

Potensial use of sea shells as a biocomposite additive

Potensi manfaat kerang laut sebagai bahan tambahan biokomposit

¹Muhammad Alpin,¹Andi Nilla Gading,¹Andi Iyanah Istiyana Syam,¹Andi Nurfidyati Zubair,²Irene Edith Rieuwpassa

¹Mahasiswa Klinik

²Departemen Oral Biologi

Fakultas Kedokteran Gigi, Universitas Hasanuddin

Makassar, Indonesia

Correspondence author: Irene Edith Rieuwpassa, e-mail: drgirene@yahoo.com

ABSTRACT

Bivalves are natural resources that play a role in Indonesian waters with very strategic geographical conditions, because flanked by two oceans and continents so that the exchange of water masses occurs; groups that are often found in Indonesian waters. Shellfish or *bivalves* are soft-bodied aquatic animals (mollusks). In general, bivalves habitat is found in coastal and brackish waters which have muddy sand to a depth of 4-6 m with relatively calm water conditions. Shellfish can live in an epifaunal way or infaunally for a long period of time. The use of sea shells in dentistry has found that polymethyl methacrylate (PMMA) biocomposite can be strengthened with shellfish nano powder with better properties.

Keywords: sea shell, *bivalvia*, biocomposite

ABSTRAK

Kerang-kerangan atau *bivalvia* menjadi sumber daya alam yang berperan di perairan Indonesia dengan kondisi geografis yang sangat strategis, diapit oleh dua samudera dan benua sehingga terjadi pertukaran massa air; kelompok yang sering dijumpai di perairan Indonesia. *Bivalvia* merupakan hewan air yang bertubuh lunak (moluska). Secara umum habitat *bivalvia* terdapat di perairan pantai dan payau atau muara yang memiliki pasir berlumpur hingga kedalaman 4-6 m dengan kondisi perairan yang relatif tenang. *Bivalvia* dapat hidup di permukaan air maupun di dasar perairan dalam jangka waktu yang cukup lama. Pemanfaatan kerang laut dalam bidang kedokteran gigi ditemukan bahwa biokomposit *polymethyl methacrylate* (PMMA) dapat diperkuat dengan puder *nano* kerang dengan sifat yang lebih baik.

Kata kunci: kerang laut, *bivalvia*, biokomposit

Received: 20 December 2022

Accepted: 02 February 2023

Published: 1 April 2023

PENDAHULUAN

Indonesia merupakan negara kepulauan terbesar di dunia dengan 18.000 lebih pulau, memiliki garis pantai terpanjang kedua, 81.000 km setelah Kanada. Sekitar 75% wilayah Indonesia merupakan laut, sehingga memiliki keanekaragaman hayati yang berlimpah dan sangat bervariasi sehingga disebut pula negara yang memiliki keanekaragaman tertinggi di dunia atau *mega diversity in the world*.¹

Sebagai negara kepulauan terbesar, Indonesia memiliki biota laut dengan jenis kerang-kerangan (*Bivalvia*) yang melimpah. Moluska merupakan salah satu filum dengan jumlah spesies terbanyak yang di dalamnya terdapat kelas terbesar salah satunya *Bivalvia*. *Bivalvia* secara umum memiliki bentuk dan ukuran cangkang yang beranekaragam, yang sangat penting dalam menentukan spesies pada kelas tersebut. Kelas *Bivalvia* kebanyakan hidup dengan membenamkan diri dalam substrat berupa lumpur atau pasir. *Bivalvia* menduduki zona neritik di laut tropis, dapat hidup dan berkembang dalam rentang yang cukup luas, yaitu perairan tawar hingga perairan laut yang memiliki kisaran salinitas yang tinggi di seluruh dunia.²

Kerang telah banyak digunakan oleh masyarakat, paling besar untuk memenuhi kebutuhan pangangan sebagai sumber protein dan mineral.² Selain itu juga menjadi salah satu alternatif yang dapat dimanfaatkan sebagai bahan restorasi tulang dan gigi. Pada penelitian yang di-

lakukan oleh Karthick dkk, tentang pemanfaatan kerang laut dalam bidang kedokteran gigi ditemukan bahwa biokomposit *poly methylmethacrylate* (PMMA) dapat diperkuat dengan *nano powder* dari kerang dengan sifat yang lebih baik.³

Bahan dan molekul bioaktif merupakan salah satu bidang penelitian dan memiliki aplikasi luas dalam kedokteran gigi karena mampu berinteraksi dengan jaringan tubuh. Ada beberapa jenis bahan bioaktif seperti *osteogenic*, *osteocductive*, *osteoinductive*.⁴ Beberapa keramik seperti hidroksiapatit, kalsium hidroksida, *silica-based glasses*.³

Hasil Riset Kesehatan Dasar (Riskesdas) Kementerian Kesehatan tahun 2018 menyatakan bahwa masalah kesehatan gigi dan mulut terbesar yang menjadi penyebab kehilangan gigi adalah karies gigi.⁵ Karies dapat dirawat dengan cara pembersihan jaringan lunak dan ditutup dengan berbagai macam bahan tumpatan salah satunya resin komposit, bahan yang makin populer karena memiliki estetis yang baik. Tumpatan resin komposit untuk bertahan lama di dalam rongga mulut harus didukung dengan kekuatan mekaniknya yang baik.⁶

Kajian ini membahas tentang manfaat kerang sebagai bahan tambahan biokomposit dalam bidang kedokteran gigi.

TINJAUAN PUSTAKA

Resin komposit merupakan bahan restorasi yang ba-

nyak digunakan di bidang kedokteran gigi. Bahan komposit digunakan untuk merestorasi karies, abrasi email, dan untuk estetika karena sangat mirip dengan gigi. Resin komposit memiliki sifat mekanik salah satunya adalah kekerasan permukaan yang merupakan suatu petanda akan daya tahan terhadap keausan. Faktor yang memengaruhi kekerasan permukaan resin komposit antara lain sifat kimia dan sifat fisika. Sifat kimia adalah polimerisasi bahan, ketebalan bahan, jarak penyinaran, dan lama penyinaran, sedangkan sifat fisik resin komposit adalah kelarutan dan penyerapan air. Faktor lain yaitu makanan atau minuman. Apabila makanan atau minuman yang dikonsumsi mengandung asam maka resin komposit dapat mengalami degradasi matriks sehingga mengalami penurunan kekerasan permukaan. Degradasi matriks merupakan akar putusnya gugus metakrilat pada Bis-GMA karenapolimer resin komposit mengandung ikatan yang tidak stabil sehingga dapat dengan mudah terdegradasi bila terpapar kondisi pH yang rendah. Putusnya ikatan polimer karena degradasi menyebabkan terbentuknya monomer sisa yang akan terlepas dari resin komposit bila terpapar cairan rongga mulut atau yang mengandung asam.⁷

Resin komposit dapat diklasifikasikan atas 1) partikel pengisi makrofil berukuran 10-100 μ . Resin komposit memiliki tekstur permukaan yang kasar karena ukuran partikel relatif besar, memiliki kekuatan mekanik yang adekuat tetapi ketahanan aus yang buruk; 2) partikel resin mikrofil berukuran 0,04-0,2 μ , memiliki kemampuan poles yang tinggi, komposit jenis ini digunakan untuk restorasi servikal dan gigi anterior karena kekuatan mekanik dan ketahanan aus yang rendah; 3) komposit hibrid yang mengandung partikel yang berukuran 15-20 μ dengan partikel silika koloid berukuran 0,01-0,05 m sehingga dihasilkan kekuatan yang baik dan sifat fisik pemolesan; 4) nanohibrid memiliki ukuran partikel filler yang lebih kecil dari mikrofil. Penggunaan filler yang sangat kecil dengan penyusunan dengan matriks yang tepat mampu menghasilkan sifat fisik setara dengan resin komposit hibrid biasa.⁸

Biokomposit

Biokomposit merupakan jenis komposit yang terdiri atas bahan matriks polimer dan penguat serat alami. Biokomposit yang diperkuat oleh serat alami memiliki kelemahan ikatan antarmuka serat dan matriks antara *hydrophobic cellulose* serta dan *hydrophobic* resin yang menyebabkan ketidaksesuaian pada ikatannya. Biokomposit yang dibentuk oleh bahan yang dapat terurai, dianggap dapat terurai jika mampu hancur di bawah 2 mm dalam tiga bulan di pabrik kompos.⁹

Kerang (*bivalvia*)

Bivalvia merupakan salah satu kelompok organisme

invertebrata yang sering ditemukan dan hidup di daerah intertidal, tanpa radula, cangkang berupa 2 valvula, dengan badan pipih lateral. *Bivalvia* adalah kelas dalam filum moluska yang mencakup semua kerang-kerangan, memiliki sepasang cangkang (*bivalvia* berarti cangkang). *Bivalvia* umumnya hidup di dasar perairan berlumpur atau berpasir, beberapa juga hidup pada lempung, kayu, atau batu yang merupakan substrat yang lebih keras. Salah satu dari beberapa jenis *bivalvia* yang hidup di daerah tersebut adalah *Oatre sp* dan *Gelonea coxans*, *Perna viridis*, *Corbicula fluminea*, *Arctica islandica*, *Ostreidae* serta beberapa jenis lainnya yang banyak hidup di garis surut terendah, seperti *Tridacna gigas*. *Bivalvia* selain menunjukkan keanekaragaman jumlah jenis, juga memiliki keanekaragaman struktur, tingkatan tropik, bentuk, ukuran, serta keanekaragaman habitat makro-mikro dalam komunitas alami. Keanekaragaman morfologi kerang laut menjadi gambaran dari tingkah laku yang menjadi salah satu faktor yang memengaruhi spesies tersebut dalam ekosistemnya. Keanekaragaman spesies kerang secara makro berkang dari pantai tropika ke temperate dan dari pantai makrotidal ke daerah mikrotidal. *Bivalvia* menjadi sumber daya yang penting dalam produksi perikanan, serta mangrove yang dapat menyediakan substrat untuk berkembang biak, dan sebagai penyedia pakan. *Bivalvia* banyak bermanfaat dalam kehidupan manusia karena daging sebagai sumber protein, dan cangkangnya sebagai perhiasan, bahan kerajinan tangan, dan sebagai biofilter terhadap polutan. Tiga cara hidup *bivalvia* yaitu membuat lubang pada substrat, melekat langsung pada substrat dengan semen, dan melekat pada substrat dengan suatu perantara seperti benang.^{10,11}

Bivalvia lebih menyukai habitat dengan tipe sedimen berlumpur dan berpasir. Tekstur sedimen dalam perairan berbeda-beda dan memiliki ukuran bervariasi dari yang besar sampai halus. Perbedaan tipe sedimen memengaruhi ketersediaan oksigen dan makanan, penyebaran, morfologi fungsional dan tingkah laku organisme di kawasan perairan. Sedimen lumpur memiliki butiran lebih kecil mampu menyimpan nutrien lebih besar dibandingkan pasir dan gravel.¹²

Arus memiliki dampak terhadap tipe sedimen yang ditempati oleh *bivalvia*; arus yang lemah membuat sedimen dominan lumpur, tanah organik dan pasir halus, sedangkan arus yang kuat tipe sedimennya dominan berbatu dan koarsa. Karakteristik sedimen yang berbeda di setiap lokasi akan memengaruhi sebaran bentuk organisme dan akan terjadi pengelompokan bentuk yang berbeda.¹²

Cangkang kerang laut mengandung senyawa kimia yang bersifat pozzolan, yaitu zat kapur (CaO) sebesar 66,70%, alumina, dan senyawa silika. Sedangkan peneliti lain menyebutkan bahwa komposisi kimia daricang-

kang kerang laut menurut berat adalah lebih dari 90% kalsium karbonat (CaCO_3). Cangkang kerang laut dapat dijadikan bahan pengganti semen karena memiliki kandungan zat kapur yang sangat banyak.¹³

Limbah *bivalve* memiliki kandungan CaCO_3 yang dapat dijadikan bahan CaO , memiliki sifat ramah lingkungan sehingga aman jika digunakan sebagai biokoga-gulan. *Bivalve* memiliki keunggulan diantaranya, tidak beracun, *biodegradable*, serta mudah berinteraksi dengan zat organik lainnya seperti protein. Pada proses biokoga-gulan terjadi penggumpalan partikel-partikel kecil menjadi partikel yang lebih besar, yang menyatu dengan CaO . Dua fase utama CaCO_3 diketahui hadir dalam struktur *bivalve*, yaitu aragonit dan kalsit. Identifikasi zat ini dalam *bivalve* sebagai prekursor anorganik potensial untuk induksi mineral tulang seperti pembentukan hidroksiapatit.¹⁴

Cangkang kerang laut dapat dimanfaatkan kandungan nutrisinya untuk meningkatkan nilai tambah, misalnya kalsium yang cukup tinggi, sehingga perlu diversifikasi produk yang dapat digunakan sebagai sumber kalsium alami. Upaya pemanfaatan kandungan kalsium dalam cangkang kerang tersebut dapat berupa *cookies* yang diformulasikan dengan tepung cangkang kerang sebagai sumber kalsium alami. Produk diversifikasi berupa *cookies* kaya kalsium diharapkan dapat diterima oleh konsumen dari segala usia dan menjadi salah satu solusi untuk mengatasi defisiensi kalsium. Pemisahan kalsium dari cangkang kerang dapat dilakukan dengan deproteinase yaitu, menghilangkan protein pada cangkang dengan cara hidrolisis sempurna maka akan diperoleh hidrolisat yang terdiri atas campuran 18-20 macam asam amino.¹⁵

Ukuran makro partikel filler bervariasi berupa serbuk cangkang kerang dalam ukuran partikel mikro dalam ukuran 0,1-100 μ . Sedangkan partikel yang ukuran di bawah 0,1 μ termasuk dalam jenis nano partikel, di atas 100 μ termasuk dalam jenis partikel makro.

Selain *bivalvia*, pemanfaatan cangkang dari biota lainnya juga digunakan dalam dunia kedokteran gigi seperti pemanfaatan cangkang kepiting dan udang. Cangkang udang memiliki kandungan mineral yang tinggi utamanya kalsium, protein dan kitin. Mineral tersebut merupakan mineral terpenting dalam proses mineralisasi gigi. Limbah kulit udang mengandung tiga komponen utama, yaitu CaCO_3 45-50%, protein 25- 40%, dan kitin 15-20%. Setelah melalui reaksi kimia, CaCO_3 pada kulit udang akan menjadi kalsium. Komposisi dan kadar zat kimia dari cangkang udang (*vannamei*) meliputi air (12,35%), abu (17,13%), protein (47,18%), karbohidrat (22,09%), lemak (1,25%), abu tak larut asam (0,44%) yang ditentukan dengan analisis proksimat.¹⁶

Pada kulit udang (*Litopenaeus vannamei*) terdapat berbagai macam kandungan zat kimia yang sangat da-

pat dimanfaatkan, seperti kitin yang menjadi kitosan yang dapat menjadi bahan pengganti tulang dan gigi, dapat mengefektifkan penyembuhan luka, sebagai agen antimikroba dan antikolesterol. Sedangkan kalsium dalam kulit udang dapat diolah menjadi nanokalsium sehingga tubuh dapat menyerap dengan sempurna dan lebih efisien dikonsumsi oleh masyarakat. Mineral utama dalam nanokalsium, yaitu kalsium, tetapi juga mengandung komponen mineral lainnya, seperti kalium, natrium, magnesium, besi, fosfor, seng, dan mangan.¹⁶

Kitosan memiliki beberapa sifat yang menguntungkan seperti biokompatibel, *biodegradable*, tidak beracun serta *mucoadhesion* sehingga kitosan sering digunakan pada aplikasi biomedis. Kitosan dapat diperoleh dari proses deasetilasi chitin yang terdapat pada cangkang udang dan kepiting. Kitosan memiliki tiga jenis kristal yaitu α , β , γ yang dapat diidentifikasi dari x-ray. Kristal kitosan jenis α , umumnya diperoleh dari cangkang udang dan kepiting. Bentuk fisik kitosan dapat berupa film, serat, butiran, bubuk atau partikel nano.¹⁷

Aplikasi kitosan di bidang kedokteran gigi yang telah diteliti antara lain berfungsi sebagai modulator inflamasi, membantu regenerasi periodontal pada *intraboneous defects*, membantu medikasi saluran akar gigi, sebagai bahan antimikroba dalam bahan *bonding* dan tumpatan resin komposit. Aplikasi kitosan juga telah dimanfaatkan untuk perawatan tubuli dentin yang terinfeksi pada kasus *direct pulp capping* serta untuk regenerasi jaringan pulpa yang cedera. Selanjutnya, kitosan gel 0,2% diketahui memiliki sifat antijamur. Berbagai fungsi kitosan tersebut tergantung dari struktur kimia dan ukuran molekulnya. Kitosan sebagai larutan irigasi pada perawatan saluran akar gigi, dapat diperoleh dari proses deasetilasi kitin yang terdapat pada cangkang udang maupun kepiting.¹⁷

PEMBAHASAN

Kerang adalah keramik alami yang mirip dengan gigi dan tulang. Kerang keramik alami memiliki lapisan mutiara atau lapisan *nacreous* yang diatur dalam lapisan CaCO_3 trombosit dan protein. Terdapat lebih 30 protein yang disatukan untuk menghasilkan kekuatan dan ketangguhan.³

Biokomposit adalah bahan komposit yang terbuat dari matriks atau resin, dan penguat alami. Ketika biokomposit diterapkan sebagai implan gigi manusia, matriks harus aman sebagai bahan biologis dan disetujui oleh lembaga medis terkait. Biopolimer yang paling banyak digunakan dalam kedokteran gigi adalah PMMA karena mudah dibentuk, toksisitas rendah, dan sering digunakan dalam kedokteran maupun kedokteran gigi. Namun kekuatan PMMA murni ini tidak cukup tinggi sehingga diperlukan beberapa bentuk penguatan.¹⁷

Penambahan bubuk putih murni dari limbah cang-

kang kerang *Codakia orbicularis* ke polimer yang biasanya transparan ini menghasilkan bahan komposit putih, yang dapat digunakan dalam aplikasi kedokteran gigi. Transparansi optik dari PMMA merupakan masalah estetika ketika digunakan dalam kedokteran gigi, dan harus dimodifikasi dengan filler pigmen agar sesuai dengan warna dan tampilan alami gigi. Kerang Bahama *Codakia orbicularis* secara alami berwarna putih salju, dan dikombinasikan dengan PMMA yang transparan secara optik, bahan komposit yang dihasilkan juga berwarna putih bersih dan tembus cahaya, yang menunjukkan bahwa, dengan mempertimbangkan estetika, komposit ini dapat dipakai sebagai tambalan gigi.¹⁸

Biomaterial kulit kerang awalnya dihaluskan menjadi partikel yang lebih kecil dengan cara dipalu, kemudian dipindahkan ke mesin *monochamber ball-mill*. *Zirconia ball* (*Mohshardness-7*) digunakan untuk menggiling partikel kerang yang lebih kecil (*Mohs hardness-3,5*) menjadi bubuk halus. Perbandingan berat *Zirconia balls* dengan partikel kulit kerang adalah 10:1.⁹ *Zirconia balls* (30 g) dibawa ke penggilingan 3 g partikel kerang. Kecepatan putaran diatur ke 200 rpm dan durasi penggilingan bola adalah 1 jam. Untuk setiap satu jam, bola dikeluarkan dan dibersihkan dengan baik dengan *ultrasonic bath* karena bubuk yang menempel di permukaan bola seharusnya tidak menjadi penghalang untuk 3 g partikel kerang berikutnya. Eksperimen dilangi sampai diperoleh bubuk kerang yang sangat halus dengan ukuran kurang dari beberapa nanometer, lalu dikeringkan selama 3 jam untuk menghilangkan kadar airnya.

Pada tahun 2017 disajikan hasil studi biokomposit PMMA yang diperkuat oleh partikel limbah kulit kerang. Komposit dibuat dengan menambahkan 2%, 6%, 10% dan 14% bubuk kerang ke dalam bubuk PMMA.¹⁸

Spesimen yang disiapkan diperiksa untuk kekerasan mikro menggunakan *Vickers microhardness Tester*. Gaya 100 kgf diterapkan pada permukaan specimen, dipertahankan konstan untuk semua spesimen dan diambil sepuluh pembacaan untuk setiap spesimen.³

Pada penelitian yang dilakukan oleh Zmak dkk pada tahun 2017 dijelaskan bahwa limbah kulit kerang secara kasar dipotong kecil-kecil secara mekanis dan kemudian digiling untuk mendapatkan bubuk halus menggunakan *Retsch PM100 (Germany) ball mill*.¹⁸

Kekerasan mikro dari PMMA murni meningkat dengan meningkatnya kandungan bubuk kerang yang ditambahkan ke PMMA, terutama bila digunakan partikel yang lebih kecil, yaitu di bawah 50 µm. Secara umum, kombinasi terbaik dari kekuatan, elastisitas dan kekerasan dicapai ketika 6% berat partikel kerang di bawah ukuran 50 µm ditambahkan ke PMMA.¹⁸

Penambahan bahan tersebut meningkatkan kekerasan PMMA murni secara moderat tanpa kemungkinan

peningkatan kerapuhan. Hasilnya menunjukkan biokomposit yang dibuat dari limbah cangkang kerang *Codakia orbicularis* dan PMMA dapat digunakan dalam kedokteran gigi, karena keduanya menunjukkan sifat mekanik dan estetika yang baik.¹⁸

Menurut penelitian Gigante dkk, CaCO₃ yang diperoleh dari cangkang kerang laut Mediterania digunakan untuk membuat biokomposit dengan matriks polimer berbasis asam pollaktat (PLA) dan poli(butilena adipat-co-tereflafat) atau PBAT dengan rasio berat 3:1. Pengaruh peningkatan kandungan bubuk cangkang kerang dari berat 5-20%, semua biokomposit ternyata benar-benar amorf karena suhu cetakan dan waktu yang digunakan untuk pemolesannya rendah. Penggunaan cangkang kerang telah memungkinkan diperolehnya biokomposit dengan sifat mekanik yang memuaskan, meningkatkan modulus elastisitas walaupun adesi antara partikel dan matriks lemah. Peningkatan modulus elastisitas disebabkan oleh modulus filler anorganik yang jauh lebih tinggi dibandingkan matriks polimer. Penurunan kekuatan dihubungkan dengan efek yang diberikan oleh partikel kulit kerang.⁹

Kadar CaCO₃ mendukung pelepasan cetakan dan mendorong desintegrasi dalam formulasi komposit. Nilai lebih baik digunakan untuk meningkatkan modulus elastisitas dan kekuatan bahan. Baru-baru ini CaCO₃ telah ditambahkan ke dalam *polypropylene* (PP) dalam beberapa perbandingan dengan menggunakan ekstruder kembar untuk meningkatkan keausan.⁹

Penelitian oleh Karthick dkk, yang menambahkan bubuk nano kerang 2% sedikit meningkatkan nilai kekerasan mikro. Perubahan signifikan pada kekerasan mikro terlihat ketika kandungan bubuk nano kerang meningkat menjadi 4% dan kekerasan mikro maksimal dicapai dengan menambahkan 12% bubuk nano kerang. PMMA dapat diperkuat oleh bubuk nano kerang dengan sifat optimal pada 12% bubuk nano kerang diikuti oleh 8% bubuk nano kerang.³

Pada penelitian lain yang menggunakan bahan serbuk kerang sebagai bio-keramik alami untuk bahan pembantu agregat abrasif dalam produksi beton mutu rendah dan ringan, cocok untuk aplikasi seperti pavers beton. Mempertimbangkan ketersediaan kulit kerang yang melimpah dan pilihan pemrosesan berbasis bubuk, kelayakan pemrosesan bubuk kerang secara aditif menarik untuk dievaluasi. Tingkat optimal bubuk kerang ditetapkan dalam berat 15-20% dalam aspek kekuatan kompresi baik. Namun, bubuk kerang laut yang telah tersusun menjadi terlalu lengket setelah interaksi dengan cairan pengikat dan tidak terbukti mekanisme pengikatan yang dapat dipercepat.¹⁹

Konversi kulit kerang menjadi bubuk adalah sangat ekstensif karena pembakaran dan penggilingan menjadi bubuk halus cukup memakan energi. Cangkang kerang

giling terdiri dari 95-99% berat CaCO_3 , yang cocok sebagai bahan pengisi pilar. Diamati bahwa penggantian di atas 15% berat semen dapat menyebabkan penurunan kekuatan dan permeabilitas yang lebih tinggi dan porositas dalam waktu setting 28 hari.¹⁹

Komposit bubuk kerang laut PMMA dievaluasi untuk aplikasi gigi dan nilai kekerasan mikro tercatat meningkat melebihi 2% dari bubuk kerang. Keuntungan yang lebih signifikan dalam nilai kekerasan mikro adalah tercatat melebihi 4% bubuk kerang, sedangkan nilai yang dicapai adalah tertinggi pada 12% bubuk kerang.¹³

Disimpulkan bahwa PMMA merupakan biopolimer yang sering digunakan dalam kedokteran gigi, meskipun tidak cukup tinggi untuk aplikasi gigi. Kerang laut (bivalvia) merupakan salah satu hasil biota laut yang banyak ditemukan di Indonesia; penambahan bubuk nano kerang dengan rasio 2-14% berhasil memperkuat PMMA yang keuatannya meningkat seiring dengan peningkatan kandungan bubuk nano yang ditambahkan. Namun secara umum, kombinasi terbaik dari kekuatan, elastisitas dan kekerasan dicapai ketika 6% partikel kerang ukuran di bawah 50 μm ditambahkan ke PMMA.

DAFTAR PUSTAKA

- Mulawarmanti D. Biota laut sebagai alternatif bahan obat (pemanfaatan teripang emas sebagai terapi ajuvan di Kedokteran Gigi). Seminar Nasional Kelautan XIV; 2019: 1-2.
- Sulistyaningsih E, Arbi UY. Aspek bioekologi dan pemanfaatan kerang *marga anadara* (mollusca: bivalvia: arcidae). Oseana 2020; 45(2): 69-70.
- Karthick R, Sirisha P, Sankar MR. Mechanical and tribological properties of PMMA - sea shell based biocomposite for dental application. Procedia Materials Science 6. 2014
- Packyanathan JS, Juneius ER. Role of marine components and bioactives in dentistry – a review. Int J Current Med Pharmaceutical Res 2017; 3(4): 1419.
- Riset Kesehatan Dasar (RISKESDAS) Kementerian Kesehatan Tahun 2018.
- Kartika AD, Widayastuti NF. Aplikasi chlorhexidine 2% dan asam poliakrilat 10% terhadap kekuatan tarik adhesif self-etch restorasi resin komposit. JIKG (Jurnal Ilmu Kedokteran Gigi) 2020; 3 (2)
- Kafalia RF, Dian MF, Arlina N. Pengaruh jus jeruk dan minuman berkarbonasi terhadap kekerasan permukaan resin komposit. ODONTO Dent J 2017; 4(1): 38.
- Suryawanshi B. Dental composite resin in a review of major mechanical properties, measurement and its influencing factors. Article in Materialwissenschaft und Werkstofftechnik. Wiley May 2022. 619-20. Doi: 10.1002/mawe.202100326.
- Gigante V. Evaluation of mussel shells powder as reinforcement for PLA-Based biocomposites. Int J Molecular Sci 2020; 21: 5346
- Wahyuni D. Keanekaragaman mollusca (*Bivalvia* dan *polyplacophora*) di wilayah pesisir Bilulu Provinsi Gorontalo. Bieksperimen 2021; 7(1).
- Samsom E, Daniati K. Keanekaragaman dan kelimpahan bivalvia di perairan Pantai Waemulang Kabupaten Buru Selatan. Jurnal Biologi Tropis 2020; 20(1): 79.
- Nybakk JW. Ekologi Laut Suatu Pendekatan Ekologi. Jakarta: PT. Gramedia; 1988.
- Sawiji A, Rizqi AP. Pemetaan limbah kerang dengan pendekatan masyarakat berbasis aset. Marine J 2017; 3(1): 16
- Evi J. Pemanfaatan limbah cangkang kerang darah sebagai biokoagulan penjernihan air tanah terpolusi. 2020; 92.
- Agustini TW, Suhaeli F, Ita W, Agus S. Pemanfaatan limbah cangkang kerang simping (*Amusiumpleuronectes*) dalam pembuatan cookies kaya kalsium. Jurnal Pengolahan Hasil Perikanan Indonesia 2017; XIV (1); 8-13
- Asmawati. Potensi cangkang udang (*Litopenaeus vannamei*) sebagai bahan remineralisasi gigi. Makassar Dent J 2018; 7: 46-9
- Deviyanti S. Potensi larutan chitosan 0,2% sebagai alternatif bahan irrigasi dalam perawatan saluran akar gigi. JITEGI 2018; 14(1): 6-10
- Zmak I, Coric D, Surjak M, Zalac E. Properties of biocomposites from waste seashells and poly (methyl methacrylate). 2017; 48:780-1, 783.
- Singamneni S, Behera MP, M Le Guen, Zeidler H. Mechanism of bonding in seashell powder based ceramic composites used for binder-jet 3D printing. Bioceramics Development and Applications 2018; 8(1)