,27	-19,08	-5,45
A 5 vs A1	0,009*	-9,37	-16,18	-2,55
<u>1/3 Apikal</u>				
A 2 vs A 1	0,582	3,13	-4,32	10,59
A 3 vs A 1	0,986	-0,97	-8,42	6,49
A 4 vs A1	0,114	-6,13	-13,59	1,32
A 5 vs A1	0,973	1,17	-6,29	8,62

p < 0.05 ; Hasil Uji One Way Anova 1/3 servikal 0,001, 1/3 apikal 0,045

Spesimen A.1: tanpa pemberian tekanan

Spesimen A.2: pemberian tekanan 300 gr/cm² 5 hari

Spesimen A.3: pemberian tekanan 600 gr/cm² 5 hari

Spesimen A.4: pemberian tekanan 300 gr/cm² 10 hari

Spesimen A.5: pemberian tekanan 600 gr/cm² 10 hari

Tabel 5.3.

Perbedaan Kekerasan Mikro Permukaan Sementum kelompok perlakuan A (Sesudah Aplikasi Asam) terhadap Sementum kontrol (VHN).

Spesiemen	p	Perbedaan	IK 95%	
			Min	Max
<u>1/3 Servikal</u>				
A 2 vs A 1	<0,001	-8,60	-12,10	-5,10
A 3 vs A 1	<0,001	-12,97	-16,47	-9,47
A 4 vs A 1	<0,001	-20,33	-23,83	-16,83
A 5 vs A 1	<0,001	-18,73	-22,23	-15,23
<u>1/3 Apikal</u>				
A 2 vs A 1	0,003	-6,03	-9,76	-2,305
A 3 vs A 1	<0,001	-14,93	-18,66	-11,205
A 4 vs A 1	<0,001	-17,20	-20,93	-13,471
A 5 vs A 1	<0,001	-13,87	-17,60	-10,138

p < 0,05 ; Hasil Uji One Way Anova

Spesimen A.1: tanpa pemberian tekanan

Spesimen A.2: pemberian tekanan 300 gr/cm² 5 hari

Spesimen A.3: pemberian tekanan 600 gr/cm² 5 hari

Spesimen A.4: pemberian tekanan 300 gr/cm² 10 hari

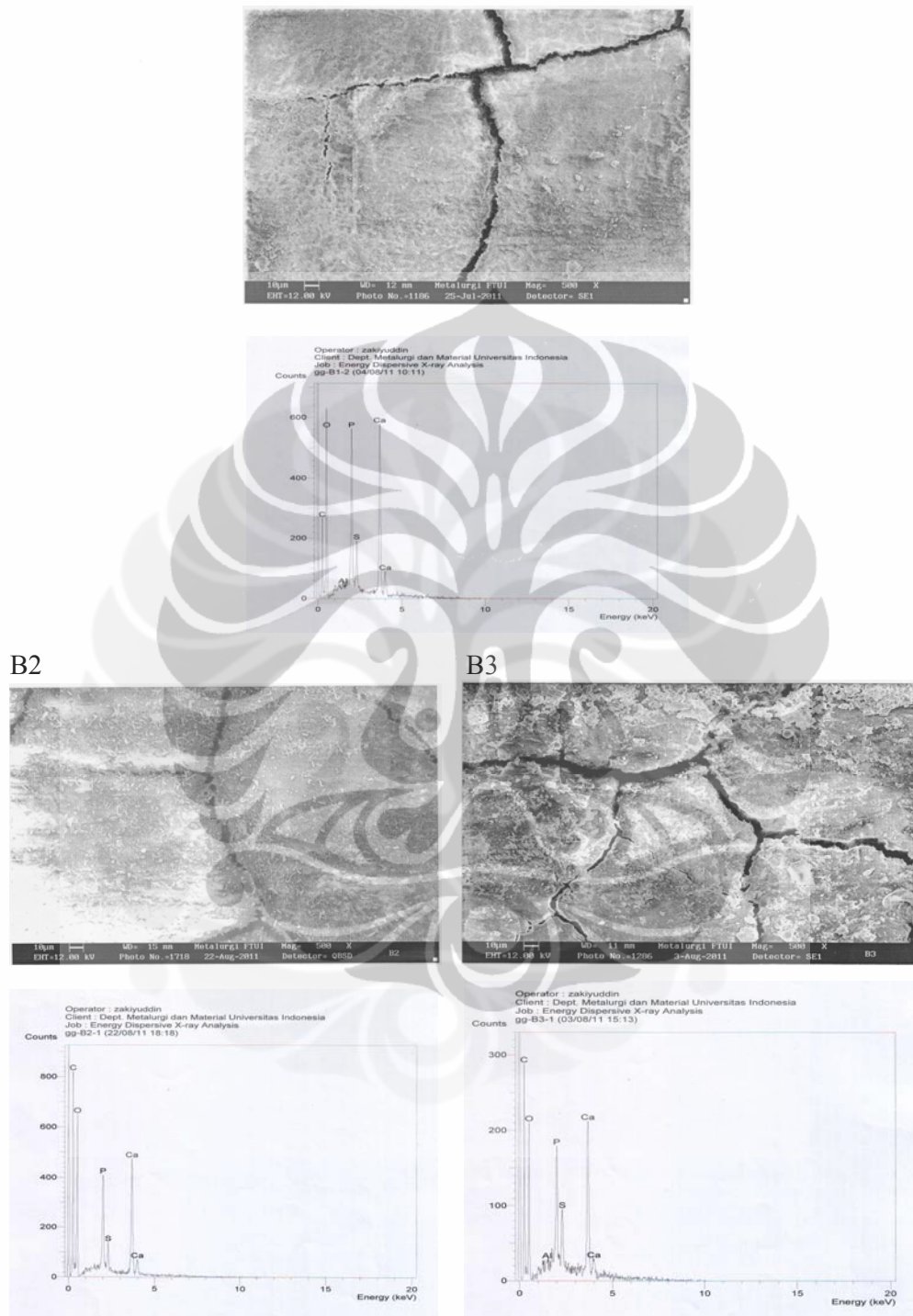
Spesimen A.5: pemberian tekanan 600 gr/cm² 10 hari

5.2 Hasil Uji Gambaran Permukaan dan Prosentase Elemen Mikrostruktur Permukaan Jaringan Sementum

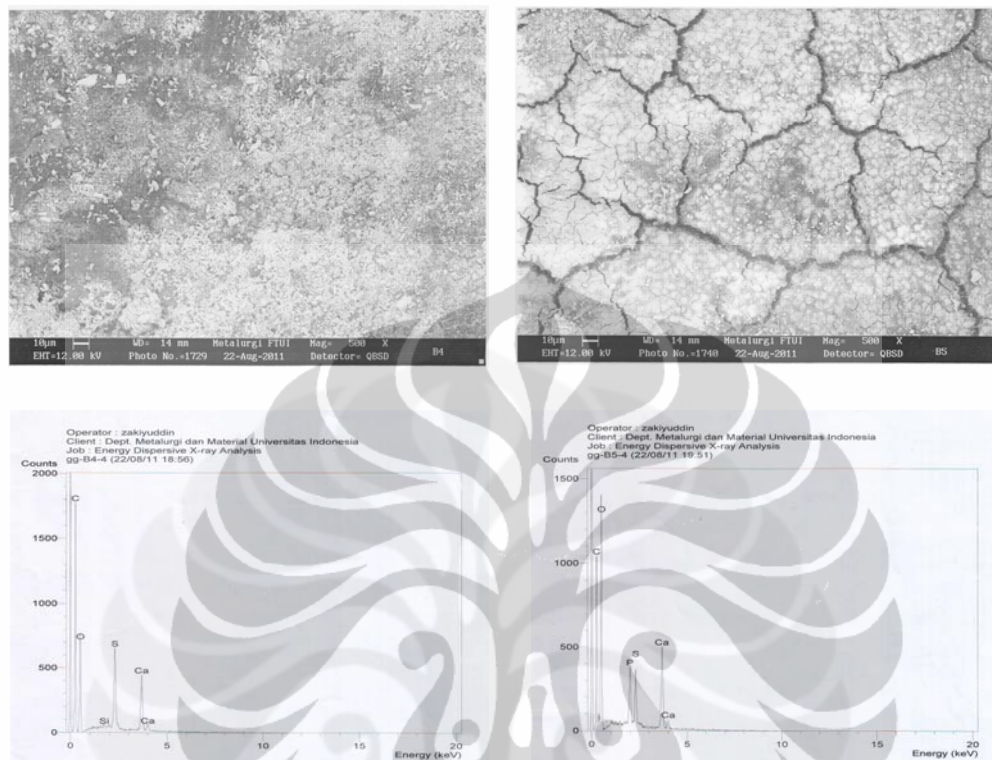
Sebagaimana telah disampaikan pada awal penyampaian hasil penelitian ini, 5 (lima) spesimen hasil random alokasi terpilih sebagai spesimen sementum perlakuan B yang diuji perbedaan gambaran permukaan dan prosentase elemen permukaan mikrostruktur jaringan sementum serta perbedaan kristal apatit mikrostruktur jaringan sementum

Mula- mula seluruh spesimen sementum kelompok B diuji gambaran permukaan mikrostruktur jaringan sementum. Kemudian ditentukan titik- titik uji prosentase elemen permukaan mikrostruktur jaringan menggunakan SEM/EDX. Lihat gambar 5.1-5.2. Tampak retakan pada gambaran permukaan jaringan sementum tanpa pemberian tekanan, namun selebihnya tampak halus. Pada sementum yang diberi tekanan paling ringan, gambaran permukaan mirip dengan gambaran permukaan sementum kontrol. Pada gambaran permukaan sementum yang diberi tekanan terbesar, baik pada durasi pendek maupun panjang tampak retakan- retakan yang tidak beraturan.

Hasil uji prosentase elemen permukaan sementum yang diberi tekanan menunjukkan tidak ada perbedaan bermakna pada prosentase elemen Kalsium dan Fosfor bila dibandingkan dengan sementum kontrol. Tetapi elemen Karbon cenderung berbeda dan bermakna secara statistik bila dibandingkan antara sementum yang diberi tekanan dengan sementum tanpa tekanan. Hasil uji prosentase Karbon memperlihatkan bahwa tekanan ringan akan lebih meningkatkan prosentase Karbon dibandingkan tekanan yang lebih besar. Sedangkan durasi pemberian tekanan yang lebih lama akan menurunkan prosentase Karbon. Terlihat bahwa pada tekanan 300 gr/cm² maupun 600 gr/cm² selama 5 (lima) hari akan terjadi peningkatan prosentase Karbon, namun akan menurun setelah pemberian tekanan 10 (sepuluh) hari. Terlihat pada tabel 5.4.



Gambar 5.1 : Gambaran spektromikrograf permukaan sementum pada pembesaran 500x serta hasil analisis EDX pada spesimen B1(kontrol) dan spesimen yang mendapat tekanan 300gr/cm² selama 5 hari (B2), spesimen yang mendapat tekanan 600gr/cm² selama 5 hari (B3).



Gambar 5.2 : Gambaran spektromikrograf permukaan sementum pada pembesaran 500x serta hasil analisis EDX pada spesimen B4 yang mendapat tekanan 300gr/cm² selama 10 hari dan spesimen B5 ditekan 600gr/cm² selama 10 hari.

Tabel 5.4
Rerata % Elemen Kalsium, Fosfor, Karbon Permukaan Sementum Kelompok B

Spesimen	Kalsium		Fosfor		Karbon	
	Rerata	SD	Rerata	SD	Rerata	SD
B 1	55,96	14,84	37,80	16,66	6,22	3,32
B 2	33,04	11,65	25,47	10,12	41,64	20,67
B 3	53,72	21,12	33,48	5,02	19,50	11,39
B 4	58,18	12,47	42,62	12,34	37,56	13,31
B 5	45,68	6,04	40,90	3,92	13,41	6,15

Spesimen B1 : tanpa pemberian tekanan

Spesimen B2 : pemberian tekanan 300gr/cm² selama 5 hari

Spesimen B3 : pemberian tekanan 600gr/cm² selama 5 hari

Spesimen B4 : pemberian tekanan 300gr/cm² selama 10 hari

Spesimen B5 : pemberian tekanan 600gr/cm² selama 10 hari

5.3 Hasil Uji Perubahan Kristal Apatit Sementum

Sesudah dilakukan pengujian terhadap prosentase elemen permukaan sementum, dilakukan uji perubahan kristal apatit dengan memakai metode *Powder XRD* menggunakan *Diffractometer*. Hasil pengujian dengan metode ini menunjukkan bahwa senyawa yang terdapat dalam spesimen sementum uji pada penelitian ini adalah suatu Hidroksi Apatit (*Calcium Phosphate Hydroxide*, sesuai dengan ICDD 73-0294). Hasil uji perubahan kristal apatit menunjukkan nilai- nilai *FWHM* (*Full Width at Half Maximum*) yang berbeda pada sementum yang diberi tekanan bila dibandingkan dengan sementum tanpa tekanan. Nilai *FWHM* ini kemudian dihitung memakai rumus *Scherrer* sehingga diperoleh nilai-nilai ukuran butir kristal apatit dan regangan mikro kristal apatit. Terlihat pada tabel 5.5.

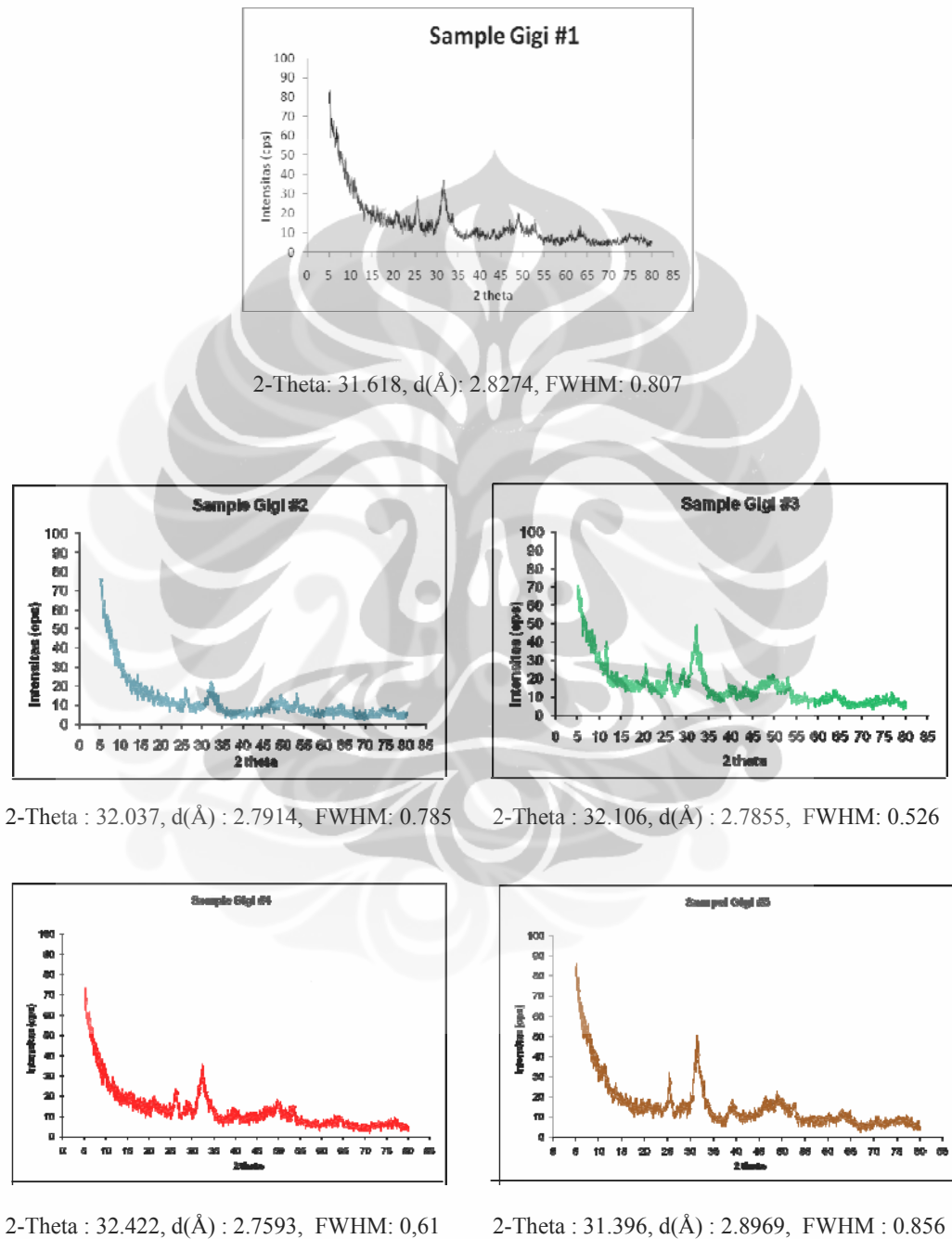
Tabel 5.5.
Jarak antar bidang kristal (Å), Ukuran Butir Kristal (nm) dan Regangan Mikro Kristal (\square) Permukaan Sementum Spesimen B1-B5

Spesimen	d (Å)	D (nm)	\square (%)	Δ (%)
B 1	2,83	2,16	1,68	0
B 2	2,79	2,24	1,42	0,26
B 3	2,78	3,34	0,95	0,73
B 4	2,75	2,89	1,09	0,59
B 5	2,84	2,04	1,57	0,11

Spesimen B1 : tanpa pemberian tekanan
 Spesimen B2 : pemberian tekanan 300gr/cm² selama 5 hari
 Spesimen B3 : pemberian tekanan 600gr/cm² selama 5 hari
 Spesimen B4 : pemberian tekanan 300gr/cm² selama 10 hari
 Spesimen B5 : pemberian tekanan 600gr/cm² selama 10 hari

Selain itu, hasil pengujian perubahan kristal apatit memperlihatkan besaran sudut 2 Theta dan nilai d (jarak antar bidang kristal, satuan Ångstrom) yang

berbeda pada sementum yang mendapat tekanan bila dibandingkan dengan sementum tanpa pemberian tekanan. Terlihat pada gambar 5.3 berikut ini.



Gambar 5.3. Grafik hasil uji XRD sementum B1 – B5

BAB 6

PEMBAHASAN

Perubahan mikrostruktur permukaan jaringan sementum akar gigi karena suatu pemberian tekanan belum pernah dilaporkan di Indonesia. Adalah Reitan yang mula-mula melaporkan dalam tulisannya di tahun 1964 bahwa tekanan ortodontik sebesar 50 gram/cm^2 yang dikenakan pada gigi premolar selama 30 hari telah menimbulkan resorpsi kecil di daerah apikal di sisi tekanan. Temuan ini terlihat secara histologis.¹

Secara biologis, resorpsi akar gigi atau resorpsi jaringan sementum lebih sulit terjadi dibandingkan resorpsi tulang, mengingat bahwa kristal sementum lebih stabil dan tahan terhadap demineralisasi oleh asam yang dihasilkan oleh sel-sel klas.⁵⁴ Oleh karena itu, kejadian resorpsi sementum dapat diartikan karena adanya gangguan pada keseimbangan jaringan sementum dengan intensitas yang tinggi. Gangguan keseimbangan dapat berupa mekanisme fisiologis maupun patologis. Gangguan fisiologis tentunya akan memberi reaksi biologis sebagai kompensasi bagi perbaikan atau penggantian bagian yang rusak atau hilang. Apabila gangguan terjadi secara patologis tentunya akan memberi kerugian bagi jaringan sementum dan sekitarnya. Dalam hal ini, pemberian tekanan pada perawatan ortodontik dianggap sebagai salah satu faktor risiko yang mempengaruhi terjadinya perubahan sementum akar gigi yang secara klinis ditemukan sebagai resorpsi akar gigi.^{9, 12, 31, 34, 65}

Guna menghindari adanya pengaruh faktor-faktor perancu, dilakukan penelitian *in vitro* guna menganalisis pengaruh pemberian tekanan ortodontik pada permukaan sementum akar gigi. Adapun parameter yang dipakai dalam rangka menganalisis perubahan permukaan jaringan sementum adalah kekerasan mikro permukaan sementum, gambaran permukaan jaringan sementum, prosentase elemen permukaan jaringan sementum, serta perubahan kristal apatit jaringan sementum yang meliputi perubahan jarak antar bidang kristal, ukuran butir kristal dan regangan mikro kristal apatit sementum.

6.1 Kekerasan Mikro Permukaan Jaringan Sementum

Analisis perubahan mikrostruktur jaringan sementum diawali dengan pengujian kekerasan mikro permukaan jaringan sementum sesudah pemberian tekanan pada permukaan jaringan sementum. Nilai-nilai rerata, memperlihatkan bahwa kekerasan mikro permukaan sementum yang diberi tekanan maupun yang kemudian diberi asam, cenderung menurun nilainya jika dibandingkan dengan sementum tanpa pemberian tekanan maupun aplikasi asam. Dalam literatur dikatakan bahwa sementum termasuk dalam klasifikasi material keramik. Dan dikatakan kekerasan permukaan material keramik hanya dapat berubah pada pemberian temperatur tinggi atau melalui suatu proses kimiawi yang memungkinkan berkurangnya atau bertambahnya beberapa elemen pembentuk atau penyusun struktur kristal apatitnya. Atau dengan kata lain, kekerasan mikro permukaan jaringan sementum ditentukan oleh struktur kristal apatit yang perubahannya hanya dapat terjadi bila mendapat energi sangat tinggi karena pemanasan, atau karena suatu proses kimiawi. Pada penelitian ini, permukaan jaringan sementum diberi tekanan yang berupa tekanan kompresi. Terlihat bahwa sesudah pemberian tekanan, nilai kekerasan mikro permukaan jaringan sementum berbeda dibandingkan kekerasan mikro permukaan jaringan sementum yang tidak diberi tekanan. Hal ini besar kemungkinan terjadi karena energi yang diberikan pada proses pemberian tekanan telah mengakibatkan semakin lebarnya batasan antar granula atau terjadinya retakan transgranular sehingga menimbulkan retakan-retakan yang pada akhirnya mengurangi ketahanan permukaan jaringan sementum terhadap penjejasan, atau dengan kata lain kekerasan mikro permukaan sementum menjadi lebih kecil sesudah pemberian tekanan.⁸⁰

Yang menarik adalah bahwa pada sementum yang diberi tekanan terbesar dan terlama, terlihat nilai kekerasan mikro permukaannya lebih tinggi daripada sementum yang diberi beban ringan dalam durasi yang sama panjangnya (di bagian servikal A5= 25,20 VHN ; A4= 22,30 VHN. Di bagian apikal A5= 30,10 VHN; A4= 22,80 VHN). Dalam literatur dikatakan bahwa

kekerasan suatu material meningkat seiring dengan menurunnya ukuran butir kristal.⁷⁷ Hal ini menuntun pada suatu pemikiran bahwa tekanan ortodontik terbesar dan terlama yang diberikan pada permukaan sementum telah menyebabkan ukuran butir kristal pada sementum menjadi lebih kecil dan seiring dengan itu kekerasan mikro permukaan meningkat. Pemikiran tersebut tampak sesuai dengan temuan pada uji perubahan kristal dalam hal ukuran butir kristal (ukuran butir kristal pada B5, D= 2,04 ; pada B4, D= 2,89).

Pengujian pada penelitian ini dilakukan pada permukaan 1/3 (sepertiga) servikal dan 1/3 (sepertiga) apikal sementum sisi distal akar gigi. Hal ini didasarkan pada teori yang mengatakan bahwa daerah 1/3 (sepertiga) servikal sementum lebih bersifat aseluler, sedangkan 1/3 (sepertiga) apikal sementum lebih bersifat seluler sehingga memberikan reaksi berbeda pada suatu perlakuan. Sedangkan sisi distal dipilih karena pada umumnya sisi distal inilah yang mengalami kompresi baik secara fisiologis maupun ortodontik.

Yang agak berbeda dengan penelitian terdahulu adalah bahwa ternyata, bila dilihat dari bagian sementum yang diuji kekerasan mikro permukaannya, tampak hasil dari penelitian ini menunjukkan bahwa bagian servikal lebih kecil nilai kekerasan mikro permukaannya dibandingkan dengan bagian apikal (terlihat pada tabel 5.2). Penelitian sebelumnya menyatakan sebaliknya (kekerasan mikro permukaan servikal = 59 ± 5 VHN; kekerasan mikro permukaan apikal = 29 ± 12 VHN).⁵⁶ Hal tersebut kemungkinan terjadi semata-mata karena jaringan sementum di daerah servikal yang jauh lebih tipis (16- 60 μm) daripada jaringan sementum di daerah apikal (50-200 μm)⁸¹. Sehingga pada waktu seluruh permukaan sementum spesimen uji diberi tekanan sama besar, bagian yang paling tipis yaitu bagian servikal mengalami keretakan lebih banyak sehingga pada saat pengujian kekerasan mikro permukaan terbaca nilainya lebih kecil daripada permukaan apikal sementum.

Bila dianalisis berdasarkan bagian servikal dan apikal sementum akar gigi, tampak bahwa sesudah pemberian tekanan dan aplikasi asam, kekerasan mikro permukaan sementum bagian apikal nilainya lebih kecil daripada bagian servikal pada seluruh spesimen uji pada penelitian ini. Namun pada pemberian tekanan yg terbesar disertai aplikasi asam, kekerasan mikro permukaan agak

lebih besar daripada kekerasan mikro sementum yang diberi tekanan lebih ringan (kekerasan mikro permukaan servikal sementum A5= 15,83 ; A4=14,23. Kekerasan mikro permukaan apikal sementum A5= 15,07 ; A4= 11,73). Hal tersebut kemungkinan besar karena adanya perbedaan kandungan mineral dalam jaringan sementum di permukaan bagian servikal dan apikal. Dikatakan bahwa permukaan bagian servikal akar terdiri dari sementum aseluler, sedangkan permukaan bagian apikal akar gigi terdiri dari sementum seluler. Pembagian ini tidak ada batas yang jelas, dalam artian bahwa sementum aseluler sesungguhnya berjalan semakin menipis dari bagian servikal kearah apikal. Sebaliknya sementum seluler berjalan semakin menebal kearah apikal akar gigi. Sementum aseluler merupakan jaringan sementum tipis (16- 60 μm) yang merupakan jalinan padat serat *Sharpey* termineralisasi secara luas. Berbeda dengan sementum seluler yang meskipun lebih tebal (50-200 μm) namun kurang padat serat dan kurang termineralisasi sebagaimana sementum aseluler.^{46,81} Dikatakan bahwa kekerasan mikro sementum berhubungan dengan mineral yang terkandung didalamnya.⁵⁶ Maka kemungkinan kurangnya kandungan mineral pada sementum seluler dipermukaan bagian apikal sementum inilah, yang menyebabkan jaringan sementum dibagian apikal akar gigi lebih rendah ketahanannya terhadap penjejasan sesudah aplikasi asam, dibandingkan dengan permukaan sementum bagian servikal.¹³ Hal ini terlihat pada nilai kekerasan mikro permukaan apikal sementum setelah pemberian tekanan dan aplikasi asam yang lebih rendah dibandingkan dengan permukaan servikal sementum (lihat tabel 5.3 dan 5.4).

Hal tersebut diatas dapat dimengerti karena pada aplikasi asam fosfat 1% terjadi proses kimiawi. Seperti diketahui pada kristal hidroksi apatit posisi gugus OH^- pada sumbu c merupakan bagian yang paling mudah berikatan dengan ion H^+ dari asam fosfat yang diaplikasikan. Terurainya kristal hidroksi apatit sementum ini akan menyebabkan terjadinya perubahan struktur kristal apatit sementum, yang kemudian berujung pada menurunnya nilai kekerasan mikro permukaan sementum. Bila dibandingkan dengan penelitian - penelitian terdahulu secara *in vivo*, temuan pada penelitian ini tampak sejalan yaitu bahwa pemberian tekanan yang semakin besar akan diikuti dengan semakin

rendahnya ketahanan permukaan jaringan sementum terhadap penjejasan⁵⁸. Namun ada yang menarik pada temuan ini, yaitu fakta bahwa pada pemberian tekanan yg terbesar disertai aplikasi asam, kekerasan mikro permukaan justru agak lebih besar daripada kekerasan mikro sementum yang diberi tekanan lebih ringan (Kekerasan mikro permukaan servikal sementum A5= 15,83 ; A4=14,23. Kekerasan mikro permukaan apikal sementum A5= 15,07 ; A4= 11,73). Fakta ini tampaknya memiliki makna yang sama dengan fakta sebelumnya yaitu bahwa pada pemberian tekanan ortodontik terbesar akan terjadi perubahan ukuran butir kristal yang semakin kecil. Dan hal ini akan meningkatkan kekerasan mikro permukaan.⁷⁷

Pada uji statistik, terdapat perbedaan yang bermakna pada nilai kekerasan mikro permukaan sementum kelompok perlakuan yang telah mendapat tekanan dan aplikasi asam bila dibandingkan dengan sementum yang tidak diberi tekanan.

6.2 Gambaran Permukaan Mikrostruktur Jaringan Sementum

Perubahan gambaran mikrostruktur permukaan jaringan sementum setelah pemberian tekanan, dilihat dengan SEM. Pada penelitian ini pembesaran 500x tampaknya kurang jelas untuk dapat melihat perubahan gambaran mikrostruktur permukaan jaringan sementum tersebut. Namun demikian tetap dapat terlihat pada sementum yang tidak diberi tekanan, gambaran permukaan sementum relatif masih baik. Memang terdapat retakan yang sangat mungkin ada karena sifat material keramik yang dikatakan getas atau *brittle*. Dikatakan bahwa material yang termasuk dalam klasifikasi material keramik, memiliki sifat yang *brittle* dalam suhu kamar sekalipun.⁸⁰ Retakan ini berbeda dengan retakan- retakan yang dijumpai pada permukaan - permukaan sementum yang diberi tekanan. Pada sementum yang diberi tekanan, terlihat retakan - retakan yang mengikuti bentuk granula-granula pada permukaan sementum. Sehingga membentuk garis-garis retakan yang tampak berkelok-kelok mengikuti bentuk kumpulan granula yang berkelompok - kelompok akibat pemberian tekanan. Hal ini merupakan fakta bahwa pemberian berbagai besaran tekanan disertai durasi tekanan yang berbeda pada permukaan sementum telah menyebabkan

adanya perubahan mikrostruktur jaringan sementum yang mungkin berupa terpisahnya granula-granula, yang kemudian diikuti dengan berkelompoknya granula-granula tersebut dengan granula lain yang terdekat dan memiliki kesamaan sifat.

6.3 Prosentase Elemen Permukaan Jaringan Sementum

Berdasarkan kemampuan membaca dari detektor EDX, terbaca bahwa terdapat 7 (tujuh) elemen yaitu C, O, S, Al, P, Si, Ca pada permukaan mikrostruktur permukaan spesimen sementum akar gigi pada penelitian ini.

Penelitian ini memakai tekanan ortodontik dalam bentuk tekanan kompresi sebagai perlakuan pada permukaan jaringan sementum akar gigi. Sebagaimana dikatakan dalam teori, material yang masuk dalam klasifikasi keramik memiliki sifat mekanis berupa kekerasan mikro yang hanya dapat dapat berubah oleh suhu tinggi atau proses kimiawi.⁸⁰ Pada penelitian ini ditemukan fakta adanya perubahan kekerasan mikro permukaan serta gambaran mikrostruktur jaringan sementum sebagaimana telah diungkapkan diatas. Fakta- fakta tersebut memberi indikasi bahwa tekanan ortodontik juga dapat mempengaruhi perubahan mikrostruktur jaringan sementum uji pada penelitian ini. Kedua fakta tersebut ditambah dengan fakta adanya perbedaan prosentase Karbon pada permukaan jaringan sementum uji yang terjadi bukan karena adanya pelepasan elemen pada perubahan struktur kristal sementum. Perbedaan tersebut bisa terjadi karena pemberian tekanan menyebabkan perubahan pada senyawa- senyawa organik dalam jaringan sementum sehingga terbaca pada prosentase elemen Karbon.⁴⁸ Sebagaimana diketahui, sementum seperti halnya tulang ataupun biomaterial lain, mengandung unsur-unsur organik termasuk kolagen dan beberapa jenis protein.^{48,82} Unsur- unsur organik inilah yang sangat mungkin melepaskan elemen Karbon akibat mendapat tekanan ortodontik sehingga terbaca sebagai adanya perubahan prosentase elemen Karbon pada penelitian ini. Adapun elemen Kalsium dan Fosfor terbukti tidak berbeda bermakna bila dibandingkan dengan sementum yang tidak mendapat perlakuan (lihat lampiran analisis data). Ini merupakan

indikasi bahwa tidak terjadi pelepasan elemen Kalsium dan Fosfor karena perubahan struktur kristal apatit sementum.

6.4 Perubahan Kristal Apatit Permukaan Jaringan Sementum.

Perubahan mikrostruktur permukaan jaringan sementum setelah pemberian tekanan dengan besaran dan durasi pemberian tekanan yang berbeda, dalam hal ini perubahan kristal apatit, diuji dengan metode *Powder XRD*. Hasilnya menunjukkan bahwa spesimen sementum pada penelitian ini merupakan senyawa Hidroksi apatit yang sesuai dengan data dari *ICDD 73-0294 Calcium Phosphate Hydroxide*. (Lihat lampiran). Pola difraksi menunjukkan bahwa Hidroksi apatit dari sementum tersebut mempunyai kristalinitas cukup tinggi. Adapun hasil uji XRD dapat dilihat pada gambar 5.3 dan tabel 5.5.

Pada hasil uji XRD tersebut terlihat bahwa nilai d (jarak antar bidang kristal) pada sementum-sementum yang mendapat tekanan memiliki perbedaan jika dibandingkan dengan nilai d pada sementum yang tidak mendapat tekanan. Demikian pula sudut 2θ , sudut dimana tergambar puncak difraksi kristal apatit sementum, tampak menunjukkan perbedaan jika dibandingkan dengan sementum yang tidak mendapat tekanan. Kedua hal tersebut merupakan indikasi bahwa telah terjadi distorsi atau perubahan bentuk unit sel kristal apatit sementum akibat pemberian tekanan ortodontik. Jarak antar bidang kristal sementum yang diberi tekanan, jika dibandingkan dengan sementum tanpa tekanan, menunjukkan nilai yang semakin kecil sejalan dengan bertambahnya besar dan durasi pemberian tekanan. Namun pada tekanan terbesar dan terlama tampak nilai d (jarak antar bidang kristal) tersebut lebih besar. Hal ini berlaku sebaliknya dengan yang terjadi pada nilai sudut θ , yang pada pemberian tekanan terbesar dan terlama kembali lebih kecil. Dengan memakai rumus, hasil uji XRD, dalam hal ini nilai d (jarak antar bidang kristal) dan $FWHM$ digunakan untuk menghitung ukuran Butir Kristal Apatit dan Regangan Mikro Kristal apatit sementum. Hasil perhitungan menunjukkan bahwa nilai-nilai ukuran butir kristal dan regangan mikro kristal sementum mengecil sejalan dengan pertambahan besar dan durasi tekanan.

6.5 Pengaruh Tekanan Ortodontik Terhadap Perubahan Mikrostruktur Jaringan Sementum

Menjawab pertanyaan umum penelitian ini, hasil dan pembahasan diatas telah mengungkap bahwa pemberian tekanan ortodontik memungkinkan terjadinya perubahan mikrostruktur jaringan sementum. Hal tersebut didukung dengan fakta adanya deformasi kristal apatit sementum. Deformasi kristal apatit sementum tersebut kemungkinan terjadi antara lain karena pergeseran elemen penyusun kristal apatit. Hal ini dikonfirmasi dengan hasil XRD yang menunjukkan adanya penurunan puncak difraksi kristal apatit sementum.

Pada pemberian tekanan 300 gram/cm² selama 5 (lima) hari, terjadi perubahan intensitas kristal yang ditandai dengan perubahan difraksi berupa puncak difraksi yang lebih rendah, serta penyempitan *FWHM* (0,785) pada sudut 2 Theta (32,037⁰). Perubahan tersebut dikuti dengan perubahan ukuran butir kristal yang lebih besar (2,24 nm) dan regangan mikro kristal yang lebih kecil (1,42%). Perubahan pada tingkat kristal ini terlihat pada tingkat mikrostruktur berupa retakan pada gambaran permukaan jaringan sementum serta kekerasan mikro permukaan jaringan sementum yang lebih kecil bila dibandingkan dengan sementum tanpa pemberian tekanan (*FWHM*= 0,807; sudut 2 Theta= 31,618; Ukuran butir kristal= 2,16 nm; regangan mikro kristal= 1,68%).

Penambahan besar tekanan menjadi 600 gram/cm² dalam durasi 5 hari mengubah intensitas kristal lebih baik dengan perubahan difraksi berupa puncak difraksi yang lebih tinggi, serta penyempitan *FWHM* (0.526), ukuran butir kristal semakin besar (3.34 nm) dan regangan mikro kristal yang semakin kecil (0.95%) pada tingkat kristal. Pada tingkat mikrostruktur, kekerasan mikro permukaan jaringan sementum menjadi lebih kecil disertai gambaran retakan pada permukaan jaringan sementum yang sedikit lebih nyata.

Pada durasi pemberian tekanan yang lebih panjang, 10 (sepuluh) hari, besar tekanan besar menyebabkan pelebaran *FWHM* (0,856) bahkan lebih lebar daripada sementum yang tidak diberi tekanan. Dan hal ini disertai dengan ukuran butir kristal yang lebih kecil (2,04 nm) dan regangan mikro

kristal yang hampir sebesar regangan mikro kristal apatit sementum yang tanpa diberi tekanan (1,57%) . Pada tingkat mikrostruktur, kekerasan mikro permukaan sementum menjadi lebih besar disertai gambaran retakan permukaan sementum yang semakin nyata.

Fakta- fakta tersebut menuntun pada kesimpulan bahwa akibat tekanan ortodontik memungkinkan terjadinya deformasi kristal apatit sementum. Deformasi kristal apatit sementum tersebut terlihat pada orde mikrostruktur dan nano struktur jaringan sementum. Hal tersebut kemungkinan terjadi antara lain karena pergeseran elemen penyusun kristal apatit.



BAB 7

KESIMPULAN DAN SARAN

7.1 Kesimpulan

Pada penelitian *in vitro* ini telah ditemukan bahwa tekanan ortodontik dapat menimbulkan perubahan pada permukaan jaringan sementum gigi pada orde mikrostruktur maupun nano struktur. Terbukti bahwa semakin besar tekanan yang diberikan serta semakin lama durasi pemberian tekanan tersebut berakibat semakin besar dan luas kecenderungan akan adanya kerusakan permukaan mikrostruktur jaringan sementum tersebut. Temuan tersebut mengkonfirmasi pengetahuan sebelumnya secara histologis pada uji- uji *in vivo*, pada orde makrostruktur yang menyatakan bahwa semakin besar tekanan, akan semakin besar kerusakan jaringan sementum.

- a. Ada perbedaan perubahan kekerasan mikro permukaan jaringan sementum pada pemberian tekanan. Penambahan besar tekanan dua kali lipat disertai perpanjangan durasi pemberian tekanan akan menyebabkan ketahanan permukaan sementum lebih rendah terhadap penjejasan. Ditinjau dari lokasi, bagian servikal dan apikal sementum akar gigi, ditemukan bahwa kekerasan mikro permukaan sementum mengecil kearah apikal.
- b. Ada perbedaan perubahan gambaran permukaan sementum terlihat secara mikroskopik pada gambaran SEM. Penambahan besar tekanan dan durasi pemberian tekanan, memberikan gambaran batasan antar granular pada permukaan sementum semakin nyata serta tampak bahwa sementum merupakan material yang getas (*brittle*).
- c. Ada perbedaan perubahan pembacaan prosentase elemen permukaan jaringan sementum. Prosentase Kalsium dan Fosfor tidak berbeda secara bermakna bila dibandingkan dengan prosentasenya pada sementum yang tidak mendapat tekanan. Sedangkan prosentase Karbon permukaan sementum, cenderung menurun pada pemberian tekanan yang lebih besar ataupun pada penambahan durasi pemberian tekanan yang lebih lama.

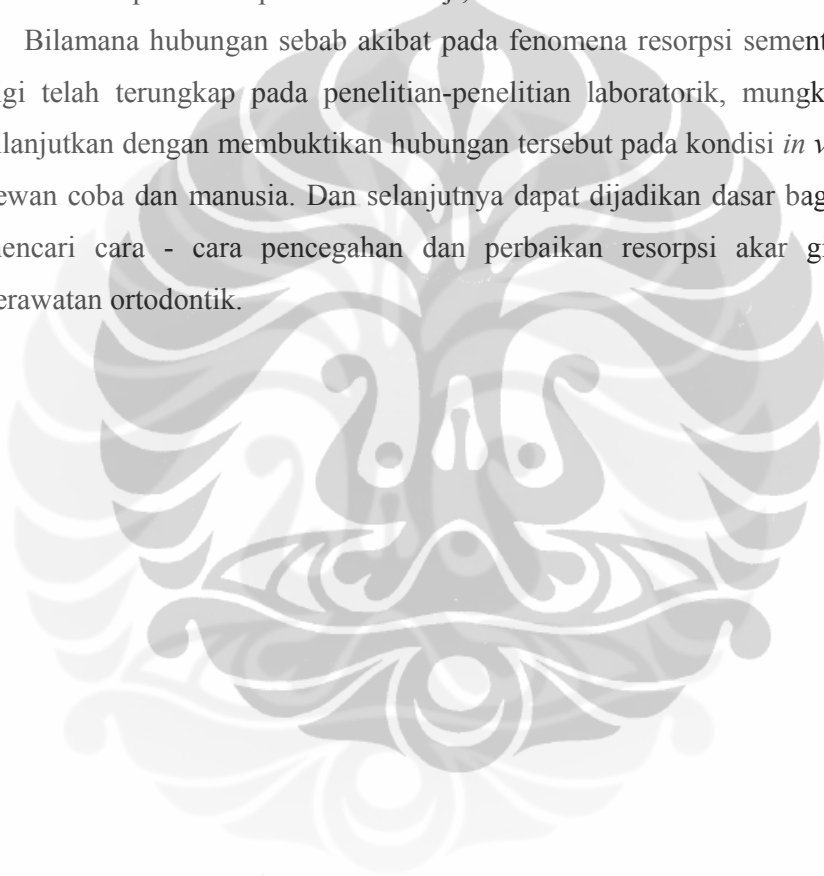
- d. Ada perbedaan perubahan jarak antar bidang kristal (d) serta sudut 2θ pada pola difraksi. Perbedaan jarak antar bidang kristal dan sudut 2θ setelah pemberian tekanan dalam besaran dan durasi pemberian tekanan yang berbeda, menunjukkan adanya distorsi atau deformasi kristal apatit sementum.
- e. Ada perubahan pada ukuran besar butir kristal dan regangan mikro kristal sesudah perlakuan pada penelitian ini. Pemberian tekanan yang paling ringan atau 2 (dua) kali lebih besar dalam durasi yang paling singkat memberikan perbedaan ukuran butir kristal menjadi lebih besar daripada butir kristal sementum yang tidak diberi tekanan serta regangan mikro kristal yang menjadi lebih kecil. Perubahan ini dapat diartikan sebagai adanya perbaikan intensitas kristal. Sebaliknya, pada durasi 2 (dua) kali lipat lamanya, penambahan besar tekanan akan menyebabkan ukuran besar butir kristal lebih kecil disertai regangan mikro kristal yang semakin besar. Perubahan akibat pemberian tekanan dalam durasi yang lama ini dimaknai sebagai menurunnya intensitas kristal.
- f. Berdasarkan kemampuan membaca dari detektor EDX, terbaca bahwa terdapat 7 (tujuh) elemen yaitu C, O, S, Al, P, Si, Ca pada permukaan mikrostruktur permukaan jaringan sementum uji akar gigi.
- g. Pada pengujian perubahan kristal apatit dengan memakai metode *Powder XRD* ditemukan bahwa senyawa yang terdapat pada material uji sementum adalah senyawa Hidroksi Apatit yang tidak 100% kristalin yang sesuai dengan data *ICDD 73- 0294 (Calcium Phosphate Hydroxide)*.

7.2 S a r a n

Temuan- temuan pada penelitian ini sebagaimana telah diungkapkan diatas, telah menjawab pertanyaan penelitian ini. Sehingga dapat digunakan sesuai manfaat yang dituju. Dalam mengungkap fenomena resorpsi akar gigi terutama jaringan sementum, dibutuhkan pendalaman penelitian atau penelitian *in vitro* dengan mengangkat variabel-variabel yang mempengaruhi gigi geligi. Perlu kiranya dalam penelitian yang memakai spesimen gigi

dipertimbangkan juga segala faktor biologi dalam penetapan sampel. Selain itu diperlukan pula analisis faktor mekanis tekanan ortodontik dari segi variabel cara pemberian tekanan serta arah pemberian tekanan. Sehingga mungkin diperlukan penelitian lanjutan dengan mengikut sertakan kedua variabel tersebut. Adapun pengujian guna mengungkap perubahan-perubahan material uji sementum di tingkat nano mungkin dapat dilakukan dengan metode selain *Powder XRD* sehingga dapat diperbandingkan keadaan sebelum dan sesudah perlakuan pada material uji, sementum dalam hal ini.

Bilamana hubungan sebab akibat pada fenomena resorpsi sementum akar gigi telah terungkap pada penelitian-penelitian laboratorik, mungkin dapat dilanjutkan dengan membuktikan hubungan tersebut pada kondisi *in vivo* pada hewan coba dan manusia. Dan selanjutnya dapat dijadikan dasar bagi upaya mencari cara - cara pencegahan dan perbaikan resorpsi akar gigi pada perawatan ortodontik.



DAFTAR PUSTAKA

1. Thilander B, Rygh P, Reitan K. Tissue Reactions in Orthodontics. In: Graber TM, Vanarsdall RL, Vig KWL, editors. *Orthodontics. Current Principles and Technique*. St. Louis: Elsevier Inc; 2000.p.203-11.
2. Sameshima GT, Sinclair PM. Predicting and preventing root resorption: Part II. Diagnostic Factors. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 2001; 119:505-10.
3. Parker WS. Root resorption – long term outcome. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 1997; 112; 2: 119-123
4. Kokich VG. Orthodontic and Non orthodontic root resorption. Their impact on clinical dental practice. *Journal of Dental Education* 2008; 72: 895-902.
5. Huang JC, King G, Kapula S. Biologic mechanism in orthodontic tooth movement. In: Rudolph P, Pendill J, editors. *Biomechanics and Esthetic Strategies in clinical Orthodontics. Missouri: Elsevier Inc; 2005.p. 17-34.*
6. Kurol j, Owman-Moll P, Lundgren D. Time related root resorption after application of a controlled continuous force. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 1996; 110:303-10.
7. Heimisdottir K, Bosshardt D, Ruf S. Can the severity of root resorption be accurately judged by means of radiographs? A case report with histologi. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 2005; 128:106-9.
8. Balduci L, Ramachandran A, Hao J, Narayanan K, Evans C, George A. Biological markers for evaluation of root resorption. *Arch Oral Biol* 2007; 52: 203-208.
9. Brezniak N, Wasserstein A. Root resorption after orthodontic treatment: Part I. Literatur review. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 1993; 103: 138-146.
10. Brezniak N, Wasserstein A. Root resorption after orthodontic treatment: Part II. Literatur review. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 1993; 103: 138-146.
11. Sameshima GT, Sinclair PM. Predicting and preventing root resorption: Part I. Diagnostic Factors. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 2001; 119: 505-10.
12. Baumrind S, Korn EL, Boyd RL. Apical root resorption in orthodontically treated adults. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 1996; 110: 311-20.

13. Henry JR, Weimann JP. The pattern of resorption and repair of human cementum. *J Am Dent Assoc* 1951; 35-41.
14. Massler M, Mallone AJ. Root resorption in human permanent teeth. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 1954; 40: 445-82.
15. Beck BW, Harris EF. Apical root resorption in orthodontically treated subjects: analysis of edgewise and light wire mechanics. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 1994; 105: 305-61.
16. Nigul K, Jagomagi T. Factors related to apical root resorption of maxillary incisor in orthodontic patient. *Baltic Dental and Maxillofacial Journal* 2006; 8(3): 76-79.
17. Harris EF, Kineret SE, Tolley EA. A heritable component for external apical root resorption in patients treated orthodontically. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 1997; 111: 301-9.
18. Newman WG. Possible etiologic factors in external root resorption. *Am J Orthod* 1975; 67(5): 522-39.
19. Al-Qawasmi RA, Hartsfield JK, Everett ET, Flury L, Liu L, Foroud TM. Genetic predisposition to external apical root resorption. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 2003; 123: 242-52.
20. Verna C, Dalstra M, Melsen B. Bone turnover rate in rats does not influence root resorption induced by orthodontic treatment. *Eur J Orthod* 2003; 25: 359.
21. Harris EF, Butler ML. Patterns of incisor root resorption before and after orthodontic correction in cases with anterior openbite. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 1992; 101: 112-9.
22. Lee RY, Artun J, Alonzo TA. Are dental anomalies risk factors for apical root resorption in orthodontic patients? *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 1999; 116: 197-95.
23. Rimes JR, Mitchell CNT, Willmot DR. Maxillary incisor root resorption in relation to the ectopic canine : a review of 26 patients. *Eur J Orthod* 1997; 19: 79-84.
24. Ericson S, Kurol J. Resorption of maxillary lateral incisor caused by ectopic of the canines. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 1988; 94: 503-13

25. Mirabella AD, Artun J. Risk factors for apical root resorption of maxillary anterior teeth in adult orthodontic patients. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 1995; 108: 48-55.
26. Malmgrem O, Goldson L, Hill C, Orwin A, Lundberg M. Root resorption after orthodontic treatment of traumatized teeth. *Am J Orthod* 1982; 82: 487-91.
27. Spurrier SW, Hall SH, Joondeph DR, Shapiro PA, Riedel RA. A comparison of apical root resorption during orthodontic treatment in endodontically treated and vital teeth. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 1990; 97: 130-34.
28. Acar A, Canyurek U, Kocaaga M, Erverdi N. Continuous vs. discontinuous force application and root resorption. *Angle Orthod* 1999; 69: 159-63.
29. Mc Nab S, Battistutta D, Toverne A, Symons AL. External apical root resorption following orthodontic treatment. *Angle Orthod* 2000; 70: 227-232.
30. Chan E, Darendililer MA. Physical properties of root cementum: part 7. Extent of root resorption under areas of compression and tension. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 2006; 129: 504-10
31. Paetyangkul A, Turk T, Turk SE, Jones AS, Petocz P, Cheng LL and Darendeller MA. Physical properties of root cementum : Part 14. The amount of root resorption after force application for 12 weeks on maxillary and mandibular premolars: A microcomputed-tomography study. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 2009; 136: 492. e1-492. e9.
32. Kurol J, Owman-Moll P, Lundgren D. Time related root resorption after application of a controlled continuous orthodontic force. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 1996; 110: 303-10.
33. Apajalahti S, Peltola JS. Apical root resorption after Orthodontic treatment – a retrospective study. *Eur J of Orthod* 2007; 29: 408-12.
34. Harry MR, Sims MR. Root Resorption in bicuspid Intrusion. A Scanning Electron Microscope Study. *Angle Orthod* 1982; 52: 235-58.
35. Paetyangkul A, Turk T, Turk SE, Jones AS, Petocz P, Cheng LL and Darendeliler MA. Physical properties of root cementum : Part 16. Comparisons of root resorption and resorption craters after the application of

- light and heavy continuous and controlled orthodontic force for 4,8 and 12 weeks. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 2011; 139: e279 - e284.
36. Owman-Moll, Kurol J, Lundgren D. Continuous vs Interrupted continuous orthodontic force related to early tooth movement and root resorption. *Angle Orthod* 1995; 65(6): 395-402.
 37. Ballard DJ, Jones AS, Petocz P and Darandeliler MA. Physical properties of root cementum Part 11. Continuous vs intermittent controlled orthodontic forces on root resorption. A microcomputed-tomography study. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 2009; 136: 8.e1 - 8.e8.
 38. Costopoulos G, Nanda R. An evaluation of root resorption incident to orthodontic intrusion. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 1996; 109: 543-8.
 39. Lu LH, Lee K, Imoto S, Kyomen S, Tanne K. Histological and histochemical quantification of root resorption incident to the application of intrusive force to rat molars. *Eur J Orthod* 1999; 21: 57-63.
 40. Faltin RM, Faltin K, Sander FG, Arana-Chavez VE. Ultrastructure of cementum and periodontal ligament after continuous intrusion in humans: a transmission electron microscopy study. *Eur J Orthod*, 2001; 123: 35-49.
 41. Han G, Huang S, Van den Hoff JW, Zeng X, Kuijpers-Jagtman AM. Root resorption after orthodontic intrusion and extrusion : An intraindividual study. *Angle Orthod* 2005; 75: 912-18.
 42. Bartley N, Turk T, Colak C, Turk SE, Jones A, Petocz P and Darendeliler MA. Physical properties of root cementum : Part 17. Root resorption after the application of 2.5° and 15° of buccal root torque for 4 weeks : A microcomputed tomography study. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 2011; 139: e353 - e360.
 43. Mauricio AC, Faltin RM, Faltin K. Root resorption on torqued human premolars shown by tartrate-resistant acid phosphatase histochemistry and transmission electron microscopy. *Angle Orthod* 2006; 76: 1015-21.
 44. Wu ATJ, Turk T, Colak C, Turk SE, Jones AS, Petocz P and Darendeliler MA. Physical properties of root cementum : Part 18. The extent of root resorption after the application of light and heavy controlled rotational

- orthodontic forces for 4 weeks ; A microcomputed tomography study. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 2011; 139: e495-e503.
45. Mount GJ, Hume WR. *Preservation and Restoration of Tooth Structure*. 2nd Ed . Knowledge Books and Software Multimedia; 2000. p. 25-28.
 46. Nanci A. *Ten Cate's oral Histology Development, Structure, and Function*. 6th Ed. CV Mosby Company; 1998 .p .240-274.
 47. Newman T, Carranza. *Carranza's Clinical Periodontology*. 9th Ed. 2003.p.42-5.
 48. William RAD, Elliot JC. *Basic and Applied Dental Biochemistry* . 2nd Ed. 1989; P.342-382.
 49. Rex T, Kharbanda OP, Petocz P, Darendaliler MA Physical properties of root cementum: Part 4. Quantitative analysis of the mineral composition of human premolar cementum. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 2005; 127: 177-85.
 50. Nyman JS, Reyes M, Wang X. Effect of ultrastructural changes on the toughness of bone. *Micron*. 2005; 36: 566-582.
 51. Brezniak N, Wasserstein A. Orthodontically induced inflammatory root. Part I : The basic science aspects. *Angle Orthod* 2001; 72: 175-9.
 52. Bilgin E, Gurgan CA, Arpak MN, Bostanci HS, Guven K. Morphological Changes in Diseased Cementum Layers : A Scanning Electron Microscopy Study. *Calcif Tissue Int* 2004; 74: 476-485.
 53. Bhaskar SN. *Orban's Oral Histology and Embryology*. 11th Ed, 1990. CV Mosby. Missouri. P. 168-179.
 54. Weiner S, Traub W. Bone Structure : From angstroms to microns. *FASEB Journal* 1992; 6: 879-885.
 55. Rex T, Kharbanda OP, Petocz P, Darendiler MA. Physical properties of root cementum: Part 6. A comparative quantitative analysis of the mineral composition of human premolar cementum after application of orthodontic forces. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 2006; 129: 358-67.
 56. Malek SM, Darendiller MA, Swain MV. Physical properties of root cementum: Part I.A new method for 3-dimensional evaluation. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 2001; 120: 198-208

57. Cirano FB, Romito GA, Todescan. Determination of root dentin and cementum micro hardness. *J.H.Braz J Oral Sci*, 3(8) 2004: 420429.
58. Srivicharnkul P, Kharbanda OM, Swain MV, Petocz P, Darendiler MA. Physical properties of root cementum: Part 3. Hardness and elastic modulus after application of light and heavy forces *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 2005; 127: 168-76 2005
59. Genco RJ, Goldman HM, Cohen DW. *Contemporary Periodontics*. CV Mosby Company; 1990.
60. Gunawan HA. Pengaruh Perubahan Kristal Apatit, Tingkat Retensi dan Intrusi fluor terhadap kelarutan email setelah perlakuan larutan ikan teri jengki (S insularis). *Disertasi*. FKG UI. 2006.
61. McFadden WM, Engstrom C, Engstrom H, Anholm JM. A study of the relationship between incisor intrusion and root shortening. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 1989; 96: 390-6.
62. Hendrix I, Carels C, Kuijpers-Jagtman A, Van't Hof M. A radiographics study of posterior apical root resorption in orthodontic patients. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 1994; 105: 345-9.
63. Saldarriaga JR, Patino MC. Ectopic eruption and severe root resorption. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 2003; 123: 259-65.
64. Harris EF, Robinson QC, Woods MA. An analysis at causes of apical root resorption in patients not treated orthodontically. *Quintessence int* 1993; 24: 417-28.
65. Proffitt WR, Fields HW Jr. *Contemporary Orthodontic*. 3rd.Ed. Philadelphia : C.V. Mosby Company; 1999.p. 296-315, 345-7.
66. Cheng LL, Turk T, Jones AS, Petocz P and Darendeliler MA. Physical properties of root cementum: Part 13. Repair of root resorption 4 and 8 weeks after the application of continuous light and heavy forces for 4 weeks: A microcomputed-tomography study. *Am J. Orthod Dentofacial Orthop* 2009; 136: 320. e1-320. e10.
67. King AD, Turk T, Colak C, Turk SE, Jones AS, Petocz P and Darendaliler MA. Physical properties of root cementum : Part 21. Extent of root resorption

- after the application of 2,5 and 15 tips for 4 weeks: A microcoputed tomography study. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 2011; 140: e299 - e305.
68. Montenegro VCJ, Jones AS, Petocz P, Gozales C and Darendeliler MA. Pshysical properties of root cementum : Part 22. Root resorption after the application of light and heavy extrusive orthodontic forces: A microcomputed tomography study. *Am J Orthod Detofacial Orthop* 2012; 141: e1 - e9
 69. Singh G. In : Singh G,editor. *Text book of Orthodontics*. New.Delhi: JBM Publisher; 2004. p. 208-9.
 70. Reitan. Effect of force magnitude direction of tooth movement on different alveolar bone types. *Angle Orthod* 1964; 34(4): 244-55.
 71. Iyyer BS, Bhalajhi SI. *Orthodontics The Art and Science*. 3rd ed.New Delhi.Arya (Medi) Publishing House; 2006 .p. 183-202 .
 72. Parker RJ, Harris EF. Directions of orthodontic tooth movements associated with external apical root resorption of the maxillary central incisor. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 1998; 114: 677-83.
 73. Harris EF, Baker WC.Loss of root lenght and crestal bone before and during treatment in adolescent and adult orthodontic patients.*Am J Orthod Dentofacial Orthop*, 1990; 98; 5: 463-459.
 74. Smale I,Artun J, Behbehani F, Doppel D, Van't Hof M, Kuijpers-Jagman AM. Apical root resorption 6 months after initiation of fixed orthodontic appliance therapy. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 2005 128: 57-67.
 75. Goodhew P.J, Humpreys J, Beanland R.. *Electron Microscopy and Analysis* 3rd Ed.London: Taylor & Francis, 2001.
 76. O'Brien W.J. *Dental Material and Their Selection* 2nd Ed.Quintessence Publishing Co. Inc; 1997: 18-20.
 77. Cullity BD. *Elements of X-Ray Diffraction*. London. Addison- Wesley Publishing Company Inc;1959.
 78. Whiston C. *X-Ray Methods*. New York John Wiley & Sons Singapore Chichester New York Brisbane Toronto;1991.
 79. Malek S, Darendeliler M.A,Rex T,Kharbanda P.O, Srivichankul P, Swain M.V, Petocs P. Physical properties of root cementum: Part 2. Effect of

different storage methods. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 2003; 124: 561-570.

80. Callister WD. *Materials Science and Engineering An Introduction*. 4th edition. New York Chichester Brisbane Toronto Singapore; 1996.
81. Eley BM, Soory M, Manson JD. *Periodontics*. 6th edition. Edinburgh London New York Oxford Philadelphia St Louis Sydney Toronto; 2010.
82. Gage JP, Francis MJO, Triffitt JT, *Collagen and Dental Matrices*. London Boston Singapore Sydney Toronto Wellington; 1989.



Lampiran 1 : Analisis Data.

Analisis data 1 :

Hasil pengukuran kekerasan mikro permukaan sementum.

Hasil Penelitian

Keterangan kelompok:

Spesimen A1 : tanpa pemberian tekanan

Spesimen A2 : pemberian tekanan 300gr/cm² selama 5 hari

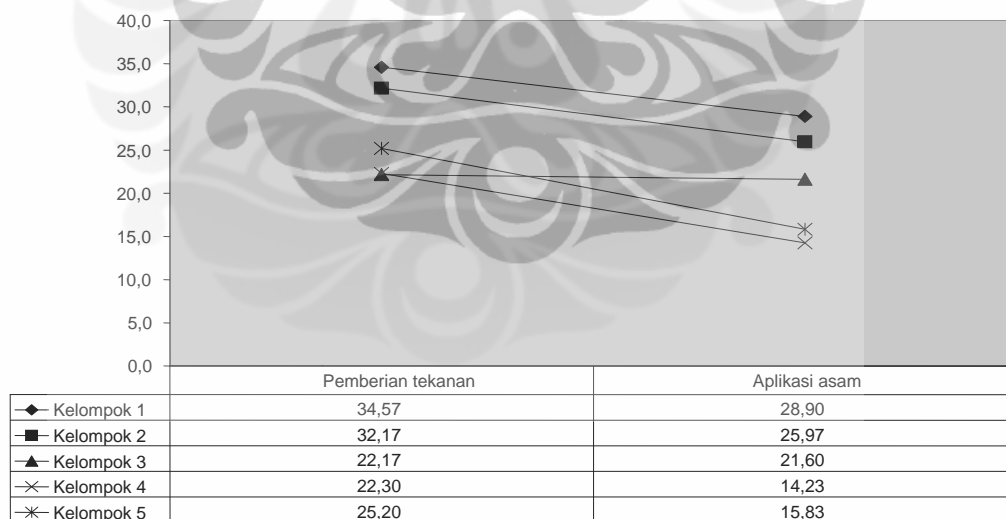
Spesimen A3 : pemberian tekanan 600gr/cm² selama 5 hari

Spesimen A4 : pemberian tekanan 300gr/cm² selama 10 hari

Spesimen A5 : pemberian tekanan 600gr/cm² selama 10 hari

Tabel 1. Hasil pengukuran pada 1/3 servikal

	n	Rerata	s.b.	min	Mak	COV
A1 sesudah pemberian tekanan	3	34,57	2,51	32,20	37,20	7,26
A2 sesudah pemberian tekanan	3	32,17	3,40	28,70	35,50	10,58
A3 sesudah pemberian tekanan	3	22,17	4,02	19,60	26,80	18,14
A4 sesudah pemberian tekanan	3	22,30	1,92	20,10	23,60	8,59
A5 sesudah pemberian tekanan	3	25,20	2,00	22,90	26,50	7,93
A1 sesudah aplikasi asam	3	28,90	2,76	26,30	31,80	9,56
A2 sesudah aplikasi asam	3	25,97	1,33	24,50	27,10	5,13
A3 sesudah aplikasi asam	3	21,60	1,15	20,70	22,90	5,34
A4 sesudah aplikasi asam	3	14,23	1,15	13,10	15,40	8,08
A5 sesudah aplikasi asam	3	15,83	0,51	15,40	16,40	3,24

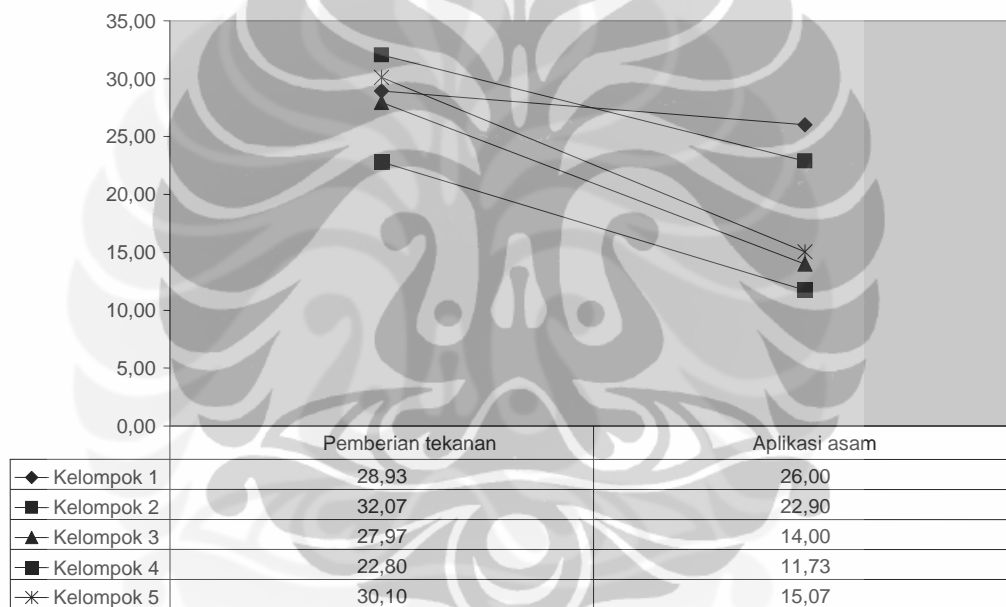


Gambar. Hasil pengukuran pada 1/3 Servikal

Lanjutan

Tabel 2. Hasil pengukuran pada 1/3 apikal

	n	Rerata	s.b.	min	Mak	COV
A1 sesudah pemberian tekanan	3	28,93	1,50	27,70	30,60	5,18
A2 sesudah pemberian tekanan	3	32,07	3,77	28,10	35,60	11,75
A3 sesudah pemberian tekanan	3	27,97	4,63	23,90	33,00	16,54
A4 sesudah pemberian tekanan	3	22,80	1,06	21,60	23,60	4,64
A5 sesudah pemberian tekanan	3	30,10	3,30	26,70	33,30	10,98
A1 sesudah aplikasi asam	3	26,00	1,77	24,10	27,60	6,80
A2 sesudah aplikasi asam	3	22,90	2,95	21,00	26,30	12,89
A3 sesudah aplikasi asam	3	14,00	0,61	13,30	14,40	4,34
A4 sesudah aplikasi asam	3	11,73	0,81	11,00	12,60	6,89
A5 sesudah aplikasi asam	3	15,07	0,71	14,30	15,70	4,71



Gambar 2. Hasil pengukuran pada 1/3 apikal

Lanjutan

Tabel 3. Perbandingan antar kelompok pada 1/3 servikal

	one way anova	Analisis post hoc (Dunnet)			
		P	Perbedaan	IK95%	
				Min	Mak
Sesudah pemberian tekanan					
A2 vs A1	0,001	0,707	-2,40	-9,22	4,42
A3 vs A1		0,001	-12,40	-19,22	-5,58
A4 vs A1		0,001	-12,27	-19,08	-5,45
A5 vs A1		0,009	-9,37	-16,18	-2,55
Sesudah aplikasi asam					
A2 vs A1	<0,001	0,132	-2,93	-6,64	0,77
A3 vs A1		0,001	-7,30	-11,00	-3,60
A4 vs A1		<0,001	-14,67	-18,37	-10,96
A5 vs A1		<0,001	-13,07	-16,77	-9,36

Tabel 4. Perbandingan sesudah pemberian tekanan dan aplikasi asam pada 1/3 servikal

Sesudah pemberian tekanan vs sesudah aplikasi asam	p	Perbedaan	IK95%	
			min	mak
A1	0,011	9,37	6,06	12,67
A2	0,058	5,67	-0,32	11,65
A3	0,042	6,20	0,34	12,06
A4	0,826	0,57	-6,14	7,27
A5	0,003	8,07	4,48	11,65

Tabel 5. Perbandingan antar kelompok pada 1/3 apikal

	one way anova	Analisis post hoc (Dunnet)			
		p	Perbedaan rerata	IK95%	
				Min	Mak
Sesudah pemberian tekanan					
A2 vs A1	0,045	0,582	3,13	-4,32	10,59
A3 vs A1		0,986	-0,97	-8,42	6,49
A4 vs A1		0,114	-6,13	-13,59	1,32
A5 vs A1		0,973	1,17	-6,29	8,62
Sesudah aplikasi asam					
A2 vs A1	<0,001	0,125	-3,10	-6,96	0,76
A3 vs A1		<0,001	-12,00	-15,86	-8,14
A4 vs A1		<0,001	-14,27	-18,13	-10,41
A5 vs A1		<0,001	-10,93	-14,79	-7,07

Lanjutan

Tabel 6. Perbandingan sesudah pemberian tekanan dan aplikasi asam pada 1/3 apikal

Sesudah pemberian tekanan vs sesudah aplikasi asam	p	perbedaan	IK95%	
			min	mak
A1	0,002	15,03	9,62	20,45
A2	0,094	2,93	-0,78	6,65
A3	0,029	9,17	1,49	16,84
A4	0,007	13,97	6,49	21,45
A5	<0,001	11,07	8,93	13,20

Tabel 7. Perbandingan sesudah aplikasi asam dengan kontrol sebelum aplikasi asam (1/3 servikal akar)

	one way anova	Analisis post hoc (Dunnet)			
		P	Perbedaan	IK95%	
				Min	Mak
A2 sesudah aplikasi asam vs A1 sebelum aplikasi asam	<0,001	<0,001	-8,60	-12,10	-5,10
A3 sesudah aplikasi asam vs A1 sebelum aplikasi asam		<0,001	-12,97	-16,47	-9,47
A4 sesudah aplikasi asam vs A1 sebelum aplikasi asam		<0,001	-20,33	-23,83	-16,83
A5 sesudah aplikasi asam vs A1 sebelum aplikasi asam		<0,001	-18,73	-22,23	-15,23

Tabel 8. Perbandingan sesudah aplikasi asam dengan kontrol sebelum aplikasi asam (1/3 apikal akar)

	one way anova	Analisis post hoc (Dunnet)			
		P	Perbedaan	IK95%	
				Min	Mak
A2 sesudah aplikasi asam vs A1 sebelum aplikasi asam	<0,001	0,003	-6,03	-9,76	-2,305
A3 sesudah aplikasi asam vs A1 sebelum aplikasi asam		<0,001	-14,93	-18,66	-11,205
A4 sesudah aplikasi asam vs A1 sebelum aplikasi asam		<0,001	-17,20	-20,93	-13,471
A5 sesudah aplikasi asam vs A1 sebelum aplikasi asam		<0,001	-13,87	-17,60	-10,138

Lanjutan

			Count	Mean	Std Deviation	Minimum	Maximum
Kelompok	A 2 sesudah pemberian tekanan 300 gr/cm 5 hari	1/3 cervical akar	3	32,17	3,40	28,70	35,50
	A3 sesudah pemberian tekanan 300 gr/cm 10 hari	1/3 cervical akar	3	22,17	4,02	19,60	26,80
	A4 sesudah pemberian tekanan 600 gr/cm 5 hari	1/3 cervical akar	3	22,30	1,92	20,10	23,60
	A5 sesudah pemberian tekanan 600 gr/cm 10 hari	1/3 cervical akar	3	25,20	2,00	22,90	26,50
	A1 sesudah pemberian tekanan	1/3 cervical akar	3	34,57	2,51	32,20	37,20
	A2 sesudah aplikasi asam	1/3 cervical akar	3	25,97	1,33	24,50	27,10
	A3 sesudah aplikasi asam	1/3 cervical akar	3	21,60	1,15	20,70	22,90
	A4 sesudah aplikasi asam	1/3 cervical akar	3	14,23	1,15	13,10	15,40
	A5 sesudah aplikasi asam	1/3 cervical akar	3	15,83	,51	15,40	16,40
	A1 sesudah aplikasi asam	1/3 cervical akar	3	28,90	2,76	26,30	31,80

			Count	Mean	Std Deviation	Minimum	Maximum
Kelompok	A 2 sesudah pemberian tekanan 300 gr/cm 5 hari	1/3 apical akar	3	32,07	3,77	28,10	35,60
	A3 sesudah pemberian tekanan 300 gr/cm 10 hari	1/3 apical akar	3	27,97	4,63	23,90	33,00
	A4 sesudah pemberian tekanan 600 gr/cm 5 hari	1/3 apical akar	3	22,80	1,06	21,60	23,60
	A5 sesudah pemberian tekanan 600 gr/cm 10 hari	1/3 apical akar	3	30,10	3,30	26,70	33,30
	A1 sesudah pemberian tekanan	1/3 apical akar	3	28,93	1,50	27,70	30,60
	A2 sesudah aplikasi asam	1/3 apical akar	3	22,90	2,95	21,00	26,30
	A3 sesudah aplikasi asam	1/3 apical akar	3	14,00	,61	13,30	14,40
	A4 sesudah aplikasi asam	1/3 apical akar	3	11,73	,81	11,00	12,60
	A5 sesudah aplikasi asam	1/3 apical akar	3	15,07	,71	14,30	15,70
	A1 sesudah aplikasi asam	1/3 apical akar	3	26,00	1,77	24,10	27,60

Waktu pengukuran : Sesudah pemberian tekanan

Test of Homogeneity of Variances

1/3 cervical akar

Levene Statistic	df1	df2	Sig.
,862	4	10	,519

a. Waktu pengukuran : Sesudah pemberian tekanan

ANOVA

1/3 cervical akar

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	396,744	4	99,186	11,893	,001
Within Groups	83,400	10	8,340		
Total	480,144	14			

a. Waktu pengukuran : Sesudah pemberian tekanan

Post Hoc Tests

Lanjutan

Multiple Comparisons

Dependent Variable: 1/3 cervical akar

(I) Kelompok	(J) Kelompok	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
					Upper Bound	
Dunnett t (<control)	A2 sesudah penekanan 300 gr/cm 5 hari	A1 sesudah penekanan	-2,40000	2,35797	,381	3,4138
	A3 sesudah penekanan 300 gr/cm 10 hari	A1 sesudah penekanan	-12,40000	2,35797	,001	-6,5862
	A4 sesudah penekanan 600 gr/cm 5 hari	A1 sesudah penekanan	-12,26667	2,35797	,001	-6,4529
	A5 sesudah penekanan 600 gr/cm 10 hari	A1 sesudah penekanan	-9,36667	2,35797	,004	-3,5529

- a. Dunnett t-tests treat one group as a control, and compare all other groups against it.
 b. Waktu pengukuran : Sesudah pemberian tekanan

Multiple Comparisons

Dependent Variable: 1/3 cervical akar
Dunnett t (2-sided)

(I) Kelompok	(J) Kelompok	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
					Lower Bound	Upper Bound
A2 sesudah penekanan 300gr/cm 5 hari	A1 sesudah penekanan	-2,40000	2,35797	,707	-9,2157	4,4157
A3 sesudah penekanan 300gr/cm 10hari	A1 sesudah penekanan	-12,40000*	2,35797	,001	-19,2157	-5,5843
A4 sesudah penekanan 600gr/cm 5hari	A1 sesudah penekanan	-12,26667*	2,35797	,001	-19,0823	-5,4510
A5 sesudah penekanan 600gr/cm 10hari	A1 sesudah penekanan	-9,36667*	2,35797	,009	-16,1823	-2,5510

*. The mean difference is significant at the .05 level.

- a. Dunnett t-tests treat one group as a control, and compare all other groups against it.
 b. Waktu pengukuran : Sesudah pemberian tekanan

Lanjutan

Waktu pengukuran : Sesudah aplikasi asam

Test of Homogeneity of Variances

1/3 cervical akar

Levene Statistic	df1	df2	Sig.
1,639	4	10	,240

a. Waktu pengukuran : Sesudah aplikasi asam

ANOVA

1/3 cervical akar

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	478,349	4	119,587	48,534	,000
Within Groups	24,640	10	2,464		
Total	502,989	14			

a. Waktu pengukuran : Sesudah aplikasi asam

Post Hoc Tests

Multiple Comparisons

Dependent Variable: 1/3 cervical akar

Dunnnett t (<control)

(I) Kelompok	(J) Kelompok	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval
					Upper Bound
A2 sesudah aplikasi asam	A1 sesudah aplikasi asam	-2,93333	1,28167	,066	,2267
A3 sesudah aplikasi asam	A1 sesudah aplikasi asam	-7,30000	1,28167	,000	-4,1399
A4 sesudah aplikasi asam	A1l sesudah aplikasi asam	-14,66667	1,28167	,000	-11,5066
A5 sesudah aplikasi asam	A1 sesudah Aplikasi asam	-13,06667	1,28167	,000	-9,9066

*. The mean difference is significant at the .05 level.

a. Dunnnett t-tests treat one group as a control, and compare all other groups against it.

b. Waktu pengukuran : Sesudah aplikasi asam

Lanjutan

Multiple Comparisons

Dependent Variable: 1/3 cervical akar
Dunnnett t (2-sided)

(I) Kelompok	(J) Kelompok	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
					Lower Bound	Upper Bound
A2 sesudah aplikasi asam	A1 sesudah aplikasi asam	-2,93333	1,28167	,132	-6,6380	,7713
A3 sesudah aplikasi asam	A1 sesudah aplikasi asam	-7,30000	1,28167	,001	-11,0046	-3,5954
A4 sesudah aplikasi asam	A1 sesudah aplikasi asam	-14,66667	1,28167	,000	-18,3713	-10,9620
A5 sesudah aplikasi asam	A1 sesudah aplikasi asam	-13,06667	1,28167	,000	-16,7713	-9,3620

*. The mean difference is significant at the .05 level.

a. Dunnnett t-tests treat one group as a control, and compare all other groups against it.

b. Waktu pengukuran : Sesudah aplikasi asam

Bawah

Oneway

Waktu pengukuran : Sesudah diberi tekanan

Test of Homogeneity of Variances

1/3 apical akar

Levene Statistic	df1	df2	Sig.
1,422	4	10	,296

a. Waktu pengukuran : Sesudah diberi tekanan

ANOVA

1/3 apical akar

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	144,489	4	36,122	3,620	,045
Within Groups	99,780	10	9,978		
Total	244,269	14			

a. Waktu pengukuran : Sesudah pemberian tekanan

Post Hoc Tests

Lanjutan

Multiple Comparisons

Dependent Variable: 1/3 apical akar
Dunnnett t (<control)

(I) Kelompok	(J) Kelompok	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval
					Upper Bound
A2 sesudah penekanan 300 gr/cm 5hari	Kontrol sesudah penekanan	3,13333	2,57915	,984	9,4924
A3 sesudah penekanan 300gr/cm10hari	Kontrol sesudah penekanan	-,96667	2,57915	,660	5,3924
A4 sesudah penekanan 600gr/cm 5hari	Kontrol sesudah penekanan	-6,13333	2,57915	,058	,2258
A5 sesudah penekanan 600gr/cm 10hari	Kontrol sesudah penekanan	1,16667	2,57915	,912	7,5258

- a. Dunnnett t-tests treat one group as a control, and compare all other groups against it.
b. Waktu pengukuran : Sesudah pemberian tekanan

Multiple Comparisons

Dependent Variable: 1/3 apical akar
Dunnnett t (2-sided)

(I) Kelompok	(J) Kelompok	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
					Lower Bound	Upper Bound
A2 sesudah penekanan 300gr/cm 5 hari	Kontrol sesudah penekanan	3,13333	2,57915	,582	-4,3216	10,5883
A3 sesudah penekanan 300gr/cm 10hari	Kontrol sesudah penekanan	-,96667	2,57915	,986	-8,4216	6,4883
A4 sesudah penekanan 600gr/cm 5hari	Kontrol sesudah penekanan	-6,13333	2,57915	,114	-13,5883	1,3216
A5 sesudah penekanan 600gr/cm 10hari	Kontrol sesudah penekanan	1,16667	2,57915	,973	-6,2883	8,6216

- a. Dunnnett t-tests treat one group as a control, and compare all other groups against it.
b. Waktu pengukuran : Sesudah pemberian tekanan

Lanjutan

Waktu pengukuran : Sesudah aplikasi asam

Test of Homogeneity of Variances

1/3 apical akar

Levene Statistic	df1	df2	Sig.
4,380	4	10	,027

a. Waktu pengukuran : Sesudah aplikasi asam

ANOVA

1/3 apical akar

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	455,603	4	113,901	42,606	,000
Within Groups	26,733	10	2,673		
Total	482,336	14			

a. Waktu pengukuran : Sesudah aplikasi asam

Post Hoc Tests

Multiple Comparisons

Dependent Variable: 1/3 apical akar

Dunnnett t (<control)

(I) Kelompok	(J) Kelompok	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval
					Upper Bound
A2 sesudah Aplikasi asam	Kontrol sesudah aplikasi asam	-3,10000	1,33500	,063	,1916
A 3 sesudah Aplikasi asam	Kontrol sesudah Aplikasi asam	-12,00000	1,33500	,000	-8,7084
A4 sesudah Aplikasi asam	Kontrol sesudah Aplikasi asam	-14,26667	1,33500	,000	-10,9751
A5 sesudah Aplikasi asam	Kontrol sesudah Aplikasi asam	-10,93333	1,33500	,000	-7,6418

*. The mean difference is significant at the .05 level.

a. Dunnnett t-tests treat one group as a control, and compare all other groups against it.

b. Waktu pengukuran : Sesudah aplikasi asam

Lanjutan

Multiple Comparisons

Dependent Variable: 1/3 apical akar

Dunnett t (2-sided)

(I) Kelompok	(J) Kelompok	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
					Lower Bound	Upper Bound
A2 sesudah Aplikasi asam	A1 sesudah pengolesan	-3,10000	1,33500	,125	-6,9588	,7588
A3 sesudah Aplikasi asam	A1 sesudah pengolesan	-12,00000	1,33500	,000	-15,8588	-8,1412
A4 sesudah Aplikasi asam	A1 sesudah pengolesan	-14,26667	1,33500	,000	-18,1255	-10,4079
A5 sesudah Aplikasi asam	A1 sesudah Aplikasi asam	-10,93333	1,33500	,000	-14,7921	-7,0745

*. The mean difference is significant at the .05 level.

a. Dunnett t-tests treat one group as a control, and compare all other groups against it.

b. Waktu pengukuran : Sesudah aplikasi asam

T-Test

Group Statistics

Kelompok	N	Mean	Std. Deviation	Std. Error Mean
1/3 cervical akar A1 sesudah Pemberian tekanan	3	34,5667	2,51064	1,44952
A1 sesudah Aplikasi asam	3	28,9000	2,76225	1,59478
1/3 apical akar A1 sesudah Pemberian tekanan	3	28,9333	1,49778	,86474
A1 sesudah Aplikasi asam	3	26,0000	1,76918	1,02144

Independent Samples Test

		Levene's Test for Equality of Variances		t-test for Equality of Means						
		F	Sig.	t	df	Sig. (2-tailed)	Mean Difference	Std. Error Difference	95% Confidence Interval of the Difference	
									Lower	Upper
1/3 cervical akar	Equal variances assumed	,026	,881	2,629	4	,058	5,66667	2,15510	-,31684	11,65018
	Equal variances not assumed			2,629	3,964	,059	5,66667	2,15510	-,33830	11,67163
1/3 apical akar	Equal variances assumed	,065	,811	2,192	4	,094	2,93333	1,33832	-,78245	6,64912
	Equal variances not assumed			2,192	3,894	,095	2,93333	1,33832	-,82269	6,68936

Lanjutan

T-Test

Group Statistics

Kelompok		N	Mean	Std. Deviation	Std. Error Mean
1/3 cervical akar	A2 sesudah Pemberian tekanan 300 gr/cm 5 hari	3	32,1667	3,40196	1,96412
	A2 sesudah Aplikasi asam	3	25,9667	1,33167	,76884
1/3 apical akar	A2 sesudah Pemberian tekanan 300 gr/cm 5 hari	3	32,0667	3,76873	2,17588
	A2 sesudah Aplikasi asam	3	22,9000	2,95127	1,70392

Independent Samples Test

		Levene's Test for Equality of Variances		t-test for Equality of Means						
		F	Sig.	t	df	Sig. (2-tailed)	Mean Difference	Std. Error Difference	95% Confidence Interval of the Difference	
									Lower	Upper
1/3 cervical akar	Equal variances assumed	1,367	,307	2,939	4	,042	6,20000	2,10924	,34381	12,05619
	Equal variances not assumed			2,939	2,599	,072	6,20000	2,10924	-1,13854	13,53854
1/3 apical akar	Equal variances assumed	,091	,778	3,317	4	,029	9,16667	2,76365	1,49354	16,83980
	Equal variances not assumed			3,317	3,783	,032	9,16667	2,76365	1,31643	17,01690

T-Test

Group Statistics

Kelompok		N	Mean	Std. Deviation	Std. Error Mean
1/3 cervical akar	A3 sesudah Pemberian tekanan 300 gr/cm 10 hari	3	22,1667	4,02036	2,32116
	Kelompok 3 sesudah Aplikasi asam	3	21,6000	1,15326	,66583
1/3 apical akar	A3 sesudah Pemberian tekanan 300 gr/cm 10 hari	3	27,9667	4,62637	2,67104
	A3 sesudah Aplikasi asam	3	14,0000	,60828	,35119

Lanjutan

Independent Samples Test

	Levene's Test for Equality of Variances		t-test for Equality of Means							
	F	Sig.	t	df	Sig. (2-tailed)	Mean Difference	Std. Error Difference	95% Confidence Interval of the Difference		
								Lower	Upper	
1/3 cervical akar	Equal variances assumed	7,210	,055	,235	4	,826	,56667	2,41477	-6,13781	7,27114
	Equal variances not assumed			,235	2,327	,834	,56667	2,41477	-8,54244	9,67577
1/3 apical akar	Equal variances assumed	5,494	,079	5,184	4	,007	13,96667	2,69403	6,48685	21,44648
	Equal variances not assumed			5,184	2,069	,033	13,96667	2,69403	2,73852	25,19481

T-Test

Group Statistics

Kelompok	N	Mean	Std. Deviation	Std. Error Mean	
1/3 cervical akar	A4 sesudah Pemberian tekanan 600 gr/cm 5 hari	3	22,3000	1,91572	1,10604
	A4 sesudah Aplikasi asam	3	14,2333	1,15036	,66416
1/3 apical akar	A4 sesudah Pemberian tekanan 600 gr/cm 5 hari	3	22,8000	1,05830	,61101
	A4 sesudah Aplikasi asam	3	11,7333	,80829	,46667

Independent Samples Test

	Levene's Test for Equality of Variances		t-test for Equality of Means							
	F	Sig.	t	df	Sig. (2-tailed)	Mean Difference	Std. Error Difference	95% Confidence Interval of the Difference		
								Lower	Upper	
1/3 cervical akar	Equal variances assumed	1,657	,267	6,253	4	,003	8,06667	1,29013	4,48468	11,64865
	Equal variances not assumed			6,253	3,276	,006	8,06667	1,29013	4,15003	11,98330
1/3 apical akar	Equal variances assumed	,474	,529	14,394	4	,000	11,06667	,76884	8,93203	13,20130
	Equal variances not assumed			14,394	3,741	,000	11,06667	,76884	8,87245	13,26089

Lanjutan

T-Test

Group Statistics

Kelompok		N	Mean	Std. Deviation	Std. Error Mean
1/3 cervical akar	A5 sesudah Pemberian tekanan 600 gr/cm 10 hari	3	25,2000	1,99750	1,15326
	A5 sesudah Aplikasi asam	3	15,8333	,51316	,29627
1/3 apical akar	A5 sesudah Pemberian tekanan 600 gr/cm 10 hari	3	30,1000	3,30454	1,90788
	A5 sesudah Aplikasi asam	3	15,0667	,70946	,40961

Independent Samples Test

	Levene's Test for Equality of Variances		t-test for Equality of Means							
	F	Sig.	t	df	Sig. (2-tailed)	Mean Difference	Std. Error Difference	95% Confidence Interval of the Difference		
								Lower	Upper	
1/3 cervical akar	Equal variances assumed	7,815	,049	7,866	4	,001	9,36667	1,19070	6,06074	2,67259
	Equal variances not assumed			7,866	2,263	,011	9,36667	1,19070	4,77355	3,95978
1/3 apical akar	Equal variances assumed	2,781	,171	7,704	4	,002	15,03333	1,95135	9,61551	0,45116
	Equal variances not assumed			7,704	2,184	,013	15,03333	1,95135	7,28000	2,78667

Lanjutan

Analisis perbandingan sesudah pemberian tekanan dengan kontrol A1 (1/3 cervical)

Oneway

Test of Homogeneity of Variances

1/3 cervical akar

Levene Statistic	df1	df2	Sig.
1,414	4	10	,298

ANOVA

1/3 cervical akar

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	813,589	4	203,397	92,509	,000
Within Groups	21,987	10	2,199		
Total	835,576	14			

Post Hoc Tests

Multiple Comparisons

Dependent Variable: 1/3 cervical akar
Dunnnett t (2-sided)

(I) kel2	(J) kel2	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
					Lower Bound	Upper Bound
A2 sesudah Aplikasi asam	A1 sesudah Pemberian tekanan	-8,60000	1,21069	,000	-12,0995	-5,1005
A3 sesudah Aplikasi asam	A1 sesudah Pemberian tekanan	-12,96667	1,21069	,000	-16,4662	-9,4672
A4 sesudah Aplikasi asam	A1 sesudah Pemberian tekanan	-20,33333	1,21069	,000	-23,8328	-16,8338
A5 sesudah Aplikasi asam	A1 sesudah Pemberian tekanan	-18,73333	1,21069	,000	-22,2328	-15,2338

*. The mean difference is significant at the .05 level.

a. Dunnnett t-tests treat one group as a control, and compare all other groups against it.

Lanjutan

Analisis perbandingan sesudah pemberian tekanan dengan kontrol A1 (1/3 apikal)

Oneway

Test of Homogeneity of Variances

1/3 apical akar

Levene Statistic	df1	df2	Sig.
5,106	4	10	,017

ANNOVA

1/3 apical akar

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	618,109	4	154,527	61,910	,000
Within Groups	24,960	10	2,496		
Total	643,069	14			

Post Hoc Tests

Multiple Comparisons

Dependent Variable: 1/3 apical akar
Dunnnett t (2-sided)

(I) kel2	(J) kel2	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
					Lower Bound	Upper Bound
A2 sesudah Aplikasi asam	A1 sesudah Pemberian tekanan	-6,03333*	1,28996	,003	-9,7619	-2,3047
A3 sesudah Aplikasi asam	A1 sesudah Pemberian tekanan	-14,93333*	1,28996	,000	-18,6619	-11,2047
A4 sesudah Aplikasi asam	A1 sesudah Pemberian tekanan	-17,20000*	1,28996	,000	-20,9286	-13,4714
A5 sesudah Aplikasi asam	A1 sesudah Pemberian tekanan	-13,86667*	1,28996	,000	-17,5953	-10,1381

*. The mean difference is significant at the .05 level.

a. Dunnnett t-tests treat one group as a control, and compare all other groups against it.

LanjutanAnalisis data 2 :

Hasil uji prosentase elemen permukaan sementum dengan Energy Dispersive X-Ray/spektrometri (EDX/EDS)

Descriptive Statistics					
	N	Minimum	Maximum	Mean	Std. Deviation
Kalsium kntrl	5	38.29	79.39	55.9600	14.84454
Kalsium B2	5	21.15	49.48	33.0420	11.65170
Kalsium B3	5	28.79	85.09	53.7220	21.11726
Kalsium B4	5	36.81	68.65	58.1760	12.46949
Kalsium B5	5	36.39	51.79	45.6760	6.04054
Fosfor kntrl	5	9.57	53.75	37.8040	16.65912
Fosfor B2	5	16.34	38.53	25.4660	10.11502
Fosfor B3	5	25.19	37.59	33.4760	5.01799
Fosfor B4	5	30.70	61.70	42.6200	12.34229
Fosfor B5	5	35.73	44.97	40.9020	3.92158
Karbon kntrl	5	2.68	11.02	6.2240	3.32326
Karbon B2	5	11.97	61.56	41.6420	20.66718
Karbon B3	5	11.18	38.13	19.5000	11.38808
Karbon B4	5	25.17	60.11	37.5580	13.31012
Karbon B5	5	5.00	21.94	13.4100	6.14776
Valid N (listwise)	5				

Lanjutan

ANOVA

		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
cagab	Between Groups	2100.739	4	525.185	2.642	.064
	Within Groups	3976.151	20	198.808		
	Total	6076.890	24			
pgab	Between Groups	942.149	4	235.537	2.056	.125
	Within Groups	2290.923	20	114.546		
	Total	3233.072	24			
cgab	Between Groups	4714.443	4	1178.611	7.528	.001
	Within Groups	3131.277	20	156.564		
	Total	7845.720	24			

Multiple Comparisons

Bonferroni

Dependent Variable	(I)	(J)	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
						Lower Bound	Upper Bound
Kalsium gab	1.00	2.00	22.91800	8.91757	.183	-5.2027	51.0387
		3.00	2.23800	8.91757	1.000	-25.8827	30.3587
		4.00	-2.21600	8.91757	1.000	-30.3367	25.9047
		5.00	10.28400	8.91757	1.000	-17.8367	38.4047
	2.00	1.00	-22.91800	8.91757	.183	-51.0387	5.2027
		3.00	-20.68000	8.91757	.311	-48.8007	7.4407
		4.00	-25.13400	8.91757	.106	-53.2547	2.9867
		5.00	-12.63400	8.91757	1.000	-40.7547	15.4867
	3.00	1.00	-2.23800	8.91757	1.000	-30.3587	25.8827
		2.00	20.68000	8.91757	.311	-7.4407	48.8007
		4.00	-4.45400	8.91757	1.000	-32.5747	23.6667
		5.00	8.04600	8.91757	1.000	-20.0747	36.1667

	4.00	1.00	2.21600	8.91757	1.000	-25.9047	30.3367
		2.00	25.13400	8.91757	.106	-2.9867	53.2547
		3.00	4.45400	8.91757	1.000	-23.6667	32.5747
		5.00	12.50000	8.91757	1.000	-15.6207	40.6207
	5.00	1.00	-10.28400	8.91757	1.000	-38.4047	17.8367
		2.00	12.63400	8.91757	1.000	-15.4867	40.7547
		3.00	-8.04600	8.91757	1.000	-36.1667	20.0747
		4.00	-12.50000	8.91757	1.000	-40.6207	15.6207
Fosfor	1.00	2.00	12.33800	6.76893	.833	-9.0072	33.6832
gab		3.00	4.32800	6.76893	1.000	-17.0172	25.6732
		4.00	-4.81600	6.76893	1.000	-26.1612	16.5292
		5.00	-3.09800	6.76893	1.000	-24.4432	18.2472
	2.00	1.00	-12.33800	6.76893	.833	-33.6832	9.0072
		3.00	-8.01000	6.76893	1.000	-29.3552	13.3352
		4.00	-17.15400	6.76893	.197	-38.4992	4.1912
		5.00	-15.43600	6.76893	.337	-36.7812	5.9092
	3.00	1.00	-4.32800	6.76893	1.000	-25.6732	17.0172
		2.00	8.01000	6.76893	1.000	-13.3352	29.3552
		4.00	-9.14400	6.76893	1.000	-30.4892	12.2012
		5.00	-7.42600	6.76893	1.000	-28.7712	13.9192
	4.00	1.00	4.81600	6.76893	1.000	-16.5292	26.1612
		2.00	17.15400	6.76893	.197	-4.1912	38.4992
		3.00	9.14400	6.76893	1.000	-12.2012	30.4892
		5.00	1.71800	6.76893	1.000	-19.6272	23.0632
	5.00	1.00	3.09800	6.76893	1.000	-18.2472	24.4432
		2.00	15.43600	6.76893	.337	-5.9092	36.7812
		3.00	7.42600	6.76893	1.000	-13.9192	28.7712
		4.00	-1.71800	6.76893	1.000	-23.0632	19.6272
Karbon	1.00	2.00	-35.41800*	7.91363	.002	-60.3728	-10.4632
gab		3.00	-13.27600	7.91363	1.000	-38.2308	11.6788
		4.00	-31.33400*	7.91363	.008	-56.2888	-6.3792

	5.00	-7.18600	7.91363	1.000	-32.1408	17.7688
2.00	1.00	35.41800*	7.91363	.002	10.4632	60.3728
	3.00	22.14200	7.91363	.111	-2.8128	47.0968
	4.00	4.08400	7.91363	1.000	-20.8708	29.0388
	5.00	28.23200*	7.91363	.019	3.2772	53.1868
3.00	1.00	13.27600	7.91363	1.000	-11.6788	38.2308
	2.00	-22.14200	7.91363	.111	-47.0968	2.8128
	4.00	-18.05800	7.91363	.336	-43.0128	6.8968
	5.00	6.09000	7.91363	1.000	-18.8648	31.0448
4.00	1.00	31.33400*	7.91363	.008	6.3792	56.2888
	2.00	-4.08400	7.91363	1.000	-29.0388	20.8708
	3.00	18.05800	7.91363	.336	-6.8968	43.0128
	5.00	24.14800	7.91363	.063	-.8068	49.1028
5.00	1.00	7.18600	7.91363	1.000	-17.7688	32.1408
	2.00	-28.23200*	7.91363	.019	-53.1868	-3.2772
	3.00	-6.09000	7.91363	1.000	-31.0448	18.8648
	4.00	-24.14800	7.91363	.063	-49.1028	.8068

*. The mean difference is significant at the 0.05 level.

Tabel Perbedaan Prosentase Kalsium Pada Permukaan Sementum Spesimen B1-B5 (%)

Kalsium	p	Perbedaan	IK 95%	
			Min	Max
B 1 vs B 2	0,18	22,92	-5,20	51,04
B 1 vs B 3	1,00	2,24	-25,88	30,36
B 1 vs B 4	1,00	-2,22	-30,34	25,90
B 1 vs B 5	1,00	10,28	-17,84	38,40
B 2 vs B 3	0,31	-20,68	-48,80	7,44
B 2 vs B 4	0,11	-25,13	-53,25	2,99
B 2 vs B 5	1,00	-12,63	-40,75	15,49
B 3 vs B 4	1,00	-4,45	-32,57	23,67
B 3 vs B 5	1,00	8,05	-20,07	36,17
B 4 vs B 5	1,00	12,50	-15,62	40,62

p < 0,05

Spesimen B1 : tanpa pemberian tekanan

Spesimen B2 : pemberian tekanan 300gr/cm² selama 5 hari

Spesimen B3 : pemberian tekanan 600gr/cm² selama 5 hari

Spesimen B4 : pemberian tekanan 300gr/cm² selama 10 hari

Spesimen B5 : pemberian tekanan 600gr/cm² selama 10 hari

Tabel Perbedaan Prosentase Fosfor Pada Permukaan Sementum Spesimen B1-B5 (%)

Fosfor	p	Perbedaan	IK 95%	
			Min	Max
B 1 vs B 2	0,83	12,34	-9,01	33,68
B 1 vs B 3	1,00	4,33	-17,02	25,67
B 1 vs B 4	1,00	-4,82	-26,16	16,53
B 1 vs B 5	1,00	-3,10	-24,44	18,25
B 2 vs B 3	1,00	-8,01	-29,36	13,34
B 2 vs B 4	0,20	-17,15	-38,50	4,19
B 2 vs B 5	0,34	-15,44	-36,78	5,91
B 3 vs B 4	1,00	-9,14	-30,49	12,20
B 3 vs B 5	1,00	-7,43	-28,77	13,92
B 4 vs B 5	1,00	1,72	-19,63	23,06

$p < 0,05$

Spesimen B1 : tanpa pemberian tekanan

Spesimen B2 : pemberian tekanan 300gr/cm² selama 5 hari

Spesimen B3 : pemberian tekanan 600gr/cm² selama 5 hari

Spesimen B4 : pemberian tekanan 300gr/cm² selama 10 hari

Spesimen B5 : pemberian tekanan 600gr/cm² selama 10 hari

Tabel Perbedaan Prosentase Karbon Pada Permukaan Sementum Spesimen B1-B5 (%)

Karbon	p	Perbedaan	IK95%	
			Min	Max
B 1 vs B 2	0,002	-35,42	-60,37	-10,46
B 1 vs B 3	1,00	-13,28	-38,23	11,68
B 1 vs B 4	0,008	-31,33	-56,29	-6,38
B 1 vs B 5	1,00	-7,19	-32,14	17,77
B 2 vs B 3	0,11	22,14	-2,81	47,10
B 2 vs B 4	1,00	4,08	-20,87	29,04
B 2 vs B 5	0,02	28,23	3,28	53,19
B 3 vs B 4	0,34	-18,06	-43,01	6,90
B 3 vs B 5	1,00	6,09	-18,86	31,04
B 4 vs B 5	0,06	24,15	-0,81	49,10

$p < 0,05$

Spesimen B1 : tanpa pemberian tekanan

Spesimen B2 : pemberian tekanan 300gr/cm² selama 5 hari

Spesimen B3 : pemberian tekanan 600gr/cm² selama 5 hari

Spesimen B4 : pemberian tekanan 300gr/cm² selama 10 hari

Spesimen B5 : pemberian tekanan 600gr/cm² selama 10 hari

Lanjutan

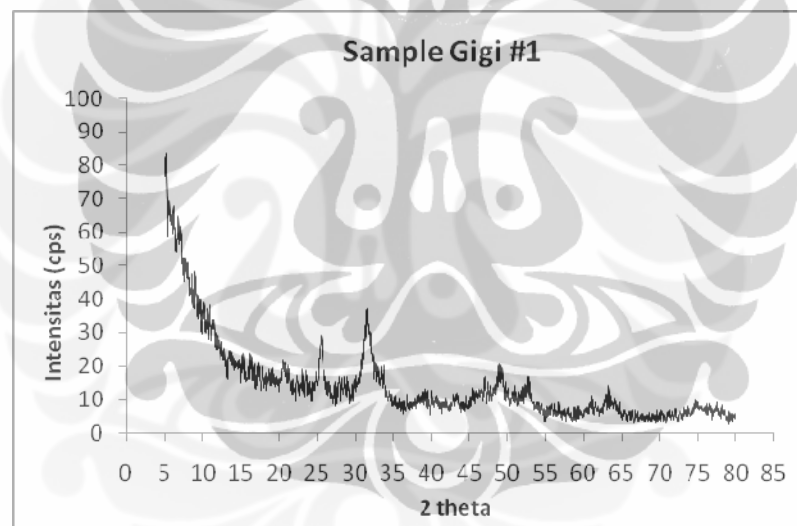
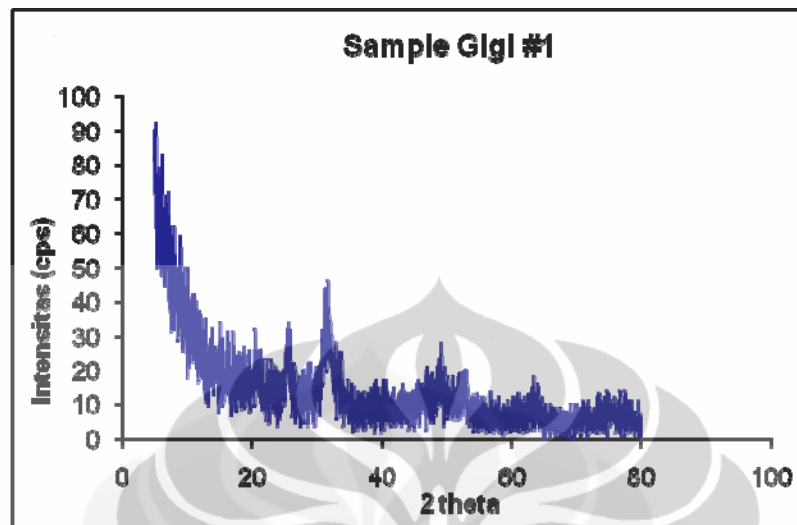
Analisis data 3 :

Hasil uji perubahan kristal dengan metode Powder- XRD

No	Kode sampel	Data puncak xrd tertinggi								
1	GIGI 1	Peak Search Report (6 Peaks, Max P/N = 1.6) GIGI #1								
		PEAK: 31-pts/Quartic Filter, Threshold=2.0, Cutoff=2.0%, BG=1/1.0, Peak-Top=Centroid Fit								
		2-Theta	d(A)	BG	Height	I%	Area	I%	FWHM	XS(A)
		25.524	3.4869	12	18	90	12.4	65.4	0.586	141
		31.224	2.8622	19	15	75	13	68.3	0.734	113
		31.618	2.8274	17	20	100	19	100	0.807	103
		48.897	1.8611	10	11	55	8.2	43.2	0.634	139
		52.812	1.732	8	10	50	5.6	29.7	0.479	189
		63.378	1.4663	6	9	45	6	31.7	0.569	167
		ANALISIS: ICDD YNG COCOK NO: 73-0294								
2	GIGI 2	Peak Search Report (5 Peaks, Max P/N = 1.4) GIGI #2								
		PEAK: 31-pts/Quartic Filter, Threshold=2.0, Cutoff=2.0%, BG=1/1.0, Peak-Top=Centroid Fit								
		2-Theta	d(A)	BG	Height	I%	Area	I%	FWHM	XS(A)
		14.337	6.1727	13	14	100	5.3	44	0.321	263
		25.889	3.4386	7	12	85.7	7.9	66	0.561	148
		32.037	2.7914	10	13	92.9	12	100	0.785	106
		34.133	2.6246	7	10	71.4	2.6	21.7	0.221	422
		53.121	1.7227	6	10	71.4	7.1	59	0.602	150
		ANALISIS: ICDD YNG COCOK NO: 73-0294								
		3	GIGI 3	Peak Search Report (8 Peaks, Max P/N = 1.6) GIGI #3						
PEAK: 31-pts/Quartic Filter, Threshold=2.0, Cutoff=2.0%, BG=1/1.0, Peak-Top=Centroid Fit										
2-Theta	d(A)			BG	Height	I%	Area	I%	FWHM	XS(A)
11.561	7.6482			20	20	87	11.4	53.6	0.485	168
20.654	4.2969			14	14	60.9	10.1	47.3	0.612	134
25.672	3.4672			13	15	65.2	12.4	58.1	0.702	117
25.952	3.4304			13	16	69.6	12.4	58.3	0.66	125
26.133	3.4071			12	14	60.9	14.1	66.2	0.856	96
31.923	2.8011			24	22	95.7	21.3	100	0.823	101

		32.106	2.7855	28	23	100	14.2	66.9	0.526	160
		53.076	1.724	10	12	52.2	7.7	36.1	0.544	166
		ANALISIS: ICDD YNG COCOK NO: 73-0294								
4	GIGI 4	Peak Search Report (5 Peaks, Max P/N = 1.5) GIGI #4								
		PEAK: 31-pts/Quartic Filter, Threshold=2.0, Cutoff=2.0%, BG=1/1.0, Peak-Top=Centroid Fit								
		2-Theta	d(A)	BG	Height	I%	Area	I%	FWHM	XS(A)
		25.983	3.4264	9	14	82.4	13.6	89.2	0.828	99
		26.344	3.3802	11	12	70.6	9.1	59.7	0.647	128
		31.912	2.8021	17	12	70.6	15.3	100	1.084	77
		32.42	2.7593	19	17	100	12.2	79.7	0.61	137
		49.604	1.8363	9	10	58.8	8.9	58	0.755	117
		ANALISIS: ICDD YNG COCOK NO: 73-0294								
5	GIGI 5	Peak Search Report (9 Peaks, Max P/N = 1.9) GIGI #5								
		PEAK: 31-pts/Quartic Filter, Threshold=2.0, Cutoff=2.0%, BG=1/1.0, Peak-Top=Centroid Fit								
		2-Theta	d(A)	BG	Height	I%	Area	I%	FWHM	XS(A)
		25.356	3.5097	12	21	84	13	39.3	0.528	157
		28.335	3.1471	9	10	40	7.7	23.3	0.656	126
		31.034	2.8793	15	23	92	33.2	100	1.226	67
		31.396	2.8469	22	25	100	25.2	75.9	0.856	97
		31.616	2.8276	24	21	84	21.5	64.8	0.87	96
		32.364	2.7639	14	15	60	11.5	34.6	0.651	129
		39.006	2.3072	9	10	40	9.1	27.4	0.774	110
		39.006	2.3072	9	10	40	9.1	27.4	0.774	110
		52.751	1.7339	8	10	40	6.1	18.4	0.519	174
		ANALISIS: ICDD YNG COCOK NO: 73-0294								

Lanjutan



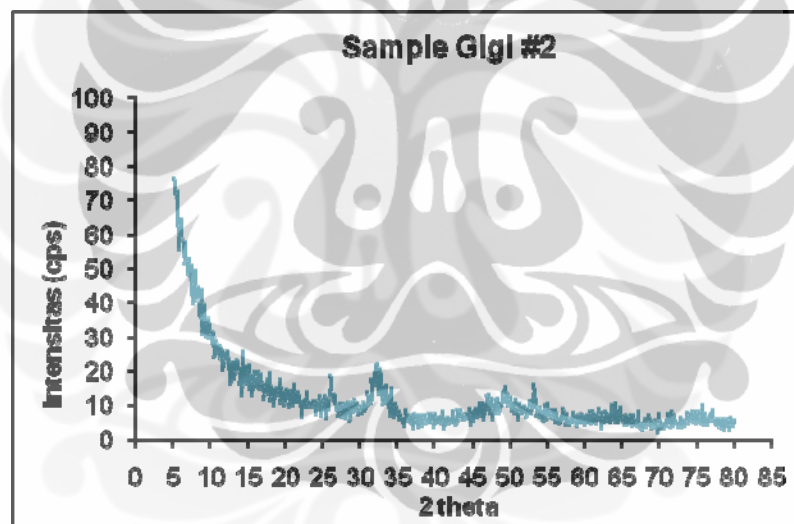
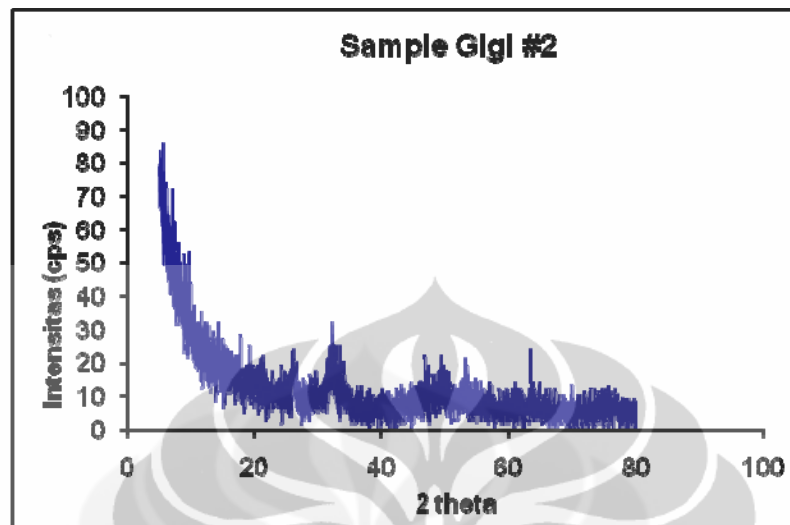
Peak Search Report (6 Peaks, Max P/N = 1.6)

[IWAN-001.RD] GIGI #1

PEAK: 31-pts/Quartic Filter, Threshold=2.0, Cutoff=2.0%, BG=1/1.0, Peak-Top=Centroid Fit

2-Theta	d(A)	BG	Height	I%	Area	I%	FWHM	XS(A)
25.524	3.4869	12	18	90	12.4	65.4	0.586	141
31.224	2.8622	19	15	75	13	68.3	0.734	113
31.618	2.8274	17	20	100	19	100	0.807	103
48.897	1.8611	10	11	55	8.2	43.2	0.634	139
52.812	1.732	8	10	50	5.6	29.7	0.479	189
63.378	1.4663	6	9	45	6	31.7	0.569	167

Lanjutan



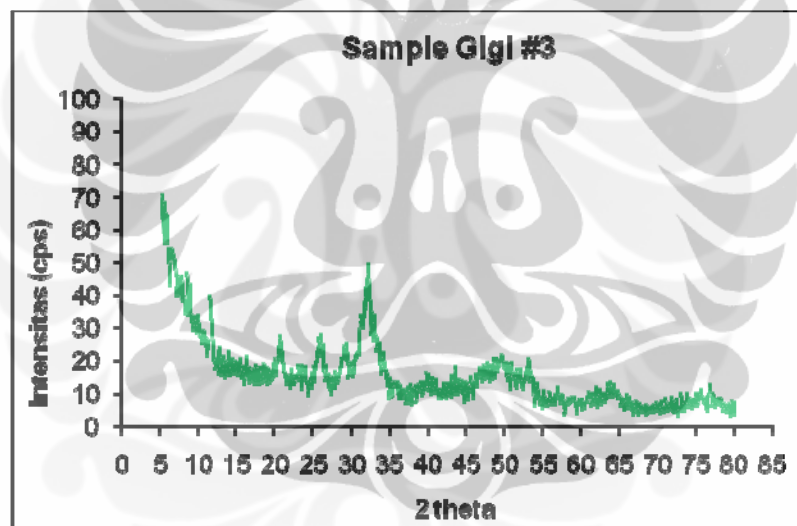
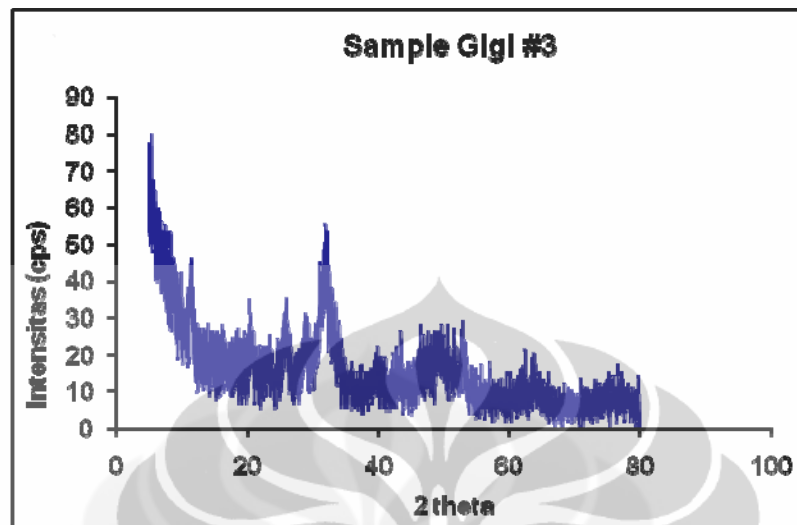
Peak Search Report (5 Peaks, Max P/N = 1.4)

[IWAN-002.RD] GIGI #2

PEAK: 31-pts/Quartic Filter, Threshold=2.0, Cutoff=2.0%, BG=1/1.0, Peak-Top=Centroid Fit

2-Theta	d(A)	BG	Height	I%	Area	I%	FWHM	XS(A)
14.337	6.1727	13	14	100	5.3	44	0.321	263
25.889	3.4386	7	12	85.7	7.9	66	0.561	148
32.037	2.7914	10	13	92.9	12	100	0.785	106
34.133	2.6246	7	10	71.4	2.6	21.7	0.221	422
53.121	1.7227	6	10	71.4	7.1	59	0.602	150

Lanjutan



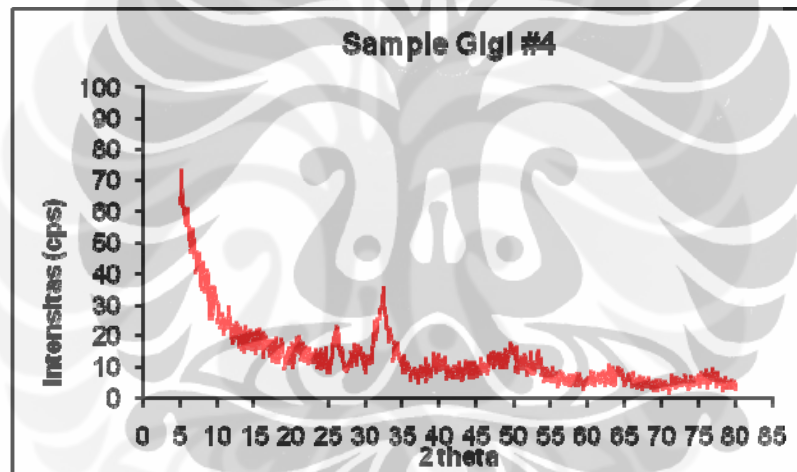
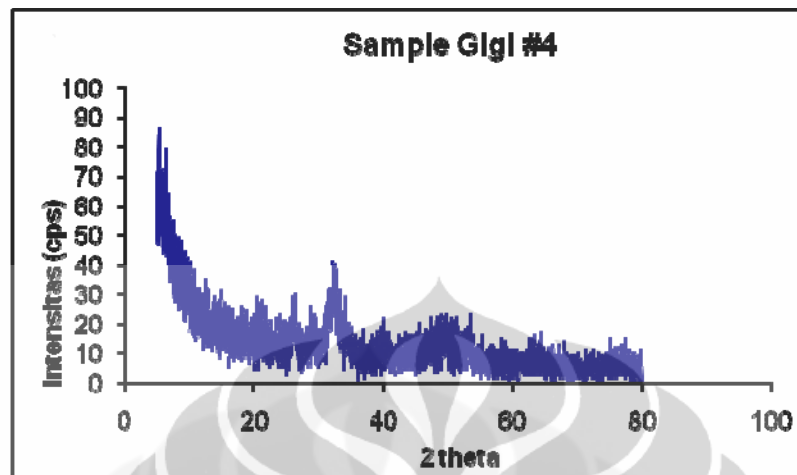
Peak Search Report (8 Peaks, Max P/N = 1.6)

[IWAN-003.RD] GIGI #3

PEAK: 31-pts/Quartic Filter, Threshold=2.0, Cutoff=2.0%, BG=1/1.0, Peak-Top=Centroid Fit

2-Theta	d(A)	BG	Height	I%	Area	I%	FWHM	XS(A)
11.561	7.6482	20	20	87	11.4	53.6	0.485	168
20.654	4.2969	14	14	60.9	10.1	47.3	0.612	134
25.672	3.4672	13	15	65.2	12.4	58.1	0.702	117
25.952	3.4304	13	16	69.6	12.4	58.3	0.66	125
26.133	3.4071	12	14	60.9	14.1	66.2	0.856	96
31.923	2.8011	24	22	95.7	21.3	100	0.823	101
32.106	2.7855	28	23	100	14.2	66.9	0.526	160
53.076	1.724	10	12	52.2	7.7	36.1	0.544	166

Lanjutan



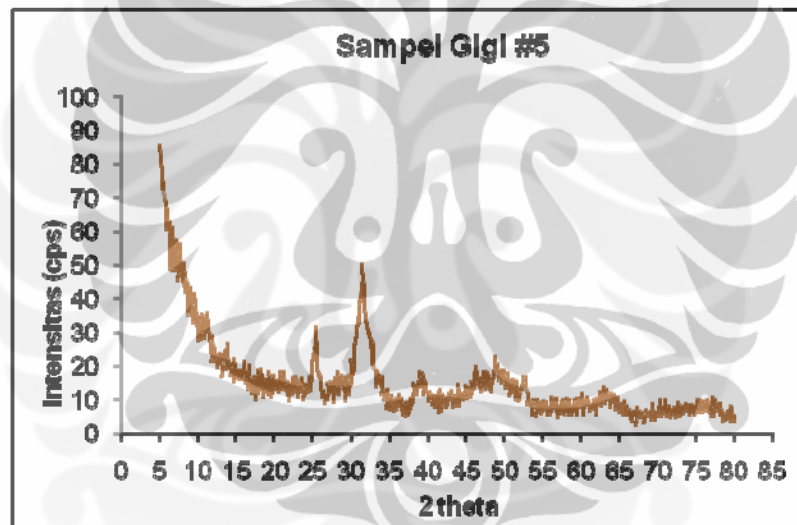
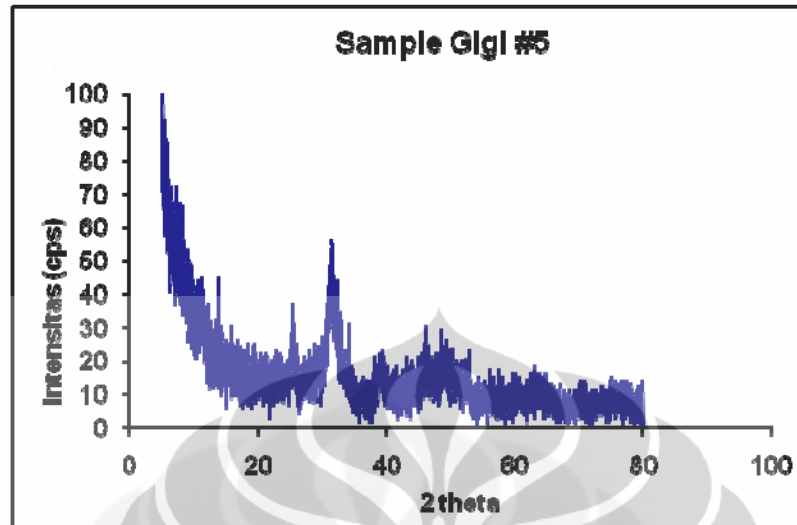
Peak Search Report (5 Peaks, Max P/N = 1.5)

[IWAN-004.RD] GIGI #4

PEAK: 31-pts/Quartic Filter, Threshold=2.0, Cutoff=2.0%, BG=1/1.0, Peak-Top=Centroid Fit

2-Theta	d(A)	BG	Height	I%	Area	I%	FWHM	XS(A)
25.983	3.4264	9	14	82.4	13.6	89.2	0.828	99
26.344	3.3802	11	12	70.6	9.1	59.7	0.647	128
31.912	2.8021	17	12	70.6	15.3	100	1.084	77
32.42	2.7593	19	17	100	12.2	79.7	0.61	137
49.604	1.8363	9	10	58.8	8.9	58	0.755	117

Lanjutan



Peak Search Report (9 Peaks, Max P/N = 1.9)

[IWAN-05.RD] GIGI \$5

PEAK: 31-pts/Quartic Filter, Threshold=2.0, Cutoff=2.0%, BG=1/1.0, Peak-Top=Centroid Fit

2-Theta	d(A)	BG	Height	I%	Area	I%	FWHM	XS(A)
25.356	3.5097	12	21	84	13	39.3	0.528	157
28.335	3.1471	9	10	40	7.7	23.3	0.656	126
31.034	2.8793	15	23	92	33.2	100	1.226	67
31.396	2.8469	22	25	100	25.2	75.9	0.856	97
31.616	2.8276	24	21	84	21.5	64.8	0.87	96
32.364	2.7639	14	15	60	11.5	34.6	0.651	129
39.006	2.3072	9	10	40	9.1	27.4	0.774	110
39.006	2.3072	9	10	40	9.1	27.4	0.774	110
52.751	1.7339	8	10	40	6.1	18.4	0.519	174

Lanjutan

73-0294		Wavelength= 1.54184										C		
Ca ₅ (PO ₄) ₃ (OH)		2 θ	Int	h	k	l	2 θ	Int	h	k	l			
Calcium Phosphate Hydroxide		10.831	171	1	0	0	46.381	7	4	0	1			
Hydroxyapatite		16.847	46	1	0	1	46.701	283	2	2	2			
Rad.: CuK α λ : 1.54060 Filter: d-sp: Calculated		18.817	24	1	1	0	48.088	122	1	3	2			
Cut off: 17.7 Int.: Calculated I/Icor.: 1.06		21.761	66	2	0	0	48.584	41	2	3	0			
Ref: Calculated from ICSD using POWD-12++, (1997)		22.861	63	1	1	1	49.507	309	2	1	3			
Ref: Kay, M.L., Young, R.A., Posner, A.S., Nature (London), 204, 1050 (1964)		25.360	24	2	0	1	50.475	162	3	2	1			
Sys.: Hexagonal S.G.: P6 ₃ /m (176)		25.897	362	0	0	2	51.252	115	1	4	0			
a: 9.432 b: c: 6.881 A: C: 0.7295		28.144	89	1	0	2	52.081	114	4	0	2			
α : β : γ : Z: 2 mp:		28.920	161	2	1	0	52.081	114	3	0	3			
Ref: Ibid.		31.767	999*	2	1	1	53.249	138	0	0	4			
Dx: 3.147 Dm: ICSD #: 022060		32.206	515	1	1	2	54.513	10	1	0	4			
		32.895	615	3	0	0	55.868	60	3	2	2			
		34.073	212	2	0	2	56.315	2	5	0	0			
		35.456	39	3	0	1	57.148	38	3	1	3			
		38.166	2	2	2	0	58.026	15	5	0	1			
		39.206	51	2	1	2	58.192	11	2	0	4			
		39.789	206	1	3	0	58.300	10	4	1	2			
		40.437	18	2	2	1	58.735	8	3	3	0			
		40.865	4	1	0	3	59.922	43	2	4	0			
		41.986	56	1	3	1	60.403	31	3	3	1			
		42.332	11	3	0	2	61.570	31	2	4	1			
		43.894	45	1	1	3	61.730	54	1	2	4			
		44.360	11	4	0	0	62.986	79	5	0	2			
		45.348	35	2	0	3	63.401	16	5	1	0			

Peak height intensity. Specimen from Holly Springs, GA, USA.
R-factor: 0.055. Single-crystal data used. PSC: hP44. Mwt: 502.32. Volume[CD]: 630.14.

2 θ	Int	h	k	l	2 θ	Int	h	k	l
64.024	74	3	0	4	85.777	9	2	6	0
64.178	89	3	2	3	87.359	22	5	1	4
64.999	70	5	1	1	87.546	39	1	1	6
66.425	20	1	4	3	88.056	24	2	3	5
67.384	1	2	2	4	88.472	57	3	5	2
68.485	4	3	1	4	89.540	3	1	6	3
68.982	2	6	0	0					
69.232	1	1	0	5					
69.676	20	5	1	2					
70.071	4	4	3	0					
70.515	1	6	0	1					
70.811	2	5	0	3					
71.400	5	1	1	5					
71.594	37	4	3	1					
71.742	20	4	0	4					
72.229	28	5	2	0					
72.474	16	2	0	5					
72.959	2	3	3	3					
73.733	19	5	2	1					
74.023	37	2	4	3					
74.939	13	2	3	4					
75.034	11	6	0	2					
75.659	44	2	1	5					
76.087	24	3	4	2					
76.470	18	6	1	0					
77.042	50	1	4	4					
77.185	43	5	1	3					
77.757	3	3	0	5					
77.944	8	1	6	1					
78.182	55	2	5	2					
80.873	3	2	2	5					
81.202	5	5	0	4					
81.669	17	4	4	0					
81.906	14	1	3	5					
82.325	6	1	6	2					
82.325	6	6	0	3					
82.699	7	7	0	0					
83.120	10	4	4	1					
83.262	11	3	3	4					
83.402	36	4	3	3					
84.289	33	2	4	4					
84.477	21	0	0	6					
84.989	2	4	0	5					
85.452	16	5	2	3					
85.452	16	1	0	6					

1998 JCPDS-International Centre for Diffraction Data. All rights reserved
PCPDFWIN v. 2.01

Lampiran 2 : Pernyataan Keterangan Lolos Uji Etik Penelitian.



**UNIVERSITAS INDONESIA
FAKULTAS KEDOKTERAN GIGI**

JLN. SALEMBA RAYA NO. 4 JAKARTA PUSAT 10430
TELP. (62-21) 31930270, 3151035
FAX. (62-21) 31931412

SURAT KETERANGAN LOLOS ETIK

Nomor: 24 /Ethical Clearance/FGUI/VI/2010

Setelah membaca dan mempelajari/mengkaji usulan penelitian yang tersebut di bawah ini:

Judul : Pengaruh Tekanan Ortodontik Pada Perubahan Mikrostruktur Permukaan Jaringan Sementum

Nama Peneliti : Haru Setyo Anggani 0606037342

Sesuai dengan keputusan Anggota Komisi Etik, maka dengan ini Komisi Etik Penelitian Fakultas Kedokteran Gigi Universitas Indonesia menerangkan bahwa penelitian tersebut dinyatakan lolos etik.

Mengetahui:
Dekan FKGUI,

Prof. drg. Bambang Irawan, PhD.
NIP. 195306151980031005

Jakarta, 19 Juni 2012
Ketua Komisi Etik Penelitian FKGUI,

drg. Anton Rahardjo, MKM, PhD
NIP. 195406021983031002

Lampiran 3 : Publikasi Hasil Penelitian.

Dental Journal

Jurnal Kegigihatan Cigi

Vol. 43, No. 1 March 2010

Review Article

Special considerations for orthodontic treatment in patients with root resorption

Haru S. Anggani
 Department of Orthodontic
 Faculty of Dentistry, University of Indonesia
 Jakarta - Indonesia

ABSTRACT

Background: Orthodontic treatment needs good consideration especially when there are unfavorable conditions for orthodontic treatment, such as periodontal diseases or tooth with root resorption. Root resorption should not become worse due to orthodontic treatment. All risk factors should be eliminated before orthodontic treatment is started. Otherwise, the goal of orthodontic treatment could be difficult to achieve because of poor dental and oral health. **Purpose:** The purpose of this study was to learn more about mechanical factors that could worsen the root resorption that has already been there or even provoke root resorption to develop during orthodontic treatment. **Reviews:** Resorption of dental root surface is the condition in which cementum is deprived and the damage could also include dentin of dental root. It can occur either physiologically or pathologically due to some causes. The occurrence of the root resorption is suspected because of the biological factor, the tooth condition, the supportive tissue and the mechanical factors. Panoramic x-ray which routinely used to support diagnose in orthodontic cases, can detect root resorption in general, although sometimes periapical x-ray with parallel technique is needed to enhance the diagnosis. Before starting a treatment, the risk factors that suspected as the causes of root resorption should be eliminated, thus the mechanical treatment can be calculated. **Conclusion:** Orthodontic treatment in patient with root resorption should not escalate the root resorption which already occurs. The treatment should be done effectively by using optimal forces. Giving discontinued forces and avoiding intrusion and torque movements could reduce the risk factors of root resorption.

Key words: Root resorption, orthodontic treatment

ABSTRAK

Latar belakang: Keadaan gigi dan jaringan pendukung yang kurang menguntungkan bagi perawatan ortodontik hendaknya membutuhkan perhatian ekstra para klinisi. Kondisi tersebut misalnya adanya penyakit periodontal ataupun adanya gigi dengan resorpsi akar. Perawatan ortodontik yang dilakukan hendaknya tidak menambah parah resorpsi akar yang telah ada sebelumnya. Sebelum memulai perawatan, seluruh faktor yang diduga sebagai faktor resiko dihilangkan terlebih dahulu. Sebaliknya, tujuan perawatan ortodontik akan sulit dicapai akibat buruknya keadaan gigi dan jaringan pendukungnya. **Tujuan:** Mempelajari lebih jauh mengenai faktor mekanik yang dapat menyebabkan resorpsi akar atau bahkan memperparah terjadinya resorpsi akar yang telah ada akibat perawatan ortodontik. **Tinjauan pustaka:** Resorpsi permukaan akar gigi adalah kondisi rusaknya jaringan sementum akar gigi yang dapat berlanjut hingga ke jaringan dentin akar gigi. Resorpsi akar dapat terjadi secara fisiologis atau patologis. Terjadinya resorpsi akar ini diduga karena adanya faktor biologis, kondisi gigi dan jaringan pendukung serta adanya faktor mekanik. Foto ronsen panoramik yang rutin digunakan sebagai penunjang diagnosa pada perawatan ortodontik dapat mendeteksi secara umum adanya resorpsi akar, meskipun terkadang dibutuhkan foto ronsen periapikal teknik paralel untuk memperjelasnya. Sebelum memulai perawatan, faktor resiko yang diduga sebagai penyebab terjadinya resorpsi akar hendaknya dihilangkan lebih dahulu, baru kemudian mempertimbangkan biomekanika perawatan ortodontik. **Kesimpulan:** Perawatan ortodontik pada pasien dengan resorpsi akar hendaknya tidak memperparah resorpsi akar yang telah ada. Perawatan yang dilakukan haruslah seefektif dan seefisien mungkin

D. Kegiatan Ilmiah

1. KPPIKG ke VI. FKG UI. 1983
2. Simposium Mendeteksi Diabetes melitus pada penderita dengan kelainan jaringan mulut. FKG UI. 1985.
3. KPPIKG ke VII dan Lustrum ke V FKG UI. FKG UI. 1986.
4. Pertemuan Ilmiah Ilmu Kesehatan Gigi Anak. IDGAI.1988.
5. KPPIKG ke VIII. FKG UI.1988.
6. Ceramah Ilmiah Gigi geligi berjejal dan permasalahannya. IKORTI. 1988.
7. Simposium perkembangan ilmu bedah mulut dalam bidang bedah ortognatik. FKG UI. 1988.
8. Post- graduate Course Bioprogressive Simplified'89. Singapore 1989.
9. Pekan Ilmiah Dental Expo. PB PDGI. 1989.
10. Introduction to Contemporary Edgewise Orthodontics. 1990.
11. Post- graduate Course on The concept and application of the Alexander Discipline. Jakarta 1991.
12. Temu Ilmiah "Functional- Myofunctional Class III treatment ". 1991.
13. KPPIKG ke IX dan Lustrum ke VI FKG UI. 1991.
14. Contemporary Light Wire Approach. Ikorti. 1991.
15. Kursus singkat Aplikasi Antropologi Ragawi Dalam kedokteran Gigi.FKG UI.1992.
16. Tip- Edge Differential Straight- Arch Advanced Course in Orthodontics. 1992.
17. Kongres PDGI ke XVIII. PDGI. 1992
18. Aesthetic Orthodontics. Ikorti. 1993.
19. Forum Ilmiah ke IV. Usakti. 1993.
20. Post- graduate Course on Bioprogressive Therapy. Usakti.1993.
21. Post- graduate Course on The Segmented Arch Technique. Unpad. 1993.
22. Post- graduate Course on Orthodontic Diagnosis and Treatment Planning.Ikorti.1994.
23. Post- graduate Course on Straight Wire Appliance. FKG UI. 1994.
24. Simposium Maloklusi pada orang dewasa . Ikorti. 1994.
25. KPPIKG ke X. FKG UI. 1994.
26. The 1994 Thailand International Orthodontic Congress. 1994.
27. Straightwire Appliance for general practitioner level 1& 2. FKG UI. 1995.
28. Post- graduate Course on Lingual Appliance. FKG UI. 1995.
29. Diskusi Ilmiah Ortodontik tentang celah bibir. FKG UI. 1995.
30. Post- graduate Course on Current Topics in Superelastic TI- NI Orthodontic Wire. Usakti. 1996.
31. Forum Ilmiah ke V. Usakti. 1996.
32. Lustrum ke VII FKG USU. FKG USU. 1996.
33. KPPIKG ke XI. FKG UI. 1997.
34. KPPIKG ke XII. FKG UI. 2000.
35. Post- graduate Course on Diagnosis, Treatment Planning and Treatment Mechanics with Emphasis on TMJ Problems. The Hongkong Society of Orthodontists.2002.
36. New Wave of Dental Technology in The Third Millenium.
37. Kongres PDGI XXI.

38. The 10th Scientific Conference and Exhibition of The Malaysia Association of Orthodontists.
39. The 1st Bali Orthodontic Conference and Exhibition. 2006.
40. Orthodontic Workshop : Cephalometric standard research for Indonesians.
41. Kongres Nasional VI Ikorti.
42. The 6th Congress of the Indonesian Association of Orthodontists.
43. The 22nd Indonesian Dental Association Congress.
44. Kongres PDGI.
45. Biomechanics in Esthetic Orthodontics Seminars& Hands-On.
46. From Basic Principles To Advanced Application.
47. Orthodontic mini implant.
48. The "Future in Orthodontics" (Smart Clip Bracket System, 3D Technology, Skeletal Anchorage Technology, Advance on MBT).
49. Acara ilmiah IKORTI Komda Jaya dengan Iluni Ortodonsi FKG UI.
50. Bedah buku: "Biomechanics and Esthetic Strategies in Clinical Orthodontic by R. Nanda".
51. Contemporary Orthodontic Treatment Planning & Mechanics by Ravindra Nanda, BDS,MDA,PhD
52. The 2nd Bali Orthodontic Conference and Exhibition. Ikorti. 2007.
53. How To Find Evidence-Based Information On The Internet ?
54. The 14th and Refresher Course in Dentistry & The 17th South East Asia Association for Dental Education Meeting.
55. The Latest Thinking in the MBT Philosophy. 2006.
56. Indikator kebutuhan perawatan ortodonti pada anak usia pertumbuhan & pengaruh kebiasaan buruk bernafas melalui mulut pada penderita obstruksi saluran nafas atas terhadap morfologi. 2005.
57. The 4th Bali Orthodontic Conference and Exhibition. Ikorti. 2009.
58. The 15th Scientific Meeting and Refresher Course in Dentistry, FKG UI.
59. The 5th Bali Orthodontic Conference and Exhibition. Ikorti. 2010.
60. The 6th Bali Orthodontic Conference and Exhibition. Ikorti. 2011.
61. The 7th Bali Orthodontic Conference and Exhibition. Ikorti. 2012.

E. Publikasi Ilmiah

No .	Judul	Tahun	Dipublikasikan pada
1	Perubahan parameter dimensi vertical pada perawatan ortodonti dengan pencabutan empat molar.	2003	Jurnal Kedokteran Gigi UI JKGUI 2003: 10 (edisi khusus) 896 – 902.
2	Gambaran maturasi tulang karpal dan servikal pada pasien ortodonti usia 9 - 18 tahun (penulis ke 2 dari 2 penulis).	2003	Jurnal Kedokteran Gigi UI Vol 10/edisi khusus KPPIKG XIII/2003. ISSN 0845-364X 725 – 732.
3	Evaluasi posisi maksila dan mandibula berdasarkan analisis Steiner dan Mc Namara.	2003	Majalah Kedokteran gigi UI JKGUI 2003 ; 10 (edisi khusus) 216 – 222.

4	Dasar-dasar pemilihan jenis kawat pada perawatan ortodonsi (penulis ke 2 dari 2 penulis).	2005	Majalah Ceril no. 8/2005 ISSN 0853-1352. Ceramah Ilmiah XVII FKG UGM Yogyakarta.
5	Ekspansi Lengkung Gigi Atas dengan Quad Helix pada maloklusi kelas II (penulis ke 2 dari 2 penulis).	2005	Majalah Ilmiah Kedokteran Gigi, Juni 2005, tahun 20, No. 60, ISSN 0215 - 126X.
6	Penutupan ruang paska pencabutan pada perawatan ortodonti (penulis ke 2 dari 2 penulis).	2005	Indonesian Journl of Dentistry Vol. 12/No.2/2005 : Agustus 2005, ISSN 1693 – 9697.
7	Perubahan Tumpang Gigit Dalam arah Vertikal pada Kasus Gigitan Dalam (penulis ke 2 dari 2 penulis).	2005	Majalah Ilmiah Kedokteran Gigi Desember 2005. Tahun ke 20.no 63. ISSN 0215-126X.
8	Tinggi dan lebar simfisis mandibula pada maloklusi gigitan terbuka (penulis ke 2 dari 3 penulis).	2005	Jurnal Kedokteran Gigi Indonesia, Edisi Khusus Maret 2005. Tahun ke 55. Kongres XXII PDGI; Makassar 2.
9	Tahap retensi dalam perawatan ortodonti (penulis ke 2 dari 2 penulis).	2006	Majalah Ilmiah Kedokteran Gigi Maret 2006, vol. 21, No. 1, ISSN 0215 - 126X.
10	Mini implant sebagai unit penjangkaran dalam perawatan orthodontik (penulis ke 2 dari 2 penulis).	2006	Indonesian Journal of Dentistry Vol. 13/No.12006 : April 2006, ISSN 1693 - 9697.
11	Perawatan kasus pseudo kelas III (penulis 2 dari 2 penulis).	2006	Majalah Ortodontik suplemen Agustus 2006, Bali Orthodontic Conference and Exhibition ISSN 1411-7843.
12	Susunan gigi geligi hasil perawatan ortodonti berdasarkan Objective Grading System American Board of Orthodontics (penulis ke 2 dari 3 penulis).	2006	Majalah Ilmiah Kedokteran Gigi, September 2006, Vol. 21, No. 3 ISSN 0215 - 126X.
13	Pencabutan gigi insisif bawah pada maloklusi kelas III tipe 1 (penulis ke 2 dari 2 penulis).	2006	Jurnal Kedokteran Gigi Volume 18 No. 4, Oktober 2006 ISSN 0854-662.
14	Hal-hal yang harus dipertimbangkan dalam menentukan indikasi ekstraksi pada perawatan Orthodontik. (penulis ke 2 dari 2 penulis).	2006	Dentika Dental Journal. Vol. 11 No.2 Desember 2006; ISSN 1693-671X, Medan
15	Perawatan asimetri lengkung gigi pada malrelasi rahang kelas II (penulis ke 2 dari 2 penulis).	2006	Majalah Ilmiah Kedokteran Gigi Desember 2006, Vol. 21, No. 4 ISSN 0215 - 126X.
16	The considerations before orthodontic camouflage treatment in	2008	Padjadjaran Journal of Dentistry Vol 20 , no. 1,

	skeletal class III malocclusion (penulis ke 2 dari 2 penulis).		Maret 2008. ISSN 1979-0201.
17	Perubahan Lengkung Gigi di Dalam Perawatan Ortodontik (penulis ke 2 dari 2 penulis).	2008	Majalah Ilmiah Kedokteran Gigi Vol 23 no.4 Desember 2008. ISSN 0251- 126X.
18	The Association between the change of Molar position and facial vertical dimension in hyperdivergen and hypodivergan facial patterns.(penulis ke 2 dari 3 penulis).	2009	KPPIKG XV, Oktober 2009.
19	Special considerations for orthodontics treatment in patients with root resorption (penulis 1).	2010	Dental Journal Vol. 43 No. 1 March 2010 ISSN 1978 - 3728 .
20	Patients Knowledge About the Benefits and Side Effects of Orthodontic Treatment in RSGM FKGUI (penulis ke 2 dari 3 penulis).	2010	Journal of the Indonesian Dental Association. Vol 59. No 2. Agustus 2010.ISSN 0024-9548.
21	Korelasi usia, tingkat pendidikan dan sumber informasi terhadap pengetahuan pasien mengenai efek samping perawatan ortodonti Studi di RSGM-FKG UI bulan Maret-Juni 2009.	2011	International Synposium on Oral Health Education and Research, Balikpapan Desember 2011.

F. PENGHARGAAN

Satya Lancana Karya Satya XX tahun.