

Perbedaan efek penambahan hidroksiapatit pada bahan basis gigi tiruan resin akrilik polimerisasi panas terhadap kekuatan impact: Studi eksperimental laboratoris

Sara Nabila Br. Sebayang^{1*}
Eddy Dahar²

¹Program Studi Sarjana
Kedokteran Gigi, Fakultas
Kedokteran Gigi Universitas
Sumatera Utara, Indonesia
²Departemen Prostodonsia,
Fakultas Kedokteran Gigi
Universitas Sumatera Utara,
Indonesia

*Korespondensi
Email |
saranabilasebayang@yahoo.co.id

Submisi | 04 Januari 2025
Revisi | 15 Februari 2025
Penerimaan | 2 April 2025
Publikasi Online | 31 April 2025
DOI: [10.24198/jkg.v37i1.60109](https://doi.org/10.24198/jkg.v37i1.60109)

p-ISSN [0854-6002](https://doi.org/10.24198/jkg.v37i1.60109)
e-ISSN [2549-6514](https://doi.org/10.24198/jkg.v37i1.60109)

Sitasi | Sebayang SN, Dahar E.
Perbedaan efek penambahan
hidroksiapatit pada bahan basis gigi
tiruan resin akrilik polimerisasi panas
terhadap kekuatan impact: Studi
eksperimental laboratoris J Ked Gi
Univ Padj. 2025;37(1):76-83.
DOI: [10.24198/jkg.v37i1.60109](https://doi.org/10.24198/jkg.v37i1.60109)



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: Bahan basis gigi tiruan yang paling umum digunakan adalah resin akrilik polimerisasi panas (RAPP), namun RAPP memiliki kekuatan impact yang rendah sehingga mudah fraktur apabila terjatuh. Kekuatan impact dapat ditingkatkan dengan penambahan bahan penguat, salah satunya hidroksiapatit (HA). Hidroksiapatit memiliki sifat osteokonduktif dan biokompatibilitas yang baik. Tujuan penelitian ini adalah untuk menganalisis efek penambahan hidroksiapatit pada bahan basis gigi tiruan RAPP terhadap kekuatan impact. **Metode:** Jenis penelitian eksperimental laboratoris dengan desain *post-test only control group design*. Penelitian dilakukan pada sampel RAPP merk QC 20, UK tanpa dan dengan penambahan HA berukuran 80 mmx10 mm x 4 mm. Jumlah total sampel sebanyak 36 yang terdiri dari 9 sampel untuk masing-masing kelompok, yaitu kelompok A (kontrol), kelompok B (3% HA), kelompok C (4% HA), dan kelompok D (6% HA), pada tiap sampel dilakukan pengujian kekuatan impact dengan alat *Charpy Impact Tester* lalu dihitung dengan menggunakan rumus kekuatan impact dengan satuan J/mm², kemudian dilakukan analisis data menggunakan ANOVA dan *Least Significant Difference*. **Hasil:** Terjadi peningkatan nilai kekuatan impact RAPP pada kelompok dengan penambahan hidroksiapatit 3% apabila dibandingkan dengan kelompok tanpa penambahan hidroksiapatit, kelompok penambahan hidroksiapatit 4%, dan kelompok penambahan hidroksiapatit 6%. Terdapat perbedaan efek signifikan pada penambahan HA terhadap kekuatan impact dengan $p=0,003$ ($p<0,05$). Hasil uji LSD menunjukkan ada perbedaan bermakna pengaruh penambahan HA terhadap kekuatan impact RAPP, yaitu antara kelompok (A-C) dengan nilai $p=0,040$ ($p<0,05$); antara kelompok (A-D) dengan nilai $p=0,010$ ($p<0,05$); antara kelompok (B-C) dengan nilai $p=0,006$ ($p<0,05$); antara kelompok (B-D) dengan nilai $p=0,001$ ($p<0,05$). **Simpulan:** Penambahan 3% HA dapat meningkatkan kekuatan impact karena pencampuran dari 3% HA dengan RAPP tidak menyebabkan aglomerasi dan membentuk ikatan mekanis yang baik dengan matriks polimer sehingga bahan basis gigi tiruan RAPP yang dihasilkan akan lebih tahan terhadap fraktur.

Kata kunci

resin akrilik polimerisasi panas, hidroksiapatit, basis gigi tiruan, kekuatan impact.

Effect of addition of hydroxyapatite to denture base materials heat cured acrylic resin on impact strength

ABSTRACT

Introduction: The most commonly used denture base material is heat-cured (HC) acrylic resin, but HC acrylic resin has low impact strength and therefore it breaks easily when dropped. Impact strength can be increased by adding reinforcing materials, one of which is hydroxyapatite (HA). Hydroxyapatite has excellent osteoconductive properties and good biocompatibility. The purpose of this study was to determine the effect of adding 3%, 4%, and 6% hydroxyapatite to the HC acrylic resin denture base material on impact strength. **Methods:** This was an experimental laboratory with a posttest-only control group design conducted on HC acrylic resin samples, with and without the addition of HA, each measuring 80 mm x 10 mm x 4 mm. The total number of samples was 36, consisting of 9 samples for each group: group A (control), group B (3% HA), group C (4% HA), and group D (6% HA). Impact strength was measured using the Charpy Impact Tester and then calculated using the standard formula. Data were analyzed using one-way ANOVA and the Least Significant Difference (LSD) test. **Result:** There was an increase in the HC acrylic resin impact strength in the group with the addition of 3% hydroxyapatite compared with the group without hydroxyapatite, as well as compared with the groups containing 4% and 6% hydroxyapatite. The addition of HA had a significant effect on impact strength with $p=0.003$ ($p<0.05$). The LSD test showed significant differences in the effect of adding HA on the impact strength of HC acrylic resin between groups A-C ($p=0.040$, $p<0.05$), groups A-D ($p=0.010$, $p<0.05$), groups B-C ($p=0.006$, $p<0.05$), and groups B-D ($p=0.001$, $p<0.05$). **Conclusion:** The addition of 3% HA can increase impact strength, indicating that the resulting HC acrylic resin denture base material is more resistant to fracture.

Keywords

heat cured acrylic resin, hydroxyapatite, denture base, impact strength.

PENDAHULUAN

Gigi tiruan merupakan protesa yang dibuat untuk mengganti gigi yang hilang dengan tujuan untuk memperbaiki kembali fungsi stomatognasi, fungsi bicara, estetika yang berkurang akibat hilangnya gigi, dan untuk menjaga atau mempertahankan jaringan rongga mulut yang masih ada, serta mencegah terjadinya kerusakan gigi lebih lanjut.¹ Secara garis besar gigi tiruan dapat dibedakan atas dua jenis, yaitu gigi tiruan cekat dan gigi tiruan lepasan.² Berdasarkan banyaknya kehilangan gigi, maka gigi tiruan lepasan dapat dikelompokkan atas dua kelompok, yaitu gigi tiruan lengkap dan gigi tiruan sebagian lepasan. Gigi tiruan lepasan memiliki sejumlah komponen, salah satu diantaranya adalah basis gigi tiruan. Basis gigi tiruan merupakan bagian dari gigi tiruan yang berkontak langsung dengan mukosa mulut, memiliki fungsi sebagai pendukung gigi tiruan dan tempat melekatnya anasir gigi tiruan.³

Ditinjau dari bahan yang digunakan untuk membuatnya, basis gigi tiruan lepasan berasal dari bahan logam atau non logam. Basis logam bisa terbuat dari aloi emas, aloi cobalt-chromium, atau stainless steel, sedangkan basis non logam terbuat dari resin akrilik. Resin akrilik dapat dibagi lagi atas dua kelompok, yaitu termoplastik dan termoset. Resin termoplastik adalah resin yang dapat digunakan berulang kali dengan pemanasan dan mengeras pada saat pendinginan tanpa mengalami perubahan kimia.^{4,5} Contoh dari resin termoplastik adalah nilon termoplastik, polikarbonat termoplastik, akrilik termoplastik, dan poliamida termoplastik.⁶ Sedangkan resin termoset adalah resin yang tidak dapat dilunakkan kembali karena sudah mengalami perubahan kimia selama proses pembentukannya. Contoh bahan termoset ini adalah vulkanit, fenol formaldehida, dan resin akrilik polimerisasi panas (RAPP).⁷

Resin akrilik polimerisasi panas merupakan bahan basis gigi tiruan yang paling sering digunakan saat ini dan menggunakan energi panas untuk polimerisasinya, hal ini karena RAPP memiliki banyak keunggulan diantaranya adalah harga yang relatif lebih murah, memiliki estetis baik karena menyerupai warna gingiva, mudah direparasi, stabil terhadap panas, dan mudah dibersihkan. Meskipun demikian, basis gigi tiruan RAPP masih memiliki sejumlah kelemahan diantaranya adalah memiliki kekuatan dampak yang rendah sehingga mudah mengalami fraktur. Salah satu usaha untuk memperbaiki sifat mekanis RAPP tersebut adalah dengan menambahkan bahan penguat.

Kekuatan dampak adalah sifat mekanis yang diperlukan oleh bahan basis gigi tiruan, termasuk RAPP agar gigi tiruan yang dihasilkan memiliki ketahanan agar tidak mudah mengalami fraktur akibat benturan yang terjadi baik ketika dipakai di dalam mulut atau apabila tidak sengaja terjatuh ke lantai. Untuk meningkatkan kekuatan dampak pada bahan basis gigi tiruan RAPP, maka dapat ditambahkan bahan penguat. Bahan penguat yang digunakan pada penelitian ini adalah hidroksiapatit dengan ukuran nanoscopic filler yaitu 60 nm.⁸ Berdasarkan standar ISO 1567:1999, nilai kekuatan dampak yang dimiliki oleh RAPP adalah sebesar 2×10^{-3} J/mm². Oleh karena itu, salah satu usaha yang dapat dilakukan untuk memperbaiki sifat mekanis RAPP tersebut adalah dengan penambahan bahan penguat, salah satunya hidroksiapatit.⁹

Hidroksiapatit merupakan senyawa mineral apatit dengan rumusan kimia $\text{Ca}_{10}(\text{PO}_4)_6(\text{OH})_2$ dan terbentuk dari sumber yang memiliki kalsium yang tinggi. Hidroksiapatit memiliki sifat osteokonduktif yang sama dengan mineral tulang alami dan dengan penambahan hidroksiapatit ke dalam bahan RAPP diharapkan dapat meningkatkan sifat mekanis yang ada pada RAPP, khususnya kekuatan dampak. Hidroksiapatit memiliki termodinamika yang stabil serta biokompatibilitas yang baik sehingga kemungkinan untuk terjadinya alergi relatif rendah.^{10,11}

Hidroksiapatit yang biasanya banyak digunakan pada bidang kedokteran gigi dapat memiliki bentuk microscopic ataupun nanoscopic filler. Partikel mikroskopis (ukuran partikel >100 nm) pada umumnya dapat dicampur dengan resin akrilik hingga proporsi

yang tinggi dan banyak digunakan dalam kedokteran gigi. Disisi lain, partikel nanoskopis (ukuran partikel <100 nm) memiliki lebih banyak kemiripan dengan fase mineral gigi alami. Selain itu, luas permukaan yang tinggi dari partikel nanoskopis akan menawarkan ikatan mekanis yang baik dengan matriks polimer.¹²⁻¹⁴ Hidroksiapatit dengan kandungan kalsium yang tinggi dapat diperoleh dari bahan-bahan alami maupun kimia. Hidroksiapatit yang dihasilkan dari bahan kimia memiliki keunggulan karena dapat menghasilkan HA murni dengan jumlah yang relatif besar.¹⁵

Penelitian Abdullah, menunjukkan bahwa penambahan mikrohidroksiapatit 5% ($6,6 \times 10^{-3}$ J/mm²) pada RAPP dapat menghasilkan peningkatan pada kekuatan impact apabila dibandingkan dengan kelompok kontrol ($5,57 \times 10^{-3}$ J/mm²).¹⁶ Penelitian Jarboo, *et al.* menunjukkan bahwa terjadi peningkatan kekuatan impact pada penambahan nanohidroksiapatit 3% ($5,8 \times 10^{-3}$ J/mm²) dan 4% ($5,75 \times 10^{-3}$ J/mm²), namun menurun pada konsentrasi 5% ($5,3 \times 10^{-3}$ J/mm²) bahkan lebih rendah dari kelompok kontrol ($5,7 \times 10^{-3}$ J/mm²).¹⁷

Adanya perbedaan ukuran partikel hidroksiapatit yang ditambahkan pada RAPP dapat memengaruhi nilai kekuatan impact, penggunaan nanohidroksiapatit dapat meningkatkan kontak luas permukaan dengan jaringan sekitarnya dan menghasilkan ikatan antarmatriks yang lebih baik sehingga berpengaruh pada kekuatan RAPP dengan mencegah terputusnya rantai polimer pada saat pemanasan.^{13,18} Penelitian ini memiliki kebaruan pada penggunaan nanohidroksiapatit berukuran 60 nm dengan variasi konsentrasi 3%, 4%, dan 6% sebagai bahan penguat resin akrilik polimerisasi panas (RAPP) untuk basis gigi tiruan. Berbeda dengan penelitian sebelumnya yang umumnya menggunakan hidroksiapatit berukuran mikro atau menguji konsentrasi terbatas, penelitian ini secara sistematis mengevaluasi pengaruh tiga konsentrasi nano-Hidroksiapatit terhadap kekuatan impact RAPP, sehingga mampu mengidentifikasi konsentrasi optimum yang memberikan peningkatan sifat mekanis secara signifikan. Temuan ini memberikan kontribusi baru dalam penentuan batas optimal penambahan nanohidroksiapatit pada RAPP, yang secara praktis dapat diaplikasikan pada industri pembuatan gigi tiruan untuk menghasilkan produk yang lebih tahan terhadap fraktur tanpa memerlukan perubahan besar dalam proses produksi. Tujuan penelitian ini adalah untuk menganalisis efek penambahan nanohidroksiapatit konsentrasi 3%, 4%, dan 6% pada bahan basis gigi tiruan RAPP terhadap kekuatan impact.

METODE

Penelitian ini merupakan penelitian eksperimental laboratoris dengan desain penelitian post-test only control group design. Desain penelitian ini menggunakan empat kelompok sampel yang terdiri dari satu kelompok kontrol dan tiga kelompok perlakuan. Tempat pembuatan sampel dilakukan di Unit Jasa Industri (UJI) Dental FKG USU dan diuji di Laboratorium Teknik Mesin Universitas Harapan. Penelitian dilakukan pada bulan Februari 2023.

Sampel yang digunakan adalah RAPP yang dibuat dari bahan resin dengan merek dagang QC-20, UK. Besar sampel dihitung dengan menggunakan rumus Steel dan Torrie dan didapatkan hasil jumlah sampel total sebesar 36 sampel. Pemilihan jumlah sampel tersebut mempertimbangkan tingkat kesalahan tipe I (α) sebesar 0,05 dan kesalahan tipe II (β) sebesar 0,20, atau setara dengan kekuatan uji (*power*) sebesar 80%. Ukuran sampel untuk uji impact mengikuti ISO 179-1:2000, yaitu 80 mm $\times$ 10 mm $\times$ 4 mm.

Ukuran model induk dari logam yang akan digunakan untuk sampel pada penelitian ini adalah bahan basis gigi tiruan resin akrilik polimerisasi panas tanpa penambahan bahan penguat sebagai kontrol dan bahan basis gigi tiruan resin akrilik polimerisasi panas dengan penambahan hidroksiapatit dengan tiga kelompok konsentrasi yang berbeda yaitu 3%, 4%, dan 6%. Bubuk hidroksiapatit yang telah ditimbang sesuai kebutuhan dicampurkan

dengan monomer sebanyak 2,5 ml dan polimer sebanyak kebutuhan tiap konsentrasi.

Adonan yang telah mencapai fase *dough stage* dimasukkan kedalam mold. Besar tekanan pengepresan yang digunakan adalah 1000 psi. Proses curing dilakukan dengan menggunakan *waterbath* dengan suhu 70°C selama 90 menit dan dilanjutkan dengan suhu 100°C selama 30 menit. Kemudian sampel dirapikan menggunakan bur Fraser lalu dihaluskan menggunakan kertas pasir *waterproof* nomor 240, 400, 800, dan 1000 dengan menggunakan *rotary grinder*. Sampel diuji dengan menggunakan *Charpy Impact Tester* dengan sudut lengan pemukul 50°. Data diperoleh dengan uji Anova satu arah dan uji LSD untuk melihat pasangan kelompok mana yang paling bermakna antar kelompok yang diuji.

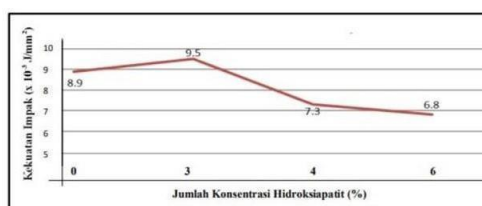
HASIL

Nilai kekuatan impact basis gigi tiruan RAPP diperoleh dengan melakukan uji menggunakan alat *Charpy Impact Tester*. Energi yang tertera pada alat uji kekuatan impact dihitung dengan menggunakan rumus kekuatan impact dengan satuan J/mm². Gambar 1 menunjukkan nilai kekuatan impact RAPP tanpa penambahan hidroksiapatit adalah $8,9 \times 10^{-3} \pm 2,29$ J/mm². Nilai ini berada di atas standar nilai kekuatan impact basis gigi tiruan RAPP, dimana nilai standar menurut ISO 1567:1999 adalah 2×10^{-3} J/mm².⁹ Kelompok dengan penambahan hidroksiapatit 3% sebagai bahan penguat memiliki nilai rerata kekuatan impact tertinggi, yaitu $9,5 \times 10^{-3} \pm 1,72$ J/mm² dan menurun pada kelompok dengan penambahan hidroksiapatit 4%, yaitu $7,3 \times 10^{-3} \pm 1,17$ J/mm² dan semakin menurun pada kelompok dengan penambahan hidroksiapatit 6%, yaitu $6,8 \times 10^{-3} \pm 0,95$ J/mm². Hasil uji ANOVA satu arah menunjukkan terdapat pengaruh yang signifikan dalam penambahan hidroksiapatit 3%, 4%, 6% terhadap kekuatan impact ($p=0,003$ ($p<0,05$) (Tabel 1).

Tabel 1. Perbedaan efek penambahan hidroksiapatit 3%, 4%, dan 6% terhadap kekuatan impact basis gigi tiruan resin akrilik polimerisasi panas berdasarkan uji anova satu arah.

Kelompok	Nilai kekuatan impact ($\times 10^{-3}$ J/mm ²)		<i>p-value</i>
	n	$\pm$ SD	
Tanpa penambahan HA	9	50,867 $\pm$ 2,003	$p<0,003^*$
Penambahan HA 3%	9	47,895 $\pm$ 0,289	
Penambahan HA 4%	9	45,107 $\pm$ 0,495	
Penambahan HA 6%	9	42,476 $\pm$ 0,671	

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



Gambar 1. Nilai kekuatan impact basis gigi tiruan resin akrilik polimerisasi panas tanpa dan dengan penambahan hidroksiapatit sebanyak 3%, 4%, dan 6%.

Hasil uji LSD menunjukkan ada perbedaan bermakna pengaruh penambahan hidroksiapatit terhadap kekuatan impact basis gigi tiruan RAPP antara beberapa kelompok. Kelompok tanpa penambahan hidroksiapatit (kelompok A) dengan kelompok penambahan hidroksiapatit 4% (kelompok C) dengan nilai $p=0,040$ ($p<0,05$),

kelompok tanpa penambahan hidroksiapatit (kelompok A) dengan kelompok penambahan hidroksiapatit 6% (kelompok D) dengan nilai $p=0,010$ ($p<0,05$), kelompok penambahan hidroksiapatit 3% (kelompok B) dengan kelompok penambahan hidroksiapatit 4% (kelompok C) dengan nilai $p=0,006$ ($p<0,05$), dan kelompok penambahan hidroksiapatit 3% (kelompok B) dengan kelompok penambahan hidroksiapatit 6% (kelompok D) dengan nilai $p=0,001$ ($p<0,05$). Hasil uji LSD menunjukkan ada perbedaan yang tidak bermakna pengaruh penambahan hidroksiapatit terhadap kekuatan impak basis gigi tiruan RAPP antarkelompok tanpa penambahan hidroksiapatit (kelompok A) dengan kelompok penambahan hidroksiapatit 3% (kelompok B) dengan nilai $p=0,428$ ($p>0,05$) dan kelompok penambahan hidroksiapatit 4% (kelompok C) dengan kelompok penambahan hidroksiapatit 6% (kelompok D) dengan nilai $p=0,564$ ($p>0,05$). (Tabel 2)

Tabel 2. Perbedaan bermakna efek penambahan hidroksiapatit sebanyak 3%, 4%, dan 6% terhadap kekuatan impak basis gigi tiruan resin akrilik polimerisasi panas.

No	Perbandingan Antar Kelompok	p
1.	Kelompok A – Kelompok B	0,428
2.	Kelompok A – Kelompok C	0,040*
3.	Kelompok A – Kelompok D	0,010*
4.	Kelompok B – Kelompok C	0,006*
5.	Kelompok B – Kelompok D	0,001*
6.	Kelompok C – Kelompok D	0,564

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

PEMBAHASAN

Nilai kekuatan impak yang bervariasi pada tiap kelompok dipengaruhi oleh beberapa faktor yang tidak dapat dikendalikan selama penelitian berlangsung. Hasil penelitian ini teknik pengadukan dilakukan dengan metode manual yang dapat menyebabkan terjadinya variasi nilai kekuatan impak. Hal ini sejalan dengan penelitian Vojvodic D. yang menyatakan bahwa teknik pengadukan secara manual dapat menyebabkan campuran menjadi kurang homogen serta terperangkapnya udara di dalam matriks polimer sehingga terbentuk porositas yang dapat memengaruhi kekuatan impak RAPP.⁸ Salah satu yang dapat menyebabkan variasi nilai kekuatan impak adalah kekuatan dan kecepatan pengadukan yang tidak dapat disamakan pada tiap sampel menyebabkan terperangkapnya udara di dalam matriks RAPP sehingga terjadinya *internal porosity* yang dapat memengaruhi kekuatan impak RAPP.

Upaya menghasilkan campuran yang lebih baik tanpa adanya rongga udara yang terbentuk, maka dapat dilakukan pengadukan dengan teknik pengadukan menggunakan *vacuum mixer resin*.⁹ Hal lain yang dapat menyebabkan adanya variasi pada nilai kekuatan impak adalah terjadinya penyebaran bahan penguat pada saat pengepresan. Proses pengepresan menyebabkan sejumlah hidroksiapatit yang tercampur dalam RAPP menyebar ke arah lateral dan keluar melewati mold, sehingga konsentrasi hidroksiapatit pada tiap sampel berkurang.¹⁷

Hasil penelitian menunjukkan penambahan hidroksiapatit 3% sebagai bahan penguat pada bahan basis gigi tiruan RAPP dapat meningkatkan kekuatan impak karena hidroksiapatit mampu menghasilkan ikatan antar matriks menjadi lebih baik, namun dengan konsentrasi hidroksiapatit yang ditambahkan juga harus disesuaikan. Hasil penelitian ini sejalan dengan penelitian Abdullah dengan menggunakan mikrohidroksiapatit (Germany) menunjukkan adanya peningkatan nilai kekuatan impak pada bahan basis gigi tiruan RAPP setelah ditambahkan bahan penguat hidroksiapatit. Peningkatan nilai rerata kekuatan impak pada penelitian tersebut terdapat pada kelompok

dengan penambahan hidroksiapatit 5%, yaitu sebesar $6,6 \times 10^{-3} \text{ J/mm}^2$ apabila dibandingkan dengan kelompok tanpa penambahan hidroksiapatit, yaitu sebesar $5,57 \times 10^{-3} \text{ J/mm}^2$.¹⁶ Peningkatan nilai kekuatan impak dapat terjadi karena tingginya luas permukaan antarmuka nanohidroksiapatit yang mampu mengisi celah mikroporous pada RAPP serta mengikat monomer sisa sehingga terbentuk permukaan baru dengan ikatan antarmatriks yang lebih baik dan rapat dengan tingkat porositas lebih rendah.¹⁷

Hasil pada penelitian ini juga terjadi penurunan nilai kekuatan impak, yaitu pada kelompok dengan penambahan hidroksiapatit 4% dan 6%. Penelitian ini sejalan dengan hasil penelitian Jarboo, *et al.* yang menggunakan nanohidroksiapatit (USA) dengan konsentrasi 5% ($5,3 \times 10^{-3} \text{ J/mm}^2$) mengalami penurunan nilai rerata kekuatan impak dari kelompok kontrol ($5,7 \times 10^{-3} \text{ J/mm}^2$).¹⁷ Adanya penurunan kekuatan impak pada bahan basis gigi tiruan RAPP dengan penambahan bahan penguat hidroksiapatit dapat dipengaruhi oleh proses pembentukan rantai polimer selama polimerisasi.

Penambahan jumlah bubuk hidroksiapatit yang terlalu banyak dapat menyebabkan adanya bubuk hidroksiapatit yang tidak berikatan dengan polimer, sehingga menghasilkan adanya aglomerasi bubuk hidroksiapatit. Penambahan hidroksiapatit pada bahan basis gigi tiruan RAPP akan menghasilkan campuran tanpa adanya reaksi kimia, namun bubuk hidroksiapatit yang berlebih dan tidak berikatan dengan polimer dapat memengaruhi sifat mekanis resin akrilik. Hal ini sejalan dengan penelitian yang dilakukan oleh Hapsari, *et al.* yang menunjukkan bahwa penambahan hidroksiapatit 2% pada bahan basis gigi tiruan RAPP akan menghasilkan campuran yang lebih homogen dan tanpa reaksi kimia, namun terlalu banyaknya bubuk hidroksiapatit yang ditambahkan pada bahan basis gigi tiruan RAPP akan menyebabkan ikatan mekanis yang terjadi antara hidroksiapatit dengan RAPP melemah dan akan memengaruhi sifat mekanis resin akrilik.^{19,20}

Meskipun penambahan hidroksiapatit pada bahan basis gigi tiruan RAPP akan menghasilkan campuran tanpa adanya reaksi kimia, namun bubuk hidroksiapatit yang berlebih dan tidak berikatan dengan polimer akan menjadi aglomerasi dan dapat memengaruhi sifat mekanis resin akrilik. Hal ini sejalan dengan penelitian yang dilakukan oleh Hapsari, *et al.* yang menunjukkan bahwa penambahan hidroksiapatit 2% pada bahan basis gigi tiruan RAPP akan menghasilkan campuran yang lebih homogen dan tanpa reaksi kimia, namun terlalu banyaknya bubuk hidroksiapatit yang ditambahkan pada bahan basis gigi tiruan RAPP akan menyebabkan ikatan mekanis yang terjadi antara hidroksiapatit dengan RAPP melemah dan akan memengaruhi sifat mekanis resin akrilik.^{8,19}

Hasil uji LSD pada penelitian ini menunjukkan ada perbedaan bermakna pengaruh penambahan hidroksiapatit dengan terjadinya penurunan nilai kekuatan impak, yaitu antara kelompok tanpa penambahan hidroksiapatit (kelompok A) dengan kelompok penambahan hidroksiapatit 4% (kelompok C), kelompok tanpa penambahan hidroksiapatit (kelompok A) dengan kelompok penambahan hidroksiapatit 6% (kelompok D), kelompok penambahan hidroksiapatit 3% (kelompok B) dengan kelompok penambahan hidroksiapatit 4% (kelompok C), dan kelompok penambahan hidroksiapatit 3% (kelompok B) dengan kelompok penambahan hidroksiapatit 6% (kelompok D). Hal ini sejalan dengan penelitian Hapsari, dkk yang menyatakan bahwa penambahan rasio konsentrasi hidroksiapatit yang terlalu tinggi, pada penelitian tersebut, yaitu penambahan hidroksiapatit 5% akan mengakibatkan terjadinya aglomerasi partikel hidroksiapatit dalam matriks PMMA.⁸

Hal ini terjadi karena penurunan nilai kekuatan impak yang terjadi cukup signifikan. Ikatan antar matriks belum mengalami perubahan pada kelompok tanpa penambahan hidroksiapatit karena belum adanya filler yang ditambahkan. Namun, dengan adanya filler yang ditambahkan pada RAPP akan memengaruhi ikatan antar matriks. Bahan basis gigi tiruan RAPP dengan penambahan hidroksiapatit 3% akan menghasilkan campuran homogen yang terdispersi dengan baik dengan aglomerasi yang belum terbentuk, namun

pada kelompok RAPP dengan penambahan hidroksiapatit 4% akan menghasilkan campuran yang sudah membentuk aglomerasi, begitu pula pada kelompok penambahan hidroksiapatit 6%.

Aglomerasi pada RAPP dapat terjadi karena meningkatnya jumlah bubuk hidroksiapatit yang ditambahkan sehingga ketika sudah mencapai konsentrasi optimum dan bubuk hidroksiapatit telah berikatan dengan polimer, adanya bubuk hidroksiapatit lainnya yang tidak terpolimerisasi akan menjadi aglomerasi pada RAPP sehingga melemahkan ikatan antarmatriks dan dapat menurunkan kekuatan dampak RAPP.¹⁹ Hal ini sejalan dengan penelitian Hapsari, *et al.* yang menyatakan bahwa penambahan rasio konsentrasi hidroksiapatit yang terlalu tinggi, pada penelitian tersebut, yaitu penambahan hidroksiapatit 5% akan mengakibatkan terjadinya aglomerasi partikel hidroksiapatit dalam matriks PMMA.^{8,17}

Saat polimerisasi, ketika konsentrasi optimum dari hidroksiapatit telah tercapai maka ikatan antar matriks yang dihasilkan akan semakin kuat dengan porositas yang tertutupi semakin banyak sehingga dapat meningkatkan kekuatan dampak dan menurunkan tingkat porositas, namun pada konsentrasi yang terlalu tinggi dan melewati konsentrasi optimum, maka akan membentuk aglomerasi pada bahan dan menyebabkan kekuatan dampak bahan basis gigi tiruan RAPP menurun. Hal ini sejalan dengan penelitian Kusumawardani, *et al.* yang menunjukkan tingkat porositas pada bahan basis gigi tiruan RAPP dengan penambahan hidroksiapatit 2% dan 5% menurun, namun meningkat pada penambahan hidroksiapatit 10%.

Penambahan hidroksiapatit yang terlalu banyak pada bahan basis gigi tiruan RAPP dapat menyebabkan terjadinya aglomerasi pada bahan RAPP sehingga memengaruhi sifat dari RAPP. Keterbatasan dalam penelitian ini adalah karena adanya *internal porosity* pada RAPP akibat dari terbentuknya rongga udara selama proses pengadukan yang dilakukan dengan metode manual, serta adanya keterbatasan pada sifat RAPP yang diteliti yaitu hanya kekuatan dampak saja sehingga masih perlu dilakukan penelitian lebih lanjut mengenai pengaruh hidroksiapatit terhadap sifat-sifat lainnya dari RAPP.

Keterbatasan pada penelitian ini antara lain adalah adanya *internal porosity* pada RAPP akibat dari terbentuknya rongga udara selama proses pengadukan yang dilakukan secara manual, serta adanya keterbatasan pada sifat RAPP yang diteliti yaitu hanya kekuatan dampak saja sehingga masih perlu dilakukan penelitian lebih lanjut mengenai pengaruh hidroksiapatit terhadap sifat-sifat lainnya dari RAPP. Saran yang dapat diberikan penulis adalah proses pengadukan campuran hidroksiapatit dengan RAPP sebaiknya dilakukan dengan vacuum mixer untuk resin dan perlu dilakukan penelitian lebih lanjut mengenai pengaruh penambahan hidroksiapatit terhadap sifat mekanis maupun fisis lain dari bahan basis gigi tiruan RAPP.

SIMPULAN

Penambahan 3% hidroksiapatit (HA) pada bahan basis gigi tiruan resin akrilik polimerisasi panas (RAPP) terbukti meningkatkan kekuatan dampak, dan temuan ini memiliki implikasi penting dalam berbagai bidang. Implikasi penelitian ini secara klinis yaitu bahan menjadi lebih tahan terhadap fraktur, sehingga gigi tiruan lebih awet, nyaman, dan mengurangi kebutuhan perbaikan. Di sisi industry, temuan ini membuka peluang inovasi produk resin akrilik yang lebih Tangguh tanpa perlu perubahan besar dalam proses produksi. Sementara itu, secara akademik, hasil ini menjadi dasar bagi penelitian lanjutan serta berkontribusi dalam pengembangan ilmu dan kolaborasi lintas bidang dalam studi bahan prostodonsia.

Kontribusi Penulis: Konseptualisasi, DE dan BC.; metodologi, DE dan BC.; perangkat lunak, BC.; validasi, DE dan BC.; analisis formal, DE dan BC.; investigasi, BC.; sumber daya, BC dan DE.; kurasi data, DE dan BC.; penulisan penyusunan draft awal, DE dan BC.; penulisan tinjauan dan penyuntingan, BC.; visualisasi, BC.;

supervisi, DE.; administrasi proyek, BC.; perolehan pendanaan, BC. Semua penulis telah membaca dan menyetujui versi naskah yang diterbitkan.

Pendanaan: Penelitian ini dibiayai secara mandiri oleh penulis

Persetujuan Etik: Penelitian ini dilaksanakan pada sampel penelitian yang tidak melibatkan manusia atau hewan.

Pernyataan Persetujuan (Informed Consent Statement): Penelitian ini tidak melibatkan manusia atau hewan.

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

Konflik Kepentingan: Penulis menyatakan tidak ada konflik kepentingan dalam penelitian.

DAFTAR PUSTAKA

1. Ratnasari D, Isnaeni RS, Fadilah RPN. Kebersihan gigi tiruan lepasan pada kelompok usia 45-65 Tahun. *Padjadjaran J Dent Res Stud*. 2019;3(2):87. <https://doi.org/10.24198/pjdrs.v3i2.23573>
2. Wahab SA. Perbandingan karakteristik pengguna gigi tiruan yang dibuat di dokter gigi dengan tukang gigi di banjarmasin (tinjauan terhadap pengetahuan dan biaya pembuatan gigi tiruan). *Dentino J Kedokt Gigi*. 2017;1(1):50–5.
3. Silalahi PR, Catur SS, Mertisia I. Prosedur pembuatan gigi tiruan sebagian lepasan akrilik pada gigi 2 untuk menggantikan gigi tiruan sebagian nonformal. *J Anal Kesehat*. 2017;6(1):611–5. <https://doi.org/10.26630/jak.v6i2.786>
4. Kenneth J. Anusavice, Chiayi Shen HRR. *Phillips' Science of Dental Materials*. 13th ed. Elsevier, editor. 2021. p. 73–103, 143–170, 721–758
5. Manappallil JJ. *Basic Dental Materials*. 4th ed. John J Manappallil, editor. Basic Dental Materials. New Delhi: Reprint Jaypee Brothers Medical Publishers (P) Ltd; 2024. p. 531–568.
6. Safina SH, Wahyuni S. Pengaruh Penambahan Serat Kaca Pada Bahan Basis Gigi Tiruan Nilon Termoplastik Daur Ulang Terhadap Kekuatan Transversal Dan Modulus Elastisitas. *B-Dent J Kedok Gigi Univ Baiturrahmah*. 2020;7(1):38–47. <https://doi.org/10.33854/jbd.v1i1.296>
7. Oetami S, Handayani M. Gigi tiruan lengkap resin akrilik pada kasus full edentulous. *JIKg (J Ilmu Ked Gi)*. 2021;4(2):53–7. <https://doi.org/10.23917/jikg.v4i2.15967>
8. Firdausya W, Hapsari D. Pengaruh Penambahan Hidroksiapatit Tepung Tulang Ikan Cakalang (Katsuwonus pelamis) Terhadap Kekuatan Transversal Resin Akrilik Heat Cured. universitas brawijaya; 2019.
9. Dahar E, Husna R. Bahan Basis Gigi Tiruan Resin Akrilik Polimerisasi Panas. *J Ilm PANNMED*. 2017;12(2):177–82. <https://doi.org/10.36911/pannmed.v12i2.21>
10. Akhtar K, Pervez C, Zubair N, Khalid H. Calcium hydroxyapatite nanoparticles as a reinforcement filler in dental resin nanocomposite. *J Mater Sci Mater Med*. 2021;32(10). <https://doi.org/10.1007/s10856-021-06599-3>
11. Kusumawardani CDN, Chondro RT, Andrian I, Sari RP. Pengaruh penambahan hidroksiapatit terhadap porositas dan compressive strength basis resin akrilik heat- cured. *J Ked Gi Univ Padj*. 2020;32(2):91. <https://doi.org/10.24198/jkg.v32i2.26627>
12. Arora s, Arora A, Upadhyaya V, Goyal A. Evaluation of the mechanical properties OF high impact denture base resin with different polymer to monomer ratios: an in vitro study. *Indian J Dent Sci*. 2017;9(2):67–72. https://doi.org/10.4103/IJDS.IJDS_26_17
13. Yusuf Y, Khasanah DY SF. *Hidroksiapatit Berbahan Dasar Biogenik*. yogyakarta: Gadjah Mada University Press; 2019.
14. Mozartha M. Hidroksiapatit dan aplikasinya di bidang kedokteran gigi. *Cakradonya Dent J*. 2015;7(2):807–68.
15. Rodríguez-Lugo V, Karthik TV, et al. Wet chemical synthesis of nanocrystalline hydroxyapatite flakes: effect of pH and sintering temperature on structural and morphological properties. *R Soc Open Sci*. 2018;5(8):1-12. <https://doi.org/10.1098/rsos.180962>
16. Abdullah ZS. The Effect of Addition of Hydroxyapatite Microscopic Fillers on Surface Roughness and Some Mechanical Properties of Heat Cured Acrylic Resin. *J Baghdad Coll Dent*. 2015;27(3):50–4. <https://doi.org/10.12816/0015034>
17. Jarboo'A NH, Alsarraf AR. Influence of adding nano / micro hydroxyapatite (HA) particles on tribological characteristics of polymethyl methacrylate (PMMA). In: *AIP Conference Proceedings*. 2020. p. 1–8. <https://doi.org/10.1063/5.0032990>
18. Lubis M, Putranti D. Pengaruh penambahan aluminium oksida pada bahan basis gigi tiruan resin akrilik polimerisasi panas terhadap kekerasan dan kekasaran permukaan. *B-dent J Ked Gigi Univ Baiturrahmah* 2019;6(1):1–8. <https://doi.org/10.33854/jbd.v6i1.202>
19. Hapsari DN, Wardani SC, Firdausya WA, Amaturrehman K, Wiratama HP. The effect of addition of hydroxyapatite from skipjack tuna (katsuwonus pelamis) fish bone flour to the transverse, impact, and tensile strength of heat cured acrylic resin. *J Dentomaxillofac Sci*. 2020;5(2):94. <https://doi.org/10.15562/jdmfs.v5i2.1016>
20. Mangundap GCM, Wowor VNS, Mintjelungan CN. Efektivitas penggunaan gigi tiruan sebagian lepasan terhadap fungsi pengunyahan pada masyarakat desa pinasungkulan kecamatan modinding. *E-gigi*. 2019;7(2):81–6. <https://doi.org/10.35790/eg.7.2.2019.24161>