

Komposit Bioactive Glass Berbasis Silika Abu Ampas Tebu Dan Gum Mimba Menstimulasi Proses Remineralisasi Permukaan Gigi

(Silica-Based Bioactive Glass Composite from Sugarcane Bagasse Ash and Neem Gum Stimulates the Tooth Surface Remineralization Process)

Didin Erma Indahyani¹, Izzata Barid¹, Verawati²

¹ Bagian Biologi Mulut, Fakultas Kedokteran Gigi Universitas Jember, Indonesia

² Fakultas Kedokteran Gigi Universitas Jember, Indonesia

Abstrak

Hipersensitivitas dentin disebabkan oleh terbukanya tubulus dentin. Salah satu perawatan yang digunakan adalah remineralisasi dentin dan sementum. Kaca bioaktif (BAG) merupakan bahan yang dapat merangsang proses remineralisasi karena kandungan silika yang dimilikinya. Ampas tebu mengandung silika tingkat tinggi dan digunakan sebagai bahan TAS. Menambahkan bahan pengikat dan pengemulsi ke bentuk pasta meningkatkan ikatan dan stabilitas serta membuat aplikasi lebih mudah. Permen karet mimba merupakan polisakarida, memiliki sifat pengemulsi, dan dapat menyatukan dua atau lebih bahan dengan sifat berbeda sehingga meningkatkan kekuatan bahan. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh permen karet mimba dan komposit kaca bioaktif berbahan dasar abu ampas tebu silika terhadap remineralisasi gigi. Terdapat tiga kelompok penelitian yaitu kontrol (pasta BAG), perlakuan A (pasta BAG asam hialuronat) dan perlakuan B (pasta BAG, asam hialuronat, dan permen karet mimba). Pasta injeksi dioleskan pada gigi (menggunakan gigi sapi) pada permukaan mesial, kemudian direndam dalam air liur buatan selama enam hari dan disimpan dalam inkubator bersuhu 37°C. Proses remineralisasi diamati dengan membentuk hidroksikarbonat apatit (HCA) pada permukaan akar gigi menggunakan metode scoring berdasarkan hasil Scanning Electron Microscope (SEM). Pembentukan CA pada kelompok komposit BAG, asam hialuronat, dan permen karet mimba memiliki skor pembentukan HCA yang lebih tinggi secara signifikan ($p < 0,05$) dibandingkan kelompok tanpa permen karet. Kelompok kontrol mengalami washout sehingga tidak terbentuk HCA. Pasta komposit BAG dengan silika berbahan dasar abu ampas tebu dan getah mimba merangsang proses remineralisasi yang ditandai dengan terbentuknya HCA pada permukaan akar gigi.

Kata Kunci: Bioactiveglass, Hipersensitivitas Dentin, Hydroxycarbonateapatite (HCA), Mimba Gum

Abstract

Dentin hypersensitivity results from exposed dentinal tubules. One of the treatments used is remineralization of dentin and cementum. Bioactive glass (BAG) is a material that can stimulate the remineralization process due to its silica content. Sugarcane bagasse contains high levels of silica and is used as a BAG material. Adding binders and emulsifiers to paste forms increases bonding and stability and makes application easier. Neem gum is a polysaccharide, has emulsifying properties, and can unite two or more ingredients with different properties, increasing the strength of the ingredients. The study aims to analyse the effect of neem gum and bioactive glass composites based on silica bagasse ash on tooth remineralisation. There were three research groups, namely control (BAG paste), treatment A (hyaluronic acid BAG paste) and treatment B (BAG paste, hyaluronic acid and neem gum). The injection paste was applied to the teeth [using cow teeth] on the mesial surface, then soaked in artificial saliva for six days and stored in an incubator at 37°C. The remineralization process was observed by forming hydroxycarbonate apatite (HCA) on the tooth root surface using a scoring method based on the Scanning Electron Microscope (SEM) results. CA formation in the BAG, hyaluronic acid and neem gum composite group had a significantly ($p < 0.05$) higher HCA formation score than the group without gum. The control group experienced a washout, so no HCA was formed. BAG composite paste with silica based on bagasse ash and neem gum stimulates the remineralization process marked by the formation of HCA on the tooth root surface.

Keywords: Bioactiveglass, Dentin hypersensitivity, Hydroxycarbonateapatite (HCA), neem gum

Korespondensi (Correspondence): Didin Erma Indahyani. Fakultas Kedokteran Gigi, Universitas Jember. Jl.Kalimantan No. 37, Tegalboto, Jember. Email: didinermad@unej.ac.id

Hipersensitivitas dentin menjadi salah satu masalah yang sering dikeluhkan oleh pasien kepada praktisi kesehatan gigi. Hipersensitivitas dentin dapat digambarkan sebagai rasa sakit spontan yang berlangsung pendek dan tajam akibat adanya rangsangan terhadap dentin berupa taktil atau sentuhan, uap, kimiawi dan rangsangan panas atau dingin.¹ Dentin yang terbuka diakibatkan oleh kehilangan enamel atau kombinasi dengan terjadinya resesi gingiva dan hilangnya sementum akar.² Lesi abrasi di daerah cervical gigi menyebabkan perlindungan sementum terhadap lapisan dibawahnya berkurang.³ Abrasi pada jaringan gigi dapat diakibat oleh sikat gigi dan pasta gigi dengan membentuk irisan atau parit berbentuk 'V' pada akar diantara mahkota dan gingiva.⁴ Kondisi tersebut menyebabkan tubulus dentinalis yang berada pada lapisan dibawahnya menjadi terekspose dan membuat gigi menjadi sensitiif

ketika menerima rangsangan termis baik panas maupun dingin.⁵

Sementum yang berada pada lapisan paling luar pada akar gigi berfungsi untuk melindungi jaringan keras yang berada di bawahnya. Namun, karena lapisan sementum yang sangat tipis pada daerah servikal akar gigi dengan ketebalan sekitar sekitar 10-60 mikron menyebabkan lapisan ini sangat mudah mengalami kehilangan mineral pada struktur jaringan kerasnya sehingga permukaan tubulus dentinalis dibawahnya akan terbuka. Tubulus dentin merupakan suatu bentuk struktur mikroskopis pada dentin yang berbentuk kanal mengarah dari pulpa ke perifer dengan diameter sekitar $3.413(\pm 0.954)$ μm . Kanal ini berisi cairan yang berkesinambungan dengan cairan ekstraseluler jaringan pulpa sehingga mempengaruhi ujung saraf gigi. Pada kondisi tertentu tubulus dentin ini dapat terbuka dan

tertutup.⁶ Terbukanya tubulus dentin dapat menyebabkan tingkat sensitifitasnya terhadap rangsangan meningkat sehingga terjadi mekanisme hidrodinamika yang dapat memunculkan respon nyeri pada pasien.¹ Upaya untuk mengurangi tingkat sensitifitas pada gigi dapat dilakukan dengan menutup tubulus dentin yang terbuka.

Salah satu perawatan yang dapat dilakukan untuk penutupan tubulus dentin yang terbuka dengan pengaplikasian pasta remineralisasi pada permukaan gigi.⁷ Agen bioactive glass (BAG) yang berasal dari sistem berbasis kalsium dan/atau silikon, telah digunakan dalam gel gigi untuk mendorong remineralisasi/regenerasi gigi, dengan fokus pada perawatan sensitivitas gigi.⁸ BAG yang kandungan siliknya berasal dari ampas tebu menunjukkan pembentukan Hidroksikarbonat apatit setelah di larutkan dalam cairan tubuh.⁹ BAG yang ditambahkan pada glass ionomer terbukti mampu mencegah kebocoran tepi pada tumpatan glass ionomer oleh karena terbentuknya hidroksiapatit.¹⁰ Kandungan silika yang ada pada BAG sangat efektif untuk memicu terjadinya pembentukan hidroxy carbonate apatite (HCA) pada permukaan gigi yang mengalami demineralisasi. Ion – ion yang dilepaskan oleh material bioaktif ketika berinteraksi dengan saliva dan akan membentuk hydroxycarbonate apatite secara langsung tanpa melalui fase terbentuknya amorphous calcium phosphate intermediet.¹¹ Sediaan BAG biasanya berbentuk butiran ataupun blok yang tidak integrative dan sulit diaplikasikan. Bentuk pasta lebih mudah diaplikasikan pada daerah gigi terutama servikal maupun akar yang sulit terjangkau.¹²

Asam hialuronat (Hac) merupakan suatu polimer yang memiliki kemampuan untuk meningkatkan stabilitas struktural dan terutama berperan dalam flowabilitas pada pasta [6]. Pada penyembuhan luka hyaluronate dapat menyerap eksudat dan meningkatkan adesi oleh karena banyaknya gugus karboksil dan hidroksil dalam molekulnya.¹³ Penggabungan Hac dengan polimer lain akan meningkatkan kohesi suatu sediaan misalnya alginate, karagenan, kitosan dsb¹⁴ dan juga karageenan.¹⁵

Gum merupakan polisakarida alami yang terdiri dari polimer gula dan gula teroksidasi yang dihubungkan oleh ikatan glikosidik. Ikatan silang urea pada gum dapat menjadi salah satu metode untuk memodifikasi sifat fisikokimia.¹⁶ Gum mimba merupakan suatu bentuk eksudat alami yang dihasilkan dari pohon mimba. Gum mimba mengandung polisakarida kompleks dan protein sebagai komponen utamanya. Protein yang terkandung dalam gum mimba tergolong fraksi protein arabinogalactan (AGP) yang sangat penting dalam pembentukan pengemulsi sifat-sifat gum sebagai bahan hidrokoloid. Bahan pengemulsi ini dapat menyatukan dua jenis bahan yang bahkan berlawanan dapat lebih menyatu sehingga memiliki kestabilan ketika bahan tersebut telah menyatu.¹⁷ Gum mimba telah digunakan dalam berbagai aplikasi terutama kosmetik dan obat-obatan karena sifatnya yang mudah larut dalam air, murah, tidak

beracun dan biokompatibel. Kelompok kimia yang berbeda termasuk COOH, OH, dan CH₃CO yang terdapat dalam gum memberikan kemampuan pengikatan spesifik pada lokasi yang ditargetkan dan juga memfasilitasi pemuatan molekul obat. Oleh karena itu banyak digunakan sebagai binder.¹⁹ Selain itu gum mimba juga memiliki efek antibakterial terhadap bakteri gram positif dan negatif salah satunya bakteri *Staphylococcus aureus*.⁸ Viskositas, kapasitas pengemulsi yang tinggi dan kemampuan sebagai *gelling agent* menjadikan gum mimba sebagai bahan yang cocok ditambahkan ke dalam pembuatan produk pasta untuk menjaga kekentalan serta kestabilan dari pasta tersebut agar pasta tidak mengalami washout ketika berkontak dengan cairan tubuh/saliva.²⁰ Tujuan penelitian ini adalah untuk menganalisis pengaruh komposit BAG berbasis silika dari abu ampas tebu dan gum terhadap proses remineralisasi gigi.

METODE PENELITIAN

Jenis penelitian ini adalah *experimental laboratories* dengan menggunakan rancangan penelitian *the post test only control group design*. Penelitian dilakukan di Laboratorium Bioscience Fakultas Kedokteran Gigi Universitas Jember. Sampel yang digunakan adalah gigi insisivus sapi berumur 3-5 th. Sampel gigi memenuhi kriteria tidak terdapat karies, tidak terdapat fraktur pada seluruh permukaan akar (mesial) dan baru di ekstraksi. Kelompok penelitian terdiri dari control [BAG + aquadest], perlakuan A (BAG + hyaluronidase) dan perlakuan B (BAG + hyaluronidase + gum mimba). Pasta komposit BAG yang telah disiapkan diaplikasikan secara injeksi di permukaan mesial akar gigi yang telah dilakukan demineralisasi dengan asam fosfat. Seluruh kelompok sampel direndam di dalam saliva buatan dan disimpan pada inkubator dengan suhu 37°C selama 6 hari. Saliva buatan setiap hari di lakukan penggantian.

Pembuatan Precursor Silika Abu Ampas Tebu.

Silika diperoleh dari abu ampas tebu dengan metode sol gel sebagai berikut. Abu ampas tebu yang telah disintering dengan suhu 600°C selama 4 jam, ditambahkan HCL dan diaduk selama 1 jam. Campuran didiamkan di suhu ruang selama 24 jam dan dilakukan penyaringan serta pembilasan dengan akuades. Residu yang dihasilkan [natrium silika], dikeringkan dalam oven bersuhu 110°C selama 2 jam dan ditambahkan NaOH kemudian diaduk. Filtrat yang ada di saring dan dikeringkan kembali dengan oven bersuhu 110°C selama 2 jam.²¹

Pembuatan BAG

Natrium silika yang diperoleh sebelumnya, ditambahkan akuades, etanol, HNO₃, P₂O₅, Ca[NO₃]₂.4H₂O dan diamkan selama 5 hari sampai terbentuk gel. Gel kemudian dikeringkan di oven suhu 60°C selama 72 jam dan difurnace suhu 700°C selama 5 jam. Hasil akhir proses ini akan berbentuk bubuk *bioactive glass*.²¹

Pembuatan Sediaan Gum Mimba

Menggunakan metode asam, gum mimba yang telah dihaluskan direndam dengan HCL dan dilakukan pencucian dengan akuades sampai pHnya netral. Setelah itu dicampurkan dengan Na₂CO₃ dan dilakukan pemucatan dengan NaCl serta dilakukan pemisahan filtrat menggunakan isopropil alkohol. Filtrat yang diperoleh dikeringkan dengan oven bersuhu 60°C selama 72 jam.²²

Pembuatan Pasta BAG

Pasta BAG dibuat dengan mencampurkan 1,2gram powder bioactive glass dengan 2 ml asam hialuronat [kelompok kontrol] dan 2ml gum mimba [kelompok perlakuan] kemudian diaduk dan dimasukkan kedalam syringe injeksi Terumo.²³

Aplikasi Pasta BAG Pada Gigi Insisivus.

Gigi insisivus sapi dilakukan pemotongan di daerah cementoenamel junction dan dibuat bentuk balok berukuran 0,5x1 cm. Sampel kemudian diaplikasikan *nail varnish* pada permukaan distal, labial dan palatnya dan dietsa dengan asam fosfat 37% pada permukaan mesialnya selama 1 menit. Setelah itu sampel diaplikasikan pasta injeksi pada permukaan mesial dan dilakukan perendaman pada saliva buatan di dalam inkubator dengan suhu 37°C selama 6 hari.

Analisis proses remineralisasi dilakukan dengan mengamati pembentukan HCA. Pembentukan Teknik pengumpulan data menggunakan metode skoring berdasarkan hasil SEM yang di analisis menggunakan adobe photoshop, dengan range sebagai berikut.

- 0 : Tidak terdapat pembentukan HCA
- 1 : Terbentuk HCA sebanyak < 1/3 kotak
- 2 : Terbentuk HCA sebanyak 1/3 < HCA < 2/3 kotak
- 3 : Terbentuk HCA sebanyak 2/3 < HCA < penuh
- 4 : Terbentuk HCA secara penuh

Data yang telah terkumpul dianalisis statistik dengan Uji Anova satu arah menggunakan software IBM SPSS.

HASIL PENELITIAN

Hasil penelitian berupa persentase jumlah pembentukan HCA pada permukaan sampel yang tertera pada Tabel 1. Didapatkan hasil bahwa pembentukan HCA, pada kelompok kontrol skor 0 mempunyai nilai 768, artinya pada kelompok kontrol tidak ditemukan pembentukan HCA. BAG dengan Hac (perlakuan A) ditemukan sebanyak 235 kotak tidak terlihat adanya HCA. Skor 4 (kotak terisi penuh HCA) sebanyak 22 sedangkan pada perlakuan B skor 0 adalah 81 dan skor 4 adalah 135. HCA yang terbentuk pada lebih dari 2/3 kotak di perlakuan A lebih sedikit dibandingkan perlakuan B (Tabel 1).

Gambaran SEM ditunjukkan pada Gambar 1. Pada gambaran SEM tersebut terlihat bentuk granul yang melekat pada permukaan

gigi yang menunjukkan adanya pembentukan HCA.

Semua data yang telah diperoleh dilakukan analisis dengan menggunakan pengujian normalitas dan homogenitas. Uji normalitas dilakukan menggunakan uji Shapiro Wilk menghasilkan nilai signifikansi sebesar 0,087 menunjukkan data yang diperoleh berdistribusi normal. Kemudian pengujian homogenitas menggunakan uji Levene dan didapatkan nilai signifikansi sebesar 0,053 yang berarti data homogen atau sama untuk kelompok sampel yang diamati. Selanjutnya dilakukan dengan pengujian parametrik dengan one way anova untuk mengetahui apakah terdapat perbedaan pada kelompok data penelitian yang dimiliki. Dari hasil pengujian didapatkan nilai signifikansi sebesar 0,045 yang berarti terdapat perbedaan yang signifikan pada kelompok perlakuan yang menunjukkan terdapat perbedaan merata pembentukan HCA untuk antar kelompok sampel.

Dilakukan Uji Anova menunjukkan hasil yang berbeda secara signifikan ($P < 0,05$). Untuk mengetahui kelompok penelitian mana yang memiliki perbedaan bermakna antar kelompok sampel, dilakukan uji LSD dengan hasil sebagai berikut (Tabel 2).

Hasil uji LSD menunjukkan bahwa terdapat perbedaan yang bermakna antara semua kelompok kontrol dan kelompok perlakuan. Perbedaan tersebut menunjukkan bahwa ketiga kelompok sampel memiliki kemampuan yang berbeda dalam pembentukan HCA pada permukaan akar gigi. Kelompok sampel perlakuan B memiliki kemampuan yang lebih baik dalam pembentukan HCA dibandingkan dengan kelompok sampel perlakuan A. Hal ini dapat dilihat dari jumlah pembentukan HCA yang terbentuk pada kelompok sampel perlakuan yang tertera pada Tabel 1.

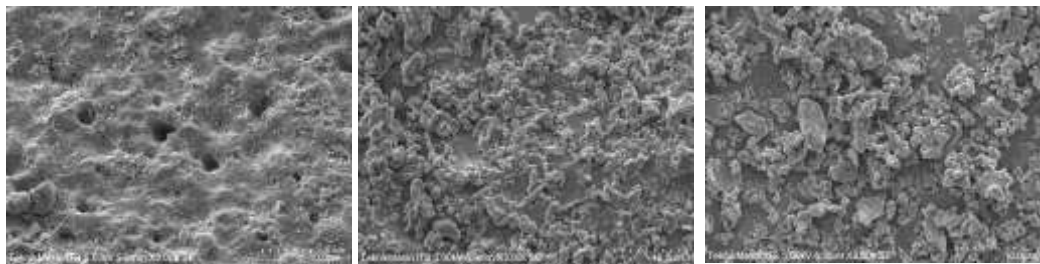
Pembentukan HCA juga ditunjukkan pada uji FTIR yang memperlihatkan karakteristik pembentukan HCA pada Gambar 2. Analisis dengan spectrum FTIR juga dilakukan guna mengidentifikasi adanya pembentukan gugus fungsi HCA pada permukaan akar gigi. Pembentukan gugus tersebut ditandai dengan terbentuknya gugus karbonat, fosfat dan hidroksil pada grafik. Pengamatan FTIR pada sampel perlakuan dengan pasta BAG, Asam Hialuronat dan Gum Mimba dimana menunjukkan adanya gugus karbonate dengan panjang gelombang 1430,03 cm⁻¹, gugus fosfat dengan panjang gelombang 1014,75cm⁻¹ dan hidroksil dengan panjang gelombang 3310,21cm⁻¹ Seperti yang terlihat pada hasil uji FTIR gambar 4. Ketentuan ini merujuk pada referensi yang menyebutkan bahwa gugus fungsi HCA yang tersusun atas karbonat, fosfat dan hidroksil berturut-turut memiliki panjang gelombang antara 1450-1410 cm⁻¹, 1100-950cm⁻¹ dan 3700-2600cm⁻¹.²⁴

Tabel 1. Presentase jumlah pembentukan HCA kelompok perlakuan dan kontrol pada permukaan mesial akar gigi.

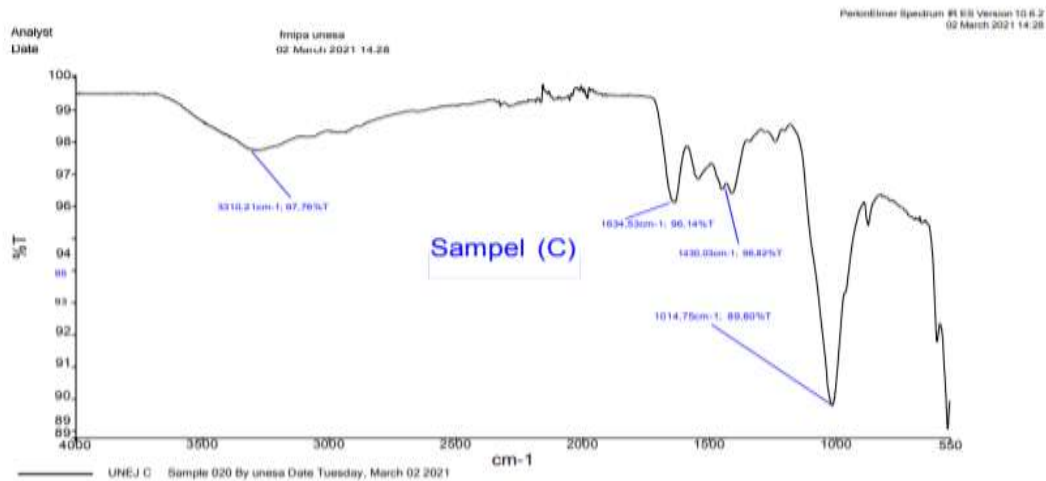
Lapang Pandang	Kelompok Sampel														
	Kontrol					Perlakuan A					Perlakuan B				
	0	1	2	3	4	0	1	2	3	4	0	1	2	3	4
Permukaan Mesial	768	0	0	0	0	235	185	209	352	22	22	81	178	117	135

Keterangan:

- Kontrol : Sampel diaplikasikan pasta injeksi BAG (aquadest)
- Perlakuan A : Sampel yang diaplikasikan pasta injeksi BAG dan asam hialuronat pada permukaan mesial
- Perlakuan B : Sampel yang diaplikasikan pasta injeksi BAG, asam hialuronat dan gum mimba pada permukaan mesial



Gambar 1. Gambaran SEM pembentukan HCA dengan lapang pandang bagian mesial pada permukaan akar gigi. A (Kelompok tanpa Hac dan juga gum), B [kelompok dengan Hac], C (kelompok dengan BAG + Hac + Gum) dengan perbesaran 3000 kali.



Gambar 2. Gambaran hasil uji FTIR pembentukan HCA pada kelompok komposit BAG dan gum mimba

Tabel 2. Hasil uji T pembentukan *hydroxycarbonate apatit*

Kelompok Sampel	Kontrol	Perlakuan A	Perlakuan B
Kontrol	-	0,032*	
Perlakuan A	0,032*	-	0,05*
Perlakuan B	0,01*	0,05*	-

* : terdapat perbedaan bermakna antar kelompok

PEMBAHASAN

Sifat bioaktivitas dan biomineralisasi BAG disebabkan oleh karena sifat kelarutannya yang tinggi. Akan tetapi sifat tersebut memperpendek daya tahan bahan pada permukaan gigi dan menyebabkan kemungkinan terjadinya *washout*.²⁵ Hal ini dapat terlihat pada penelitian ini bahwa BAG yang dilarutkan dalam aquadest sebagai sediaan pasta injeksi mengalami *washout* (hanyut), sehingga pada hasil penelitian ini tidak bisa terdeteksi pembentukan HCA pada permukaan gigi.

Penggunaan polimer yang dikombinasikan dengan bubuk kaca bioaktif untuk mendapatkan konsistensi yang optimal dan menjaga sifat material. Polimer ini dapat tertinggal di permukaan gigi dan mengeras. Dengan demikian, kontakannya dengan struktur gigi menjadi lama. Pengikatan BAG dengan polimer pada permukaan gigi, mendorong terlarutnya BAG dengan perlahan dan memberi kesempatan untuk terjadinya pembentukan HCA.²⁶ Oleh karena itu polimer pada bioactive glass mencegah terjadinya *washout*.¹² Polimer alami yang banyak digunakan misalnya hyaluronidase, alginate, chitosan dan juga karagenan. Polimer alami tersebut yang ditambahkan pada BAG mampu meningkatkan pembentukan apatit.¹⁵ Selain itu polimer alami mempunyai kemiripan dengan matriks ekstraseluler (ECM), jaringan biomakromolekul termasuk glikosaminoglikan, yang merupakan polisakarida dan protein berserat seperti kolagen, laminin, elastin, dan fibronectin yang mudah dikenali oleh tubuh.²⁷ Umumnya, polimer alami yang dikombinasikan dengan bahan pengisi keramik yaitu keramik, kaca-keramik, gelas bioaktif untuk memperkuat struktur yang menghasilkan komposit dengan kinerja mekanik yang lebih baik.²⁸

Komposisi pasta BAG yang mengandung asam hialuronat dan gum mimba berwarna kecoklatan yang sangat kontras dengan permukaan akar gigi ketika diaplikasikan. Asam hialuronat di dalam pasta berperan dalam flowabilitas, karena kemampuannya dalam mengurangi *shear stress* dan *compressive stress* pasta ketika diinjeksikan. Hal tersebut menurunkan energi yang diperlukan untuk mengalirkan pasta melalui saluran injeksi.⁶ Penambahan gum mimba yang berfungsi sebagai emulsifier dan *gelling agent*, menyebabkan pasta BAG juga menyebabkan viskositas meningkat. Flowabilitas dan viskositas Gum mimba mampu mempertahankan pasta BAG di permukaan gigi oleh karena protein arabinogalactan (AGP) dalam gum mimba sebagai pembentuk emulsi, yang dapat menyatukan dua jenis bahan dan bahkan yang berlawanan untuk menyatu sehingga memiliki kestabilan yang baik.¹⁷ Berkurangnya sifat *washout* dalam pasta injeksi menyebabkan pembentukan HCA lebih banyak karena waktu kontak antara pasta yang melapisi permukaan sampel dengan saliva lebih lama.

Bioactive glass yang terpapar saliva, dengan segera terjadi pertukaran ion antara sodium dan ion hydrogen. Peningkatan pH secara local, dan lapisan yang kaya silika terbentuk pada

permukaan bioactive glass. Migrasi kalsium dan ion fosfat di dalam bioactive glass dan saliva melalui lapisan ini ke permukaan yang berperan pada pembentukan amorphous calcium phosphate. Pada akhirnya terjadi kristalisasi dan konversi menjadi hydroxyapatite. Banyaknya silika dapat bertindak sebagai daerah nukleasi untuk menarik ion fosfat dan kalsium. Oleh karena itu nampak pada proses tersebut adanya adesi polimer yang dapat mempertinggi remineralisasi yang distimulasi oleh bioactive glass.²⁹ Ada tiga tahap reaksi pada saat BAG berada di saliva maupun cairan tubuh yaitu pelarutan dan pertukaran kation, pelarutan SiO₂, dan pengendapan kalsium dan fosfat untuk membentuk lapisan apatit. Pada awal pertukaran ion Na dan H/H₂O serta de-alkalinisasi lapisan permukaan kaca berlangsung cukup cepat, dalam beberapa menit setelah paparan cairan tubuh. Muatan negatif pada permukaan dan hilangnya natrium menyebabkan kerusakan lokal pada jaringan silika yang menghasilkan pembentukan gugus (silanol) Si(OH), yang kemudian dipolimerisasi ulang menjadi lapisan permukaan yang kaya silika. Tahap ini melibatkan hidrolisis katalis basa atau ikatan Si-O-Si pada struktur bioglass. Tahap selanjutnya terjadi pengembangan lapisan kalsium fosfat amorf dan kaya silika. Tahapan ini mencakup pembentukan bagian biologis seperti protein darah, faktor pertumbuhan, dan kolagen. Dalam waktu 3-6 jam, secara in vitro, lapisan kalsium fosfat akan mengkristal menjadi lapisan (CAP), yang pada dasarnya merupakan lapisan pengikat. Secara kimia dan struktur, apatit ini identik dengan mineral tulang dan gigi. Reaksi permukaan bioactive glass mulai dari implantasi hingga pembentukan lapisan CAP 100-150 um memerlukan waktu 12 hingga 24 jam.³⁰

Waktu kontak yang jauh lebih lama antara pasta yang melapisi permukaan gigi dengan saliva berpengaruh terhadap pembentukan HCA. Hal ini sesuai dengan teori pembentukan HCA dalam *Hench mechanism* dimana semakin banyak material *bioglass* yang berkontak dengan saliva maka pembentukan lapisan *amorphous calcium phosphate* [ACP] juga akan semakin banyak. ACP inilah yang akan mengalami maturasi membentuk *hidroksicarbonat apatit* pada mikroporositas yang terbentuk akibat terjadinya demineralisasi pada permukaan sementum.²¹ Apatit akan stabil pada hari ke 21.³¹ Berdasarkan hal tersebut, peneliti melakukan perendaman sampel selama 6 hari dalam saliva buatan dengan suhu 37°C bertujuan untuk memaksimalkan pembentukan HCA yang terjadi pada permukaan sampel.

Pembentukan HCA pada permukaan akar gigi dapat menghalangi tereksposnya tubulus dentin akibat sementum loss yang terjadi karena peristiwa demineralisasi. Adhesi HCA pada permukaan akar gigi dapat terjadi karena pengaruh konsentrasi silika yang terkandung pada pasta dimana silika merupakan prekursor terjadinya pembentukan HCA tersebut. Material kaca bioaktif dengan kandungan SiO₂ 45-52% dapat membentuk ikatan terhadap jaringan ikat lunak dan keras dalam kurun waktu 5-10 hari.

Sedangkan untuk konsentrasi 55-60% SiO₂ membutuhkan waktu yang lebih lama untuk membentuk ikatan dengan jaringan lunak dan keras, serta untuk konsentrasi SiO₂ lebih dari 60% tidak dapat berikatan dengan tulang atau jaringan lunak.³²

Adanya pembentukan dan adhesi HCA pada permukaan akar gigi akan menjadi penanda terjadinya remineralisasi pada permukaan akar gigi tersebut. Hal tersebut dikarenakan, karbonat yang terdapat pada HCA menjadi inti dari proses remineralisasi. Ion mineral yang memiliki bentuk dan ukuran yang sama akan tertarik ke dalam porositas yang terbentuk akibat proses demineralisasi karena adanya ikatan yang berlawanan antara ion dan porositas. Kemudian, karbonat akan dikonversikan menjadi karbondioksida dan air oleh ion mineral yang terdapat pada saliva dan ion mineral akan diendapkan dari larutan ke dalam struktur permukaan yang mengalami demineralisasi. Remineralisasi yang terjadi dapat menyebabkan tubulus dentinalis yang terbuka akibat adanya demineralisasi pada permukaan akar gigi dapat tertutupi. Selain itu, kristal remineralisasi yang terbentuk akan lebih tahan terhadap asam daripada mineral sebelumnya. Dengan begitu, rasa nyeri yang timbul pada hipersensitivitas dentin akibat tereksposnya tubulus dentin dapat diatasi.

Disimpulkan bahwa komposit BAG dengan kandungan silikanya berbasis ampas tebu dan gum mimba mentimulasi terjadinya remineralisasi yang ditandai dengan pembentukan *hidroxy carbonate apatite* pada permukaan akar gigi.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada tim peneliti, kelompok riset Safreh dan pihak-pihak yang terlibat dalam memperlancar berjalannya penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

- Liu XX, Tenenbaum HC, Wilder RS, Quock R, Hewlett ER, Ren YF. Pathogenesis, diagnosis and management of dentin hypersensitivity: An evidence-based overview for dental practitioners. *BMC Oral Health*. 2020;20[1]:1–10.
- Dionysopoulos D, Gerasimidou O, Beltes C. Dentin Hypersensitivity: Etiology, Diagnosis and Contemporary Therapeutic Approaches—A Review in Literature. Vol. 13, *Applied Sciences*. 2023.
- Davari A, Afaei E, Assarzadeh H. Dentin hypersensitivity: etiology, diagnosis and treatment; a literature review. *J Dent (Shiraz, Iran)*. 2013 Sep;14[3]:136–45.
- Warreth A, Abuhijleh E, Almaghribi MA, Mahwal G, Ashawish A. Tooth surface loss: A review of literature. *Saudi Dent J*. 2020 Feb;32[2]:53–60.
- Roberts WE, Mangum JE, Schneider PM. Pathophysiology of Demineralization, Part I: Attrition, Erosion, Abrfraction, and Noncarious Cervical Lesions. *Curr Osteoporos Rep*. 2022;20[1]:90–105.
- Yamamoto T, Hasegawa T, Yamamoto T, Hongo H, Amizuka N. Histology of human cementum: Its structure, function, and development. *Jpn Dent Sci Rev*. 2016 Aug;52[3]:63–74.
- Mebin George Mathew, Ashu Jagdish Soni, Md Muzammil Khan, Afreen Kauser, Vunnam Sri Sai Charan SKA. Efficacy of remineralizing agents to occlude dentinal tubules in primary teeth subjected to dentin hypersensitivity in vitro: SEM study. *J Fam Med Prim Care*. 2019;9[1]:354–8.
- Luiza A, Reis M, Cássia M De, Mazzola T, Vitor J, Lima DC De, et al. Peer Reviewed | Open Access A novel clinical protocol for dentin hypersensitivity management based on regenerative dental gel associated with calcium : A case study in a patient with periodontal disease. 2023;14[1]:70–4.
- Indahyani DE, Barid I, Probosari N, Praharani D, Vincēviča-Gaile Z, Setyobudi RH. Effect of temperature on hydroxyl carbonated apatite from ash bagasse. *Ann Trop Med Public Heal*. 2020;23[8]:1233–7.
- Kinasih CP, Indahyani DE, Barid I, Probosari N. Analisis Kebocoran Tepi pada Glass Ionomer Kaca dengan Penambahan Bioactive Glass Berbasis Silica dari Ampas Tebu. *Stomatognatic [JKG Unej]*. 2018;15[2]:37.
- Jeanny Kathleen H., Cecilia G.J.Lunardhi AS. Kemampuan Bioaktif Glass [Novamin] dan Casein Peptide Amorphous Calcium Phosphate [CPP-ACP] terhadap Demineralisasi Enamel. *Conserv Dent J*. 2017;7[2]:111–9.
- Sohrabi M, Hesaraki S, Kazemzadeh A, Alizadeh M. Development of injectable biocomposites from hyaluronic acid and bioactive glass nano-particles obtained from different sol-gel routes. *Mater Sci Eng C*. 2013;33[7]:3730–44.
- Zhang S, Dong J, Pan R, Xu Z, Li M, Zang R. Structures, Properties, and Bioengineering Applications of Alginates and Hyaluronic Acid. *Polymers [Basel]*. 2023;15[9].
- Sergi R, Bellucci D, Cannillo V. A review of bioactive glass/natural polymer composites: State of the art. *Materials [Basel]*. 2020;13[23]:1–38.
- Didin Erma Indahyani, Izzata Barid RAD. Apatite Hydroxycarbonate Formation By Bioactive Glass Injection Paste Based On Bagasse Ash Silica And Seaweed Carrageenan Addition. *Stomatognatic [JKG Unej]*. 2023;20[2]:112–20.

16. Kalaskar MG, Mutha RE, Tatiya AU, Firke SD, Surana SJ, Dhoka KA, *et al.* Purification and modification of neem gum for enhancement of its suspending property. *Futur J Pharm Sci.* 2021;7[1]:114.
17. Moniem ME, Hassan EA, Ibrahim SA. Molecular weight distribution and emulsification properties of *Azadirachta indica* [Neem Gum]. 2018;6[2]:3505–8.
18. Asghar K, Qasim M, Das D. Synthesis and characterization of neem gum coated superparamagnetic nanoparticle based novel nanobiocomposite. *Ceram Int.* 2019;45[18, Part B]:25069–77.
19. Bassi MA, Lopez MA, Confalone L, Gaudio RM, Lombardo L, Lauritano D. Enhanced Reader.pdf. Vol. 388, *Nature.* 2020. p. 539–47.
20. Yu Y, Bacsik Z, Edén M. Contrasting in vitro apatite growth from bioactive glass surfaces with that of spontaneous precipitation. *Materials* [Basel]. 2018;11[9]:20–2.
21. Falk GS, Shinhe GP, Teixeira LB, de Moraes EG, Oliveira AP. Synthesis of silica nanoparticles from sugarcane bagasse ash and nano-silicon via magnesiothermic reactions. *Ceram Int.* 2019;45:21618–24.
22. Ogunjimi AT, Alebiowu G. Neem gum as a binder in a formulated paracetamol tablet with reference to Acacia gum BP. *AAPS PharmSciTech.* 2014 Apr;15[2]:500–10.
23. Qian G, Li X, He F, Ye J. Improvement of anti-washout property of calcium phosphate cement by addition of konjac glucomannan and guar gum. *J Mater Sci Mater Med.* 2018;29[12].
24. Samah SD, Arief S, Jamarun N. Pembuatan Pasta Dan Pembentukan Lapisan Tipis Hidroksi Apatit Karbonat. *J Ris Kim.* 2015;7[2]:161.
25. Aguiar H, González P, Serra J. Bioactive glass structure and solubility [Internet]. Second Edi. *Bioactive Glasses.* Elsevier Ltd.; 2018. 37–61 p. Available from: <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-100936-9.00002-2>
26. Tay FR, Pashley DH, Garcia-Godoy F, Yiu CKY. Single-step, self-etch adhesives behave as permeable membranes after polymerization. Part II. Silver tracer penetration evidence. *Am J Dent.* 2004 Oct;17[5]:315–22.
27. Keller TS, Kosmopoulos V, Lieberman IH. Vertebroplasty and Kyphoplasty Affect Vertebral Motion Segment Stiffness and Stress Distributions: A Microstructural Finite-Element Study. *Spine* [Phila Pa 1976] [Internet]. 2005;30[11]. Available from: https://journals.lww.com/spinejournal/fulltext/2005/06010/vertebroplasty_and_kyphoplasty_affect_vertebral.6.aspx
28. Araújo M, Viveiros R, Philippart A, Miola M, Doumett S, Baldi G, *et al.* Bioactivity, mechanical properties and drug delivery ability of bioactive glass-ceramic scaffolds coated with a natural-derived polymer. *Mater Sci Eng C.* 2017;77:342–51.
29. Dai LL, Mei ML, Chu CH, Lo ECM. Mechanisms of Bioactive Glass on Caries Management: A Review. *Mater* [Basel, Switzerland]. 2019 Dec;12[24].
30. Madan N, Madan N, Sharma V, Pardal D, Madan N. Tooth remineralization using bioactive glass - A novel approach. *J Adv Oral Res.* 2011;2[2]:45–50.
31. Saffarpour M, Mohammadi M, Tahriri M, Zakerzadeh A. Efficacy of Modified Bioactive Glass for Dentin Remineralization and Obstruction of Dentinal Tubules. *J Dent* [Tehran]. 2017 Jul;14[4]:212–22.
32. Fernando D, Attik N, Pradelle-Plasse N, Jackson P, Grosogeat B, Colon P. Bioactive glass for dentin remineralization: A systematic review. *Mater Sci Eng C.* 2017;76:1369–77.