

Perbedaan modulus elastisitas basis gigi tiruan resin akrilik polimerisasi panas pada penambahan nanosilika abu cangkang kelapa sawit: studi eksperimental laboratoris

Fadhil Ramadhan Shauti¹ 
Siti Wahyuni^{2*} 

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

*Korespondensi
Email | siti.wahyuni@usu.ac.id

Submisi | 29 Mei 2024
Revisi | 6 Juli 2024
Penerimaan | 22 Agustus 2024
Publikasi Online | 30 Agustus 2024
DOI: [10.24198/jkg.v36i2.55038](https://doi.org/10.24198/jkg.v36i2.55038)

p-ISSN [0854-6002](https://doi.org/10.24198/jkg.v36i2.55038)
e-ISSN [2549-6514](https://doi.org/10.24198/jkg.v36i2.55038)

Sitasi | Shauti FR, Wahyuni S.
Perbedaan modulus elastisitas basis
gigi tiruan resin akrilik polimerisasi
panas pada penambahan nanosilika
abu cangkang kelapa sawit: studi
eksperimental laboratoris. J Ked Gi
Univ Padj. 2024;36(2):177-185.
DOI: [10.24198/jkg.v36i2.55038](https://doi.org/10.24198/jkg.v36i2.55038)



Copyright: © 2024 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 adalah bahan yang umum digunakan untuk basis gigi tiruan, namun rentan patah karena memiliki modulus elastisitas yang rendah. Salah satu cara untuk meningkatkan kekuatan bahan basis gigi tiruan adalah dengan menambahkan nanosilika yang berasal dari abu cangkang kelapa sawit. Tujuan penelitian untuk menganalisis perbedaan modulus elastisitas basis gigi tiruan resin akrilik polimerisasi panas pada penambahan nanosilika abu cangkang kelapa sawit. **Metode:** Penelitian eksperimental laboratorium ini membagi sampel penelitian menjadi empat kelompok: tanpa nanosilika (kelompok A), dengan nanosilika 2% (kelompok B), nanosilika 5% (kelompok C), dan nanosilika 6% (kelompok D). Sebanyak 24 sampel berukuran 65x10x2,5 mm diuji menggunakan Universal Testing Machine untuk mengukur modulus elastisitas. **Hasil:** Nilai rata-rata modulus elastisitas adalah 2022,73 ± 479,89 MPa untuk kelompok A, 2261,46 ± 505,76 MPa untuk kelompok B, 3262,06 ± 435,71 MPa kelompok C, dan 2706,56 ± 617,24 MPa untuk kelompok D. Terdapat perbedaan yang signifikan dengan nilai p=0,005, terutama antara kelompok B dan kelompok C dengan nilai p=0,005. **Simpulan:** Terdapat perbedaan modulus elastisitas basis gigi tiruan resin akrilik polimerisasi panas pada penambahan nanosilika abu cangkang kelapa sawit konsentrasi 2%, 5%, dan 6%.

Kata kunci

resin akrilik, basis gigi tiruan, polimerisasi, suhu panas, modulus elastisitas

Differences in elastic modulus of hot polymerized acrylic resin denture bases upon addition of palm shell ash nanosilica: a laboratory experimental study

ABSTRACT

Introduction: Heat cure acrylic resin is commonly used for denture base, but it is prone to breakage due to its low elastic modulus. One method to improve the strength of denture base material is by incorporating nanosilica derived from palm shell ash. This study aims to analyze the differences in the elastic modulus of hot polymerized acrylic resin denture bases with the addition of palm shell ash nanosilica. **Methods:** This research laboratory experimental study with research samples divided into four groups: without nanosilica (group A), with 2% nanosilica (group B), 5% nanosilica (group C), and 6% nanosilica (group D). A total of 24 samples, measuring 65x10x2.5 mm, were tested using a Universal Testing Machine to determine the modulus of elasticity. **Results:** The average modulus of elasticity was 2022.73 ± 479.89 MPa for group A, 2261.46 ± 505.76 MPa for group B, 3262.06 ± 435.71 MPa for group C, and 2706.56 ± 617.24 MPa for group D. A significant difference was found between the groups p=0.005, particularly between group B and group C with a p value=0.005. **Conclusion:** The addition of nanosilica palm shell ash at concentrations of 2%, 5%, and 6% significantly affects the modulus of elasticity of heat cure acrylic resin denture bases.

Keywords

acrylic resin, denture bases, polymerization, hot temperature, elastic modulus

PENDAHULUAN

Basis gigi tiruan adalah bagian gigi tiruan yang bersandar pada jaringan pendukung dan tempat anasir gigi tiruan dilekatkan. Basis gigi tiruan membantu mendistribusikan seluruh tekanan gigi tiruan ke jaringan pendukung.¹ Salah satu bahan basis gigi tiruan yang sering digunakan adalah dari bahan polimetil metakrilat (PMMA) atau sering disebut resin akrilik. Resin akrilik terdiri dari berbagai jenis, yaitu resin akrilik swapolimerisasi, resin akrilik polimerisasi sinar, dan resin akrilik polimerisasi panas. Resin akrilik polimerisasi panas adalah bahan basis gigi tiruan yang proses polimerisasinya membutuhkan energi termal atau energi panas. Resin akrilik polimerisasi panas memiliki beberapa kelebihan, antara lain proses pembuatan dan pemolesan yang mudah, estetik terpenuhi, konduktivitas termal yang baik, biokompatibel, mudah direparasi, dan harga yang relatif murah.²

Resin akrilik polimerisasi panas (RAPP) yang digunakan sebagai basis gigi tiruan juga memiliki kekurangan dalam hal sifat mekanis yaitu mudah patah/fraktur. Fraktur basis gigi tiruan RAPP menimbulkan masalah dalam praktik klinis dengan prevalensi terjadi mencapai 63% dalam tiga tahun pertama penggunaan.³ Hal ini dapat terjadi setelah pemakaian karena menerima beban dari tekanan pengunyahan berulang yang diterima, sehingga modulus elastisitas berada pada titik terendah di atas ambang batas *stress point* dan mengakibatkan terjadi deformasi permanen (*compressive yield strength*) hingga basis mengalami keretakan atau patah. Kecenderungan suatu material mengalami deformasi ketika diberi beban menunjukkan sifat mekanis RAPP, yaitu modulus elastisitas.⁴

Berbagai penelitian telah dilakukan sebagai upaya untuk meningkatkan modulus elastisitas RAPP sebagai basis gigi tiruan sambil mempertahankan biokompatibilitasnya. Salah satu upaya tersebut adalah dengan penambahan bahan penguat (*reinforcement*) berupa nanosilika dari abu cangkang kelapa sawit. Cangkang kelapa sawit memiliki struktur kulit keras dan tebal serta banyak mengandung silika.⁵ Berdasarkan penelitian Pausa dkk⁷ menyatakan bahwa pembakaran cangkang kelapa sawit mengandung silika mencapai 60% dari 2% berat abu yang diperoleh dari total berat cangkang kelapa sawit.⁶ Berdasarkan data dari Badan Pusat Statistik (BPS) tahun 2021 menunjukkan bahwa luas tanaman sawit di Sumatera utara mencapai 442.072,76 Ha dan produksi kelapa sawit mencapai 7.451.890,91 ton.⁷

Pemanfaatan tanaman kelapa sawit menghasilkan limbah padat berupa cangkang kelapa sawit yang kemudian dimanfaatkan kembali sebagai bahan bakar pada *boiler*. Pemanfaatan tersebut menghasilkan sisa pembakaran berupa abu yang tidak dimanfaatkan, sehingga akan menimbulkan dampak buruk terhadap lingkungan dan kesehatan.⁸ Berdasarkan kandungan kimia yang terdapat pada limbah tersebut menunjukkan bahwa limbah abu cangkang kelapa sawit dapat dimanfaatkan sebagai bahan penguat basis gigi tiruan RAPP. Penelitian yang dilakukan Rangkuti⁹ tentang pengaruh penambahan silika dari abu cangkang kelapa sawit pada kekuatan transversal RAPP menunjukkan bahwa terjadi peningkatan kekuatan transversal pada konsentrasi 2% dan 5%. Nilai kekuatan transversal tertinggi terdapat pada konsentrasi 5% dibandingkan konsentrasi 2% dan tanpa bahan penguat.⁹

Silika didapat melalui proses ekstraksi metode *leaching* dengan menggunakan larutan asam agar menghasilkan silika dengan tingkat kemurnian yang tinggi. Silika dapat disintesis menjadi nanosilika dengan memanfaatkan bola-bola baja yang menghasilkan tumbukan dan gesekan dengan material atau disebut dengan metode *ball mill*.¹⁰ Penggunaan silika sebagai *filler* akan lebih baik apabila ukuran partikel silika semakin kecil. Semakin kecil partikel bahan yang ditambahkan, maka semakin baik homogenitasnya, sehingga permukaan akrilik lebih halus, dan kekuatan mekanik akrilik meningkat. Kestabilan rantai polimer dan sifat aktif dari nanosilika akan meningkatkan modulus elastisitas basis gigi tiruan resin akrilik polimerisasi panas.¹¹

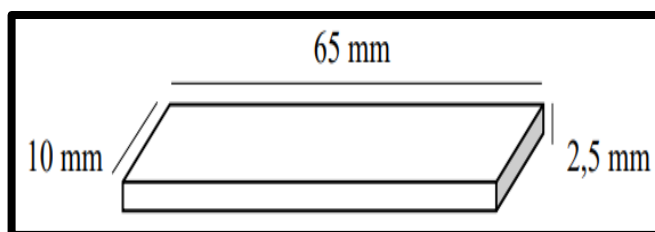
Pemanfaatan unsur silika dari sumber organisme tumbuhan dalam skala nano telah berkembang diteliti dalam bidang kedokteran gigi karena kemampuannya meningkatkan sifat mekanis. Penelitian yang dilakukan oleh Salman¹² tentang penambahan nanosilika dari sekam padi Irak pada RAPP dengan konsentrasi 3%, 5%, dan 7%. Penelitian tersebut menghasilkan nilai kekuatan transversal RAPP dengan penambahan nanosilika dari sekam padi konsentrasi 3%, 5%, dan 7% mengalami peningkatan dibandingkan dengan tanpa penambahan. Nilai kekuatan transversal tertinggi terdapat pada kelompok perlakuan dengan konsentrasi 5% dan kemudian mengalami penurunan pada konsentrasi 7%.¹²

Berdasarkan beberapa penelitian sebelumnya, kebaruan dalam penelitian ini adalah penggunaan unsur silika dengan partikel yang berukuran nano atau nanosilika dari abu cangkang kelapa sawit dengan konsentrasi penambahan yaitu 2%, 5%, dan 6%. Tujuan penelitian untuk menganalisis perbedaan modulus elastisitas basis gigi tiruan resin akrilik polimerisasi panas pada penambahan nanosilika abu cangkang kelapa sawit.

METODE

Jenis penelitian adalah eksperimental laboratoris yang bertujuan untuk menganalisis perbedaan sebagai akibat pemberian perlakuan tertentu. Desain penelitian yang digunakan adalah *post test only control group design*. Desain jenis ini adalah desain sederhana dengan empat kelompok, yaitu satu kelompok bertindak sebagai kontrol dan tiga kelompok yang diberikan perlakuan. Kelompok kontrol adalah kelompok dengan sampel yang dibuat tanpa penambahan bahan penguat. Sedangkan, kelompok perlakuan adalah kelompok sampel yang dibuat dengan penambahan bahan penguat konsentrasi 2%, 5%, dan 6%. Setelah semua kelompok selesai dapat dilakukan pengukuran terhadap keempat kelompok dan perbandingan hasil menunjukkan perbedaan pengaruh dari sebuah perlakuan.

Sampel pada penelitian ini adalah resin akrilik polimerisasi panas tanpa dan dengan diberikan perlakuan tertentu. Berdasarkan *International Standard Organization* (ISO) No.1567, sampel untuk pengujian kekuatan mekanis modulus elastisitas basis gigi tiruan RAPP merupakan model induk dengan ukuran $65 \times 10 \times 2,5 \pm 0,5$ (p x l x t) yang terbuat dari logam (Gambar 1).¹³ Penelitian ini menggunakan 4 kelompok, yaitu kelompok kontrol (Kelompok A), kelompok dengan penambahan nanosilika abu cangkang kelapa sawit 2% (Kelompok B), kelompok dengan penambahan nanosilika abu cangkang kelapa sawit 5% (Kelompok C), dan kelompok dengan penambahan nanosilika abu cangkang kelapa sawit 6% (Kelompok D). Jumlah sampel yang dibutuhkan ditentukan dengan perhitungan menggunakan rumus *Federer* karena subjek digunakan untuk penelitian eksperimental. Berdasarkan perhitungan di atas, dimana (t) adalah kelompok perlakuan dan (n) adalah jumlah sampel per kelompok perlakuan. Perhitungan tersebut menghasilkan jumlah sampel setiap kelompok adalah 6 sampel dengan total kelompok adalah 4 kelompok, sehingga total jumlah sampel adalah 24 sampel.



Gambar 1. Bentuk dan ukuran sampel penelitian sesuai ISO no.1567^{4,29}

Pembuatan ekstrak silika dari abu cangkang kelapa sawit dilakukan pada Laboratorium Kimia Anorganik Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Sumatera

Utara (FMIPA USU). Sintesis silika yang bertujuan untuk menjadikan nanosilika dilakukan pada Unit Pelaksana Teknis (UPT) Laboratorium Penelitian Terpadu USU. Pengukuran besar partikel nanosilika dilakukan pada Laboratorium Nanomedisin Fakultas Farmasi USU. Pembuatan sampel RAPP dilakukan pada Unit Jasa Industri (UJI) Dental Fakultas Kedokteran Gigi Universitas Sumatera Utara (FKG USU) dan Ruang Penelitian Departemen Prostodonsia FKG USU. Pengujian modulus elastisitas sampel dilakukan pada Laboratorium *Impact and Fracture Research Center* (IFRC) Program Magister Teknik Mesin Fakultas Teknik USU. Penelitian dilakukan pada bulan Januari sampai Maret 2024.

Langkah pertama dalam penelitian ini adalah pembuatan nanosilika abu cangkang kelapa sawit. Cangkang kelapa sawit dicuci dan dijemur dibawah sinar matahari, kemudian digiling menggunakan *grinder* dan digerus hingga halus. Hasil gerusan direndam dengan HCl 10% selama 2 jam, disaring, dan dikeringkan dalam oven pada suhu 150°C selama 1 jam. Sampel dipanaskan dengan tanur pada suhu 350°C selama 3 jam hingga sampel berbentuk arang, kemudian tanur kembali dengan suhu 900°C selama 2 jam hingga berbentuk abu. Abu digerus kembali dan dimasukkan ke dalam *beaker glass*. Tambahkan 100 ml NaOH 10% dan diamkan selama 24 jam, kemudian *stirrer* 240 rpm pada suhu 80°C selama 3 jam. Saring hingga menghasilkan endapan berupa filtrat NaSiO₃.

Tambahkan HCl 37% sedikit demi sedikit hingga pH mencapai 7. Endapan disaring kembali agar menghasilkan silika kemudian dicuci dengan akuades dan dipanaskan pada suhu 105°C selama 3 jam. Silika yang dihasilkan kemudian dilakukan proses sintesis metode *ball mill* dengan kecepatan 600 rpm selama 3 jam. Bubuk silika diayak dengan ayakan 100 mesh dan 400 mesh hingga didapatkan ukuran partikel nanosilika <100 nm (96 nm).

Pembuatan *mold* dilakukan dengan pencampuran gips tipe III dan air dengan perbandingan 300 gr gips dan 90 ml air untuk satu kuvet. Aduk campuran hingga homogen, kemudian tuangkan ke dalam kuvet bawah sambil digetarkan menggunakan *vibrator*. Model induk yang sudah diolesi *vaseline* di tanaman ke dalam kuvet, kemudian olesi kembali vaseline pada seluruh permukaan. Kuvet atas dipasangkan dengan kuvet bawah, kemudian lakukan pengisian adonan dengan perbandingan yang sama. Diamkan kuvet selama 45 menit hingga cetakan mengeras, kemudian model induk dapat dikeluarkan dari kuvet.

Pembuatan sampel basis gigi tiruan RAPP dilakukan dengan pengisian adonan resin akrilik merek QC-20 tanpa dan dengan penambahan nanosilika pada *mold*. Terlebih dahulu olesi permukaan *mold* dengan *cold mold seal*. Kelompok A (kontrol), campurkan polimer dan monomer dengan perbandingan 2:1 yaitu 15 gr : 7,5 ml untuk 1 buah kuvet yang terdiri dari 3 mold sampel. Kelompok B, C, dan dicampur dengan menambahkan bubuk nanosilika pada polimer dengan perhitungan sesuai konsentrasi penambahan. Kelompok A dengan penambahan 0,3 gr bubuk nanosilika. Kelompok B dengan penambahan 0,75 gr bubuk nanosilika. Kelompok C dengan penambahan 0,9 gr bubuk nanosilika. Setelah campuran polimer dan bubuk nanosilika homogen, kemudian tambahkan monomer. Aduk campuran hingga adonan homogen dan mencapai tahap keempat (*dough stage*).

Pengisian *mold* dilakukan dengan memasukkan adonan ke dalam *mold* dan ditutup dengan plastik selopan kemudian kuvet atas dipasangkan, kuvet ditekan perlahan dengan pres hidrolik mencapai 1000 psi, lalu kuvet dibuka. Adonan yang berlebih dibuang dengan lekron. Tutup kembali kuvet atas dan berikan tekanan hidrolik 2200 psi di atasnya. Untuk mempertahankan kuvet (atas dan bawah) setelah dipastikan baut kuvet terpasang dengan benar, alat dibiarkan selama 30 menit. Kemudian lakukan proses *curing* dengan menempatkan kuvet ke dalam *waterbath* dengan suhu 70°C selama 90 menit, kemudian suhu dinaikkan menjadi 100°C selama 30 menit. Sampel didinginkan pada suhu kamar, rapikan bagian berlebih dengan bur *frasser* kemudian haluskan dengan *rotary grinder*.

Pengujian modulus elastisitas sampel dengan alat *Universal Testing Machine* dengan kecepatan *crosshead* 5 mm/menit dan jarak tumpuan 50 mm. Garis tengah ditarik dan nomor diberikan untuk setiap sampel. Sampel kemudian diposisikan secara vertikal,

dengan ujungnya bertumpu pada pegangan yang kuat pada peralatan pengujian, dan alat tersebut digunakan untuk memberikan tekanan merata di sepanjang garis tengah sampel hingga sampel patah. Nilai yang ditentukan oleh tes akan ditampilkan di layar dan dicatat sesuai dengan kelompok tes. Setelah itu dilakukan perhitungan modulus elastisitas sesuai rumus dengan satuan MPa. Setelah itu, dilakukan analisis data yaitu uji analisis univariat untuk mengetahui nilai minimum, maksimum, dan rerata serta standar deviasi setiap kelompok.

One-way analysis of variance (ANOVA) digunakan untuk menentukan perbedaan penambahan nanosilika 2%, 5%, dan 6% dari abu cangkang sawit ke basis gigi tiruan resin akrilik polimerisasi panas terhadap modulus elastisitas, dan uji LSD (*Least Significant Different*) digunakan untuk menganalisis kelompok perlakuan yang memiliki perbedaan bermakna.

HASIL

Hasil penelitian berdasarkan analisis univariat menunjukkan bahwa nilai modulus elastisitas terkecil pada kelompok A adalah 1486,81 MPa, sedangkan nilai terbesar adalah 2524,19 MPa dengan nilai rerata dan standar deviasi adalah $2022,73 \pm 479,89$ MPa. Nilai modulus elastisitas terkecil pada kelompok B adalah 1613,19 MPa, sedangkan nilai terbesar adalah 2908,22 MPa dengan rerata dan standar deviasi adalah $2261,46 \pm 505,76$ MPa. Nilai modulus elastisitas terkecil pada kelompok C adalah 2915,63 MPa, sedangkan nilai terbesar adalah 4042,71 MPa dengan rerata dan standar deviasi adalah $3262,06 \pm 435,71$ MPa. Nilai modulus elastisitas terkecil pada kelompok D adalah 1684,26 MPa, sedangkan nilai terbesar adalah 3291,20 MPa dengan rerata dan standar deviasi adalah $2706,56 \pm 617,24$ MPa (Tabel 1).

Tabel 1. Nilai modulus elastisitas resin akrilik polimerisasi panas tanpa dan dengan penambahan nanosilika abu cangkang kelapa sawit 2%, 5%, dan 6%.

Nomor sampel	Modulus elastisitas (Mpa)			
	Kelompok A	Kelompok B	Kelompok C	Kelompok D
1	2352,20	1742,71	2961,46	2574,88
2	2485,30	2322,34	3440,86	3186,57
3	1486,81*	2908,22**	3261,81	1684,26*
4	1603,24	1613,19*	2949,88	3291,20**
5	2524,19**	2667,36	4042,71**	2386,34
6	1684,61	2314,93	2915,63*	3116,09
$\bar{x} \pm SD$	$\bar{x} = 2022,73$ $SD = 479,89$	$\bar{x} = 2261,46$ $SD = 505,76$	$\bar{x} = 3262,06$ $SD = 435,71$	$\bar{x} = 2706,56$ $SD = 617,24$

Keterangan: * = Nilai terkecil; ** = Nilai terbesar

Uji normalitas data dengan menggunakan uji *Saphiro-Wilk* untuk mengetahui data seluruh kelompok adalah normal sebelum dilakukan uji Anova (Tabel 2). Hasil uji normalitas data diperoleh tingkat signifikansi pada kelompok A dengan $p=0,183$, kelompok B dengan $p=0,610$, kelompok C dengan $p=0,113$, dan kelompok D dengan $p=0,108$. Hasil uji normalitas secara signifikan $p>0,05$ menunjukkan bahwa data berdistribusi normal. Selanjutnya dilakukan uji *Levene* untuk mengetahui data homogen atau tidak (Tabel 3). Hasil uji ini dengan nilai $p=0,118$ ($p>0,05$), menunjukkan bahwa data homogen. Hasil pengujian kemudian dilanjutkan dengan uji Anova satu arah (Tabel 4).

Tabel 2. Hasil uji normalitas data kelompok A, B, C, dan D berdasarkan uji *Saphiro-Wilk*

Shapiro-Wilk				
	Kelompok uji	Statistic	df	Nilai p
Modulus elastisitas	0	0,858	6	0,183*
	2%	0,934	6	0,610*
	5%	0,833	6	0,113*
	6%	0,830	6	0,108*

Keterangan: *Signifikansi ($p > 0,05$);**Tabel 3. Hasil uji homogenitas data kelompok A, B, C, dan D berdasarkan uji *Levene***

		Levene Statistic	df1	df2	Nilai p
Modulus elastisitas	Based on Mean	2,212	3	20	0,118
	Based on Median	1,632	3	20	0,214
	Based on Median and with adjusted df	1,632	3	16.819	0,220
	Bases on trimmed mean	2,205	3	20	0,119

Keterangan: *Signifikansi ($p > 0,05$);**Tabel 4. Hasil uji modulus elastisitas kelompok A, B, C, dan D berdasarkan uji Anova satu arah**

Kelompok Uji	n	Nilai modulus elastisitas (MPa)	Nilai p
		$\bar{x} \pm SD$	
Kelompok A	6	2022,73 $\pm$ 479,89	0,005*
Kelompok B	6	2261,46 $\pm$ 505,76	
Kelompok C	6	3262,06 $\pm$ 435,71	
Kelompok D	6	2706,56 $\pm$ 617,24	

Keterangan: * Signifikansi ($p < 0,05$);

Hasil uji Anova satu arah adalah adanya perbedaan yang signifikan nanosilika abu cangkang kelapa sawit 2%, 5%, dan 6% pada bahan basis gigi tiruan RAPP terhadap modulus elastisitas dengan nilai $p = 0,005$ ($p < 0,05$). Penelitian dilanjutkan dengan uji LSD (*Least Significant Different*) digunakan untuk menganalisis perbedaan bermakna antar kelompok perlakuan. Berdasarkan uji LSD menunjukkan bahwa ada perbedaan bermakna yang signifikan antara kelompok B dengan kelompok C terhadap modulus elastisitas dengan nilai $p = 0,005$ ($p < 0,05$) (Tabel 5).

Tabel 5. Nilai perbedaan bermakna antar kelompok perlakuan berdasarkan uji LSD

Kelompok uji		Nilai p
B	C	0,005*
B	D	0,173
C	D	0,093

Keterangan: *Signifikansi ($p < 0,05$);

PEMBAHASAN

Tabel 1 menunjukkan nilai modulus elastisitas basis gigi tiruan RAPP yang bervariasi pada setiap sampel dalam kelompok. Hasil ini tidak jauh berbeda dengan penelitian yang dilakukan Salman dkk yang menyatakan bahwa variasi nilai ini dapat disebabkan oleh beberapa faktor yang tidak dapat dikendalikan selama penelitian yang memengaruhi proses polimerisasi bahan basis gigi tiruan RAPP. Salah satu faktor tersebut adalah dikarenakan pembuatan adonan tidak dilakukan secara bersamaan untuk semua sampel penelitian dan pencampuran bubuk nanosilika pada RAPP dengan teknik konvensional

yang dapat menyebabkan kecepatan dan kekuatan tidak dapat dikendalikan secara sempurna sehingga menghasilkan campuran yang sulit homogen.^{12,14}

Ferasima¹⁵ menyatakan teknik pengadukan yang manual dapat menyebabkan terperangkapnya udara di dalam matriks bahan basis gigi tiruan RAPP sehingga dapat terjadi porositas yang dapat memengaruhi sampel lebih mudah retak dan fraktur.¹⁵ Terdapat beberapa cara pengadukan dengan memanfaatkan teknologi, yaitu dengan menggunakan alat *vacum mixer* saat pengadukan bahan basis gigi tiruan RAPP agar tidak ada udara yang terperangkap dalam matriks polimer.

Berdasarkan *International Standard Organization* (ISO), syarat basis gigi tiruan yang ideal adalah memiliki modulus elastisitas minimal 2000 MPa untuk polimer yang dipolimerisasi panas.¹⁶ Kelompok kontrol dan perlakuan pada sampel penelitian ini menunjukkan nilai modulus elastisitas diatas standar ISO. Kestabilan rantai polimer dan sifat aktif dari nanosilika dalam mengisi celah untuk saling berikatan akan meningkatkan kekuatan transversal basis gigi tiruan RAPP.^{12,17}

Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa bahan basis gigi tiruan RAPP yang ditambahkan dengan nanosilika konsentrasi 2%, 5%, dan 6% memiliki nilai yang signifikan dalam peningkatan modulus elastisitas (Tabel 4). Hasil ini sedikit berbeda dengan penelitian yang dilakukan Salman dkk tentang penambahan nanosilika dari sekam padi Irak pada RAPP dengan konsentrasi 3%, 5%, dan 7%. Kekuatan transversal dipengaruhi oleh modulus elastisitas, sehingga kekuatan transversal yang tinggi didapat dari modulus elastisitas yang tinggi juga.¹⁸ Penelitian tersebut menghasilkan nilai kekuatan transversal RAPP dengan penambahan nanosilika dari sekam padi konsentrasi 3%, 5%, dan 7% mengalami peningkatan dibandingkan dengan tanpa penambahan nanosilika sekam padi. Nilai kekuatan transversal tertinggi terdapat pada kelompok perlakuan dengan konsentrasi 5% dan kemudian mengalami penurunan pada konsentrasi 7%.¹²

Pengaruh tersebut terjadi karena partikel nanosilika memiliki interaksi yang kuat dan adhesi yang baik terhadap polimer RAPP. Partikel silika dapat bereaksi secara kimia dengan gugus -COOR dari polimer RAPP pada saat proses polimerisasi bahan dengan membentuk ikatan *hydrogen* antara gugus *carbonyl* (-C=O) dan gugus *hydroxyl* (-OH) pada permukaan partikel nanosilika sekaligus dapat berikatan dengan dua atom oksigen dari gugus -COOR dari polimer RAPP.⁶ Partikel nanosilika dan polimer RAPP dapat membentuk sambungan antarmuka karena gaya kohesif yang kuat. Lapisan antarmuka yang terdiri dari rantai makromolekul yang fleksibel terbentuk karena adanya interaksi yang kuat antara keduanya. Partikel silika dapat menyerap ion dan molekul dari polimer RAPP, dapat membantu menghindari retak, dan meningkatkan modulus elastisitas basis gigi tiruan RAPP.¹⁹

Hasil penelitian ini menunjukan bahwa penambahan nanosilika ke dalam RAPP dengan ukuran dan jumlah tertentu ternyata dapat memperbaiki sifat mekanik bahan tersebut. Pada penelitian ini terjadi peningkatan nilai modulus elastisitas yang paling tinggi adalah pada kelompok dengan penambahan nanosilika konsentrasi 5% atau kelompok C (Tabel 5). Hasil ini sesuai dengan beberapa penelitian terdahulu, seperti penelitian yang dilakukan Alnamel dkk, Salman dkk, dan Rangkuti dkk. Penelitian tersebut menyatakan bahwa penambahan nanosilika pada konsentrasi optimal, yaitu 5% memperlihatkan terjadi peningkatan nilai modulus elastisitas paling tinggi.^{9,12,17} Pada konsentrasi 5% atau kelompok C terjadi gaya adhesi optimal sehingga menyebabkan densitas atau kerapatan antara partikel nanosilika dengan matriks polimer mencapai maksimal. Partikel nanosilika dan polimetil metakrilat terdistribusi secara homogen hingga antar partikel membentuk ikatan yang berpasangan. Ukuran yang sangat halus dari bubuk nanosilika memungkinkan partikel nanosilika mengisi ruang antara makro molekular rantai linear dari polimer.^{2,14}

Penambahan nanosilika sebagai bahan penguat basis gigi tiruan RAPP dengan konsentrasi terlalu rendah menyebabkan struktur partikel yang saling berikatan tidak sempurna dan akan saling berikatan secara sempurna pada konsentrasi optimal. Pada kelompok B terjadi gaya tarik menarik partikel nanosilika dengan polimetil metakrilat yang

belum berikatan dengan sempurna. Pasangan yang kurang antara partikel nanosilika dengan polimetil metakrilat untuk saling berikatan menjadi penyebab ikatan yang terjadi tidak sempurna. Hal ini menyebabkan polimer belum homogenitas secara struktur dan pada level *stress point* tertentu dapat terlepas dari matriks sehingga basis gigi tiruan lebih mudah patah.²⁰

Penambahan nanosilika dengan konsentrasi yang terlalu tinggi dapat menyebabkan defek pada bahan sehingga menurunkan kekuatan bahan, pengendapan partikel di dalam resin, dan menyebabkan gangguan dalam kontinuitas matriks resin karena sudah berada pada titik jenuh matriks resin.^{4,20} Terlihat hasil pengujian data pada tabel 6 bahwa pada kelompok D terjadi penurunan nilai modulus elastisitas. Ketika persentase konsentrasi ditingkatkan diatas konsentrasi optimal dapat memperbesar interaksi di antara partikel pengisi tersebut yang mengakibatkan adanya pembentukan aglomerat.

Aglomerat merupakan penggumpalan partikel atau zat menjadi satu sehingga dapat merusak ikatan antar partikel penyusun. Aglomerasi yang terjadi dikarenakan konsentrasi pengisi yang terlalu tinggi menyebabkan polimer tidak homogen secara struktur dan pada level *stress point* tertentu dapat terlepas dari matriks.⁴ Hasil penelitian ini didukung dengan penelitian yang dilakukan oleh Alnamel¹⁷ melakukan penelitian tentang pengaruh silikon dioksida nano-filler pada beberapa sifat basis gigi tiruan RAPP. Hasil penelitian tersebut menunjukkan bahwa terjadinya peningkatan kekerasan permukaan pada konsentrasi 3, 5, dan 7%. Selain kekerasan permukaan yang mengalami peningkatan, pada konsentrasi 3 dan 5% kekuatan impak dan transversal juga mengalami peningkatan, sedangkan pada konsentrasi 7% kekuatan impak dan transversal mengalami penurunan.¹⁷

Keterbatasan pada penelitian ini adalah sulit terjadinya pencampuran yang homogen antara polimer RAPP dan partikel nanosilika yang disebabkan oleh teknik pengadukan manual menggunakan pot akrilik dan *spatle agate* sehingga menyebabkan porositas internal dan berpengaruh pada nilai modulus elastisitas. Keterbatasan lain adalah distribusi bahan penguat pada tiap sampel tidak dapat dipastikan dalam jumlah yang sama karena ada kemungkinan bahan penguat tidak terdistribusi merata saat pengepresan dilakukan meskipun tekanan dikendalikan. Kondisi ini dapat menyebabkan bahan penguat berupa nanosilika tidak terdistribusi secara merata pada setiap sampel penelitian.

SIMPULAN

Terdapat perbedaan modulus elastisitas basis gigi tiruan resin akrilik polimerisasi panas pada penambahan nanosilika abu cangkang kelapa sawit konsentrasi 2%, 5%, dan 6%. Implikasi penelitian adalah hasil penelitian dapat menjadi solusi alternatif atas dampak negatif yang ditimbulkan oleh limbah abu dari hasil pembakaran cangkang kelapa sawit yang hanya dibiarkan menumpuk sebagai limbah industri pabrik agar dapat dimanfaatkan dan dapat memberikan kontribusi bagi perkembangan ilmu kedokteran gigi khususnya di bidang prostodonsia, sebagai dasar penelitian lebih lanjut untuk mengatasi penurunan modulus elastisitas dengan penambahan nanosilika dari abu cangkang kelapa sawit pada RAPP.

Kontribusi Penulis: Konseptualisasi, W.S. dan S.F.R.; metodologi, W.S. dan S.F.R.; perangkat lunak, S.F.R.; validasi, W.S. dan S.F.R.; analisis formal, W.S. dan S.F.R.; investigasi, Shauti F R.; sumber daya, W.S. dan S.F.R.; kurasi data, W.S. dan S.F.R.; penulisan penyusunan draft awal, W.S. dan S.F.R.; penulisan tinjauan dan penyuntingan, W.S.; visualisasi, S.F.R.; supervisi, W.S.; administrasi proyek, S.F.R.; perolehan pendanaan, S.F.R. 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 Fakultas Kedokteran USU No. 09/KEPK/USU/2024

Pernyataan Dewan Peninjau Kelembagaan: Pernyataan persetujuan diperoleh dari semua subjek yang terlibat dalam penelitian ini.

Pernyataan Persetujuan (*Informed Consent Statement*): Penelitian ini 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

1. Manappallil JJ. Basic dental materials. 3rd ed. Jaypee Brothers Medical Publisher; London 2016. p. 551-93.
2. Dahar E, Handayani S. Pengaruh penambahan zirkonium oksida pada bahan basis gigi tiruan resin akrilik polimerisasi panas terhadap kekuatan impak dan transversal. PANNMED 2017;12(2):194-9. Available from: <http://ojs.poltekkes-medan.ac.id/pannmed/article/view/24>
3. Anusavice KJ, Shen C, Rawls HR. Phillips' science of dental materials. 12th ed. Elsevier science Saunders; Missouri 2013. p. 71-5. ISBN: 978-1-4377-2418-9
4. Hasran MAR, Imam DNA, Sunendar B. Addition of rice husk nanocellulose to the impact strength of resin base heat cured. J Vocati Health Stud 04 2021;10(3): 209–11. <https://doi.org/10.20473/jvhs.V4.I3.2021.119-124>
5. Munawarah F, Sulaiman AR, Fitri G. Substitusi abu cangkang kelapa sawit sebagai material pengisi pada campuran AC-WC. Proceeding Seminar Nasional Politeknik Negeri Lhokseumawe, 2019;3(1):37-41. Available from: <https://e-proceeding.itp.ac.id/index.php/sinarint/article/view/100>
6. Pausa Y, Malino MB, Arman Y. Optimasi tingkat kemurnian silika, SiO₂, dari abu cangkang sawit berdasarkan konsentrasi pengasaman. Prisma Fisika 2015;3(1):1-4. DOI: <https://doi.org/10.24815/cdj.v15i2.26948>
7. Telaumbanua JJP. Using fly ash and bottom ash boiler of palm oil factories as adsorbents for adsorption of color in artificial liquid waste. MAKINTEK 2020;11(2):59-67. <https://doi.org/10.35335/mekintek.v11i2.15>
8. Febrina, L., R. Rusli, dan F. Muflihah. 2015. Optimalisasi ekstraksi dan uji metabolit sekunder tumbuhan libo (ficus variegata blume). J. Trop. Pharm. Chem 3(2): 233-7. <https://doi.org/10.25026/jtpc.v3i2.153>
9. 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):117-22. <https://doi.org/10.24815/cdj.v15i2.26948>
10. Slamet S, Bastian MYAR. Daur ulang silika bekas inti cor melalui teknik ball mill untuk mengembalikan daya ikatnya. SIMETRIS 2018; 9(1): 211-8. <https://doi.org/10.24176/simet.v9i1.2097>
11. Evelyn A, Prakusya N, Suprana DJD, Ariswari AN, Purwasasmita BS. Sintesis dan karakterisasi nanoselulosa berbahan serat nanas sebagai komponen penguat material kedokteran gigi. J Mater Ked Gi (JMKG). 2019;8(2):60-4. DOI: <http://dx.doi.org/10.21776/ub.eprodenta.2020.004.02.5>
12. Salman AD, Jani GH, Fatalla AA. Comparative study of the effect of incorporating sio2 nanoparticles on properties of polymethyl methacrylate denture bases. Biomed Pharmacol J 2017;10(3):1525-35. DOI: <https://dx.doi.org/10.13005/bpi/1262>
13. Ningsih DS, Rahmayani L, Mubarak Z. The duration of using denture against plaque formation of denture base. JDS 2020;5(2):51-55. e-ISSN 2502-600 www.jurnal.unsyiah.ac.id/JDS
14. Riyadi W, Sunendar PB, Noviyanti AID. Penambahan nanoselulosa sekam padi terhadap kekuatan fleksural basis gigi tiruan resin akrilik polimerisasi panas. E-Prodenta J Dent 2020;4(2):336-42. Available from: <https://eprodenta.ub.ac.id/index.php/eprodenta/article/view/133>
15. Ferasima R, Zulkarnain M, Nasution H. Pengaruh penambahan serat kaca dan serat polietilen terhadap kekuatan impak dan transversal pada bahan basis gigi tiruan resin akrilik polimerisasi panas. Insisiva Dent J. 2013;2(1):27-36. <https://doi.org/10.18196/di.v2i1.555>
16. ISO:20795-1 Dentistry — Denture base polymers. 2013. Available from: <https://www.iso.org/standard/62277.html>
17. Alnamel HA, Mudhaffer M. The effect of silicon dioxide Nano-Fillers reinforcement on some properties of heat cure polymethyl methacrylate denture base material. J Bagh Collage Dent 2014;26(1):32-6. Available from: <https://www.jbcd.uobaghdad.edu.iq/index.php/jbcd/article/view/293>
18. Syafiar L, Harahap Sa, Salim R. Kekuatan transversal termoplastik nilon, dan campuran resin akrilik polimerisasi panas dan serat kaca. J Mater Ked Gi 2020;9(1):24–8. DOI: <https://doi.org/10.32793/jmkg.v9i1.436>
19. Balos S, Puskar T, Potran M, et al. Modulus, strength and cytotoxicity of PMMA-Silica nanocomposites. Coatings 2020; 10(583): 6. DOI: <https://doi.org/10.3390/coatings10060583>
20. Nasution H, Kamornkhanitkul K, Arksornnukit M, Takahashi H. Pressure transmission area and maximum pressure transmission of different thermoplastic resin denture base materials under impact load. J Prostho Reh 2017;62(1):44-9. <https://doi.org/10.1016/j.jpor.2017.05.001>