

Pengaruh aplikasi ekstrak cangkang kerang hijau (Perna Viridis) konsentrasi 20% dalam sediaan mousse terhadap kadar kalsium email gigi sulung: studi eksperimental

Sito Resmi Hayuning Wardani^{1*}
Putri Kusuma Wardani Mahendra¹
Indra Bramanti¹

¹Departemen Ilmu Kedokteran Gigi Anak, Fakultas Kedokteran Gigi, Universitas Gadjah Mada, Indonesia

* Corresponding Author
Email | resmiwardani@gmail.com

Submisi | 11 Oktober 2025
Revisi | 10 November 2025
Penerimaan | 28 Desember 2025
Publikasi Online | 31 Desember 2025
DOI: [10.24198/jkg.v37i3.60956](https://doi.org/10.24198/jkg.v37i3.60956)

p-ISSN [0854-6002](https://doi.org/10.24198/jkg.v37i3.60956)
e-ISSN [2549-6514](https://doi.org/10.24198/jkg.v37i3.60956)

Sitasi | Wardani SRH, Mahendra PKW Bramanti I. Pengaruh aplikasi ekstrak cangkang kerang hijau (Perna Viridis) 20% dalam sediaan mousse terhadap kadar kalsium enamel gigi desidui: studi eksperimental. J. Kedokt. Gigi Univ. Padjadjaran. 2025;37(3):326-334. DOI: [10.24198/jkg.v37i3.60956](https://doi.org/10.24198/jkg.v37i3.60956)



Copyright: © 2025 oleh penulis. diserahkan ke Jurnal Kedokteran Gigi Universitas Padjadjaran untuk open akses publikasi di bawah syarat dan ketentuan dari Creative Commons Attribution (CC BY) license (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

ABSTRAK

Pendahuluan: Cangkang kerang hijau (*Perna viridis*) mengandung 95% kalsium karbonat amorf murni yang berfungsi sebagai prekursor hidroksiapatit. Hidroksiapatit berperan dalam proses remineralisasi gigi. Efektivitas penggunaan sintesis hidroksiapatit sangat dipengaruhi oleh bentuk sediaan yang diberikan. Tujuan penelitian ini menganalisis pengaruh aplikasi ekstrak cangkang kerang hijau (*Perna Viridis*) konsentrasi 20% dalam sediaan mousse terhadap kadar kalsium email gigi sulung. **Metode:** penelitian eksperimental semu dengan menggunakan 16 gigi insisivus desidui anterior yang dibagi menjadi 4 kelompok penelitian. Sebelum diberikan perlakuan, dilakukan demineralisasi menggunakan asam fosfat 37%. Kelompok perlakuan diaplikasikan mousse cangkang kerang hijau konsentrasi 20%, kelompok kontrol positif diaplikasikan CPP-ACP, kelompok kontrol negatif tidak diberikan perlakuan dan kelompok basis diaplikasikan mousse ke permukaan labial gigi. Keseluruhan sampel dimasukkan ke dalam inkubator bersuhu 37°C dan diambil sesuai dengan waktu retensinya yaitu 30 menit, setelah pemaparan bahan remineralisasi. Pengukuran kadar kalsium gigi dilakukan menggunakan Spektrofotometri Serapan Atom (SSA). Analisis data dilakukan dengan menggunakan uji Anova dan post hoc. **Hasil:** Kelompok mousse cangkang kerang hijau memiliki kadar kalsium tertinggi, diikuti dengan kelompok kontrol positif, basis mousse dan kelompok kontrol negatif. Hasil *One Way ANOVA* menunjukkan adanya perbedaan kadar kalsium yang bermakna antara kelompok perlakuan ($p=0,001$). Hasil uji *Post Hoc LSD* menunjukkan adanya perbedaan yang signifikan ($p<0,05$) antara kelompok kontrol negatif dengan kelompok kontrol positif ($p=0,001$) dan kelompok mousse kerang hijau ($p=0,001$). **Simpulan:** Pemberian aplikasi mousse ekstrak cangkang kerang hijau konsentrasi 20% dapat meningkatkan kadar kalsium email gigi sulung.

Kata kunci

CPP-ACP, gigi desidui, kadar kalsium, mousse ekstrak cangkang kerang hijau, remineralisasi

Effect of 20% green mussel (*Perna viridis*) shell extract in mousse formulation on the calcium content of deciduous tooth enamel: an experimental study

ABSTRACT

Introduction: Green mussel shells (*Perna viridis*) contain 95% amorphous calcium carbonate (CaCO_3), which serves as a precursor for hydroxyapatite, which plays an important role in the tooth remineralization process. The effectiveness of hydroxyapatite synthesis application is greatly influenced by the formulation and form of the preparation. This study aimed to determine the effect of a 20% green mussel shell extract in mousse formulation on the calcium content of deciduous tooth enamel. **Methods:** This was a quasi-experimental study using 16 anterior deciduous incisor teeth divided into four experimental groups. Before treatment, demineralization was performed using 37% phosphoric acid. The treatment group received mousse containing 20% green mussel shell extract, the positive control group received CPP-ACP, the negative control group received no treatment, and the base group received plain mousse applied to the labial tooth surface. All samples were placed in an incubator at a temperature of 37°C and collected according to their retention time, i.e., 30 minutes after exposure to the remineralizing agents. Measurement of enamel calcium levels was performed using Atomic Absorption Spectrophotometry (AAS). Data were analyzed using one-way ANOVA followed by a post hoc LSD test. **Results:** The group treated with 20% green mussel shell mousse showed the highest calcium levels followed by the positive control group, mousse base group, and negative control group. The one-way ANOVA results showed a significant difference in calcium levels between treatment groups ($p=0.001$). The Post Hoc LSD test results showed a significant difference ($p<0.05$) between the negative control group and both the positive control ($p=0.001$) and green mussel mousse group ($p=0.001$). **Conclusion:** Application of 20% green mussel shell extract mousse effectively increases the calcium content of deciduous tooth enamel.

Keywords

CPP-ACP, deciduous teeth enamel, calcium content, green mussel (*Perna viridis*) shell extract mousse, remineralization

PENDAHULUAN

Karies gigi merupakan masalah kesehatan mulut yang paling umum pada anak-anak, terutama pada gigi desidui.¹⁻⁴ Gigi desidui yang sehat memberikan pedoman untuk pertumbuhan gigi permanen, sementara kerusakan pada gigi desidui dapat mengakibatkan masalah ruang dan posisi gigi di masa depan.⁵⁻⁷ Demineralisasi terjadi ketika pH lingkungan mulut menurun akibat asam yang dihasilkan oleh bakteri kariogenik, menyebabkan hilangnya mineral dari enamel dan dentin. Gangguan keseimbangan ini dapat memicu perkembangan karies gigi, dimulai dengan pembentukan lesi bercak putih (*white spot lesion*). Jika demineralisasi berlanjut, lesi ini dapat berkembang menjadi kavitas.^{8,9}

Pengembangan material bioaktif untuk kesehatan gigi menjadi fokus dalam pencegahan dan perawatan karies gigi. Saat ini hidroksiapatit yang dapat digunakan untuk remineralisasi gigi adalah CPP-ACP (*Casein Phosphopeptide-Amorphous Phosphate*)¹⁰. CPP-ACP mengandung 80% protein susu sapi yang dapat menurunkan tingkat demineralisasi dengan memperkuat struktur email gigi.¹¹

CPP-ACP memiliki kekurangan yakni sifat remineralisasi CPP-ACP yang mudah larut dalam pH rendah, dan kurang baiknya daya penetrasi pada permukaan email.¹² CPP-ACP merupakan produk yang dibuat dari susu sapi, sehingga tidak dapat digunakan oleh anak yang memiliki imunokompromais terhadap turunan susu sapi.¹³ Oleh karena itu, diperlukan bahan remineralisasi lain yang memiliki efek remineralisasi yang sama baiknya, namun lebih ekonomis dan mudah didapatkan.

Sintesis hidroksiapatit dapat diperoleh melalui reaksi senyawa sintetik atau alami yang kaya akan kalsium. Salah satu bahan alami yang berpotensi adalah ekstrak cangkang kerang hijau (*Perna viridis*).¹⁴ Cangkang kerang hijau mengandung 95% kalsium karbonat amorf murni yang berfungsi sebagai prekursor hidroksiapatit dan terlibat dalam reaksi kimia yang menghasilkan hidroksiapatit, sehingga dapat mendukung proses remineralisasi gigi.¹¹

Hidroksiapatit bersifat non-toksik, non-imunogenik, dan tidak menimbulkan reaksi inflamasi yang signifikan pada sel dan jaringan.¹⁵ Struktur kristalnya terdiri dari kalsium (Ca) dan fosfat (PO₄) yang terikat dalam kisi kristal, mirip dengan mineral alami pada enamel dan tulang. Mekanisme pelepasan kalsium dari hidroksiapatit dipengaruhi oleh jenis sediaan dan formulasi produk, seperti *mousse*.¹⁶ Pemilihan konsentrasi didasarkan pada hasil yang menunjukkan bahwa gel ekstrak cangkang kerang hijau dengan konsentrasi 20% mampu memberikan efek remineralisasi yang paling optimal.

Penelitian yang meneliti sediaan ekstrak cangkang kerang hijau sebagai agen remineralisasi dalam sediaan *mousse* belum tersedia. Studi ini merupakan penelitian pertama yang mengevaluasi aplikasi ekstrak cangkang kerang hijau (*Perna viridis*) konsentrasi 20% dalam bentuk sediaan *mousse* terhadap peningkatan kadar kalsium email gigi desidui. Formulasi *mousse* dalam penelitian ini dirancang untuk meningkatkan daya sebar, retensi, dan penetrasi bahan aktif pada email gigi anak. Temuan ini memberikan kontribusi ilmiah baru dalam kedokteran gigi anak, khususnya dalam pengembangan agen remineralisasi alternatif yang bersifat alami, ekonomis, dan berpotensi digunakan pada anak dengan keterbatasan penggunaan produk berbasis protein susu. Berdasarkan latar belakang tersebut, penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh aplikasi ekstrak cangkang kerang hijau dalam sediaan *mousse* terhadap kadar kalsium email gigi sulung.

METODE

Penelitian ini merupakan penelitian eksperimental semu dengan rancangan *post-test control group design*. Sampel penelitian berupa gigi insisivus desidui yang memenuhi kriteria inklusi, yaitu 4 gigi desidui insisivus rahang atas dan yang tanggal, tidak ada tanda demineralisasi, tidak ada karies, tidak ada restorasi, baik restorasi *direct* maupun *indirect*,

gigi utuh yang lengkap mahkota beserta akarnya, tanpa fraktur, gigi yang tidak mengalami kelainan pertumbuhan dan morfologi. Kriteria eksklusi diantaranya, gigi yang sudah termasuk ke dalam sampel penelitian akan tetapi rusak atau patah sebelum dilakukan uji pengukuran kadar kalsium.

Pembuatan ekstrak cangkang kerang hijau adalah sebagai berikut: cangkang kerang hijau dibersihkan dan dicuci menggunakan air suling. Cangkang hijau direbus dengan air mendidih pada suhu 100°C selama 1 jam, kemudian didinginkan hingga suhu ruang. Setelah dingin, cangkang kerang hijau dicuci dengan air suling dan dikeringkan dengan menggunakan oven selama 24 jam pada suhu 80°C. Setelah itu, cangkang kerang hijau kemudian dihancurkan dan dihaluskan hingga membentuk serbuk.

Serbuk ini kemudian dikalsinasi pada suhu 1000°C selama 5 jam untuk mengubah kalsium karbonat (CaCO_3) menjadi kalsium oksida (CaO). Kalsium oksida yang terbentuk disuspensikan dalam 100 ml aquadest dengan konsentrasi Ca sebesar 0,5 M. Mencampur suspensi CaO dengan 100 ml *diammonium phosphate* ($(\text{NH}_4)_2\text{HPO}_4$) 0,3 M pada suhu 40°C setetes demi setetes sambil diaduk dengan *magnetic stirrer*, kemudian didiamkan selama 24 jam pada suhu ruang. Menyaring presipitat yang diperoleh dengan *vacuum* dan menggunakan kertas filter Whatman No. 42, kemudian bahan yang terbentuk dikeringkan pada suhu 110°C selama 5 jam. Dilakukan sintering terhadap presipitat kering untuk memperoleh senyawa kalsium hidroksiapatit.¹⁷

Pembuatan saliva buatan menggunakan metode Afnor, beberapa komponen garam dilarutkan dalam air dengan konsentrasi spesifik per literanya. Formulasi ini terdiri dari Na_2HPO_4 sebanyak 0,26 gram, KSCN 0,33 gram, dan NaCl dengan konsentrasi tertinggi yaitu 6,0 gram. Komponen lainnya meliputi KH_2PO_4 sebanyak 0,20 gram, KCl 1,20 gram, dan NaHCO_3 1,50 gram. Untuk mencapai kondisi yang mirip dengan saliva alami, pH larutan diseimbangkan menggunakan HCl hingga mencapai pH 6,8 yang optimal.¹⁸

Pembuatan basis *mousse* terdiri dari beberapa komponen utama, yaitu dengan cara mencampur *glycerin* 50 gr dan *propylene glycol* 50 gr sebagai humektan, *stearic acid* 30 gr sebagai pengemulsi, *cetyl alcohol* 10 gr sebagai pengental, *emulsifying wax* sebanyak 20 gr yang berfungsi untuk menstabilkan emulsi, *Sodium Lauryl Sulfate* (SLS) sebanyak 10 gr yang berfungsi sebagai surfaktan, dan *sodium benzoate* sebanyak 2 gr sebagai pengawet untuk mencegah pertumbuhan mikroorganisme, untuk memberikan sensasi menyenangkan, ditambahkan minyak esensial *peppermint* sebanyak 5 gr, semuanya dilarutkan dalam air deionisasi sebanyak 600 gr dan dihomogenkan hingga terbentuk massa *mousse*.

Pembuatan *mousse* ekstrak cangkang kerang hijau konsentrasi 20% dengan cara mencampurkan 20 gram serbuk cangkang kerang hijau dengan 80 gram basis *mousse*. Gigi desidui yang digunakan merupakan gigi desidui yang telah tanggal, yang terdiri dari gigi insisivus sentral dan lateral, rahang atas maupun bawah. Gigi yang memenuhi kriteria inklusi kemudian ditanam ke dalam *mini pan* berukuran 12 mm X 12 mm X 6 mm bersama dengan akrilik *self-cure*. Dilakukan pengamplasan (No. 1000 dan 1500) pada permukaan gigi untuk menghilangkan permukaan terluar enamel. Gigi diberikan tanda area perlakuan sebesar 2 x 2 mm, setelahnya akrilik *self cure* dan area gigi yang tidak mendapat perlakuan dilapisi dengan cat kuku.

Semua kelompok gigi yaitu kelompok kontrol negatif sejumlah 4 gigi, kelompok kontrol positif (CPP-ACP) 4 gigi, kelompok basis *mousse* 4 gigi, kelompok *mousse* ekstrak cangkang kerang hijau 4 gigi dilakukan demineralisasi menggunakan asam fosfat 37% selama 30 detik terlebih dahulu sebelum mendapat perlakuan. Kelompok basis *mousse* dan *mousse* ekstrak cangkang kerang hijau diberi perlakuan dengan mengoleskan *mousse* ke permukaan labial gigi secara merata, lalu di diamkan selama lima menit dan setelahnya dimasukkan cawan petri yang telah diberikan saliva tiruan secukupnya hingga gigi terendam sepenuhnya. Perlakuan yang sama juga dilakukan pada kelompok kontrol positif (CPP-ACP). Kelompok kontrol negatif tidak diberikan apapun dan langsung direndam di cawan petri dan saliva tiruan. Semua sampel dimasukkan ke dalam inkubator bersuhu

37°C, lalu diambil sesuai dengan waktu retensinya yaitu 30 menit setelah pemaparan bahan remineralisasi. Tingkat remineralisasi gigi pada penelitian ini dilihat dari kadar kalsium pada permukaan enamel gigi desidui setelah diberi perlakuan.

Gigi dikeluarkan dari inkubator kemudian di bilas dengan air suling dan dikeringkan. Gigi yang sudah dibilas dan dikeringkan kemudian dilakukan penggosokan secara mendatar menggunakan *flexible diamond disc dental* secara melintang dari arah mesial-distal dengan ketebalan 2 mm untuk mendapatkan lapisan enamel gigi. Lapisan enamel gigi diukur kadar kalsiumnya menggunakan SSA. Data yang akan didapat berupa persentase kadar kalsium. Data tersebut kemudian akan diolah secara statistik. Uji hipotesis pada penelitian ini dilakukan menggunakan uji *One way ANOVA* karena data merupakan data parametrik dan dilanjutkan dengan Uji *Post Hoc LSD* untuk melihat kelompok yang paling berpengaruh secara signifikan.

HASIL

Hasil pengukuran kadar kalsium permukaan enamel gigi desidui untuk setiap kelompok disajikan dalam Tabel 1 berikut ini.

Tabel 1. Rerata dan standar deviasi kadar kalsium enamel gigi desidui pada berbagai kelompok perlakuan

Kelompok	n	Kadar Ca (ppm)
		Mean $\pm$ SD
K(-)	4	22,17 $\pm$ 0,36
K(+)	4	27,89 $\pm$ 1,78
Basis <i>Mousses</i>	4	22,53 $\pm$ 1,05
<i>Mousses</i> kerang hijau	4	28,97 $\pm$ 1,75

Keterangan : K (-) : Kelompok kontrol negatif (tanpa perlakuan); K (+) : Kelompok kontrol positif (aplikasi CPP-ACP); BM : Basis *mousse* (tanpa ekstrak cangkang kerang hijau); MKH : *Mousse* kerang hijau (ekstrak cangkang kerang hijau dengan jenis sediaan bahan *mousse*)

Hasil pengukuran kadar kalsium pada Tabel 1 menunjukkan kelompok kontrol negatif memiliki kadar kalsium terendah dengan nilai 22,7 $\pm$ 0,36%. Kelompok basis *mousse* menunjukkan sedikit peningkatan dibandingkan kontrol negatif dengan nilai 22,53 $\pm$ 1,05%. Kelompok kontrol positif (CPP-ACP) memperlihatkan peningkatan kadar kalsium yang lebih tinggi dengan nilai 27,89 $\pm$ 1,78%. Kelompok *mousse* kerang hijau menunjukkan kadar kalsium tertinggi dengan nilai 28,97 $\pm$ 1,75%. Rerata kadar kalsium terendah terdapat pada kelompok kontrol negatif, diikuti basis *mousse*, kontrol positif, dan tertinggi pada kelompok *mousse* kerang hijau.

Hasil uji normalitas dan homogenitas yang dianalisis menggunakan aplikasi IBM SPSS v.26 disajikan pada Tabel 2.

Tabel 2. Hasil uji normalitas dan homogenitas kadar kalsium gigi desidui pada berbagai kelompok perlakuan dengan lama waktu retensi 30 menit

	Nilai p uji	
	Shapiro Wilk	Levene test
K(-)	0,283	0,390
K(+)	0,965	
Basis <i>Mousses</i>	0,321	
<i>Mousses</i> kerang hijau	0,617	

Keterangan : K (-) : Kelompok kontrol negatif (tanpa perlakuan); K (+) : Kelompok kontrol positif (aplikasi CPP-ACP); BM : Basis *mousse* (tanpa ekstrak cangkang kerang hijau); MKH : *Mousse* kerang hijau (ekstrak cangkang kerang hijau dengan jenis sediaan bahan *mousse*)

Tabel 3 menunjukkan hasil uji normalitas data kadar kalsium pada tiap kelompok yaitu kontrol negatif (p=0,283), kontrol positif (p=0,965), basis *mousse* (p=0,321), dan *mousse*

kerang hijau ($p=0,617$) diperoleh nilai p uji $>0,05$ yang menandakan data kadar kalsium permukaan gigi desidui pada empat kelompok pengamatan berdistribusi normal. Uji homogenitas varian dengan *Levene's Test* diperoleh $p=0,390$ artinya tidak ada perbedaan bermakna varian kadar kalsium dari keempat kelompok tersebut atau dapat dikatakan varian homogen.

Data kadar kalsium permukaan gigi desidui pada empat kelompok pengamatan dianalisis dengan *One Way ANOVA*. Hasil uji *One Way ANOVA* disajikan pada Tabel 3.

Tabel 3. Hasil Uji ANOVA kadar kalsium gigi desidui pada berbagai kelompok perlakuan

Sumber Variasi	Jumlah Kuadrat	df	Rerata Kuadrat	F hitung	p
Antar kelompok	150,747	3	50,249	26,983	0,0001*
Dalam kelompok	22,347	12	1,862		
Total	173,094	15			

Keterangan: F : nilai perbandingan rerata kuadrat antar kelompok dengan rerata kuadrat dalam kelompok; p : probabilitas; (*) : signifikan

Hasil analisis menggunakan *One Way ANOVA* pada Tabel 3 menunjukkan terdapat perbedaan kadar kalsium yang bermakna antar kelompok perlakuan (kontrol negatif, kontrol positif, basis *mousse*, dan *mousse* kerang hijau) dengan nilai $p=0,0001$ ($p<0,05$). Uji *Post Hoc LSD* selanjutnya dilakukan untuk mengetahui perbedaan antar masing-masing kelompok.

Tabel 4. Hasil Uji LSD kadar kalsium permukaan gigi desidui pada berbagai kelompok perlakuan dengan lama waktu retensi 30 menit

	K(-)	K(+)	Basis <i>Mousses</i>	<i>Mousses</i> kerang hijau
K(-)	-			
K(+)	0,001*	-		
Basis <i>Mousses</i>	0,715	0,001*	-	
<i>Mousses</i> kerang hijau	0,001*	0,288	0,001*	-

Keterangan : K (-) : Kelompok kontrol negatif (tanpa perlakuan); K (+) : Kelompok kontrol positif (aplikasi CPP-ACP); BM : Basis *mousse* (tanpa ekstrak cangkang kerang hijau); MKH : *Mousse* kerang hijau (ekstrak cangkang kerang hijau dengan jenis sediaan bahan *mousse*); (*) : data signifikan

Dari uji *Post Hoc LSD* Tabel 4 menunjukkan perbedaan bermakna kadar kalsium antar kelompok. Terdapat perbedaan yang signifikan ($p<0,05$) antara kelompok kontrol negatif dengan kelompok kontrol positif ($p=0,001$) dan kelompok *mousse* kerang hijau ($p=0,001$), namun tidak berbeda bermakna dengan kelompok basis *mousse* ($p=0,715$). Kelompok kontrol positif menunjukkan perbedaan bermakna dengan kelompok basis *mousse* ($p=0,001$) namun tidak berbeda bermakna dengan kelompok *mousse* kerang hijau ($p=0,288$). Hasil ini mengindikasikan bahwa kelompok kontrol positif dan *mousse* kerang hijau memiliki efektivitas yang lebih tinggi dalam meningkatkan kadar kalsium enamel gigi desidui dibandingkan dengan kelompok kontrol negatif dan basis *mousse*, dimana secara klinis *mousse* kerang hijau menunjukkan rerata kadar kalsium yang lebih tinggi dibandingkan kontrol positif meskipun perbedaan tersebut tidak signifikan secara statistik.

PEMBAHASAN

Enamel gigi desidui memiliki struktur yang unik dan berbeda dengan gigi permanen. Enamel pada gigi desidui lebih tipis, berpori, dan sangat rentan terhadap demineralisasi. Karakteristik ini membuat gigi anak-anak lebih mudah mengalami kerusakan akibat paparan asam.⁷ Demineralisasi dan remineralisasi merupakan proses yang saling berkaitan dalam pembentukan kavitas sehingga penggunaan biomaterial yang mampu menekan demineralisasi menjadi suatu kebutuhan.^{19,20} Keunggulan ekstrak cangkang kerang hijau adalah kandungan kalsium karbonatnya yang tinggi.²¹ Kandungan dan fungsi serupa juga

ditemukan dalam agen remineralisasi komersil *Casein Phosphopeptide Amorphous Calcium Phosphat* (CPP-ACP), menjadikan *mousse* ekstrak cangkang kerang hijau berpotensi sebagai pilihan agen remineralisasi alternatif yang bersifat lebih ekonomis. Oleh karena itu, pengembangan metode pencegahan kerusakan gigi menjadi fokus penting dalam kedokteran gigi anak.

Cangkang kerang hijau (*Perna viridis*) memiliki potensi yang lebih unggul dibandingkan dengan cangkang laut lainnya dalam konteks penggunaan sebagai biomaterial. Penelitian oleh Ismail, dkk menyoroti kelebihan cangkang kerang hijau, yang melibatkan proses kalsinasi dan presipitasi dalam menghasilkan karbonat tanpa adanya impuritas.²² Ukuran kristalit yang lebih besar dari kalsium karbonat juga menunjukkan potensi lebih besar untuk diaplikasikan sebagai biomaterial. Dengan kandungan air 0%, cangkang kerang hijau juga menunjukkan ketahanan terhadap kontaminasi mikroba, menjadikannya bahan baku yang baik untuk formulasi produk dengan risiko pencemaran yang rendah dibandingkan dengan limbah maritim lain seperti cangkang tiram, cangkang nylon, dan cangkang capiz. Selain itu, cangkang kerang hijau menawarkan sifat non-toksik, biokompabilitas yang baik, biaya yang rendah, dan kemudahan produksi dalam skala besar.²³

Salah satu metode untuk mengetahui tingkat remineralisasi permukaan gigi adalah dengan mengukur kadar kalsium pada permukaan enamel.²⁴ Hasil penelitian yang tercantum pada Tabel 5 menunjukkan bahwa kelompok *mousse* ekstrak kerang hijau memiliki rerata kadar kalsium tertinggi sebesar $28,97 \pm 1,75\%$. Perbedaan signifikan terlihat antara kelompok kontrol negatif ($22,17 \pm 0,36\%$) dan basis *mousse* ($22,53 \pm 1,05\%$) dibandingkan dengan kelompok kontrol positif CPP-ACP ($27,89 \pm 1,78\%$) dan *mousse* kerang hijau. Analisis statistik menggunakan *One Way ANOVA* mengkonfirmasi perbedaan bermakna kadar kalsium antar kelompok ($p=0,0001$). Dengan demikian, jenis sediaan dan kandungan bahan aktif menentukan efektivitas remineralisasi.

Rendahnya rerata kadar kalsium pada kelompok kontrol negatif ($22,17 \pm 0,36\%$) dibandingkan kelompok lainnya disebabkan karena pada kelompok kontrol negatif tidak diberikan perlakuan apapun setelah proses demineralisasi. Tanpa adanya intervensi untuk meningkatkan kadar kalsium, proses remineralisasi alami pada enamel gigi desidui tidak dapat berjalan optimal dalam waktu pengamatan 30 menit.²⁵ Pada kondisi normal, saliva dengan kadar pH buffer dan kandungan saturasi ion kalsium dan fosfat yang cukup secara fisiologis mampu menginisiasi *terjadinya net salivary remineralization*.²⁵ Proses ini berjalan lambat dan membutuhkan waktu setidaknya 10 hari, sehingga merupakan keterbatasan penelitian ini dikarenakan tidak dapat mengamati peningkatan kadar kalsium yang signifikan pada permukaan enamel kelompok kontrol negatif yang direndam dalam saliva buatan.²⁶ Hasil uji Post-Hoc LSD yang tercantum pada Tabel 5 menunjukkan terdapat perbedaan signifikan kadar kalsium antara kelompok kontrol negatif dengan kelompok kontrol positif CPP-ACP ($p=0,001$). Hal ini berkaitan dengan mekanisme CPP-ACP sebagai agen remineralisasi yang mampu meningkatkan kadar kalsium pada permukaan enamel secara lebih efektif.²⁷ CPP-ACP meningkatkan jumlah situs pengikatan kalsium, yang berdampak pada penurunan konstanta difusi kalsium. Dengan demikian, penurunan laju difusi kalsium ini memperlambat kehilangan kalsium selama serangan kariogenik, memungkinkan kalsium lebih lama berada di plak dan di area enamel yang rentan.²⁸

Ekstrak cangkang kerang hijau kaya akan kandungan kalsium dalam bentuk aragonit yang memiliki bioavailabilitas yang baik. Hal ini memungkinkan pelepasan ion kalsium yang lebih efektif ke permukaan enamel gigi. pH larutan ekstrak cangkang kerang hijau yang tinggi juga berkontribusi pada peningkatan aktivitas ion fosfat dan hidroksil, menciptakan lingkungan mikro yang kondusif untuk proses remineralisasi.²⁹ Mekanisme peningkatan kalsium pada enamel terjadi melalui proses remineralisasi. Ion kalsium dari ekstrak kerang hijau berikatan dengan gugus karboksil hidroksiapatit enamel. Proses ini membentuk ikatan jenuh yang mencegah terlarutnya kristal hidroksiapatit. Datta dkk. menjelaskan transformasi limbah cangkang kerang menjadi bahan remineralisasi.³⁰ Bonsor dkk.

mendukung pentingnya pengiriman ion kalsium dan fosfat.³¹ Mekanisme ini berpotensi memperlambat demineralisasi dan menurunkan erosi gigi. Mount dkk. menjelaskan bahwa kandungan kalsium yang tinggi (95%) dalam ekstrak cangkang kerang hijau berperan penting dalam menyediakan ion kalsium yang diperlukan untuk proses remineralisasi. pH larutan ekstrak cangkang kerang hijau yang tinggi (11,8) juga berkontribusi pada peningkatan aktivitas ion anion seperti fosfat dan ion hidroksil dalam larutan.³²

Ekstraksi cangkang kerang hijau (*Perna viridis*) menjadi bahan mousse CPP-ACP melibatkan serangkaian proses kimia yang kompleks, di mana kalsium karbonat (CaCO_3) dari cangkang diproses untuk menghasilkan ion kalsium (Ca^{2+}) yang berkualitas tinggi. Ion Ca^{2+} ini kemudian berpotensi berikatan dengan berbagai prekursor dalam sediaan *mousse*, seperti polimer atau bahan pengikat, yang penting untuk menentukan stabilitas dan tekstur akhir *mousse*.¹² Ikatan ini dapat memberikan efek positif, seperti memperkuat struktur *mousse* dan meningkatkan kestabilan sediaan dengan mengurangi perubahan fisik, namun jika ikatan antara ion Ca^{2+} dari ekstrak kerang hijau dan bahan *mousse* terlalu kuat atau tidak seimbang, bisa terjadi efek negatif, seperti peningkatan viskositas yang berlebihan atau heterogenitas dalam campuran, yang berpotensi mengurangi daya tarik fisik, tekstur, atau rasa.³³

Konsistensi *mousse* memainkan peranan penting dalam mengoptimalkan proses remineralisasi, dengan mempertimbangkan kompleksitas interaksi molekuler antara bahan aktif dan struktur gigi. Ionescu *et al.* menjelaskan bahwa desain formulasi *mousse* yang tepat dapat menciptakan lingkungan mikro yang kondusif untuk pengiriman ion kalsium secara maksimal.³⁴ Formulasi ini memungkinkan penetrasi yang lebih dalam dan distribusi bahan aktif yang lebih merata pada permukaan enamel. Keunggulan *mousse* tidak hanya terletak pada penetrasinya yang lebih efektif, tetapi juga pada kapasitasnya dalam menciptakan lingkungan netral yang mendukung regenerasi struktur gigi.⁶ Dengan konsistensi yang lebih ringan dan hidrofilik, *mousse* memiliki kemampuan penetrasi yang lebih baik dibandingkan gel ke dalam enamel halus dan berlapis, serta mendistribusikan bahan aktif secara lebih optimal.^{34,35}

Penelitian ini memberikan wawasan baru dalam remineralisasi gigi desidui dalam hal penggunaan bahan alami. Formulasi *mousse* menunjukkan keunggulan teknis dalam meningkatkan kadar kalsium enamel gigi desidui, dimana secara klinis *mousse* kerang hijau menunjukkan rerata kadar kalsium yang lebih tinggi ($28.97 \pm 1.75\%$) dibandingkan kontrol positif CPP-ACP ($27.89 \pm 1.78\%$) meskipun perbedaan tersebut tidak signifikan secara statistik. Dengan demikian, penelitian ini membuka peluang inovasi dalam kedokteran gigi anak menggunakan bahan alami yang ramah lingkungan.

Penelitian ini memiliki beberapa keterbatasan. Pertama, desain penelitian bersifat eksperimental semu dengan jumlah sampel yang relatif terbatas, sehingga hasil penelitian belum dapat digeneralisasikan secara luas. Kedua, waktu retensi aplikasi bahan remineralisasi dibatasi selama 30 menit, sehingga belum mencerminkan proses remineralisasi jangka panjang yang terjadi secara fisiologis pada rongga mulut. Ketiga, penelitian dilakukan secara *in vitro* menggunakan saliva buatan, yang belum sepenuhnya merepresentasikan kondisi klinis rongga mulut yang dinamis, seperti fluktuasi pH, aliran saliva alami, dan keberadaan biofilm. Keempat, parameter evaluasi penelitian ini terbatas pada kadar kalsium enamel, sehingga belum mencerminkan aspek lain dari kualitas remineralisasi, seperti perubahan struktur mikro. Penelitian lanjutan dengan desain *in vivo*, jumlah sampel yang lebih besar, waktu observasi yang lebih panjang, serta parameter evaluasi yang lebih komprehensif diperlukan untuk memperkuat penelitian.

SIMPULAN

Pemberian aplikasi *mousse* ekstrak cangkang kerang hijau konsentrasi 20% dapat meningkatkan kadar kalsium email gigi sulung. Implikasi penelitian ini memberikan

wawasan baru dalam remineralisasi gigi sulung dalam hal penggunaan bahan alami. Formulasi *mousse* menunjukkan keunggulan teknis dalam meningkatkan kadar kalsium enamel gigi desidui, dimana secara klinis *mousse* kerang hijau menunjukkan rerata kadar kalsium yang lebih tinggi dibandingkan kontrol positif CPP-ACP.

Kontribusi Penulis: Kontribusi peneliti "Konseptualisasi, S.R.H.W., P.K.W.M dan I.B.; metodologi, S.R.H.W., P.K.W.M; perangkat lunak, I.B.; validasi, S.R.H.W., P.K.W.M. and I.B.; analisis formal, S.R.H.W., P.K.W.M; investigasi, I.B.; sumber daya, S.R.H.W., P.K.W.M.; kurasi data, I.B.; penulisan penyusunan draft awal, S.R.H.W.; penulisan tinjauan dan penyuntingan, P.K.W.M.; visualisasi, I.B.; supervisi, S.R.H.W.; administrasi proyek, P.K.W.M.; perolehan pendanaan, I.B. Semua penulis telah membaca dan menyetujui versi naskah yang diterbitkan."

Pendanaan: "Penelitian ini tidak menerima dana dari pihak luar"

Persetujuan Etik: Penelitian ini dilaksanakan sesuai dengan deklarasi Helsinki, dan telah disetujui oleh atau Komite Etik Penelitian (Komite Etik RSUD Dr. Moewardi dengan Nomor 2.469/X/HREC/2024.)."

Pernyataan Dewan Peninjau Kelembagaan: Penelitian ini dilaksanakan sesuai dengan deklarasi Helsinki, dan telah disetujui oleh Dewan Peninjau Kelembagaan (Komite Etik RSUD Dr. Moewardi dengan Nomor 2.469/X/HREC/2024.)."

Pernyataan Ketersediaan Data: Data tidak tersedia

Konflik Kepentingan: "Penulis menyatakan tidak ada konflik kepentingan".

DAFTAR PUSTAKA

- Adhikari BR, Shakya M, Bhatta N, Upadhyaya S, Mahanta SK. Dental Caries on Deciduous Molars among Children Visiting Dental Outpatient Department of a Tertiary Care Centre. *J Nepal Med Assoc* 2023;61(268):919-922. <https://doi.org/10.31729/jnma.8360>
- Masumo RM, Ndekero TS, Carneiro LC. Prevalence of dental caries in deciduous teeth and oral health related quality of life among preschool children aged 4-6 years in Kisarawe, Tanzania. *BMC Oral Health*. 2020;20(1). <https://doi.org/10.1186/s12903-020-1032-x>
- Angelova L, Bonev B, Hristov K. Dental Caries in Children as a Public Health Problem – Literature Review. *Proble of Dental Medicine*. 2023;49:39-44. <https://doi.org/10.3897/pdm.49.e34279>
- Zhang L, Liu Y, Chu R, Zhao Y, Liu B, Fan C, et al. Current Status and Family Factors Influencing Caries in the Deciduous Teeth of Children 3-6 Years of Age in Families Residing in Rural Heishanzui Township. *Oral Health Prev Dent*. 2024;22:145-150. <https://doi.org/10.3290/j.ohpd.b5245819>
- Panda S, Satyarup D, Nagarajappa R, Mohapatra U. Prevention of early childhood caries- a public health approach. *Annals of Dental Specialty*. 2022;10(2):86-89. <https://doi.org/10.51847/r8boPxSjOf>
- Kazeminia M, Abdi A, Shohaimi S, Jalali R, Vaisi-Raygani A, Salari N, et al. Dental caries in primary and permanent teeth in children's worldwide, 1995 to 2019: a systematic review and meta-analysis. *Head Face Med*. 2020;16(1):22. <https://doi.org/10.1186/s13005-020-00237-z>
- Kale S, Kakodkar P, Shetiya S, Abdulkader R. Prevalence of dental caries among children aged 5–15 years from 9 countries in the Eastern Mediterranean Region: A meta-analysis. *Eastern Mediterranean Health J*. 2020;26(6):726-735. <https://doi.org/10.26719/emhj.20.050>
- Roberts WE, Mangum JE, Schneider PM. Pathophysiology of Demineralization, Part II: Enamel White Spots, Cavitated Caries, and Bone Infection. *Curr Osteoporos Rep*. Springer. 2022;20(1):106-119. <https://doi.org/10.1007/s11914-022-00723-0>
- Liang J, Peng X, Zhou J, Zou J, Cheng L. Emerging applications of drug delivery systems in oral infectious diseases prevention and treatment. *Molecules*. 2020;25(3). <https://doi.org/10.3390/molecules25030516>
- Heshmat H, Ganjkar MH, Miri Y, Fard MJ. The effect of two remineralizing agents and natural saliva on bleached enamel hardness. *Dent Res J (Isfahan)*. 2016;13(1):52-57. <https://doi.org/10.4103/1735-3327.174713>
- Revankar VD, Saranyan R, Chakravarthy Y, Manivannan E, Rajmohan M. Remineralising potential of marine skeletal species-perna viridis powder extract on human teeth enamel: an in-vitro study. *J Clinical and Diagnostic Res*. 2021;15(2):10-13. <https://doi.org/10.7860/jcdr/2021/46096.14482>
- Dwiandhono I, Imam DNA, Mukaromah A. Applications of whey extract and cpp-acp in email surface towards enamel surface hardness after extracoronal bleaching. *J Kes Gi*. 2019;6(2):93-98. <https://doi.org/10.31983/jkg.v6i2.5481>
- Divyapriya GK, Yavagal PC, Veeresh DJ. Casein phosphopeptide-amorphous calcium phosphate in dentistry: An update. *Internat J Oral Health Sciences*. 2016;6(1):18-25. <https://doi.org/10.4103/2231-6027.186660>
- Saragih AS, Pamungkas A, Noviyanto A. Synthesis of Hydroxyapatite from Indonesian Green Mussels (*Perna viridis*) via Precipitation Methods. *Key Eng Mater*. 2020;833:199-203. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/KEM.833.199>
- Gutiérrez-Prieto SJ, Fonseca LF, Sequeda-Castañeda LG, Díaz KJ, Castañeda LY, Leyva-Rojas JA, et al. Elaboration and biocompatibility of an eggshell-derived hydroxyapatite material modified with Si/PLGA for Bone Regeneration in Dentistry. *Int J Dent*. 2019;(1). <https://doi.org/10.1155/2019/5949232>
- Chen L, Al-Bayatee S, Khurshid Z, Shavandi A, Brunton P, Ratnayake J. Hydroxyapatite in oral care products—A Review. *Materials*. 2021;14(17). <https://doi.org/10.3390/ma14174865>
- Sari M, Yusuf Y. Synthesis and characterization of hydroxyapatite based on green mussel shells (*perna viridis*) with the variation of stirring time using the precipitation method. In: *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. Vol 432. Institute of Physics Publishing; 2018. p. 1-9. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/432/1/012046>
- Langen EN. Pengaruh Saliva Buatan dan Belimbing Wuluh (*Averrhoa bilimbi* L.) Terhadap Kekerasan Resin Komposit Nano Hybrid.

- Pharmacon. 2017;6(1). <https://doi.org/10.35799/pha.6.2017.14999>
19. Kasuma N. Plak Gigi. Andalas University Press; 2016. h. 1-15.
 20. Nowak AJ, Christensen JR, Mabry TR, Townsend JA, Wells MH. Pediatric Dentistry: Infancy through Adolescence. Vol 10. Elsevier Philadelphia, PA, USA; 2019. p. 105-120.
 21. Xu J, Zhang G. Biogenic nanospheres of amorphous carbonated Ca-Mg phosphate within the periostracum of the green mussel *Perna viridis*. J Struct Biol. 2014;188(3):205-212. <https://doi.org/10.1016/j.jsb.2014.10.014>
 22. Imran E, Cooper PR, Ratnayake J, Ekambaram M, Mei ML. Potential Beneficial Effects of Hydroxyapatite Nanoparticles on Caries Lesions In Vitro—A Review of the Literature. Dent J (Basel). 2023;11(2):1-24. <https://doi.org/10.3390/dj11020040>
 23. Palma CE, Mamon SB, Rubin KD, et al. A comparative study in the calcium content of the shells of oyster (*Crassostea echinata*), green shell (*Perna viridis*), capiz shell (*Placuna placeta*), and nylon shell (*Callista erycina*) from Panay Island, Philippines. IJAPBR. 2017;2(4):21-27.
 24. Lara-Carrillo E, Lovera-Rojas N, Morales-Luckie RA, et al. The effects of remineralization via fluoride versus low-level laser IR810 and fluoride agents on the mineralization and microhardness of bovine dental enamel. Applied Sciences (Switzerland). 2018;8(1):1-8. <https://doi.org/10.3390/app8010078>
 25. Philip N. State of the Art Enamel Remineralization Systems: The Next Frontier in Caries Management. Caries Res. 2019;53(3):284-295. <https://doi.org/10.1159/000493031>
 26. Kurihara H, Kataumi T, Tanase K, Eda K, Ikeda H, Ogihara T, et al. Mineral transfer between enamel and artificial saliva. Dent Oral Craniofac Res. 2017;3(3). <https://doi.org/10.1159/000493031>
 27. Rachmawati D, Kurniawati C, Hakim L, Roeswahnjuni N. Efek remineralisasi casein phosphopeptide-amorphous calcium phosphate (cpp-acp) terhadap enamel gigi sulung. E-Prodenta J Dentis. 2019;3(2). <http://dx.doi.org/10.21776/ub.eprodenta.2019.003.02.5>
 28. Philip N. State of the Art Enamel Remineralization Systems: The Next Frontier in Caries Management. Caries Res. 2019;53(3):284-295. [https://doi.org/10.1016/S0003-9969\(00\)00017-0](https://doi.org/10.1016/S0003-9969(00)00017-0)
 29. Ismail R, Fitriyana DF, Santosa YI, Nugroho S, Hakim AJ, Al Mulqi MS, et al. The potential use of green mussel (*Perna Viridis*) shells for synthetic calcium carbonate polymorphs in biomaterials. J Cryst Growth. 2021;572:126282. <https://doi.org/10.1016/j.jcrysgro.2021.126282>
 30. Datta SD, Nirjona AS, Azam MdR, Shah MdS, Abdullah MdS. Evaluating the properties of mussel sea shell lightweight foam concrete: Emphasizing sustainability and waste reduction. In: AIP Conference Proceedings. Vol 3262. 2025:020007. <https://doi.org/10.1063/5.0247028>
 31. Featherstone JDB, Chaffee BW. The Evidence for Caries Management by Risk Assessment (CAMBRA®). Adv Dent Res. 2018 Feb;29(1):9-14. <https://doi.org/10.1177/0022034517736500>
 32. Mount GJ, Hume WR, Ngo HC, Wolff MS. Preservation and Restoration of Tooth Structure. John Wiley & Sons; 2016. p. 20-35.
 33. Wicaksono PS, Mulyono RMG, Muljani S. Sintesa Presipitat Kalsium Karbonat Dari Cangkang Kerang Hijau Menggunakan Asam Asetat. ChemPro. 2022;3(2):49-55. <https://doi.org/10.33005/chempro.v3i2.274>
 34. Ionescu AC, Degli Esposti L, Iafisco M, Brambilla E. Dental tissue remineralization by bioactive calcium phosphate nanoparticles formulations. Sci Rep. 2022;12(1):5994. <https://doi.org/10.1038/s41598-022-09787-5>
 35. Bossù M, Matassa R, Relucanti M, Iaculli F, Salucci A, Di Giorgio G, et al. Morpho-Chemical Observations of Human Deciduous Teeth Enamel in Response to Biomimetic Toothpastes Treatment. Materials. Materials (Basel). 2020 Apr 11;13(8):1803. <https://doi.org/10.3390/MA13081803>