

Effect of hydroxyapatite addition on the mechanical strength of glass ionomer cement

Pengaruh penambahan hidroksiapatit terhadap kekuatan mekanis *glass ionomer cement*

¹Lenni Indriani, ²Fatma Paramita Balqis, ²Fathul Jihan Achmad

¹Departemen Ilmu Material Teknologi Kedokteran Gigi, Fakultas Kedokteran, Gigi Universitas Hasanuddin

²Mahasiswa Tingkat Profesi, Fakultas Kedokteran, Gigi Universitas Hasanuddin

Makassar, Indonesia

Corresponding author: **Fatma Paramita Balqis**, e-mail: fatmaparamitabalqis@gmail.com

ABSTRACT

Glass ionomer cement (GIC) is a restorative material with several advantages such as anti-cariogenic properties, biocompatibility, and natural colour, but has the disadvantage of poor mechanical properties such as low fracture and brittleness. One approach to overcome these drawbacks is to add hydroxyapatite (HA), which has high biocompatibility and a crystal structure similar to human teeth and bone. Over the past few decades, technological developments have introduced materials that are suitable for use in various biomedical applications, especially in dentistry. Research shows that HA, extracted from various natural materials, can improve the mechanical properties of GICs; it also retains unique properties such as fluoride release. Thus, the use of HA as an additive in GICs shows significant potential to improve the performance of these dental restorative materials.

Keywords: glass ionomer cement (GIC), hydroxyapatite (HA), mechanical properties, natural materials

ABSTRAK

Glass ionomer cement (GIC) merupakan bahan restoratif dengan beberapa keunggulan seperti sifat anti-kariogenik, biokompatibilitas, dan warna alami, namun memiliki kelemahan berupa sifat mekanis yang buruk seperti fraktur rendah dan kerapuhan. Salah satu pendekatan untuk mengatasi kelemahan tersebut adalah dengan menambahkan hidroksiapatit (HA) yang memiliki sifat biokompatibilitas tinggi dan struktur kristal mirip dengan gigi dan tulang manusia. Selama beberapa dekade terakhir, perkembangan teknologi telah memperkenalkan bahan yang adekuat digunakan dalam berbagai aplikasi biomedis, terutama di bidang kedokteran gigi. Riset menunjukkan bahwa HA, yang diekstraksi dari berbagai bahan alami dapat meningkatkan sifat mekanik GIC; juga mempertahankan sifat unik seperti pelepasan *fluoride*. Dengan demikian, penggunaan HA sebagai bahan tambahan dalam GIC menunjukkan potensi yang signifikan untuk meningkatkan performa bahan restoratif gigi ini.

Kata kunci: *glass ionomer cement* (GIC), hidroksiapatit (HA), sifat mekanik, bahan alami

Received: 10 March 2024

Accepted: 1 August 2024

Published: 1 December 2024

PENDAHULUAN

Selama beberapa dekade terakhir, perkembangan teknologi telah menghasilkan bahan keramik dengan sifat kimia, fisik, dan mekanik yang sangat baik digunakan dalam berbagai aplikasi biomedis terutama di bidang kedokteran gigi. *Glass ionomer cement* (GIC) merupakan bahan restoratif yang memiliki beberapa keunggulan, termasuk antikariogenik karena pelepasan *fluoride*, biokompatibilitas, mirip warna gigi alami dan toksisitas rendah, namun GIC memiliki kelemahan yaitu sifat mekanis buruk seperti fraktur rendah dan ketahanan aus, kerapuhan dan porositas.^{1,2}

Porositas mengacu pada rongga terbuka, dan pori-pori bertindak sebagai sumber konsentrasi tegangan yang meningkatkan kerapuhan. Semakin besar porositas, semakin rendah kekuatan dan ketahanan bahan; yang memengaruhi kekuatan tekan dan mudah berubah warna. Munculnya pori-pori di GIC juga dapat memfasilitasi peningkatan adesi organisme mikro pada permukaan restorasi karena peningkatan kekasaran. Ukuran pori dan tingkat porositas dapat dikurangi atau ditingkatkan menggunakan bahan yang mengandung kalsium dan fosfat, dan sifat fisik dan mekanis GIC dapat ditingkatkan dengan modifikasi dengan hidroksiapatit (HA).³

Para peneliti telah lama mengembangkan HA karena bahan ini memiliki biokompatibilitas yang sangat baik serta afinitas tinggi dengan biopolimer, memiliki komposisi dan struktur kristal mirip apatit di struktur gigi dan tulang manusia. HA ditoleransi dengan sangat baik oleh jaringan rongga mulut manusia, memiliki kemampuan osteo-konduktif dan terbukti mampu merangsang diferensiasi osteoblas dan pembentukan tulang. Karakteristik yang baik dari biomaterial ini menyebabkan penggunaannya di bidang kedokteran gigi cukup luas, seperti rekonstruksi jaringan tulang, rekayasa jaringan lunak dan perawatan

an defek periodontal, pelapis implan dental, *filler* bahan restorasi seperti resin komposit dan GIC. Biomaterial ini dapat berasal dari berbagai sumber, baik alami maupun sintetis. Sumber sintetis dapat menggunakan larutan kimia, sumber alami seperti sisik ikan, tulang ikan, tulang sapi, cangkang telur, dan lain-lain.^{2,4} Artikel ini menelaah pengaruh penambahan HA terhadap kekuatan mekanis GIC.

TINJAUAN PUSTAKA

Glass ionomer cement

Bahan GIC diperkenalkan oleh Wilson dan Kent pada tahun 1971, lalu terkenal karena riwayat penggunaannya yang lama dalam kedokteran gigi klinis. GIC adalah bahan *self-cured*, yang melepas fluor dan mengikat struktur gigi secara langsung tanpa zatikatan. GIC dibuat dengan mencampur asam poliakrilat yang larut dalam air (pH 1,0) dengan bubuk kaca fluoroaluminosilikat (basa). Reaksi asam-basa terjadi saat cairan dan bubuk dicampur. Asam dinetralkan oleh basa, dan fluorida dan ion lainnya dilepaskan. Selain berfungsi sebagai bahan restoratif, GIC berfungsi sebagai semen adesif untuk gigi tiruan cekat dan ortodontik, restorasi menengah, *pit* dan *fissure sealant*, *liner base*, bahan pasak.⁵⁻⁷

GIC juga diklasifikasikan berdasarkan variasi komposisi bubuk dan ukuran partikel untuk mencapai fungsi yang diinginkan; 1) tipe I sementasi *luting*, 2) tipe II sementasi restoratif yang terdiri atas sementasi restoratif estetika dan sementasi restoratif berulang, dan 3) tipe III *liner base* dan kavitas.^{6,7}

GIC tersedia dalam bentuk bubuk dari berbagai warna dan cairan dalam botol, dalam kapsul, system *light-cure*, serta campuran bubuk dan air suling. Komposisi bubuk berupa *aluminosilicate glass*, dan komposisi cairan berupa larutan polimer dan kopolimer asam akrilat.^{8,9}

Teknik klinis untuk GIC harus dilakukan secara teliti, dengan pemeliharaan isolasi, prosedur etsa yang memadai, perlindungan dari kontaminasi saliva setelah penempatan, dan penundaan penyelesaian *finishing* selama 1 hari atau lebih.⁸

Bahan GIC memiliki beberapa karakteristik dan sifat mekanik, antara lain 1) *thermal expansion* dan *contraction*; memiliki ekspansi dan kontraksi termal yang mirip dengan struktur dan kekakuan gigi yang sebanding dengan dentin; 2) *thermal protection*; GIC adalah isolator yang baik terhadap suhu ekstrim; 3) *compressive* dan *tensile strength*; GIC memiliki kekuatan tekan yang cukup tinggi tetapi lebih lemah dalam ketegangan dan relatif rapuh di bagian tipis. Formulasi baru yang menggunakan asam poliakrilat yang dimodifikasi memiliki ketangguhan fraktur yang lebih baik, tetapi tidak boleh digunakan di daerah bantalan stres seperti permukaan oklusal dan tepi insisal untuk gigi permanen. GIC restoratif memiliki kekuatan tekan 150 MPa. GIC *luting* memiliki kekuatan sekitar 85 MPa; 4) *wear resistance*; GIC lebih cepat aus daripada resin komposit. Permukaannya menjadi lebih kasar dari waktu ke waktu. GIC tidak dapat dipoles hingga sehalus komposit; 5) *tensile strength*; tipe *luting* 6,2 MPa, tipe restorasi 6,6 MPa; 6) *hardness*: 49 KHN; tidak sekeras silikat. Kekerasannya juga jauh lebih rendah jika dibandingkan dengan komposit; 7) *fracture toughness*; ukuran energi yang dibutuhkan untuk mematahkan GIC tipe II jauh lebih rendah daripada komposit; 8) modulus elastisitas: 7,3 GPa; adalah ukuran kekakuan dari GIC.^{7,9}

Faktor utama yang berkontribusi untuk keberhasilan dan efektif penggunaan GIC dalam kedokteran gigi klinis adalah karena sifat unik, yang meliputi adesi yang besar pada struktur gigi meskipun mereka terkena lingkungan lembab di mulut. Sifat adesi GIC ini membantu mengisi celah marginal interface yang terletak di antara gigi dan restorasi. GIC memiliki koefisien ekspansi termal yang rendah yang tetap tidak terpengaruh oleh perubahan suhu. GIC sebagai bahan restoratif, melepaskan ion *fluor*, yang mencegah perkembangan karies. GIC juga memiliki biokompatibilitas yang baik dengan struktur gigi karena tidak mengiritasi jaringan pulpa dan tidak bersifat karsinogenik. Meskipun banyak digunakan sebagai bahan restoratif, GIC menunjukkan beberapa keterbatasan dalam penggunaan klinis termasuk sifat mekanik yang rendah, yang mencakup kekuatan fraktur rendah yang membuatnya rentan terhadap retakan. GIC adalah bahan rapuh dan tidak mampu mengatasi stres tinggi, yang cepat menyebabkan kerusakan. GIC memiliki sensitivitas rendah terhadap kelembaban dan pengeringan yang membuatnya sensitif terhadap dehidrasi dalam proses *setting* awal, yang membatasi penggunaan GIC di daerah berstres tinggi. Kelemahan GIC dapat diminimalkan secara kombinasi dengan zat tambahan, seperti HA; sifat mekaniknya meningkatkan ketangguhan fraktur dan ikatan jangka panjang dengan dentin.⁵

Hidroksiapatit

Bahan HA ($\text{Ca}_{10}(\text{PO}_4)_6(\text{OH})_2$) merupakan biokeramik golongan kalsium fosfat, termasuk golongan apatit yang

terdiri atas kalsium dan fosfat yang sering digunakan di dalam aplikasi biomedis karena secara kimia dan fisika kandungan mineralnya sama dengan tulang dan gigi manusia sehingga menjadikan HA memiliki sifat biokompatibel, bioaktif dan osteokonduktivitas yang baik, serta afinitas yang relatif kuat.¹⁰

Terdapat beberapa metode pembuatan kristal HA, meliputi metode presipitasi, deposisi biomimetis, metode sol-gel, dan metode elektrodeposisi. Hasil akhirnya dapat berupa keramik padat, bubuk, pelapisan keramik, atau keramik yang porus.^{1,2} HA dapat diekstraksi secara alami dari sumber biologis, termasuk tulang mamalia, kulit telur dan sumber air, seperti tulang ikan dan kerang, yang menguntungkan lingkungan maupun ekonomi. Terlepas dari komposisi dan struktur kimia yang mirip dengan fosfat tulang, HA juga merupakan turunan garam kalsium fosfat yang paling stabil pada suhu kamar. HA memiliki biokompatibilitas yang sangat baik dalam jaringan keras, karena menunjukkan efek sitotoksik yang rendah, sehingga lebih sedikit kerusakan pada pulpa. HA dapat mendukung perlekatan, viabilitas, dan diferensiasi sel osteoblas. HA juga memiliki kelarutan tinggi yang memungkinkan secara efisien mengisi pori-pori email dengan melepaskan ion anorganik. Namun, HA juga menunjukkan beberapa keterbatasan; HA rapuh dan memiliki ketahanan yang buruk, sehingga membatasi penggunaannya sebagai biokeramik bantalan beban. HA juga menunjukkan tingkat degradasi yang rendah, dapat disintesis dalam berbagai bentuk, seperti keramik padat, bubuk, dan lapisan keramik berdasarkan aplikasi spesifiknya. Oleh karenanya, banyak penelitian yang melakukan penambahan dengan bahan alam lain yang memiliki kandungan serupa sehingga dapat menunjang efektivitas sifat mekanik dari HA.⁵

PEMBAHASAN

Efek penambahan HA dalam GIC

Bahan GIC memiliki sifat mekanik lebih rendah daripada *resin modified glass ionomer cement* (RMGIC) dan resin komposit. Namun, bahan ini masih banyak digunakan pada kasus karies karena kemampuannya mengeluarkan *fluor* dan harganya yang lebih terjangkau. Penambahan berbagai bahan penguat atau pengisi ke dalam campuran GIC telah banyak dilakukan, salah satunya dengan HA, yang diperoleh dari bahan-bahan alami seperti tulang, kerang, cangkang telur, dan sisik karang atau ikan. Bahan-bahan ini mengandung kalsium fosfat yang dapat disintesis atau diekstraksi menjadi HA.¹¹

Ikan nila (*Oreochromis niloticus*)

Indonesia memiliki air tawar yang sangat luas dan berpotensi untuk membudidayakan berbagai jenis ikan air tawar, salah satunya adalah ikan nila yang banyak dikonsumsi oleh masyarakat. Salah satu limbah ikan nila adalah sisik yang tidak dianggap penting, meskipun mengandung beberapa komponen organik dan anorganik. Komponen organik sekitar 40-55% adalah kolagen, skleroprotein, lesitin, lemak, dan berbagai vitamin. Sedangkan komponen anorganiknya sekitar 7-25% termasuk HA dan kalsium fosfat. Harahap dkk,¹¹ mengevaluasi kekuat-

an ikatan geser GIC dan RMGIC ke email setelah penambahan HA 2%, 5% dan 8% yang disintesis dari sisik ikan nila. Kekuatan ikatan geser bahan restoratif sangat menentukan keberhasilan restorasi. Daya rekat yang baik akan mampu menahan berbagai macam beban pada rongga mulut selama proses pengunyahan karena berhubungan dengan gerakan geser pada gigi dan *interface* restorasi. Kekuatan ikatan geser adalah kekuatan maksimal suatu bahan untuk menahan gaya yang diterapkan pada benda uji untuk memisahkan perlekatannya. Penelitian *in vitro* ini menunjukkan peningkatan nilai kuat ikatan geser pada GIC ataupun RMGIC setelah penambahan HA 8% ke dalam campuran GIC ataupun RMGIC. Kekuatan ikatan geser dipengaruhi oleh beberapa faktor seperti rasio serbuk terhadap cairan, ukuran partikel HA, kekasaran permukaan struktur gigi, kondisioner, waktu perendaman, dan rasio bubuk dan cairan. HA dari sisik ikan nila dapat meningkatkan kekuatan ikatan geser GIC dan RMGIC. Peningkatan konsentrasi HA meningkatkan kuat ikatan geser GIC dan RMGIC secara signifikan.¹¹

Cangkang telur

Cangkang telur mengandung 94% CaCO₃ (kalsium karbonat) yang dapat dimanfaatkan sebagai sumber kalsium, sebagai prekursor dalam sintesis HA. Dalam setahun di seluruh Indonesia dihasilkan 116.600 ton limbah cangkang telur. Mozartha, dkk² meneliti pengaruh penambahan HA yang disintesis melalui metode presipitasi dari cangkang telur ke bubuk GIC terhadap kekuatan tekan. GIC dengan penambahan HA mengalami peningkatan kekuatan tekan secara signifikan yang dikaitkan dengan peningkatan derajat reaksi asam basa dan peningkatan kepadatan HA dalam struktur GIC mampu meningkatkan kekuatan tekan GIC secara signifikan.²

Penelitian serupa juga dilakukan Mawadara, dkk¹ melakukan penambahan 5% HA dari limbah cangkang telur ayam yang disintesis melalui metode presipitasi terhadap kekerasan permukaan GIC menunjukkan bahwa terdapat perbedaan yang signifikan antara nilai rerata kekerasan permukaan kelompok GIC konvensional dan kelompok GIC+HA.¹

Allam dan El-Geleel,¹² dalam riset serupa, mendapatkan bubuk cangkang telur ayam terdiri atas 98,2% kalsium karbonat, 0,9% magnesium, dan 0,9% fosfat. Cangkang telur dianggap sebagai sumber kalsium alami terbaik. Bubuk cangkang telur ayam juga telah digunakan sebagai sumber CaCO₃ sebagai penguat mekanis pada komposit polietilen/polipropilen yang digunakan dalam berbagai aplikasi industri. Hasil dari penelitiannya yaitu, sifat mekanik GIC konvensional meningkat dengan penambahan bubuk cangkang telur ayam, sifat unik pelepasan *fluoride* tidak terganggu dengan penambahan bubuk cangkang telur ayam ke komponen bubuknya, serta pelepasan kalsium diperkuat pada konsentrasi bubuk cangkang telur ayam 5%, yang dapat meningkatkan kemampuan remineralisasi GIC.¹²

Effendi, dkk¹³ menyelidiki peran nanoHA (nHA) sebagai pengisi untuk meningkatkan kekerasan permukaan GIC. Penambahan nHA cangkang ayam sebagai pengisi secara signifikan meningkatkan kekerasan permu-

kaan GIC. Uji korelasi menunjukkan bahwa kekerasan rerata GIC meningkat dengan peningkatan konsentrasi nHA cangkang ayam sebagai filler. Selain itu, model regresi linier memperkirakan bahwa bubuk nHA cangkang telur ayam meningkatkan kekerasan GIC sebesar 61%. Penambahan 7%, dan 9% nHA kulit ayam sebagai filler merupakan konsentrasi terbaik dalam meningkatkan kekerasan permukaan GIC.¹³

Kepiting (*Brachyura*)

Kepiting merupakan bagian dari sumber daya laut di negara kepulauan Indonesia yang bernilai ekonomi tinggi dan berpotensi sebagai komoditas ekspor. Pemanfaatan kepiting di masyarakat masih terbatas untuk keperluan makanan, yang memanfaatkan dagingnya saja sedangkan cangkangnya dibuang, padahal mengandung senyawa kalsium yang cukup tinggi, yaitu 53-78% berat cangkang keringnya. Selain itu, cangkang kepiting juga mengandung kalsium 11,5 mg/100 g. Tingginya kadar kalsium karbonat yang terkandung dapat dikembangkan sebagai biomaterial unggulan untuk diaplikasikan pada bidang kedokteran gigi, salah satunya adalah HA. Ferry, dkk¹⁴ mengkaji penambahan HA dari serbuk cangkang kepiting bakau terhadap kekuatannya pada salah satu bahan sementasi gigi tiruan yaitu GIC. Kandungan kalsium pada cangkang kepiting bakau sangat dipengaruhi oleh umur, kualitas perairan, dan habitat kepiting bakau. Penambahan senyawa kalsium pada HA dari cangkang kepiting ke bubuk GIC juga dapat menambah kekuatan bahan sementasi GIC.¹⁴

Penelitian dan pengkajian dengan tema yang serupa dilakukan oleh Utama, dkk¹⁵ membahas tentang penambahan HA dari serbuk cangkang kepiting lumpur (*Scylla serrata*) terhadap kekuatan bahan sementasi GIC. Berdasarkan hasil review, penambahan senyawa kalsium pada HA dari cangkang kepiting ke bubuk GIC juga dapat menambah kekuatan sementasi GIC. Penelitian sebelumnya menunjukkan bahwa ada banyak metode untuk mensintesis HA, tergantung pada kebutuhan dan hasil untuk memengaruhi kekuatan tekan GIC.¹⁵

Ikan gurami (*Osphronemus goramy*)

Sisik ikan gurami mengandung 5-7,5% kalsium dan 5% fosfat, sedangkan sisik ikan air tawar lainnya hanya mengandung 2%. Selain itu, kandungan HA-nya mirip dengan tulang dan dentin. Penambahan sisik gurami bubuk 2,5%, 5%, dan 10% pada bahan GIC cenderung mengurangi *tool-like receptors* 2 (TLR2) dan TLR4 pada tikus. Penambahan bubuk sisik ikan gurami 2,5% dapat menurunkan lebar celah marginal dan meningkatkan kekuatan tekan dan zona penghambatan *S.mutans* dan *L.acidophilus*. Sebagai bahan restorasi, diduga sisik ikan gurami berpotensi mengurangi ukuran pori dan porositas serta memperbaiki sifat mekanik GIC.¹⁶

Wulandari, dkk¹⁶ menganalisis ukuran pori dan tingkat porositas GIC dengan tambahan sisik ikan gurami 2,5% masing-masing lebih kecil dan lebih rendah daripada kontrol. Diduga HA dalam sisik ikan gurami berikat kuat dengan GIC dan berperan dalam perubahan kimia yang terjadi selama reaksi awal semen. Setelah re-

aksi, HA dari sisik ikan gurami terserap dalam GIC dan mengisi kekosongan antar partikel kaca, meningkatkan kepadatan semen dan mengurangi porositasnya. Ketika campuran bubuk dicampur dengan cairan, ion kalsium dilepaskan; terjadi reaksi asam-basa terhadap ion logam, seperti Al^{3+} dan Sr^{2+} , pada permukaan bubuk GIC, terbentuk lebih banyak jembatan garam dan struktur ikatan silang. Ukuran pori dan tingkat porositas meningkat dengan konsentrasi sisik ikan gurami yang lebih tinggi (5% dan 10%), yang mungkin disebabkan oleh tidak adanya ikatan antara GIC dan sisik ikan gurami. Peningkatan jumlah sisik ikan gurami tidak mengarah pada pembentukan jembatan *crosslink* yang optimal. Diketahui viskositas yang lebih tinggi diperoleh pada konsentrasi 5% dan 10% karena perbedaan ukuran partikel dan jumlah sisik ikan gurami yang ditambahkan sangat besar. Viskositas yang tinggi menyebabkan pencampuran sampel yang tidak homogen dan meningkatkan udara terperangkap, sehingga ukuran dan tingkat porositas meningkat. Udara yang terperangkap selama pencampuran mengurangi laju konversi polimer dengan menghambat reaksi pengaturan dan menyebabkan reaksi asam-basa yang tidak memadai, sehingga mengurangi ikatan silang polimer. Penambahan sisik ikan gurami memengaruhi porositas GIC; sisik ikan gurami 2,5% mengurangi ukuran pori dan tingkat porositas.¹⁶

Cangkang kerang (*Anadara granosa sp.*)

Suatu riset di Malaysia mengevaluasi cangkang kerang (*Anadara granosa sp.*) yang banyak menjadi limbah, yang sebagian besar mengandung $CaCO_3$. Cangkang kerang mengandung 95-99% berat $CaCO_3$ dan lainnya adalah zat organik. Cangkang kerang adalah contoh bahan limbah terbaik yang dapat didaur ulang karena, memiliki persentase bobot $CaCO_3$ yang tinggi, sehingga dianggap sebagai kandidat terbaik untuk menggantikan $CaCO_3$ komersial. Khiri, dkk¹⁷ menyiapkan GIC yang berasal dari kaca yang berbasis *calcium fluoroaluminosilicate* (CFAS) menggunakan berbagai bahan limbah yaitu kaca SLS dan cangkang kerang, serta melihat pengaruh waktu penuaan dalam air suling pada kekuatan fisik, struktur dan tekan GIC. Riset ini mendapatkan hasil ialah fabrikasi GIC yang berasal dari kaca berbasis CFAS menggunakan bahan limbah mentah dipercaya sebagai produk potensial awal yang menjanjikan sifat yang sesuai digunakan dalam kedokteran gigi, terutama aplikasi *luting*, *base* dan *liner*. Keunggulan sifat fisik, struktur dan mekanik GIC yang berasal dari bahan limbah dapat berguna dalam studi masa depan dan dapat mengubah persepsi menggunakan bahan limbah. GIC yang berasal dari CFAS memiliki potensi tinggi dalam aplikasi bahan gigi masa depan dengan kompatibilitas sifat fisik, struktural dan mekanik.¹⁷

Sotong (Cuttlefish)

Sotong merupakan salah satu komoditas perikanan yang berperan sebagai sumber protein, karena mengan-

andung sejumlah asam amino esensial lengkap dengan nilai cerna tinggi; namun dalam proses pengolahannya sotong hanya dimanfaatkan bagian daging hingga kepala, sedangkan cangkang dan jeroan dianggap sebagai limbah. Cangkang sotong memiliki unsur anorganik 75-90% yang sebagian besarnya merupakan $CaCO_3$. HA dari tulang sotong dilaporkan biokompatibel jika dicampur ke bahan, dan partikel HA bulat berpori terbukti meningkatkan sifat mekanik dan pelepasan ion *fluoride* paling efektif. Pcrik, dkk¹⁸ mengevaluasi efek HA dari tulang sotong terhadap sifat mekanik GIC, Fuji II LC dan Fuji IX GP Extra. Penelitian ini menunjukkan bahwa penambahan pada serbuk Fuji IX dan Fuji II dalam bentuk partikel mikro-HA dari tulang sotong tidak meningkatkan *compressive strength* (CS), *flexural strength* (FS), dan *diametral tensile strength* (DTS) dari kelompok *chemically-set* Fuji IX, tetapi meningkatkan sifat mekanik kelompok Fuji II, dan dengan 10% berat HA ada peningkatan FS yang signifikan. Penambahan partikel HA di Fuji II berdampak positif pada CS, DTS, dan FS. Kelompok Fuji II yang dimodifikasi dengan 10% berat HA adalah paling menguntungkan sehubungan dengan FS.¹⁸

Pada tahun berikutnya Pcrik, dkk¹⁹ melakukan penelitian lanjut dengan mengevaluasi efek HA tulang sotong pada kekerasan mikro, *surface roughness* (SR), dan *fluoride release* (FR) dari GIC. Tampak bahwa penambahan HA mikro dari tulang sotong ke bubuk Fuji IX dan Fuji II tidak meningkatkan SR. Sejauh menyangkut kekerasan mikro, penambahan HA menurunkan nilai kekerasan mikro pada semua kelompok kecuali Fuji II 10% berat HA. Dalam hal FR, sampel Fuji IX dimodifikasi dengan 10% berat HA, setelah 24 jam menunjukkan hasil yang paling menguntungkan, dan 2 dan 5 wt% HA meningkatkan FR di ketiga titik waktu, apa yang dapat mengarah pada kesimpulan bahwa konsentrasi tepat dari HA dalam GIC meningkatkan sifat kemomekanik harus diteliti lebih lanjut.¹⁹

Disimpulkan bahwa upaya untuk meningkatkan sifat mekanik GIC terus dilakukan, salah satunya dengan penambahan HA yang diperoleh dari sumber alami seperti tulang, cangkang telur, cangkang kerang, cangkang kepiting, dan sisik ikan. Penambahan HA pada GIC terbukti meningkatkan kekuatan ikatan geser, kekuatan tekan, dan kekerasan permukaan bahan restoratif tersebut. Berbagai penelitian menunjukkan bahwa penambahan HA dari berbagai sumber alami meningkatkan kekuatan mekanik GIC dengan signifikan, dan menawarkan solusi ramah lingkungan dengan memanfaatkan limbah biologi. Secara keseluruhan, penambahan HA pada GIC meningkatkan kekuatan mekanik bahan restoratif, memperpanjang umur pakai, dan meningkatkan daya tahan restorasi dental, menjadikannya pilihan yang lebih baik dalam praktik kedokteran gigi.

Disarankan uji klinis lebih lanjut untuk mengeksplorasi lebih banyak sumber HA dari limbah biologis lainnya, menilai performa jangka panjang GIC yang diperkuat HA, dan melihat efeknya terhadap sifat mekanik GIC.

REFERENSI

1. Mawadara PA, Mozartha M, K Trisnawaty. Pengaruh penambahan hidroksiapatit dari cangkang telur ayam terhadap keke-

- rasan permukaan GIC. *Jurnal Material Kedokteran Gigi* 2016; 2(5): 8-14
2. Mozartha M, Sulistiawati PM. Pengaruh penambahan hidroksiapatit dari cangkang telur terhadap kekuatan tekan glass ionomer cement. *Jurnal B-Dent* 2015; 2(1): 75-81
 3. Wulandari E, Wardani FR, Fatimattuzahro N. Addition of gourami (*Osphronemus goramy*) fish scale powder on porosity of glass ionomer cement. *Dent J (Majalah Kedokteran Gigi)* 2022; 55(1): 33-7
 4. Mozartha M. Hidroksiapatit dan aplikasinya di bidang kedokteran gigi. *Cakradonya Dent J* 2015; 7(2): 807-68
 5. Murugan R, Yazid F, Nasruddin NS. Effects of nanohydroxyapatite incorporation into glass ionomer cement (GIC). *Minerals Multidisciplinary Digital Publishing Institute* 2022; 12(9): 1-10
 6. Shen, Rawls, Upshaw E. Phillips' science of dental materials. 13th ed. St. Louis: Elsevier; 2022
 7. Hatrick, Eakle. Dental materials clinical applications for dental assistants and dental hygienists. 3rd ed. California: Elsevier; 2016
 8. Powers, Wataha. Dental materials foundations and applications. 11th ed. St. Louis: Elsevier; 2017
 9. Manappallil JJ. Basic dental materials. 4th ed. New Delhi: Jaypee Brothers Medical Publishers (P) Ltd; 2016
 10. Arifiadi F, Wahyudi K, Manullang RJ. Sintesis dan karakterisasi hidroksiapatit-gibsit. *Jurnal Keramik dan Gelas Indonesia* 2021; 30(2): 78-89
 11. Harahap KI, Rahmi H, Winni M. Effect of hydroxyapatite synthesized from tilapia fish scale waste on the shear bond strength of GIC and RMGIC to enamel layer (in vitro study). *Materials Science Forum* 2022; 1069: 135-43
 12. Allam G, El-Geleel OA. Evaluating the mechanical properties, and calcium and fluoride release of glass-ionomer cement modified with chicken eggshell powder. *Dent J* 2018; 6(40): 1-8
 13. Effendi MC, Pratiwi AR, Afifah F. The role of chicken egg-shell nano-hydroxyapatite as fillers on the surface hardness of glass ionomer cement. *Malaysian Journal of Fundamental and Applied Sciences* 2021; 17: 475-84
 14. Ferry AN, Utama MD, Jubhari EH. Penambahan hidroksiapatit dari serbuk cangkang kepiting bakau (*Scylla serrata*) terhadap kekuatan sementasi glass ionomer cement. *Makassar Dental Journal* 2024; 13(1): 131-3
 15. Utama MD, Ferry AN, Akbar FH. Addition of hydroxyapatite from mud crab powder (*Scylla Serrata*) on the strength of GIC (glass ionomer cement) cementation material: a literature review. *J Pharmaceutical Negative Results* 2022; 13: 5966-70
 16. Wulandari E, Wardani FR, Fatimattuzahro N. Addition of gourami (*Osphronemus goramy*) fish scale powder on porosity of glass ionomer cement. *Dental Journal (Majalah Kedokteran Gigi)*. 2022; 55(1): 33-7
 17. Khiri MZ, Matori KA, Zaid MH. Soda lime silicate glass and clam Shell act as precursor in synthesize calcium fluoroaluminosilicate glass to fabricate glass ionomer cement with different ageing time. *J Mater Res Technol* 2020; 9(3): 6125-34
 18. Prcic MB, Rajic VB, Ivanisevic A. Mechanical properties of glass ionomer cements after incorporation of marine derived hydroxyapatite. *Materials Minerals Multidisciplinary Digital Publishing Institute* 2020; 13(3542): 1-12
 19. Prcic MV, Salinovic I, Gurgan S. Effects of incorporation of marine derived hydroxyapatite on the microhardness, surface roughness, and fluoride release of two glass-ionomer cements. *Appl Sci Multidisciplinary Digital Publishing Institute* 2021; 11(11027): 1-8