

SKRIPSI
PENGGUNAAN *MINERAL TRIOXIDE AGGREGATE* SEBAGAI
BAHAN BIOAKTIF DALAM BIDANG ENDODONTIK:
LITERATURE REVIEW

*Diajukan Kepada Universitas Hasanuddin Sebagai Salah Satu Syarat
Memperoleh Gelar Sarjana Kedokteran Gigi*



FILDAYANI AMIR
J0111 81 031

DEPARTEMEN ILMU BAHAN DAN TEKNOLOGI KEDOKTERAN GIGI
FAKULTAS KEDOKTERAN GIGI
UNIVERSITAS HASANUDDIN
MAKASSAR

2021

SKRIPSI
PENGGUNAAN *MINERAL TRIOXIDE AGGREGATE* SEBAGAI
BAHAN BIOAKTIF DALAM BIDANG ENDODONTIK:
LITERATURE REVIEW

*Diajukan Kepada Universitas Hasanuddin Sebagai Salah Satu Syarat
Memperoleh Gelar Sarjana Kedokteran Gigi*

FILDAYANI AMIR
J0111 81 031

DEPARTEMEN ILMU BAHAN DAN TEKNOLOGI KEDOKTERAN GIGI
FAKULTAS KEDOKTERAN GIGI
UNIVERSITAS HASANUDDIN
MAKASSAR
2021

LEMBAR PENGESAHAN

**Judul : Penggunaan *Mineral Trioxide Aggregate* Sebagai Bahan Bioaktif
dalam Bidang Endodontik**

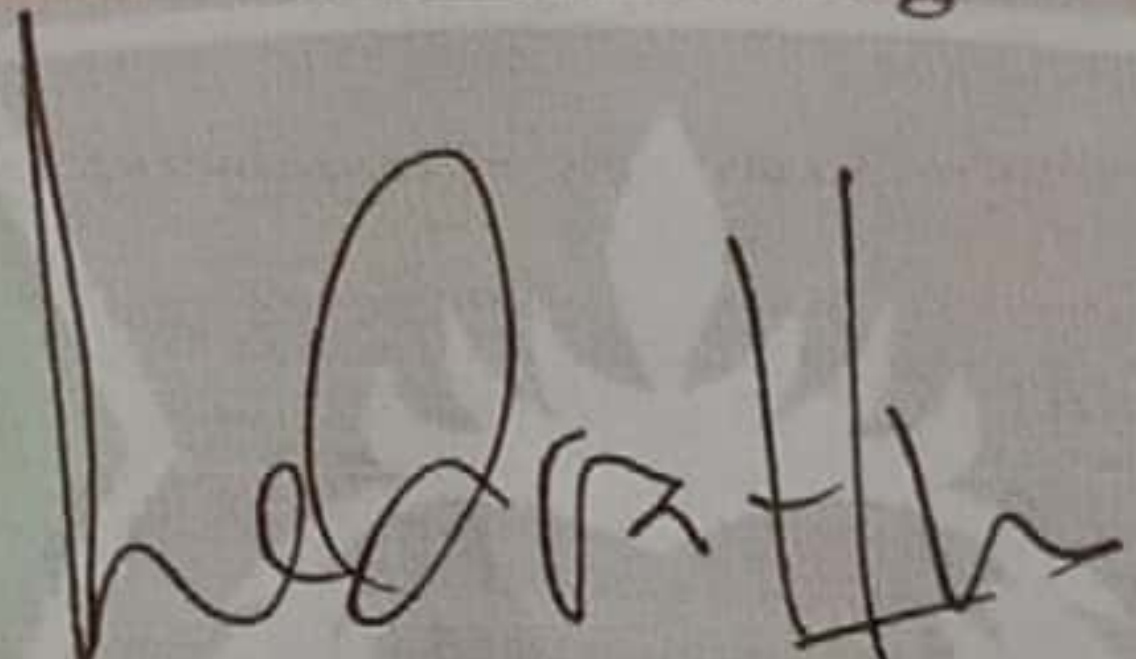
Oleh : Fildayani Amir / J011181031

Telah Diperiksa dan Disahkan

Pada Tanggal 13 Juni 2021

Oleh :

Pembimbing



Dr.drg. Lenny Indriani Hataa, M.Kes

NIP. 197605132005012002

Mengetahui,

Dekan Fakultas Kedokteran Gigi

Universitas Hasanuddin


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

NIP. 197307022001121001

SURAT PERNYATAAN

Dengan ini menyatakan bahwa mahasiswa yang tercantum dibawah ini :

Nama : Fildayani Amir

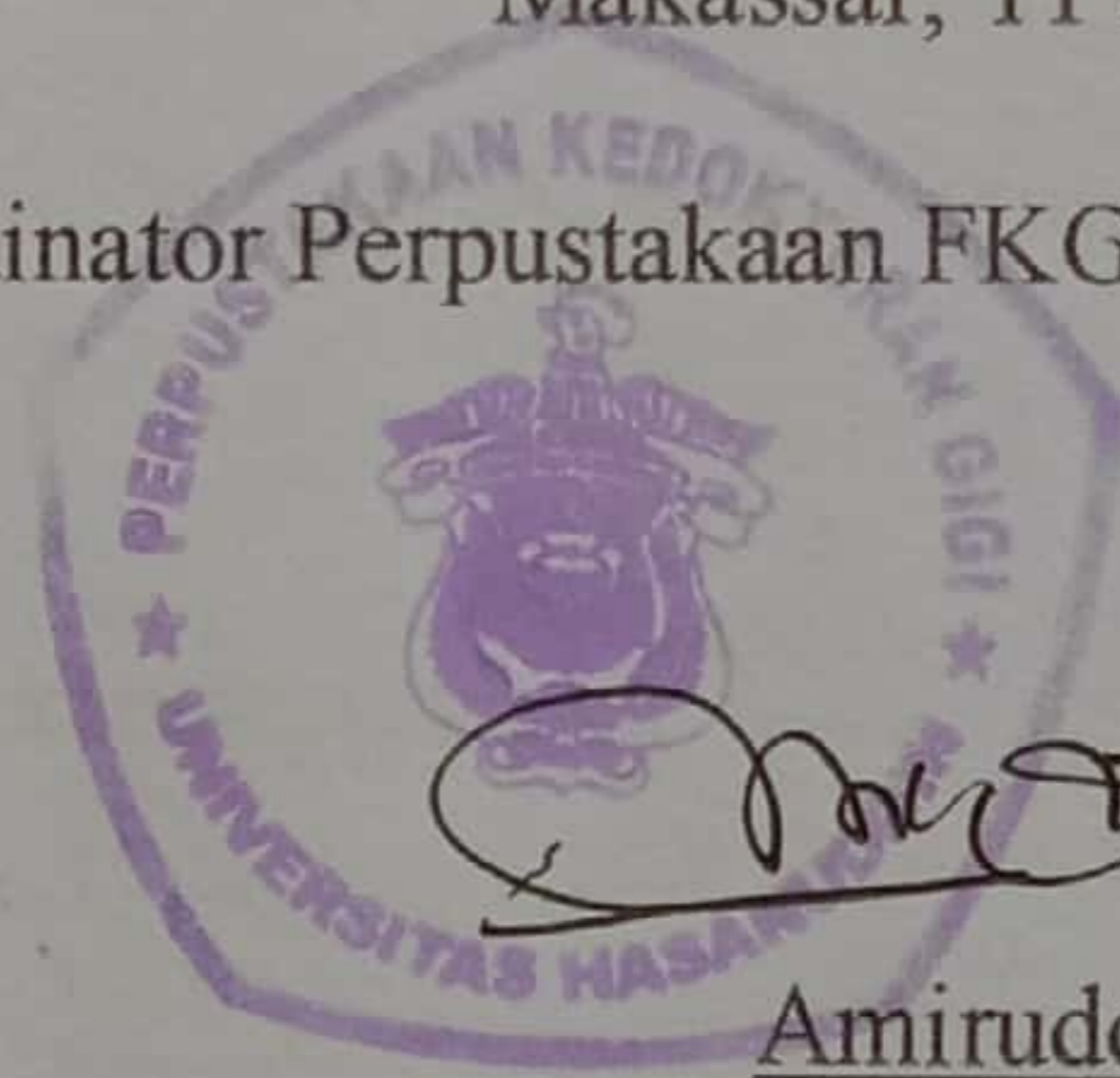
NIM : J011181031

Judul : Penggunaan *Mineral Trioxide Aggregate* Sebagai Bahan Bioaktif
dalam Bidang Endodontik

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

Makassar, 11 Juni 2021

Koordinator Perpustakaan FKG UNHAS



Amiruddin, S.Sos.

NIP. 19661121 199201 1 003

PERNYATAAN

Yang bertandatangan di bawah ini:

Nama : Fildayani Amir

NIM : J011 18 1031

Dengan ini menyatakan bahwa skripsi yang berjudul “*PENGGUNAAN MINERAL TRIOXIDE AGGREGATE* SEBAGAI BAHAN BIOAKTIF DALAM BIDANG ENDODONTIK “adalah benar merupakan karya sendiri dan tidak melakukan tindakan plagiat dalam penyusunannya. Adapun kutipan yang ada dalam penyusunan karya ini telah saya cantumkan sumber kutipannya dalam skripsi. Saya bersedia melakukan proses yang semestinya sesuai dengan peraturan perundangan yang berlaku jika ternyata skripsi ini sebagian atau keseluruhannya merupakan plagiat dari orang lain.

Demikian pernyataan ini dibuat untuk dipergunakan seperlunya

Makassar, 28 Mei 2021



Fildayani Amir
NIM J011 18 1031

KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan kepada Allah *Subhanahu Wata'ala* yang telah melimpahkan berkah dan rahmat-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi ini yang berjudul **“Penggunaan Mineral Trioxide Aggregate sebagai Bahan Bioaktif dalam Bidang Endodontik”**. Penulis menyadari sepenuhnya kesederhanaan dari penulisan isi skripsi ini baik dari segi bahasa ataupun pembahasan materi ini. Penulis sangat mengharapkan kritik dan saran dari pembaca untuk dijadikan sebagai bahan acuan untuk penyusunan selanjutnya. Dengan penuh kerendahan hati, penulis menyadari bahwa skripsi ini tidak dapat terselesaikan tanpa adanya bantuan dari berbagai pihak sehingga penulis ingin mengucapkan terima kasih kepada:

1. Orang tua tercinta **Ayahanda Muh.Amir** dan **Ibunda Satriana** yang senantiasa memberikan dorongan dan doa, serta telah mengasuh dan mendidik dari kecil hingga saat ini, semoga bisa menjadi anak yang berbakti dan membanggakan. Berguna bagi Agama, Bangsa dan Negara.
2. **drg.Muhammad Ruslin,M.Kes.,Ph.D.,Sp.BM(K)** selaku Dekan Fakultas Kedokteran Gigi Universitas Hasanuddin.
1. **Dr.drg.Lenni Indriani Hatta,M.Kes** selaku dosen pembimbing yang telah meluangkan waktu, tenaga dan pikiran untuk selalu memberikan saran bimbingan dan motivasi kepada kami untuk semangat dalam menyelesaikan skripsi ini.

2. **Prof.Dr.drg.Edy Machmud,Sp.Pros(K)** dan **Dr.drg.Juni Jekti Nugroho, Sp.KG(K)** yang telah meluangkan waktunya untuk menjadi dosen penguji serta memberikan kritikan dan saran yang membangun bagi penulis.
3. Teman seperjuangan saya di FKG yaitu **Nana, Munas, Lilis, Ismu, Uga, Nurul, Yaya, Mia** serta teman **Cingulum 2018** lainnya yang selalu *support*, memberi semangat pada penulis dalam penyelesaian skripsi ini.
4. Pihak lainnya yang belum sempat disebutkan satu persatu. Semoga semua bantuan yang telah diberikan dapat bernilai ibadah dan Allah swt berkenan memberikan balasan yang lebih dari hanya ucapan terima kasih oleh penulis,

Mohon maaf atas segala kesalahan dalam proses pembuatan skripsi ini. Semoga skripsi ini dapat bermanfaat dalam perkembangan ilmu kedokteran gigi kedepannya.

Makassar, 23 Januari 2021

Hormat saya

Penulis

**Penggunaan *Mineral Trioxide Aggregate* Sebagai Bahan Bioaktif Dalam
Bidang Endodontik: *Literature Review***

Fildayani Amir¹, Lenni Indriani Hatta²

¹Mahasiswa S1 Fakultas Kedokteran Gigi Universitas Hasanuddin

**²Dosen Departemen Ilmu Bahan dan Teknologi Kedokteran Gigi
Fakultas Kedokteran Gigi Universitas Hasanuddin**

ABSTRAK

Latar Belakang : Masyarakat semakin menyadari akan pentingnya mempertahankan gigi asli selama mungkin di dalam rongga mulut. Untuk mencapai tujuan tersebut, gigi yang mengalami kerusakan karena karies ataupun *fraktur* oleh trauma memerlukan perawatan dari dokter gigi dengan menggunakan bahan-bahan yang ada pada bidang kedokteran gigi contohnya dalam bidang endodontik. Salah satu pengembangan ilmu pengetahuan dan bahan dalam bidang endodontik adalah *Mineral Trioxide Aggregate*. *Mineral Trioxide Aggregate* (MTA). MTA dapat menciptakan suasana anti bakteri, anti jamur dalam lingkungan alkali dan mempunyai kemampuan untuk membentuk hidroksiapatit di atas permukaan serta menciptakan biologik seal. Sejak penemuannya, MTA telah diuji dalam kondisi laboratorium, kemudian pada studi hewan dan uji klinis. Hasil positif dari penyelidikan ini telah menghasilkan MTA menjadi bahan yang umum digunakan dalam kedokteran gigi anak dan dalam bidang endodontik. **Tujuan:** Secara umum, *literature review* ini bertujuan untuk mengkaji lebih lanjut mengenai penggunaan *Mineral Trioxide Aggregate* sebagai bahan bioaktif dalam bidang endodontik. **Hasil:** Dari semua jurnal yang telah dianalisis ada beberapa jurnal membahas secara jelas mengenai komposisi atau kadungan dari MTA yang dapat digunakan sebagai bahan bioaktif dalam endodontik. Beberapa jurnal lain juga membahas mengenai penggunaan MTA pada beberapa kasus endodontik yang berguna untuk perawatan dalam bidang endodontik berdasarkan pada keunggulan sifat kerapatan tepi, biokompatibilitas, pembentukan *calcific barrier*, merangsang mineralisasi jaringan keras dan sifat antibakteri. Namun terdapat beberapa jurnal yang menggunakan material *bioactive endodontic cements* dengan jenis yang berbeda-beda namun sifat yang dimiliki material tersebut hampir sama dengan MTA sehingga ada beberapa perbedaan dari segi keunggulan masing-masing material. **Kesimpulan:** MTA efektif digunakan sebagai bahan bioaktif dalam endodontik berdasarkan pada sifat kerapatan tepi, biokompatibilitas, pembentukan *calcific barrier*, merangsang mineralisasi jaringan keras, dan sifat antibakteri yang dimiliki oleh MTA.

Kata Kunci : “*Mineral Trioxide Aggregate*”, “Endodontic”, “Bahan Bioaktif”

**Use of Mineral Trioxide Aggregate as Bioactive Ingredients in Endodontics:
Literature Review**

Fildayani Amir¹, Lenni Indriani Hatta²

¹Student of the Faculty of Dentistry, Hasanuddin University

**²Lecturer of the Department of Materials Science and Dentistry Technology
Hasanuddin University Faculty of Dentistry**

ABSTRACT

Background : People are increasingly aware of the importance of maintaining natural teeth as long as possible in the oral cavity. To achieve this goal, teeth that are damaged by caries or fractured by trauma require treatment from a dentist using materials available in the field of dentistry, for example in the field of endodontics. One of the developments of science and materials in the field of endodontics is Mineral Trioxide Aggregate. Mineral Trioxide Aggregate (MTA). MTA can create an anti-bacterial, anti-fungal atmosphere in an alkaline environment and has the ability to form hydroxyapatite on the surface and create a biologic seal. Since its discovery, MTA has been tested under laboratory conditions, then in animal studies and clinical trials. The positive results of these investigations have resulted in MTA becoming a commonly used material in pediatric dentistry and in the field of endodontics. **Purpose:** In general, this literature review aims to further study the use of Mineral Trioxide Aggregate as a bioactive ingredient in the endodontic field. **Results:** From all the journals that have been analyzed, there are several journals that clearly discuss the composition or content of MTA which can be used as a bioactive ingredient in endodontics. Several other journals also discussed the use of MTA in some endodontic cases that are useful for treatment in the field of endodontics based on the advantages of edge density properties, biocompatibility, formation of calcific barriers, stimulating hard tissue mineralization and antibacterial properties. However, there are several journals that use bioactive endodontic cements with different types but the properties of these materials are almost the same as MTA, so there are some differences in terms of the advantages of each material. **Conclusion:** MTA is effectively used as a bioactive material in endodontics based on the properties of edge density, biocompatibility, calcific barrier formation, stimulating hard tissue mineralization, and antibacterial properties of MTA.

Keywords: “Mineral Trioxide Aggregate”, “Endodontic”, “Bioactive Ingredients”

DAFTAR ISI

HALAMAN SAMPUL	i
LEMBAR PENGESAHAN	iii
SURAT PERNYATAAN.....	iv
KATA PENGANTAR	vi
ABSTRAK	x
DAFTAR ISI.....	xi
DAFTAR TABEL.....	xiii
BAB 1 PENDAHULUAN	1
Latar Belakang.....	1
BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA	6
2. 1 MTA dalam Bidang Endodontik.....	7
2.1.1 Komposisi <i>Mineral Trioxide Aggregate</i>	8
2.1.2 Mekanisme Kerja <i>Mineral Trioxide Aggregate</i>	8
2. 2 Sifat Unggul dari <i>Mineral Trioxide Aggregate</i>	8
2.2.1 Kerapatan Tepi	8
2.2.2 Biokompatibilitas	8
2.2.3 Radioopasitas	8
2.2.4 Anti Bakteri.....	8
2.2.5 Merangsang Mineralisasi Jaringan Keras	8
2. 3 Kegunaan <i>Mineral Trioxide Aggregate</i> di Bidang Endodontik.....	8
2.3.1 <i>Pulp Capping</i>	8
2.3.2 Perforasi Akar	8
2.3.3 Apeksifikasi.....	8
2.3.4 <i>Pulpotomi</i>	8
2.3.5 <i>Root End Filling</i>	8
2. 4 Perbandingan dengan Bahan Perawatan Endodontik Lainnya	14
2.4.1 <i>Mineral Trioxide Aggregate</i> dengan Kalsium Hidroksida.....	8
2.4.2 <i>Mineral Trioxide Aggregate</i> dengan RMGIC	8
2.4.3 <i>Mineral Trioxide Aggregate</i> dengan Resin Epoksi	8
2.4.4 <i>Mineral Trioxide Aggregate</i> dengan Bahan Bioaktif Lainnya.....	8

BAB 3 PEMBAHASAN.....	18
3.1 Identifikasi.....	18
3.2 Analisis Sintesa Jurnal	18
3.3 Analisis Persamaan Jurnal.....	18
3.4 Analisis Perbedaan	19
BAB 4 PENUTUP	21
4.1 Kesimpulan	31
DAFTAR PUSTAKA	36
LAMPIRAN.....	36

DAFTAR TABEL

Tabel 1. Karakteristik dari Setiap Jurnal Hasil yang Dimasukkan ke dalam Tinjauan Literatur	50
Tabel 2. Karakteristik dari Setiap Jurnal Hasil yang Dimasukkan ke dalam Tinjauan Literatur	50

BAB I

PENDAHULUAN

Latar Belakang

Masyarakat semakin menyadari akan pentingnya mempertahankan gigi asli selama mungkin di dalam rongga mulut. Untuk mencapai tujuan tersebut, gigi yang mengalami kerusakan karena karies ataupun *fraktur* oleh trauma memerlukan perawatan dari dokter gigi. Pada bidang kedokteran gigi, bagian yang mempertahankan gigi asli adalah bagian konservasi gigi.¹

Evolusi dari produk bahan restorasi kedokteran gigi berkembang dengan cepat menghasilkan bahan-bahan yang beragam dengan sifat fisis dan mekanis yang meningkat serta mengutamakan sifat biokompatibel untuk digunakan dalam aplikasi klinis. Biokompatibilitas bahan material gigi terhadap jaringan pulpodentinal kompleks merupakan hal yang penting agar dapat digunakan dalam dunia kedokteran gigi. Masalah yang dihadapi di bidang kedokteran gigi saat ini di Indonesia adalah hampir semua bahan yang dipakai dalam perawatan gigi merupakan bahan impor dan harganya mahal. Khususnya di bidang konservasi gigi dalam mempertahankan jaringan pulpa tetap vital, bahan-bahan klasik yang sampai saat ini masih banyak digunakan adalah kalsium hidroksida. Namun melalui sejumlah penelitian bahan ini dinyatakan kurang mampu dalam menginduksi dentin.

Kemajuan ilmu pengetahuan dan teknologi dalam bidang endodontik mempermudah dokter gigi untuk melakukan perawatan kasus endodontik

dengan prognosis yang semakin baik sehingga makin banyak gigi yang dapat dirawat dan mempersempit kontra indikasi perawatan endodontik. Meningkatnya kesadaran penderita akan pentingnya perawatan kesehatan gigi karena makin menyadari bahwa fungsi gigi asli ternyata jauh lebih baik dibanding dengan gigi penggantinya dan menuntut untuk mendapatkan perawatan yang lebih baik. Namun seleksi kasus yang cermat dari gigi yang akan dirawat tetap merupakan salah satu kunci keberhasilan perawatan. Karena dengan pemilihan kasus yang cermat, perawatan serta rehabilitasi gigi yang bersangkutan akan lebih mudah dilakukan.²

Perawatan pada gigi yang mengalami kerusakan berdasarkan pada diagnosa yang ditegakkan. Pada gigi dengan kerusakan jaringan keras, perawatan yang dilakukan adalah menumpat atau membuat *crown* untuk menggantikan jaringan keras yang hilang dan mengembalikan anatomi gigi. Sedangkan pada kerusakan gigi yang melibatkan jaringan pulpa dan periradikuler, perawatan yang dilakukan merupakan tanggung jawab dari bidang endodontik..

Perawatan yang dilakukan di bidang endodontik memerlukan bahan dengan syarat-syarat memiliki kerapatan tepi yang baik, biokompabilitas baik, mudah dalam penggunaannya, tidak mudah terpengaruh oleh cairan jaringan, mampu melekat pada dinding kavitas serta memiliki kemampuan antibakteri yang baik.³

Pengembangan ilmu pengetahuan dan bahan di bidang endodontik bertujuan untuk mendapatkan hasil perawatan yang maksimal. Salah satu pengembangan bahan adalah *Mineral Trioxide Aggregate*. *Mineral Trioxide*

Aggregate (MTA) pertama kali dikembangkan pada tahun 1993 sebagai semen yang digunakan untuk memperbaiki perforasi akar lateral.⁴

Bahan ini berbentuk bubuk yang terdiri dari partikel partikel halus hidrolik yang komponen utama adalah *tricalcium silicate*, *tricalcium aluminate*, *tricalcium oxide*, *silicate oxide* dan bersifat basa kuat dengan pH awal 10,2 dan akan menjadi 12,5 yang mengeras dalam 3-4 jam setelah pencampuran.⁵

Pada tahun 1999, Torabinejad dan Chivan mengemukakan penggunaan MTA sebagai sumbat apikal (*apical plug*) yaitu barrier apikal buatan yang dapat secara cepat menutup apeks yang masih terbuka, sehingga saluran akar dapat langsung dilakukan obturasi dan restorasi tetap. MTA dapat menciptakan suasana anti bakteri, anti jamur dalam lingkungan alkali dan mempunyai kemampuan untuk membentuk hidroksiapatit di atas permukaan serta menciptakan biologik seal. Dengan demikian dapat mengurangi jumlah kunjungan bahkan dapat dilakukan hanya dalam beberapa kali kunjungan saja, sehingga dapat mengurangi resiko terjadinya fraktur gigi selama perawatan.⁵

Sejak penemuannya, MTA telah diuji dalam kondisi laboratorium, kemudian pada studi hewan dan uji klinis. Hasil positif dari penyelidikan ini telah menghasilkan MTA menjadi bahan yang umum digunakan dalam kedokteran gigi anak dan dalam bidang endodontik.⁵

Berdasarkan uraian diatas, penulis ingin mengkaji lebih lanjut mengenai “Penggunaan *Mineral Trioxide Aggregate* sebagai bahan bioaktif dalam bidang endodontik”

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 *Mineral Trioxide Anggreagte* dalam Bidang Endodontik

Endodontik merupakan bagian dari kedokteran gigi yang berkonsentrasi pada pencegahan, diagnosa dan perawatan kelainan jaringan pulpa. Jaringan pulpa pada gigi terdiri atas syaraf, arteri, vena dan pembuluh limfe.¹ Fungsi dari jaringan pulpa yaitu untuk mengalirkan darah, oksigen serta rangsangan pada gigi sehingga menjadi vital. Jaringan pulpa dilindungi oleh jaringan keras gigi yaitu enamel, dentin dan sementum. Jaringan pulpa dapat terjadi infeksi jika terkontaminasi oleh bakteri.¹³ Tahapan perawatan saluran akar terdiri dari tiga tahap (*triad endodontic*) yaitu: preparasi biomekanis saluran akar (*cleaning and shapping*), kontrol mikroba atau sterilisasi saluran akar, dan obturasi atau pengisian saluran akar. Adapun perawatan endodontik yang dapat dilakukan pada keruakan gigi yang melibatkan kerusakan pada jaringan pulpa antara lain, *pulp capping*, pulpotomy, apeksifikasi, perforasi akar dan perawatan *root end filling*.²²

Pengembangan ilmu pengetahuan dan bahan di bidang endodontik bertujuan untuk mendapatkan hasil perawatan yang maksimal. Salah satu pengembangan bahan adalah *Mineral Trioxide Aggregate*.⁴

Mineral Trioxide Aggregate (MTA) merupakan bahan kedokteran gigi yang relative baru dan pertama kali diperkenalkan pada tahun 1993 oleh Mohammoud Torabinejad di Loma Linda University California, AS. MTA pertama kali digunakan sebagai bahan penutup perforasi akar. Sejak saat itu bahan berupa semen silikat bioaktif ini sangat populer, sehingga pada tahun 1998 *US Food and Drugs Administration* telah mengeluarkan ijin penggunaannya dalam kedokteran gigi. Hingga saat ini, penggunaan semen silikat bioaktif ini berkembang pesat dan indikasinya meluas sehingga bahan ini juga dapat digunakan pada kaping direk, pulpotomy, apeksogenesis, penutupan perforasi kamar pulpa maupun saluran akar, penutupan apeks pada bedah endodontic, serta perbaikan resorpsi akar eksterna karena keuntungan praktisnya yang mencakup biokomposisi yang unggul, kemampuan penyegelan yang efektif, dan kemampuan untuk meningkatkan regenerasi pulpa dan jaringan akar perifer. Bahan ini diproduksi pertama kali oleh *Dentsply*, Tulsa, AS dan dipatenkan sebagai material berbahan dasar semen Portland tipe 1 standar ASTM (*American Standars for Testing Materials*).

MTA merupakan bahan yang mudah melekat pada dinding kavitas. Menempatkan MTA pada kavitas misalnya pada *pulp capping* tidak memerlukan penekanan dengan alat, karena MTA dengan konsistensi *putty* dapat mengalir mengisi kavitas.² Penggunaan MTA sebagai bahan perawatan

endodontic misalnya pada perawatan perforasi akar, apeksifikasi, *root end filling*, dan pulpotomy pengeringan daerah kerja tidak perlu dilakukan. Pada perawatan pulpotomy, waktu berkunjung pasien lebih singkat. Pada kunjungan pertama dilakukan prosedur pengambilan jaringan pulpa yang terinfeksi kemudian menempatkan MTA diatas ruang pulpa serta dapat dilakukan preparasi untuk persiapan pembuatan restorasi.¹⁹ Pada kunjungan berikutnya, pemasangan restorasi dapat dilakukan tanpa pengambilan MTA terlebih dahulu. Meskipun MTA menjadi bahan yang menjanjikan dalam perawatan endodontic namun, MTA ini merupakan bahan dengan harga yang relative mahal jika dibandingkan dengan bahan yang lainnya serta *setting time* yang lama yaitu sekitar 12-15 menit setelah pencampuran powder dan liquid.¹⁸

2.1.1 Komposisi *Mineral Trioxide Aggregate*

MTA tersusun dari beberapa bahan-bahan dengan komposisi utama yang terdiri dari partikel hidrofilik halus yaitu trikalsium silikat ($3\text{CaO}\cdot\text{SiO}_2$), trikalsium aluminat ($3\text{CaO}\cdot\text{Al}_2\text{O}_3$), trikalsium oksida (CaO), oksida silikat dan oksida bismuth.⁶ Dengan komposisi bahan dominan kalsium, menjadikan MTA sebagai bahan yang memiliki kadar kalsium sama besar dengan dentin yaitu 87%.

Penambahan bahan pada MTA yaitu mineral oksida dan bismuth oksida bertujuan untuk meningkatkan kualitasnya. Mineral oksida berguna untuk meningkatkan respon fisik dan kimia dari aggregate. Sedangkan bismuth oksida

berperan untuk meningkatkan radiopasitas dan memberikan warna abu-abu pada MTA.⁷ Bismuth oksida menunjukkan absorpsi yang lebih tinggi dari radiasi sinar-X dengan panjang gelombang yang lebih pendek dan karena kehadirannya, MTA memiliki radiopasitas 7,17 mm setara dengan ketebalan aluminium.⁷ Bahan yang radiopasitas pada perawatan endodontic diperlukan karena pada beberapa prosedur perawatan misalnya apeksifikasi dan *root end filling* dilakukan pada apeks akar yang tidak terlihat oleh mata, sehingga untuk melakukan evaluasi terhadap penempatan bahan diperlukan foto rontgen.

Awalnya Mineral trioxide aggregate ini diproduksi dengan warna abu-abu (*Gray Mineral Trioxide Aggregate*), tetapi belakangan lebih banyak ditemui warna putih (*White mineral trioxide aggregate*). Perbedaan yang mencolok antara *white mineral trioxide aggregate* dan *gray mineral trioxide aggregate* adalah konsentrasi karborundum (Al_2O_3), MgO, dan FeO yang lebih rendah pada *white mineral trioxide aggregate* dibandingkan pada *gray mineral trioxide aggregate*. Hal di atas menyebabkan variasi warna pada kedua jenis mineral trioxide aggregate. Alasan utama diperkenalkan *white mineral trioxide aggregate* sebagai pengganti *gray mineral trioxide aggregate* adalah untuk kepentingan estetik yaitu, mendapatkan warna yang lebih sesuai dengan warna gigi.⁶

Umumnya zat pencampur bubuk MTA adalah aquabidest atau cairan agar campuran yang memiliki konsistensi kental (*putty*) dengan perbandingan 3:1.3 bagian bubuk MTA dan 1 bagian cairan atau sesuai instruksi pabrik. Setelah dicampur dengan aquabidest, MTA kemudian akan membentuk campuran yang

terlihat seperti pasir basah, dan nantinya akan membentuk struktur kristal spesifik amorf dengan penampilan berbentuk butiran. Artinya sifat dari MTA dipengaruhi oleh ukuran partikel, rasio bubuk-cair, suhu, dan kelembaban. Ikatan MTA pada dentin kemungkinan berasal dari sifat hidrofilik alaminya dan pemuaiannya yang kecil saat berada di lingkungan yang lembab.⁸ *Setting time* MTA terjadi sekitar 12-15 menit setelah pencampuran liquid dan powder, sehingga dapat mencegah masuknya bakteri maupun cairan ke dalam daerah perawatan. Konsistensi campuran MTA tidak boleh terlalu encer sebab operator akan mengalami kesulitan dalam menempatkan MTA pada kavitas dan bila campuran ditempatkan pada apeks, sumbatan apeks akar sulit terbentuk.⁹

2.1.2 Mekanisme Kerja *Mineral Trioxide Aggregate*

Pada proses regenerasi jaringan keras gigi, MTA dan sel pada jaringan gigi saling bekerjasama. MTA setelah menjadi campuran dan kontak dengan jaringan keras gigi, akan mengalami proses pembentukan *calsific* barrier. *Calsific* barrier merupakan awal mula pembentukan jaringan keras yang baru. Sedangkan pada sel-sel jaringan juga terjadi proses pembentukan jaringan keras yang baru.⁹ Hasil dari kedua proses akan bergabung membentuk jaringan keras yang solid.

Proses pembentukan *calsific* barrier dimulai setelah MTA bercampur dengan cairan kemudian akan terbagi menjadi dua fase yang spesifik, yaitu fase kalsium oksida dan kalsium fosfat. Kedua fase memiliki peran yang berbeda-beda. Kalsium oksida berperan dalam pembentukan *calsific* barrier, sedangkan

kalsium fosfat berperan pada kalsifikasi jaringan keras yang baru terbentuk atau *calsific barrier*.⁹

Fase kalsium oksida merupakan proses yang terjadi antara reaksi kalsium oksida MTA dengan cairan yang membentuk kalsium hidroksida. Kalsium hidroksida yang terbentuk melalui reaksi kimia terpecah dan melepaskan ion kalsium. Ion kalsium bereaksi dengan karbon dioksida yang terdapat pada jaringan gigi membentuk kristal *calcite*. Kristal *calcite* pada proses selanjutnya bergabung dengan *fibronectin* dari jaringan keras. Gabungan kedua substrat ini akan terdeposisi menjadi *calsific barrier*.¹¹ Proses itu sama seperti yang terjadi pada kalsium hidroksida, meskipun MTA tidak memiliki kalsium hidroksida. Kalsium hidroksida pada MTA didapatkan dari kalsium hidroksida MTA yang bereaksi dengan cairan. Proses pembentukan jaringan keras dilanjutkan pada fase kalsium fosfat.¹⁰

Pada saat kalsium hidroksida yang terbentuk dari reaksi kalsium oksida MTA dengan air melepaskan ion kalsium, dilepaskan pada ion hidroksil. Ion hidroksil ini yang nantinya berperan dalam meningkatkan pH serta menimbulkan efek antibakteri MTA.⁵ Besarnya ion kalsium yang dilepaskan MTA mendukung terbentuknya *dentin bridge* yang lebih tebal bila dibandingkan dengan kalsium hidroksida.

Peran serta sel-sel pada jaringan tubuh terjadi berdasarkan lokasi penempatan MTA. Dengan sifat MTA yang *osteokonduktif*, MTA merangsang sel-sel pada daerah dimana MTA ditempatkan untuk membantu proses ini. Seperti misalnya pada penggunaan MTA sebagai bahan untuk perawatan *pulp*

capping.¹³ MTA merangsang sel *progenitor* yang terdapat pada jaringan pulpa untuk berdiferensiasi menjadi sel *odontoblast*. Sel *odontoblast* berguna untuk membentuk *dentin reparative*. Pada penggunaan MTA sebagai bahan perawatan pada apeks akar, MTA merangsang sel periodontal untuk berdiferensiasi menjadi *sementoblast* sehingga regenerasi sementum dapat terjadi.¹⁴ Karena sel periodontal dominan terdapat pada daerah apeks akar.

Pada proses pembentukan jaringan baru bila MTA ditempatkan pada defek tulang, MTA merangsang respon biologis dari sel-sel, meningkatkan sitokin serta merangsang produksi *osteocalcin*. Sitokin merupakan molekul penghasil glikoprotein yang diperlukan oleh tubuh manusia karena adanya rangsangan dari sel lain.⁸ Sitokin berperan dalam mengkoordinasi sel untuk metabolisme tulang yaitu dengan cara merangsang proliferasi *precursor* dan aktivitas *osteoblast*.

MTA merupakan benda asing bagi tubuh manusia meskipun toksisitasnya rendah. Respon yang diberikan tubuh terhadap benda asing adalah dilepasnya inflamasi yaitu *interleukin*.²⁰ *Interleukin* bekerja dengan cara merangsang *precursor osteoblast*.

2.2 Sifat Unggul dari Mineral Trioxide Aggregate

MTA memiliki sifat-sifat yang lebih unggul jika dibandingkan dengan bahan-bahan perawatan endodontic lainnya karena komposisi bahan yang terkandung di dalamnya.

2.2.1 Kerapatan Tepi

MTA memiliki kerapatan tepi yang baik disebabkan karena MTA merupakan bubuk yang bersifat *hydrophilic* sehingga tidak mudah larut oleh cairan jaringan yang banyak dijumpai di dalam saluran akar dan secara dimensional MTA stabil. Prosedur mengeringkan kavitas sebelum penumpatan MTA untuk mencegah kelarutan oleh cairan jaringan tidak perlu dilakukan. Kerapatan tepi yang baik menciptakan *seal* yang mampu menahan masuknya bakteri ke dalam saluran akar dari jaringan periradikuler.¹⁰ Hal ini dibuktikan melalui penelitian yang dilakukan oleh Nekata *et al.* dengan menghitung jumlah bakteri yang penetrasi pada daerah perforasi yang dirawat dengan menggunakan amalgam dan MTA. Secara signifikan pada MTA hanya didapatkan sedikit bakteri yang penetrasi pada daerah perforasi bila dibandingkan dengan amalgam.¹³

2.2.2 Biokompatibilitas

Sifat unggul MTA lainnya adalah biokompatibilitas dengan sel maupun jaringan dimana MTA ditempatkan. Biokompatibilitas artinya bahan tersebut tidak menimbulkan efek samping atau toksik bagi sel-sel bila berkontak dengan sel. Biokompatibilitas penting dimiliki oleh bahan untuk perawatan di bidang endodontik, sebab digunakan pada perawatan yang berhubungan dengan jaringan hidup pada manusia.¹¹ Alasan lainnya yaitu bahan yang tidak biocompatible dapat menyebabkan kematian sel sehingga menghambat proses penyembuhan jaringan. MTA merupakan bahan yang biocompatible karena tidak menimbulkan inflamasi pada jaringan dan tidak bersifat mutagenik.¹²

2.2.3 Radioopasitas

Radioopasitas dari MTA adalah 7,17 mm yang setara dengan ketebalan aluminium, serta cukup untuk memvisualisasikan radiografis. MTA memiliki radiodensi sebagai Zinc Oxide Eugenol.¹³

2.2.4 Antibakteri

Mineral trioxide aggregate mempunyai efek antibakteri terhadap bakteri anaerob. Efek antibakteri *mineral trioxide aggregate* terhadap bakteri tersebut disebabkan oleh pH yang tinggi. Sifat bahan ini termasuk basa kuat dan akan mengeras ketika bercampur dengan air.¹¹ Ketika bahan ini bercampur dengan air, maka akan membentuk suatu massa koloid yang akan mengeras dalam waktu kurang lebih 3 jam. *Mineral trioxide aggregate* memiliki pH basa, ketika dicampurkan pH nya mencapai 10,2 kemudian akan meningkat menjadi 12,5 setelah 3 jam dan akan menetap setelah 22 jam. Dengan pH yang basa ini *mineral trioxide aggregate* juga berfungsi sebagai antimikroba.¹

2.2.5 Merangsang Mineralisasi Jaringan Keras

Mineral trioxide aggregate memiliki sifat mampu merangsang mineralisasi jaringan keras. Sifat ini berhubungan dengan biokompatibilitas yang baik dari MTA sehingga memungkinkan MTA kontak dengan sel manapun dan merangsang regenerasi sel sesuai dengan sel-sel disekelilingnya.¹³ MTA merupakan bahan *osteokonduktif* yaitu merangsang mineralisasi jaringan pada daerah dimana jaringan mineral tersebut secara normal dapat ditemukan. MTA dapat merangsang mineralisasi sel pada daerah apeks akar menjadi sementum dan sel pada dentin untuk membentuk *dentin bridge*. Proses mineralisasi paling

penting untuk memperbaiki jaringan yang rusak serta mencegah pelepasan ion kalsium dari jaringan keras gigi.

2.3 Kegunaan *Mineral Trioxide Aggregate* di Bidang Endodontik

Kegunaan MTA pada perawatan endodontik berdasarkan pada sifat dan kemampuan dari MTA. Kegunaannya antara lain sebagai bahan untuk perawatan *direct pulp capping*, perforasi akar, apeksifikasi, pulpotomi dan *root end filling*.

2.3.1 *Pulp Capping*

Direct pulp capping merupakan perawatan yang dilakukan pada kasus gigi dengan jaringan pulpa yang terbuka disebabkan karena karies yang dalam, preparasi yang berlebihan ataupun trauma sehingga menyebabkan ruang pulpa terbuka dan berhubungan langsung dengan lingkungan rongga mulut. Perawatan *pulp capping* dilakukan untuk tetap menjaga vitalitas pulpa dari rangsangan mekanik, kimia, dan termis yang berlebihan, karena pada kasus *pulp capping* jaringan pulpa kehilangan dentin pelindungnya.¹² Perawatan ini juga dimaksudkan untuk mencegah masuknya bakteri dari rongga mulut ke dalam jaringan pulpa.

Perawatan *pulp capping* sebaiknya dilakukan segera mungkin untuk meminimalkan terjadinya luka tambahan akibat infeksi bakteri pada jaringan periradikuler. Penggunaan MTA pada perawatan *pulp capping* bertujuan agar terbentuk barrier sehingga terjadi regenerasi *dentin bridge*.¹³ *Dentin bridge* berguna untuk menggantikan dentin yang hilang sehingga jaringan pulpa terlindungi kembali dan tetap vital. Perawatan dilakukan dengan cara

meletakkan MTA menutupi jaringan pulpa yang terbuka. Hasil dari perawatan ini diperoleh terbentuknya *dentin bridge* yang tebal dan kompak, sel *odontoblast* normal, tidak terdapat jaringan inflamasi serta tidak adanya resorpsi jaringan keras.¹⁶

2.3.2 Perforasi Akar

Perforasi akar sering terjadi pada saat dilakukan perawatan saluran akar ketika preparasi saluran akar. Penyebabnya adalah preparasi yang berlebihan maupun karena arat alat preparasi tidak sesuai dengan inklinasi gigi. Perforasi yang terjadi pada saat preparasi sering disebut *iatrogenic perforation*, *mechanical perforation* dan *operative perforation*.¹³ Perforasi dapat terjadi pada bifurkasi akar maupun sepanjang dinding saluran akar.

Perforasi yang terjadi harus segera dirawat untuk mencegah masuknya bakteri ke dalam jaringan periradikuler. Karena dapat menyebabkan inflamasi dan kerusakan ligament periodontal.¹² Akibat lebih lanjut dari perforasi akar apabila infeksi jaringan periradikuler terjadi adalah hilangnya integritas gigi karena perlekatan antara gigi dengan tulang alveolar melemah. Penggunaan MTA untuk menutup jalan masuk yang tercipta akibat perforasi sehingga dapat mencegah terjadinya inflamasi dan merangsang terjadinya regenerasi sementum untuk menggantikan sementum yang hilang.

Sebelum penempatan MTA pada daerah kerja, daerah kerja disterilisasi dengan menggunakan NaOCl. Maksud dari prosedur tersebut adalah untuk menghilangkan bakteri yang mengkontaminasi jaringan di sekitar perforasi. Tindakan dilakukan mengingat kunci keberhasilan perawatan perforasi akar

adalah eliminasi bakteri dari daerah perforasi.¹⁸ Hasil yang diperoleh dari penggunaan MTA sebagai bahan pada kasus perforasi akar yaitu MTA mampu memperbaiki defek yang merangsang perlekatan ligament periodontal kembali.

2.3.3 Apeksifikasi

Apeksifikasi merupakan perawatan pada gigi yang mengalami nekrosis jaringan pulpa dengan apeks yang masih terbuka. Kasus seperti ini banyak dijumpai pada anak-anak yaitu masa gigi pergantian. Hal ini terjadi karena gigi mengalami karies yang dalam ataupun karena terjadi trauma.¹³ Perawatan dilakukan agar anak-anak tidak kehilangan gigi lebih dini. Mempertahankan gigi pada masa pergantian gigi berfungsi untuk mempertahankan lengkung gigi serta memberikan tempat bagi gigi permanen penggantinya.

Tujuan dari apeksifikasi adalah sebagai *obturator* agar bahan pengisi saluran akar tidak mengalir menuju jaringan periradikuler serta untuk merangsang pembentukan barrier mineral pada apeks akar sehingga apeks akar akan menutup. Apeksifikasi dilakukan setelah pengambilan seluruh jaringan pulpa yang terinfeksi dan saluran akar telah disterilkan.¹⁵ Hasil yang diperoleh dengan menggunakan MTA sebagai bahan apeksifikasi adalah terbentuknya sumbatan buatan pada apeks akar. Beberapa factor yang turut berperan pada keberhasilan perawatan yaitu menghilangkan bakteri dari daerah saluran akar dengan menggunakan *sodium hypochlorite* 2,5% dan *intracanal dressing* menggunakan kalsium hidroksida.²⁰

2.3.4 Pulpotomi

Pulpotomy merupakan perawatan yang dilakukan untuk mempertahankan gigi sulung atau permanen di dalam rongga mulut anak-anak. Pada anak-anak sering terjadi gigi rusak karena trauma.¹² Perawatan pulpotomy dilakukan apabila jaringan pulpa yang mengalami kerusakan hanya sebagian saja. Perawatan dilakukan dengan cara mengambil jaringan pulpa bagian koronal yang mengalami kerusakan dan meninggalkan jaringan pulpa yang masih sehat dalam saluran akar.¹³

Telah diketahui bahwa MTA mampu merangsang pembentukan *dentin reparatif*. Kemampuan MTA dalam merangsang regenerasi jaringan pulpa dan ligament periodontal sangat menguntungkan dalam perawatan pulpotomy, karena dengan demikian jaringan pulpa pada gigi permanen muda dapat beregenerasi dan mempertahankan vitalitas gigi tersebut.²¹ MTA pada perawatan dapat digunakan sebagai *sub base* untuk menutup jalan masuk ke dalam jaringan pulpa dan juga sebagai tumpatan sementara.

2.3.5 Root End Filling

Penggunaan MTA sebagai bahan *sealer* pada *root end filling* telah terbukti hasilnya, karena pemanfaatan MTA pertama kali adalah sebagai bahan pada perawatan ini.¹³ Penelitian yang dilakukan oleh Torabinajed *et al* penggunaan MTA sebagai *sealer* pada *root end filling* menunjukkan hasil yaitu terbentuknya sementum, perlekatan jaringan periodontal pada apeks akar dan terbentuknya tulang baru pada defek tulang alveolar.²¹

Root end filling dilakukan setelah perawatan bedah endodontic. Penempatan MTA dilakukan secara *retrograde* melalui apeks akar. Prinsip dari perawatan ini adalah menyediakan sumbatan pada apeks akar untuk mencegah terjadinya transfer bakteri pada sistem saluran akar menuju jaringan periradikular serta untuk mencegah terjadinya bahan pengisi saluran akar pada jaringan periradikuler.¹⁷

2.4 Perbandingan Bahan dalam Bidang Endodontik Lainnya

Bahan yang digunakan pada perawatan dalam bidang endodontic memiliki keunggulan dan kelemahan. Bahan-bahan tersebut diciptakan untuk terus saling melengkapi kekurangan bahan yang telah ada. Semua ini bertujuan untuk memberikan pelayanan kesehatan gigi yang terbaik bagi penderita.

2.4.1 *Mineral Trioxide Aggregate* dengan Kalsium Hidroksida

Kalsium hidroksida merupakan bahan yang telah lama digunakan pada perawatan endodontik. Kalsium hidroksida sering digunakan sebagai bahan pada perawatan *pulp capping* untuk memperkuat deposisi barrier jaringan keras sehingga jaringan pulpa didalamnya akan terlindungi. MTA dikembangkan dengan tujuan untuk menutupi kelemahan dari kalsium hidroksida yaitu mengenai kerapatan tepinya. Secara mekanisme kerja dalam pembentukan *calcsific barrier*, MTA dan kalsium hidroksida memiliki cara yang sama.¹⁹ MTA memiliki kalsium hidroksida yang terbentuk dari reaksi ion kalsium MTA dan air, pH kedua bahan ini juga hampir sama. Hanya saja pada kalsium hidroksida tingkat pH tidak bertahan lama karena berubah¹⁸

Kebocoran tepi pada kalsium hidroksida terjadi karena sifat kalsium hidroksida yang mudah larut sehingga terdapat ruangan kosong yang dapat menyebabkan bakteri mudah masuk. Masuknya bakteri menyebabkan penurunan pH dan berakibat pula menurunnya kemampuan antibakteri.²⁰ Berbeda dengan MTA, dengan kerapatan tepi yang baik MTA dapat mempertahankan pH dalam waktu yang lama karena tidak terjadi kebocoran tepi yang dapat merubah suasana dalam saluran pulpa. MTA merupakan penyempurnaan dari kalsium hidroksida.

2.4.2 Mineral Trioxide Aggregate dengan RMGIC

Mineral trioxide aggregate (MTA) tersusun atas *dikalsium silikat*, *trikalsium silikat*, *trikalsium aluminat* dan *bismuth oksida*. Menurut studi in vitro, MTA sebagai bahan *pulp capping* memiliki sifat memiliki *sealing ability* yang baik serta memiliki sifat antibakterial dan biokompatibilitas baik terhadap jaringan.¹⁴ Bahan ini memiliki sifat adhesif secara kimia. Ion kalsium dilepaskan dari semen MTA dan menyebar melalui tubulus dentinalis sehingga bereaksi dengan *ion phosphate* dalam cairan jaringan. Reaksi tersebut menghasilkan *kalsium phosphate*. *Ion kalsium phosphate* ini bereaksi dengan ion lain sehingga membentuk *karbonat apatit* (CHA).¹⁵

Resin Modified Glass Ionomer Cement (RMGIC) adalah GIC yang dimodifikasi dengan penambahan resin (HEMA) sehingga dapat meningkatkan *mechanical properties* dari GIC konvensional itu sendiri. Komposisi GIC konvensional yaitu terdiri atas powder dan liquid. Komposisi powder adalah senyawa *kuarsa* (SiO₂), *alumina* (Al₂O₃), *natrium flourida* (NaF), *kalsium*

fluorida (CaF_2), *aluminium fluorida* (AlF_3), *aluminium fosfat* serta *kriolit* (Na_3AlF_6) yang dipanaskan dengan suhu $1100 - 1500^\circ\text{C}$ sehingga membentuk senyawa kaca $\text{SiO}_2\text{Al}_2\text{O}_3\text{CaF}_2\text{Na}_3\text{AlF}_6\text{AlPO}_4$. Liquid memiliki komposisi 50% larutan, 1:2 asam itakonik:asam katalis.²⁰ Sistem adhesi dari GIC umumnya adalah reaksi asam basa yaitu reaksi pertukaran ion antara asam poli alkenoat yang dapat melunakkan struktur gigi lalu menginfiltrasi ke dalam dan menggantikan ion-ion kalsium serta fosfat.

2.4.3 Mineral Trioxide Aggregate dengan Resin Epoksi

Bahan MTA yang digunakan sebagai sealer mampu meregenerasi ligamentum periodontal dan membentuk sementum di dalam ruang saluran akar dan saluran akar aksesoris, sehingga menutupi celah yang dapat mengakibatkan kegagalan perawatan. Selain itu, MTA sebagai pasta sealer yang memiliki kemampuan seal yang tinggi dan dapat merangsang regenerasi sementum. Sealer berbahan dasar MTA jika berkontak dengan cairan tubuh akan merangsang pelepasan ion kalsium sehingga terbentuk endapan kristal kalsium fosfat yang menyebabkan seal apeks lebih baik. Sealer berbahan dasar resin epoksi dan yang berbahan dasar MTA memiliki nilai *microleakage* yang sama. Namun karakteristik sealer berbahan dasar MTA yaitu penggunaannya lebih sulit untuk diaplikasikan karena konsistensinya yang berpasir dan viskositasnya yang rendah. sealer berbahan dasar resin epoksi maupun sealer berbahan dasar MTA, keduanya memiliki sifat-sifat fisik dan kimia yang baik dan telah dikembangkan untuk dapat memberikan seal yang maksimal dari sistem saluran akar, sehingga memberikan seal apikal yang adekuat.²¹

2.4.4 *Mineral Trioxide Aggregate* dengan Bahan Bioaktif lainnya

Bahan bioaktif baru selain MTA bernama biodentine diperkenalkan pada tahun 2010 yang terbukti menjadi terobosan besar kedua setelah MTA.¹⁷ Manipulasi yang relatif lebih mudah, dan pengaturannya yang lebih cepat merupakan keunggulan utama dari bahan ini jika dibandingkan dengan MTA. Namun dalam proses pencampuran, bahan ini memerlukan alat khusus dengan harga yang relative mahal sehingga banyak orang yang tidak menggunakannya.

18