

Perbedaan kekuatan transversal resin akrilik polimerisasi panas *high impact* dan konvensional dengan penambahan cangkang telur bebek dan kerang darah: studi eksperimental laboratoris

Naomi Sugianti
Simangunsong^{1*}
Syafirinani Syafrinani²

¹Program studi Prostodonsia, Fakultas Kedokteran Gigi Universitas Sumatera Utara, Indonesia

²Departemen Prostodonsia, Fakultas Kedokteran Gigi Universitas Sumatera Utara, Indonesia

*Korespondensi

Email |
nsimangunsong831@gmail.com

Submisi | 20 Oktober 2025

Revisi | 11 November 2025

Penerimaan | 30 Desember 2025

Publikasi Online | 31 Desember 2025

DOI: [10.24198/jkg.v37i3.62372](https://doi.org/10.24198/jkg.v37i3.62372)

p-ISSN [0854-6002](https://doi.org/10.24198/jkg.v37i3.62372)

e-ISSN [2549-6514](https://doi.org/10.24198/jkg.v37i3.62372)

Sitasi | Sugianti N, Syafrinani S. Perbedaan kekuatan transversal resin akrilik polimerisasi panas *high impact* dan konvensional dengan penambahan cangkang telur bebek dan kerang darah. J. Kedokt. Gigi Univ. Padjadjaran. 2025;37(3):380-390. DOI: [10.24198/jkg.v37i3.62372](https://doi.org/10.24198/jkg.v37i3.62372)



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: Resin akrilik polimerisasi panas konvensional sebagai bahan basis gigi tiruan memiliki kekurangan yaitu mudah fraktur pada kondisi klinis tertentu. Kekurangan tersebut diatasi dengan menggunakan bahan alternatif dengan sifat mekanis yang lebih baik, yaitu resin akrilik polimerisasi panas *high impact* atau dengan penambahan bahan penguat berupa cangkang telur bebek dan kerang darah. Tujuan penelitian untuk menganalisis perbedaan kekuatan transversal resin akrilik polimerisasi panas *high impact* dan konvensional dengan penambahan cangkang telur bebek dan kerang darah. **Metode:** Penelitian ini adalah penelitian eksperimental laboratoris. Penelitian dilakukan pada sampel resin akrilik polimerisasi panas *high impact* (kelompok A), resin akrilik polimerisasi panas konvensional tanpa penambahan (kelompok B), resin akrilik polimerisasi panas konvensional dengan penambahan kerang darah (kelompok D) yang dibuat dalam bentuk batang uji persegi panjang ukuran 65×10×2,5±0,5 mm sebanyak 24 sampel yang diuji dengan Universal Testing Machine untuk menganalisis nilai kekuatan transversal. Analisis data dilakukan dengan menggunakan uji Anova satu arah dan uji post hoc. **Hasil:** Nilai rerata kekuatan transversal kelompok A sebesar 72,62±1,190 MPa, kelompok B sebesar 69,96±1,363 MPa, kelompok C sebesar 70,54±2,602 MPa, dan kelompok D sebesar 79,80±1,888 MPa. Terdapat perbedaan rerata kekuatan transversal yang signifikan antara kelompok D dan kelompok A, kelompok D dan kelompok B, kelompok D dan kelompok C dengan nilai p=0,001, serta antara kelompok A dan kelompok B dengan nilai p=0,021 (p<0,05). **Simpulan:** Pemanfaatan cangkang telur bebek dan kerang darah sebagai bahan penguat resin akrilik polimerisasi panas menghasilkan peningkatan kekuatan transversal.

Kata kunci

resin akrilik polimerisasi panas *high impact*, resin akrilik polimerisasi panas konvensional, cangkang telur bebek, cangkang kerang darah, kekuatan transversal

Differences in transverse strength between high impact and conventional heat cured acrylic resin with the addition of duck eggshell and blood cockle shell: a laboratory experimental study

ABSTRACT

Introduction: Conventional heat cured acrylic resin used as a denture base material has the disadvantage of being prone to fracture under certain clinical conditions. These limitations can be addressed by using materials with improved mechanical properties, namely high impact heat cured acrylic resin, or by incorporating reinforcing materials such as duck eggshell and blood cockle shell. This study aimed to analyze the differences in transverse strength between high impact and conventional heat cured acrylic resin with the addition of duck eggshell and blood cockle shell. **Methods:** This study was a laboratory experimental study conducted on samples of high impact heat cured acrylic resin (group A), conventional heat cured acrylic resin without reinforcement (group B), conventional heat cured acrylic resin with the addition of duck eggshell (group C), and conventional heat cured acrylic resin with the addition of blood cockle shell (group D). The samples were fabricated as rectangular test bars measuring 65×10×2.5±0.5 mm, with a total of 24 samples, and were tested with Universal Testing Machine to determine the transverse strength. Data analysis was performed using one-way ANOVA and post hoc analysis. **Results:** The mean transverse strength of group A was 72.62±1.190 MPa, group B was 69.96±1.363 MPa, group C was 70.54±2.602 MPa, and group D was 79.80±1.888 MPa. There was a significant difference in mean transverse strength between group D and group A, group D and group B, group D and group C with a p value = 0.0001, as well as between group A and group B with a p value = 0.021 (p<0.05). **Conclusion:** The use of duck eggshell and blood cockle shell as reinforcing materials in heat cured acrylic resin can increase transverse strength.

Keywords

high impact heat cured acrylic resin, conventional heat cured acrylic resin, duck eggshell, blood cockle shell, transverse strength

PENDAHULUAN

Basis gigi tiruan merupakan bagian gigi tiruan yang bertumpu pada jaringan lunak rongga mulut dan menjadi tempat melekatnya anasir gigi tiruan.¹ Bahan basis gigi tiruan yang ideal harus memiliki biokompatibilitas, estetika yang baik, perlekatan yang baik pada anasir gigi tiruan, mudah diproduksi, mudah dibersihkan, radiopak, dan ekonomis.² Resin akrilik polimerisasi panas (RAPP) konvensional menjadi jenis resin yang paling banyak dipakai dalam pembuatan basis gigi tiruan karena memiliki beberapa kelebihan, seperti biokompatibel, mudah dimanipulasi dan dipreparasi, estetika yang baik, stabilitas warna yang baik, dan ekonomis.³ Selain RAPP konvensional, terdapat jenis lainnya yang telah dikembangkan sebagai bahan untuk pembuatan basis gigi tiruan, yaitu RAPP *high impact*.⁴

Penggunaan RAPP *high impact* sebagai basis gigi tiruan menghasilkan nilai kekuatan transversal yang lebih tinggi daripada basis gigi tiruan RAPP konvensional. Hal ini disebabkan oleh adanya penambahan kopolimer *butadiene-styrene rubber* ke dalam polimer RAPP *high impact*.⁵ Kekuatan transversal merupakan salah satu sifat mekanis resin akrilik yang perlu diperhatikan. Kekuatan transversal basis gigi tiruan menggambarkan kemampuan basis gigi tiruan untuk menerima gaya transversal yaitu kombinasi gaya tarik dan geser dengan beban yang meningkat secara teratur dan terus menerus selama pengunyahan.^{4,6}

American Dental Association (ADA) menetapkan standar kekuatan transversal minimal pada RAPP berdasarkan spesifikasi ADA No. 12 sebesar 65 MPa.^{4,6} Walaupun nilai kekuatan transversal RAPP *high impact* lebih tinggi, RAPP konvensional telah memenuhi standar kekuatan transversal minimal yang ditetapkan.⁵ Akan tetapi, penggunaan RAPP konvensional sebagai basis gigi tiruan memiliki kekurangan, yaitu mudah fraktur pada bagian *midline* gigi tiruan yang disebabkan oleh kondisi klinis tertentu, seperti kekuatan kunyah yang tinggi dan torus besar yang dapat memberikan beban yang berlebih pada basis. Selain itu, jatuhnya gigi tiruan secara tidak sengaja ke permukaan keras menjadi penyebab umum terjadinya fraktur atau patah pada basis gigi tiruan.⁷ Salah satu upaya untuk mengatasi kekurangan tersebut adalah dengan meningkatkan kekuatan transversal dari sifat mekanis RAPP.^{6,8}

Terdapat tiga cara untuk meningkatkan nilai kekuatan transversal resin akrilik, yaitu mengganti resin akrilik dengan bahan alternatif dengan sifat mekanis yang lebih baik, modifikasi kimia melalui penggabungan bahan *crosslinking*, dan menambahkan bahan penguat pada resin akrilik.^{4,8} Bahan penguat resin akrilik terdiri dari serat, logam, dan kimia. Menurut penelitian yang dilakukan oleh Jaikumar RA dkk. basis gigi tiruan RAPP konvensional yang ditambahkan serat kaca sebagai bahan penguat memiliki kekuatan transversal yang lebih tinggi (144,45 MPa) dibandingkan dengan RAPP *high impact* Trevalon HI (121,50 MPa) dan resin konvensional India (101,18 MPa).⁹ Namun, proses pembuatan serat kaca cukup rumit dan tidak ramah lingkungan, sedangkan polimer yang diperkuat serat alami dapat mengalami *water aging* yang menyebabkan penurunan sifat mekanis akibat penyerapan air.¹⁰ Logam jarang digunakan sebagai bahan penguat basis gigi tiruan resin akrilik karena kurang estetik dan harga yang relatif mahal.^{2,11} Bahan penguat lainnya, yaitu bahan kimia dapat meningkatkan kekuatan matriks, memberikan translusensi yang lebih tinggi, lebih mudah dipoles, dan tingkat *initial wear* yang lebih rendah dibandingkan RAPP konvensional yang ditambahkan bahan penguat lainnya.¹² Bahan penguat kimia dapat diperoleh dari alam atau melalui proses sintesis. Kimia alami banyak diminati karena ramah lingkungan, lebih murah dari kimia sintesis, dan produksi yang mudah karena berasal dari sumber daya alam. Salah satu bahan penguat kimia alami, yaitu kalsium karbonat.^{13,14}

Saat ini, inovasi penambahan bahan penguat alami yang mudah ditemukan dan ekonomis pada basis gigi tiruan resin akrilik untuk mendapatkan sifat mekanis yang lebih baik sedang dikembangkan. Salah satunya adalah dengan memanfaatkan cangkang telur

bebek dan kerang darah yang memiliki komposisi CaCO_3 yang tergolong tinggi. Cangkang telur bebek mengandung kalsium karbonat sekitar 96,48%, lebih tinggi dari cangkang telur ayam, yaitu sebesar 90,90%.¹⁵ Cangkang telur bebek juga memiliki nilai kemurnian kalsium oksida (CaO) dari hasil kalsinasi yang lebih tinggi dari cangkang telur ayam dan telur puyuh.¹⁶ Sementara itu, cangkang kerang darah juga mengandung kalsium karbonat yang lebih tinggi (98,7%) dari cangkang kepiting (53,7-78,4%) dan kulit udang (45-50%).¹⁷ Kalsium karbonat pada cangkang telur bebek telah digunakan sebagai bahan poles dan bahan penguat resin akrilik dalam dunia kedokteran gigi.^{13,18} Selain itu, cangkang kerang darah telah digunakan untuk meningkatkan sifat fisis dan sifat mekanis RAPP konvensional, seperti kekasaran permukaan dan kekerasan.^{14,19}

Cangkang telur bebek dan kerang darah termasuk dalam sampah organik sisa makanan yang dominan (39,78%).²⁰ Limbah cangkang telur bebek dan kerang banyak dihasilkan karena telur bebek dan kerang banyak digunakan masyarakat Indonesia sebagai pemenuh kebutuhan pangan.²¹ Menurut data dari Direktorat Jenderal Peternakan dan Kesehatan Hewan tahun 2022, terdapat 313,800 ton telur bebek yang diproduksi pada tahun 2020. Hal ini menunjukkan bahwa sekitar 31,380 ton cangkang telur bebek dihasilkan pada tahun 2020 karena sekitar 10% bagian dari telur merupakan cangkangnya.²² Selain itu, berdasarkan data produksi perikanan di Sumatera Utara oleh Kementerian Kelautan dan Perikanan, terdapat 7,414,11 ton kerang yang dihasilkan pada tahun 2021.²¹ Cangkang kerang akan dibuang setelah diambil dagingnya sehingga hanya akan menjadi limbah.²³ Masyarakat belum banyak mengetahui bahwa cangkang kerang dan cangkang telur bebek mengandung mineral yang cukup tinggi sehingga selama ini cangkang kerang hanya dimanfaatkan sebagai bahan kerajinan, seperti materi hiasan dinding, sedangkan cangkang telur hanya dimanfaatkan pada pembuatan pasta gigi, kukis untuk cemilan anak-anak, dan sintesis mineral tulang.^{16,22,24,25} Akan tetapi, masih sedikit yang memanfaatkan kedua cangkang tersebut sehingga tetap menjadi limbah.²⁵

Limbah cangkang kerang yang dibuang sembarangan dan menumpuk dapat menyebabkan masalah lingkungan yang serius karena cangkang kerang membutuhkan waktu yang lama untuk terurai oleh tanah secara langsung.²⁶ Selain itu, limbah cangkang telur bebek yang juga tidak dimanfaatkan dengan baik akan berpotensi menyebabkan polusi lingkungan karena aktivitas mikroba.¹⁵ Hal ini terjadi karena umumnya masyarakat menilai bahwa cangkang telur bebek dan kerang darah hanya limbah yang sudah tidak terpakai sehingga pemanfaatan cangkang telur bebek dan kerang darah menjadi sorotan karena berkontribusi terhadap masalah lingkungan. Aplikasi cangkang telur bebek dan kerang darah untuk meningkatkan sifat mekanis basis gigi tiruan resin akrilik terus dikembangkan karena memiliki komposisi CaCO_3 yang tinggi, biokompatibel, mudah diperoleh, ekonomis, dan pemanfaatan bahan alami yang juga dapat mengurangi limbah padat pada lingkungan.^{13,19}

Penelitian oleh Imam DNA dkk. menunjukkan bahwa penambahan nano-hidroksiapatit cangkang kerang darah dapat meningkatkan kekerasan RAPP konvensional dengan kelompok penambahan 3% nano-hidroksiapatit menunjukkan nilai kekerasan yang paling tinggi, yaitu 27,7375 VHN, sedangkan kelompok tanpa penambahan nano-hidroksiapatit menunjukkan nilai kekerasan yang paling rendah, yaitu 22,6538 VHN.¹⁹ Penelitian oleh Syafrinani dkk. mengenai penambahan bubuk cangkang telur bebek 2,5% dan 5% berukuran mikropartikel sebagai bahan penguat basis gigi tiruan RAPP konvensional menunjukkan bahwa kelompok basis gigi tiruan RAPP konvensional setelah penambahan cangkang telur bebek 5% memiliki nilai kekuatan transversal yang paling tinggi, yaitu $86,14 \pm 4,09$ MPa.¹³ Sementara itu, penelitian oleh Putranti DT dkk. mengenai pengaruh penambahan nano hidroksiapatit cangkang kerang kepah dengan konsentrasi 2%, 5%, dan 8% pada basis gigi tiruan RAPP terhadap kekuatan transversal yang menunjukkan penambahan 5% memiliki nilai kekuatan transversal yang paling tinggi, yaitu $125,862 \pm 12,717$ MPa, sedangkan penambahan 8% memiliki nilai kekuatan transversal yang paling rendah, yaitu $98,064 \pm 4,922$ MPa.²³

Berdasarkan hasil penelusuran literatur, belum dijumpai aplikasi cangkang kerang darah untuk meningkatkan nilai kekuatan transversal bahan basis gigi tiruan RAPP konvensional dan membandingkan nilai kekuatan transversal RAPP konvensional dengan penambahan cangkang telur bebek dan cangkang kerang darah dengan nilai kekuatan transversal RAPP *high impact*. Kebaruan penelitian ini terletak pada penerapan cangkang kerang darah sebagai bahan aditif alami untuk meningkatkan kekuatan transversal bahan basis gigi tiruan RAPP konvensional, yang belum pernah dilaporkan sebelumnya, serta pada perbandingan kekuatan transversal antara RAPP dengan penambahan cangkang kerang darah, cangkang telur bebek, dan RAPP *high impact*.

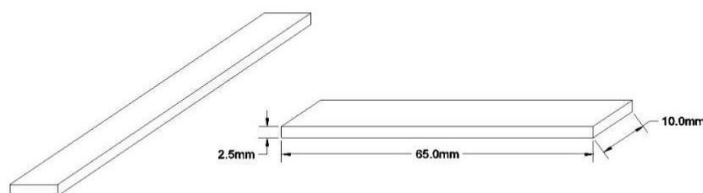
Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis perbedaan kekuatan transversal bahan basis gigi tiruan RAPP *high impact* dan RAPP konvensional dengan penambahan bubuk cangkang telur bebek dan cangkang kerang darah dengan konsentrasi 5%.

METODE

Penelitian ini merupakan penelitian eksperimental laboratoris dengan desain penelitian yang digunakan adalah *posttest only control group design*. Penelitian dilakukan pada bulan Oktober-Desember 2024 di Laboratorium Fitokimia Fakultas Farmasi USU dan Laboratorium Uji Sifat Mekanik Unit Pelayanan Terpadu (UPT) USU untuk pembuatan bubuk cangkang telur bebek dan cangkang kerang darah, Laboratorium Integrasi Fakultas Kedokteran Gigi USU, Laboratorium Multipurpose Fakultas Kedokteran Gigi USU, dan Ruang Penelitian Departemen Prostodonsia Fakultas Kedokteran Gigi USU untuk pembuatan sampel, Laboratorium Nanomedisin Fakultas Farmasi USU untuk menguji ukuran partikel cangkang telur bebek dan cangkang kerang darah, dan Laboratorium IFRC (*Impact and Fracture Research Center*) Magister Teknik Mesin USU untuk menguji kekuatan transversal sampel.

Sampel penelitian yang digunakan adalah resin akrilik polimerisasi panas yang dibuat dalam bentuk batang uji dari model induk logam kuningan berukuran $65 \times 10 \times 2,5 \pm 0,5$ mm sesuai spesifikasi ADA (American Dental Association) No. 12. Penelitian menggunakan 4 kelompok, yaitu kelompok resin akrilik polimerisasi panas *high impact* sebagai kontrol positif (kelompok A), kelompok resin akrilik polimerisasi panas konvensional tanpa penambahan bahan penguat sebagai kontrol negatif (kelompok B), kelompok resin akrilik polimerisasi panas konvensional dengan penambahan cangkang telur bebek 5% (kelompok C), dan kelompok resin akrilik polimerisasi panas konvensional dengan penambahan cangkang kerang darah 5% (kelompok D).

RAPP *high impact* berperan sebagai pembanding karena kekuatan transversal dan ketahanan fraktur yang secara konsisten lebih tinggi dibandingkan RAPP konvensional akibat modifikasi polimer dengan penambahan kopolimer *butadiene-styrene rubber*. Penambahan bubuk cangkang telur bebek dan cangkang kerang darah dengan konsentrasi 5% berukuran mikropartikel pada RAPP konvensional digunakan karena penelitian sebelumnya mengatakan bahwa nilai optimum kekuatan transversal di konsentrasi 5% dan semakin besar konsentrasi akan terjadi *brittle*.¹³ Berdasarkan perhitungan menggunakan rumus Federer, total sampel yang dibutuhkan untuk 4 kelompok adalah 24 sampel.



Gambar 1. Bentuk dan ukuran sampel

Langkah pertama dalam penelitian ini adalah pembuatan bubuk cangkang telur bebek dan bubuk cangkang kerang darah. Pembuatan bubuk cangkang telur bebek dilakukan dengan mencuci cangkang telur bebek yang telah terkumpul dengan air mengalir, kemudian dikeringkan di bawah sinar matahari, dan didesinfeksi dengan perendaman dalam larutan natrium hipoklorit selama enam jam.

Cangkang telur bebek selanjutnya dikeringkan menggunakan oven pada suhu 250°C selama 10 menit, kemudian dihancurkan hingga menjadi bubuk menggunakan blender. Bubuk cangkang telur bebek sebanyak 30 gr dihaluskan menggunakan *ball mill* dengan diameter bola penggiling 4 mm dan kecepatan putaran 1000 rpm selama satu jam. Bubuk cangkang telur bebek diayak menggunakan mesh 200 dan dilanjutkan dengan mesh 400 hingga didapatkan ukuran partikel cangkang telur bebek adalah 0,4 μm .¹³

Pembuatan bubuk cangkang kerang darah dilakukan dengan membersihkan cangkang kerang darah yang telah terkumpul menggunakan sikat kawat pada air mengalir, kemudian cangkang kerang darah direbus di dalam 500 ml larutan asam asetat 15% pada suhu 100°C selama satu jam. Cangkang kerang darah ditiriskan dan dikeringkan menggunakan oven pada suhu 100°C selama 20 menit, kemudian dihancurkan hingga menjadi bubuk menggunakan chopper. Bubuk cangkang kerang darah sebanyak 30 gr dihaluskan menggunakan *ball mill* dengan diameter bola penggiling 4 mm dan kecepatan putaran 1000 rpm selama satu jam. Bubuk cangkang kerang darah diayak menggunakan mesh 200 dan dilanjutkan dengan mesh 400 hingga didapatkan ukuran partikel cangkang kerang darah adalah 0,4 μm .^{13,14} Untuk memastikan ukuran partikel, bubuk cangkang telur bebek dan bubuk cangkang kerang darah diuji menggunakan *Particle Size Analyzer*.

Pembuatan *mold* dilakukan dengan mengoleskan vaselin pada area bagian dalam kuvet bawah, kemudian mencampur gips tipe III dengan rasio bubuk 300 gr gips:90 ml air. Adonan gips yang telah homogen dimasukkan ke dalam kuvet bawah sambil digetarkan di atas vibrator. Model induk yang telah diolesi vaselin dibenamkan setinggi permukaan gips. Setelah gips cukup mengeras, sisa gips yang berlebih dibersihkan, kemudian oleskan vaselin pada permukaan gips kuvet bawah dan pasang kuvet atas yang juga telah diolesi vaselin.

Adonan gips dituangkan pada kuvet atas yang berada di atas vibrator dengan rasio 200 gr gips:60 ml air. Kuvet bawah dan kuvet atas yang telah disatukan kemudian didiamkan selama 30 menit hingga gips mengeras. Setelah gips mengeras, kuvet atas dibuka dan model induk dikeluarkan. Kuvet disiram dengan air panas untuk membuang sisa vaselin hingga bersih. Setelah cetakan kering, permukaan kuvet bawah dan atas diolesi dengan *cold mould seal* dan dibiarkan selama 10 menit. Pengolesan dengan *cold mould seal* dilakukan hingga tiga kali pengolesan.¹³

Prosedur pembuatan sampel resin akrilik polimerisasi panas *high impact* dan konvensional tanpa penambahan adalah dengan mencampurkan polimer dan monomer dengan rasio 2 gr:1 ml untuk satu sampel. Prosedur pembuatan sampel resin akrilik polimerisasi panas konvensional dengan penambahan cangkang telur bebek dan kerang darah dilakukan dengan mencampur bubuk cangkang telur bebek 5% dan bubuk kerang darah 5% ke dalam polimer resin akrilik polimerisasi panas konvensional menggunakan *magnetic stirrer mug* dengan rasio 0,1 gr:1,9 gr pada masing-masing sampel sehingga perbandingan bubuk cangkang telur bebek atau bubuk cangkang kerang darah dengan polimer dan monomer adalah 0,1 g:1,9 g:1 ml.

Pengadukan dilakukan menggunakan spatula semen, kemudian pot silikon digetarkan dan ditutup menggunakan plastik selopan sampai fase *dough stage*. Setelah adonan mencapai *dough stage*, selanjutnya adonan dimasukkan ke dalam *mold*. Resin akrilik polimerisasi panas ditutup dengan plastik selopan dan kuvet atas dipasangkan, kuvet ditekan dengan pres hidrolik pada tekanan 1000 Psi dan selanjutnya kuvet dibuka, kemudian sisa akrilik yang berlebih dibuang menggunakan lekron.

Kuvet bagian atas ditutup kembali dan dilakukan pengepresan yang kedua pada

tekanan 2200 Psi, kemudian baut pada kuvet dipasang dan diamkan kuvet selama 15 menit. Kuvet kemudian dimasukkan ke dalam *waterbath* pada suhu 70°C selama 90 menit dan dilanjutkan dengan menaikkan suhu 100°C selama 30 menit. Kuvet dikeluarkan dari *waterbath* dan didinginkan selama 30 menit diikuti dengan perendaman dengan air keran yang mengalir selama 15 menit sebelum kuvet dibuka.

Sampel kemudian dikeluarkan dari kuvet dan dirapikan dengan bur fraser untuk menghilangkan bagian yang tajam. Permukaan sampel dihaluskan dengan menggunakan kertas pasir *waterproof* ukuran 800, 1000, 1200 yang dipasang pada *rotary grinder* selama 5 menit dengan kecepatan 500 rpm. Untuk mencegah terlepasnya sampel maka sampel diletakkan pada pemegang sampel yang terbuat dari resin akrilik swapolimerisasi. Pemolesan sampel dilakukan menggunakan *polishing cotton wool lowspeed wheel* dan *pumice* hingga mengkilat.¹³

Universal Testing Machine digunakan untuk menentukan nilai kekuatan transversal sampel dengan kecepatan sepersepuluh milimeter per detik. Setiap sampel diberi nomor pada kedua ujungnya, dan garis digambar di bagian tengah sampel untuk memastikan bahwa alat menekan sampel secara tepat pada garis tengah hingga patah. Nilai *load* yang diperoleh dari hasil pengujian akan ditampilkan pada monitor, dan nilainya akan direkam sesuai dengan kelompok pengujian.

Analisis data dengan uji univariat untuk menganalisis nilai rerata dan standar deviasi kekuatan transversal pada masing-masing kelompok, uji Anova satu arah untuk menganalisis perbedaan rerata kekuatan transversal pada RAPP *high impact* dan konvensional tanpa dan dengan penambahan cangkang telur bebek 5% dan cangkang kerang darah 5%, dan uji *post hoc LSD (Least Significant Different)* untuk menganalisis perbedaan rerata kekuatan transversal yang signifikan antar kelompok.

HASIL

Tabel 1 menunjukkan nilai rerata kekuatan transversal pada setiap kelompok. Kelompok perlakuan dengan penambahan cangkang kerang darah 5% (Kelompok D) menunjukkan nilai rerata kekuatan transversal tertinggi yaitu 79,80 dibandingkan dengan kelompok perlakuan lainnya. Namun, resin akrilik polimerisasi panas *high impact* sebagai kontrol positif (Kelompok A) menunjukkan nilai rerata kekuatan transversal yang lebih tinggi dibandingkan kelompok perlakuan dengan penambahan cangkang telur bebek 5% (Kelompok C) dan kelompok kontrol negatif (Kelompok B).

Tabel 1. Nilai kekuatan transversal resin akrilik polimerisasi panas *high impact* dan konvensional tanpa dan dengan penambahan cangkang telur bebek dan kerang darah

Nomor sampel	Kekuatan transversal (Mpa)			
	Kelompok A	Kelompok B	Kelompok C	Kelompok D
1	73,27	70,72	68,91	81,38
2	71,29*	68,06*	68,86	76,77*
3	72,32	68,51	75,37**	79,21
4	72,93	71,19**	69,98	78,80
5	71,47	71,17	68,59*	81,03
6	74,46**	70,09	71,50	81,61**
$\bar{x} \pm SD$	72,62 $\pm$ 1,190	69,96 $\pm$ 1,363	70,54 $\pm$ 2,602	79,80 $\pm$ 1,888

Keterangan: *Nilai terkecil; **Nilai terbesar

Berdasarkan Tabel 2, terdapat perbedaan kekuatan transversal resin akrilik polimerisasi panas *high impact* dengan konvensional tanpa dan dengan penambahan cangkang telur bebek 5% dan cangkang kerang darah 5% dengan nilai $p=0,001$ ($p<0,05$).

Tabel 2. Perbedaan rerata kekuatan transversal pada seluruh kelompok berdasarkan uji Anova satu arah

Kelompok	n	Nilai kekuatan transversal (MPa)	Nilai p
		$\bar{x} \pm SD$	
A	6	72,62 $\pm$ 1,190	0,0001*
B	6	69,96 $\pm$ 1,363	
C	6	70,54 $\pm$ 2,602	
D	6	79,80 $\pm$ 1,888	

Keterangan: * Signifikan ($p < 0,05$)

Berdasarkan Tabel 3, terdapat perbedaan rerata kekuatan transversal yang signifikan antara kelompok D dan kelompok A, kelompok D dan kelompok B, kelompok D dan kelompok C, serta antara kelompok A dan kelompok B, sedangkan antara kelompok C dan kelompok A dan kelompok C dan kelompok B terlihat tidak ada perbedaan rerata kekuatan transversal yang signifikan ($p > 0,05$).

Tabel 3. Perbedaan rerata kekuatan transversal yang signifikan antar kelompok berdasarkan uji *post hoc* LSD

Kelompok	A	B	C	D
A	-	0,021*	0,064	0,0001*
B	0,021*	-	0,593	0,0001*
C	0,064	0,593	-	0,0001*
D	0,001*	0,001*	0,001*	-

Keterangan: *Signifikan ($p < 0,05$)

PEMBAHASAN

Menurut data pada Tabel 1, nilai rerata kekuatan transversal pada seluruh kelompok sudah lebih tinggi daripada nilai standar yang ditetapkan oleh ADA, yaitu sebesar 65 MPa. Hal ini sejalan dengan beberapa penelitian sebelumnya yang mendapatkan peningkatan kekuatan transversal dari nilai standar dan sifat mekanis lainnya dengan penambahan cangkang telur bebek dan cangkang kerang darah.^{13,14,19} Akan tetapi, terdapat kekurangan dari penggunaan RAPP konvensional sebagai basis gigi tiruan, yaitu mudah mengalami fraktur, yang biasanya terjadi pada *midline* gigi tiruan. Fraktur *midline* gigi tiruan dapat terjadi di dalam mulut karena adanya perlekatan frenulum yang tinggi, palatum tinggi, sutura mid palatina yang menonjol, dan torus besar yang dapat memberikan beban yang berlebih pada basis.⁷ Bahan basis gigi tiruan dengan sifat mekanis yang lebih baik, RAPP *high impact*, telah dikembangkan untuk mengatasi kekurangan ini.⁴

Indikasi penggunaan bahan basis gigi tiruan RAPP *high impact* adalah pemakai gigi tiruan yang berisiko menjatuhkan gigi tiruannya berulang kali, seperti penderita parkinson dan demensia.²⁷ Selain itu, pemakai gigi tiruan dengan kekuatan kunyah yang tinggi dan kondisi klinis yang dapat memberikan beban yang berlebih pada basis juga lebih disarankan untuk memakai basis gigi tiruan RAPP *high impact*. Kekuatan yang dihasilkan selama mengunyah makanan rutin seperti wortel atau daging adalah sekitar 70-150 N. Kekuatan kunyah maksimum pada beberapa orang dapat mencapai hingga 500-700 N, sedangkan basis gigi tiruan RAPP konvensional hanya dapat menahan kekuatan kunyah hingga 400-600 N.²⁸

Terdapat variasi nilai kekuatan transversal sampel dalam tiap kelompok, seperti yang ditunjukkan pada Tabel 1. Hal ini sejalan dengan penelitian terdahulu yang dilakukan oleh Syafrinani bahwa terdapat perbedaan pengaruh penambahan cangkang telur bebek 2,5% dan 5% terhadap kekuatan transversal basis gigi tiruan RAPP.¹³ Penelitian oleh Imam DNA dkk. (2020) juga menunjukkan hasil kekerasan RAPP konvensional yang bervariasi pada penambahan nano-hidroksiapatit cangkang kerang darah 1% dan 3%.¹⁴ Perlakuan yang

sama pada setiap sampel dapat menghasilkan nilai kekuatan transversal yang bervariasi. Hal ini disebabkan oleh beberapa faktor yang tidak dapat dikendalikan saat pembuatan sampel, salah satunya yaitu pengadukan yang dilakukan secara manual sehingga kualitas sampel yang dihasilkan bervariasi.²⁹ Menurut Ferasima R dkk. (2013) kekuatan transversal bahan basis gigi tiruan RAPP dapat dipengaruhi oleh porositas internal, yang dapat disebabkan oleh terperangkapnya udara di dalam matriks RAPP saat pengadukan manual. Porositas internal menyebabkan sampel menjadi lebih mudah retak dan fraktur sehingga dapat menurunkan kekuatan transversal yang dihasilkan.³⁰

Upaya yang dilakukan untuk meminimalisir terjadinya porositas internal saat pengadukan manual adalah dengan menggetarkan pot silikon setelah pengadukan dan menutup pot silikon menggunakan plastik selop sampai fase *dough stage*. Akan tetapi, pengadukan menggunakan *vacuum mixer* tetap diperlukan untuk memaksimalkan kualitas sampel yang dihasilkan. Vojvodic D dkk. (2008) menyarankan penggunaan alat *vacuum mixer* untuk mengaduk RAPP agar tidak ada udara yang terperangkap dalam matriks polimer.³¹ Kecepatan dan waktu pengadukan yang dilakukan pada teknik pengadukan manual juga tidak dapat dikendalikan dengan sempurna sehingga dapat menghasilkan nilai kekuatan transversal yang bervariasi.³²

Adapun penyebab bervariasinya nilai kekuatan transversal yang lain adalah adanya kandungan monomer sisa yang bersifat hidrofilik sehingga dapat memengaruhi nilai penyerapan air dan menyebabkan terjadinya penurunan kekuatan transversal pada basis gigi tiruan resin akrilik yang dihasilkan.¹⁸ Selain itu, terbuangnya bahan RAPP yang berlebih pada saat pengepresan kemungkinan menyebabkan konsentrasi bahan penguat di dalam matriks RAPP pada setiap sampel kurang tersebar merata sehingga kekuatan transversal pada tiap sampel dapat berbeda. Hal ini didukung oleh Alla R dkk. yang menyatakan bahwa teknik *compression moulding* dapat menyebabkan distribusi bahan penguat di dalam setiap sampel tidak homogen akibat terbuangnya bahan RAPP yang berlebih dari *mold* saat pengepresan.³³

Penelitian ini menunjukkan adanya perbedaan rerata kekuatan transversal yang signifikan antara RAPP *high impact* dan RAPP konvensional tanpa penambahan bahan penguat (Tabel 3). Nilai rerata kekuatan transversal RAPP *high impact* lebih tinggi dibandingkan dengan RAPP konvensional tanpa penambahan bahan penguat (Tabel 1). Hasil ini sejalan dengan penelitian Ajaj-Alkordy NM dkk. (2014) yang menunjukkan kekuatan transversal RAPP *high impact* (Lucitone 199) lebih tinggi dibandingkan dengan resin akrilik konvensional (Rodex).⁵ Hal ini dikarenakan kopolimer *butadiene-styrene rubber* pada polimer RAPP *high impact* memiliki efek menghambat retak sehingga terjadi peningkatan kekuatan transversal.

Penambahan kopolimer *rubber* menyebabkan partikel *rubber* terikat secara kovalen pada matriks akrilik terpolimerisasi dan menghasilkan pembentukan jaringan semi-interpenetrasi antara polimetil metakrilat dan *rubber*.^{2,27} Retakan yang terjadi di dalam basis gigi tiruan akan merambat melalui matriks polimetil metakrilat dan retakan akan melambat ketika bersentuhan dengan *rubber* sehingga RAPP *high impact* dapat menyerap kekuatan beban yang lebih tinggi dengan tingkat regangan yang lebih tinggi sebelum patah.²

Penelitian ini juga menunjukkan adanya perbedaan rerata kekuatan transversal yang signifikan antara RAPP konvensional dengan penambahan cangkang kerang darah 5% dengan RAPP *high impact*, RAPP konvensional dengan penambahan cangkang kerang darah 5% dengan RAPP konvensional tanpa penambahan bahan penguat, dan RAPP konvensional dengan penambahan cangkang kerang darah 5% dengan RAPP konvensional dengan penambahan cangkang telur bebek 5% (Tabel 3). Nilai rerata kekuatan transversal RAPP konvensional setelah penambahan cangkang kerang darah 5% paling tinggi dibandingkan dengan RAPP *high impact*, RAPP konvensional dengan penambahan cangkang telur bebek 5%, dan RAPP konvensional tanpa penambahan bahan penguat (Tabel 1). Hasil ini sejalan dengan penelitian Jaikumar RA dkk. (2015) yang menunjukkan

resin akrilik konvensional yang ditambahkan serat kaca memiliki kekuatan transversal yang lebih tinggi dibandingkan dengan resin akrilik *high impact* (Trevalon HI) dan konvensional India karena serat kaca dapat mencegah penyebaran retakan saat tekanan diberikan.⁹ Dahar E (2017) menyatakan hal tersebut terjadi karena tingginya kekuatan pergeseran permukaan antara partikel bahan penguat dan matriks yang disebabkan oleh adanya pembentukan *cross-link* atau ikatan supramolekuler yang menutupi butiran partikel bahan penguat sehingga dapat mencegah perluasan *cracking*.³⁴

Jenis ikatan polimer pada RAPP adalah ikatan lurus sehingga menyebabkan ikatan yang tidak stabil pada resin akrilik. Penambahan partikel kalsium karbonat pada polimer akan menyebabkan munculnya interaksi fisik akibat adanya molekul yang berbeda dan mendorong terjadinya pembentukan ikatan *cross-link*.³⁴ Semakin banyak ikatan yang terbentuk maka akan semakin tinggi pula kekuatan pergeseran permukaan yang dihasilkan. Kekuatan pergeseran permukaan adalah kemampuan *interfacial* antara partikel penguat dan matriks polimer untuk menahan beban. Kekuatan pergeseran permukaan yang tinggi menyebabkan matriks polimer dapat mentransfer beban ke partikel penguat. Adanya transfer beban dari matriks polimer yang memiliki kekuatan rendah kepada partikel bahan penguat yang memiliki kekuatan tinggi merupakan kunci utama terjadinya peningkatan sifat mekanis dari bahan basis gigi tiruan. Saat beban berhasil ditransfer, maka akan terjadi peningkatan kekuatan dampak dan transversal sehingga basis gigi tiruan tidak mudah patah.^{34,35}

Nilai rerata kekuatan transversal RAPP konvensional dengan penambahan cangkang kerang darah 5% yang lebih tinggi dibandingkan dengan setelah penambahan cangkang telur bebek 5% karena cangkang kerang darah mengandung kalsium karbonat yang lebih tinggi yaitu sebesar 98,7%, sedangkan cangkang telur bebek hanya mengandung kalsium karbonat sebesar 96,48%.^{15,17}

Partikel rigid kalsium karbonat yang ditambahkan ke dalam matriks polimer akan secara aktif mengisi ruang antara rantai makromolekul linear dari polimer dan gerakan segmental makromolekul juga menjadi terbatas sehingga distribusi partikel lebih efektif dan mengurangi porositas yang terjadi sehingga kekuatan dan kekakuan bahan dapat meningkat dan basis gigi tiruan tidak mudah patah.³⁶ Selain itu, partikel kalsium karbonat memiliki modulus elastisitas yang tinggi sehingga juga dapat meningkatkan daya tahan abrasi basis gigi tiruan RAPP.³⁵

Penelitian ini menunjukkan tidak ada perbedaan rerata kekuatan transversal yang signifikan antara RAPP konvensional dengan penambahan cangkang telur bebek 5% dengan RAPP *high impact* dan RAPP konvensional dengan penambahan cangkang telur bebek 5% dengan RAPP konvensional tanpa penambahan bahan penguat (Tabel 3). Hal ini tidak sejalan dengan penelitian yang dilakukan oleh Syafrinani yang menunjukkan perbedaan rerata kekuatan transversal yang signifikan antara RAPP konvensional dengan penambahan cangkang telur bebek 5% dengan RAPP konvensional tanpa penambahan bahan penguat.¹³

Nilai rerata kekuatan transversal RAPP konvensional dengan penambahan cangkang telur bebek 5% lebih tinggi dibandingkan dengan tanpa penambahan bahan penguat dan lebih rendah dibandingkan dengan RAPP *high impact* (Tabel 1). Hal ini sejalan dengan penelitian terdahulu yang dilakukan oleh Syafrinani yang menunjukkan basis gigi tiruan RAPP konvensional setelah penambahan cangkang telur bebek 5% memiliki nilai kekuatan transversal yang lebih tinggi dibandingkan basis gigi tiruan RAPP konvensional tanpa penambahan cangkang telur bebek.¹³ Hal ini terjadi karena tidak adanya ikatan tambahan yang dapat meningkatkan kekuatan transversal pada kelompok tanpa penambahan bahan penguat dan rendahnya kandungan kalsium karbonat di dalam cangkang telur bebek.²⁹

Penambahan cangkang telur bebek pada RAPP konvensional dengan konsentrasi yang sama pada kelompok cangkang kerang darah menunjukkan hasil yang berbeda. Kelompok RAPP konvensional dengan penambahan cangkang telur bebek menunjukkan peningkatan

kekuatan transversal yang lebih rendah karena cangkang telur bebek memiliki kadar kalsium karbonat yang lebih rendah yaitu sebesar 96,48%.¹⁵

Keterbatasan pada penelitian ini adalah pengadukan RAPP yang dilakukan secara manual. Perbedaan kecepatan dan waktu pengadukan yang berpengaruh pada perbedaan jumlah udara yang terperangkap pada saat pengadukan dapat mempengaruhi kekuatan transversal. Terperangkapnya udara di dalam matriks RAPP menyebabkan terjadinya porositas internal. Porositas internal menyebabkan sampel menjadi lebih mudah retak dan fraktur sehingga dapat menurunkan kekuatan transversal yang dihasilkan. Teknik *vacuum mixing* merupakan teknik pencampuran yang dapat digunakan untuk mengurangi jumlah udara pada suatu campuran.

SIMPULAN

Pemanfaatan cangkang telur bebek dan kerang darah sebagai bahan penguat resin akrilik polimerisasi panas konvensional dapat meningkatkan kekuatan transversal, dengan penambahan cangkang kerang darah 5% menunjukkan peningkatan paling signifikan dibandingkan kelompok lainnya. Implikasi penelitian ini untuk meningkatkan kekuatan transversal resin akrilik polimerisasi panas konvensional sebagai bahan basis gigi tiruan yang digunakan pada kasus-kasus tertentu, seperti pemakai gigi tiruan yang berisiko menjatuhkan gigi tiruannya berulang kali, kekuatan kunyah tinggi, perlekatan frenulum yang tinggi, torus besar, palatum tinggi, dan sutura mid palatina yang menonjol, tetapi diperlukan penelitian lanjut mengenai sifat-sifat yang lain.

Kontribusi Penulis: Konseptualisasi, S. dan S.N.; metodologi, S. dan S.N.; perangkat lunak, S.N.; validasi, S. dan S.N.; analisis formal, S. dan S.N.; investigasi, S.N.; sumber daya, S. dan S.N.; kurasi data, S. dan S.N.; penulisan penyusunan draft awal, S.N.; penulisan tinjauan dan penyuntingan, S.N.; visualisasi, S.N.; supervisi, S.; administrasi proyek, S.N.; perolehan pendanaan, S.N. 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 Komite Etik Penelitian Kesehatan USU No: 1382/KEPK/USU/2024.

Pernyataan Persetujuan (Informed Consent Statement): Tidak berlaku (penelitian tidak melibatkan manusia).

Pernyataan Ketersediaan Data: Ketersediaan data penelitian akan diberikan seizin semua peneliti melalui email korespondensi dengan memperhatikan etika dalam penelitian.

Konflik Kepentingan: Penulis menyatakan tidak ada konflik kepentingan.

DAFTAR PUSTAKA

- Alqutaibi AY, Baik A, Almuzaini SA, Farghal AE, Alhazzawi AA, Borzangy S, et al. Polymeric denture base materials: A review. *Polymers (Basel)* 2023;15(15):3258. <https://doi.org/10.3390/polym15153258>
- Hassan M, Asghar M, Din SU, Zafar MS. Thermoset Polymethacrylate-Based Materials For Dental Applications. In: Grumezescu V, Grumezescu AM, Eds. *Materials For Biomedical Engineering*. The Netherlands: Elsevier, 2019. p. 273-308. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-816874-5.00008-6>
- Pertiwisari A. Klasifikasi resin akrilik untuk gigi tiruan. *DENThalib J* 2023;1(3):80-3. [E-ISSN 3021-808X](https://doi.org/10.3021/808X)
- Srivastava R, Khandelwal S, Makker R, Razdan R, Reddy P, Bhogisetty C, et al. Impact strength of various types of acrylic resin: An in vitro study. *J Contemp Dent Pract* 2023;24(1):56-60. <https://doi.org/10.5005/jp-journals-10024-3382>
- Akram S, Fahimullah, Ayub N, Hanif A, Riaz Z, Haider B. Comparative study of the flexural strength of maxillary denture bases made in conventional and high impact heat cure acrylic resin. *Khyber Med Univ J* 2022;14(1):38-41. <https://doi.org/10.35845/kmu.2022.21430>
- Kusumawardani CDN, Razak A, Ariestania V, Lubis RT. Transversal strength of heat cured acrylic resin in immersion of extract *Annona muricata* L. effervescent. *Padj J Dent* 2023;35(2):128-33. <https://doi.org/10.24198/pjd.vol35no2.47019>
- Kumari R, Bala S. Assessment of cases of complete denture fracture. *J Pharm Bioallied Sci* 2021;13(2):1558-60. https://doi.org/10.4103/jpbs.jpbs_284_21
- Alhotan A, Yates J, Zidan S, Haider J, Silikas N. Assessing fracture toughness and impact strength of pmma reinforced with nano-particles and fibre as advanced denture base materials. *Materials (Basel)* 2021;14(15):4127. <https://doi.org/10.3390/ma14154127>
- Jaikumar RA, Karthigeyan S, Ali SA, Naidu NM, Kumar RP, Vijayalakshmi K. Comparison of flexural strength in three types of denture base resins: An in vitro study. *J Pharm Bioallied Sci* 2015;7(2):461-4. <https://doi.org/10.4103/0975-7406.163505>
- Bechikh A, Maalej Y, Tawfiq I. Fiber reinforced polymers use limitations and remedies-Quick review. 2020. p. 1-7. Available:

- <https://hal.science/hal-02941164v1/file/Fiber%20reinforced%20polymers%20use%20limitations%20and%20remedies.pdf>
11. Gad MM, Fouda SM, Al-Harbi FA, Napankangas R, Raustia A. PMMA denture base material enhancement: A review of fiber, filler, and nanofiller addition. *Int J Nanomed* 2017;12:3801-12. <https://doi.org/10.2147/IJN.S130722>
 12. Selvaraj H, Krithikadatta J, Srivastava D, Onazi MAA, Algami HA, Munaga S, et al. Fracture resistance of dental restorative fiber-reinforced composites- a systematic review. *Res Square* 2023;12(2):64-8. <https://doi.org/10.21203/rs.3.rs-2763263/v1>
 13. Syafrinani, Beby SM. The utilization of eggshell as reinforcing material of heat cured acrylic resin denture base. *Dentika Dent J* 2022;25(2):62-5. <https://doi.org/10.32734/dentika.v25i2.8843>
 14. Kurniawan AA, Imam DNA, Hirawan H. The effect of nano hydroxyapatite powder of anadara granosa shells on surface roughness of heat-cured acrylic resin. *Denta J Ked Gi* 2020;14(2):82-3. <https://doi.org/10.30649/denta.v14i2.5>
 15. Malahayati N, Widowati TW, Alsoyuna NS. The effect of extraction time on the physicochemical characteristics of nanocalcium powder from chicken and duck eggshells. *Potravinarstvo Slovak J Food Sci* 2021;15:712-22. <https://doi.org/10.5219/1675>
 16. Setiyawan AI, Karimy MF, Pratiwi D, Kurniawan T. Cangkang telur: Karakteristik limbah telur hatchery (broiler) dan bakery (layer) dengan menggunakan SEM-EDX. *JITRO* 2022;9(1):116-122. <http://dx.doi.org/10.33772/jitro.v9i1.19854>
 17. Praja HA, Dhanian R, Santoso RM, Putri DK, Salsabila AAP, Sahasika VAN, dkk. Calcium carbonate of blood cockle (*Anadara granosa*) shells induced VEGF-A expression in dentin pulp complex an in vivo study. *Mal J Med Health Sci* 2022;18(7):1-4. <https://doi.org/10.47836/mjmhs.18.s6.5>
 18. Suraskurmar T, Syafrinani. The effect of polishing agents on the transverse strength of heat cured acrylic resin bases. *Ind J Prosthodont* 2020;1:33-6. <https://doi.org/10.46934/ijp.v1i1.7>
 19. Imam DNA, Purnama RB, Kurniawan AA. The effect of addition of blood cockles (*Anadara granosa*) shell nano-hydroxyapatite on hardness of heat cured acrylic resin. *Proceedings of the 1st Jenderal Soedirman International Medical Conference in conjunction with the 5th Annual Scientific Meeting (Temilnas) Consortium of Biomedical Science Indonesia*, 2020:237-40. <https://doi.org/10.5220/0010490602370240>
 20. SIPSN. Komposisi sampah. 2024. <https://sipsn.menlhk.go.id/sipsn/public/data/komposisi> (diakses pada tanggal 4 November 2024).
 21. Alpin M, Gading AN, Iyanah A, Syam I, Zubair AN, Rieuwpassa IE. Potensial use of sea shells as a biocomposite additive. *Makassar Dent J* 2023;12(1):57. <https://doi.org/10.35856/mdj.v12i1.717>
 22. Dalimunthe A, Nurbaya S, Prilius N, Ginting P. Analisis kadar kalsium pada cangkang telur bebek (*Anas platyrhynchos-domesticus*) untuk pembuatan pasta gigi dengan pewarna alami dari sari daun pandan (*Pandanus amaryllifolius* Roxb). *FARMANESIA* 2022; 9(1): 34-40. <https://doi.org/10.51544/jf.v9i1.3427>
 23. Putranti DT, Angelica A. Pengaruh penambahan nano hidroksiapatit cangkang kerang kepah pada basis gigi tiruan resin akrilik polimerisasi panas terhadap kekuatan transversal: Eksperimental laboratoris. *J Ked Gi Univ Padj* 2024;36(1):28-37. <https://doi.org/10.24198/jkg.v36i1.51113>
 24. Juniardi M, Ramli R, Zulfitriyanto Z. Pemanfaatan limbah cangkang kerang siping (*Amusium pleuronectes*) sebagai katalisator pada proses carburizing. *J Inov Tek Terap* 2024;2(1):1-3. <https://doi.org/10.33504/jitt.v2i1.188>
 25. Paramitha EBN, Hermanto, Libriani R. Pengaruh penambahan tepung cangkang telur bebek dan endapan daun pandan (*Pandanus Amaryllifolius* Roxb.) sebagai sumber kalsium dan antioksidan terhadap organoleptic dan nilai gizi cookies untuk cemilan anak-anak. *J Riset Pangan* 2023;1(1):8-23. [ISSN: 3026-7226](https://doi.org/10.3026-7226)
 26. Musapana S, Amalia IR. Kerajinan limbah cangkang kerang sebagai alternatif pembuatan bros ramah lingkungan Tambakrejo Semarang. *ABDI J Pengabd dan Pemberdaya Masy* 2020;2(1):58-9. <https://doi.org/10.24036/abdi.v2i1.54>
 27. Zidan S, Silikas N, Alhotan A, Haider J, Yates J. Investigating the mechanical properties of ZrO₂-impregnated PMMA nanocomposite for denture-based applications. *Materials (Basel)* 2019;12(8):1344. <https://doi.org/10.3390/ma12081344>
 28. Devlin H, Craven R. *Oxford handbook of integrated dental biosciences (oxford medical handbooks)*. ed 2nd. Oxford: Oxford University Press, 2018. p. 151.
 29. Tarsis JT, Wahyuni S. Pengaruh penambahan nanoselulosa serat daun nanas pada basis gigi tiruan resin akrilik polimerisasi panas. *J Ked Gi Univ Padj* 2023; 35(3):251-5. <https://doi.org/10.24198/jkg.v35i3.48285>
 30. Rangkuti AMS, Wahyuni S. Pengaruh penambahan silika dari abu cangkang kelapa sawit pada basis gigi tiruan resin akrilik polimerisasi panas terhadap kekuatan transversal. *Cakradonya Dent J* 2023;15(2):117-122. <https://doi.org/10.24815/cdj.v15i2.26948>
 31. Choksi RH, Mody PV. Flexural properties and impact strength of denture base resins reinforced with micronized glass flakes. *J Indian Prosthodont Soc* 2016;16(3):264-70. <https://doi.org/10.4103/0972-4052.176532>
 32. Rahmadita A, Putranti DT. Pengaruh penambahan aluminium oksida terhadap kekuatan tarik dan tekan basis gigi tiruan resin akrilik polimerisasi panas. *J Ked Gi Unpad* 2018; 30(3): 189-94. <https://doi.org/10.24198/jkg.v30i3.18994>
 33. Razalie LP. Pengaruh penambahan aluminium oksida terhadap kekuatan fleksural dan impak pada bahan basis gigi tiruan resin akrilik polimerisasi panas. *J Ilmiah PANNMED (Pharmacist, Analyst, Nurse, Nutrition, Midwifery, Environment, Dentist)* 2019; <https://doi.org/10.36911/pannmed.v13i1.185>
 34. Dahar E, Handayani S. Pengaruh penambahan zirconium oksida pada bahan basis gigi tiruan resin akrilik polimerisasi panas terhadap kekuatan impak dan transversal. *PANNMED* 2017;12(2):194-9. <https://doi.org/10.36911/pannmed.v12i2.24>
 35. Ali SB, Satgunam M, Abreeza NM, Abed AN. A review on enhancements of PMMA denture base material with different nano-fillers. *Cogent Eng* 2021;8(1):20-5. <https://doi.org/10.1080/23311916.2021.1875968>
 36. Ramasamy V, Anand P, Suresh G. Synthesis and characterization of polymer-mediated CaCO₃ nanoparticles using limestone: A novel approach. *Advanc Powd Tech* 2018; 29(3): 818-34. <https://doi.org/10.1016/j.appt.2017.12.023>