

PENAMBAHAN NANOPARTIKEL TITANIUM DIOKSIDA TERHADAP KEKUATAN FLEKSURAL DAN KEKERASAN BASIS GIGI TIRUAN RESIN AKRILIK POLIMERISASI PANAS

Siska Desyani Manik*, Slamet Tarigan**

*Departemen Prostodonsia, FKG Universitas Sumatera Utara
e-mail: siskadesyani28@gmail.com

KATA KUNCI

Resin Akrilik
Polimerisasi Panas,
Titanium Dioksida,
Kekuatan Fleksural,
Kekerasan

ABSTRAK

PENDAHULUAN: Resin Akrilik Polimerisasi Panas (RAPP) adalah salah satu polimer yang biasa digunakan dalam bidang kedokteran gigi termasuk pada bahan basis gigi tiruan terutama karena manipulasinya, *finishing* dan *polishing* yang mudah dan juga tidak membutuhkan peralatan yang mahal. Namun basis gigi tiruan RAPP juga memiliki beberapa kelemahan, diantaranya sifat mekanis seperti kekuatan fleksural dan kekerasan yang rendah. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh penambahan nanopartikel titanium dioksida terhadap kekuatan fleksural dan kekerasan basis gigi tiruan resin akrilik polimerisasi panas. **METODE:** Rancangan penelitian adalah eksperimental laboratoris dan desain yang digunakan adalah *post-test only with control group design* dengan ukuran sampel 50mm x 10mm x 3mm untuk uji kekuatan fleksural dan 25mm x 10mm x 3mm untuk uji kekerasan. Jumlah sampel sebanyak 48 sampel yang terdiri dari 4 kelompok perlakuan yaitu kelompok kontrol, kelompok penambahan nanopartikel titanium dioksida 0,5%, 1% dan 1,5%. Jumlah sampel untuk masing-masing kelompok adalah 6 sampel. **HASIL:** Nilai rerata tertinggi kekuatan fleksural yaitu pada kelompok penambahan nanopartikel titanium dioksida konsentrasi 1% dan terendah pada kelompok kontrol. Nilai rerata kekerasan tertinggi yaitu pada kelompok penambahan nanopartikel titanium dioksida konsentrasi 1,5% dan terendah pada kelompok kontrol. Berdasarkan hasil uji ANOVA menunjukkan ada pengaruh penambahan nanopartikel titanium dioksida dengan konsentrasi 0,5%, 1% dan 1,5% yang signifikan terhadap kekuatan fleksural dan kekerasan basis gigi tiruan RAPP. **SIMPULAN:** Penambahan nanopartikel titanium dioksida dapat meningkatkan kekuatan fleksural dan kekerasan basis gigi tiruan resin akrilik polimerisasi panas. Penambahan nanopartikel titanium dioksida pada basis gigi tiruan RAPP yang dianjurkan oleh peneliti yaitu dengan konsentrasi 1%.

KEYWORDS

Heat-Polymerized
Acrylic Resin,
Titanium Dioxide,
Flexural Strength,
Hardness.

ABSTRACT

Introduction: Heat polymerized acrylic resin is one of the polymers commonly used in dentistry included denture base materials because their manipulation, finishing, and polishing are easy and do not require expensive equipment. However, heat-polymerized acrylic resin denture bases also have several disadvantages including, low mechanical properties such as flexural strength and hardness. This study aims to determine the effect of adding titanium dioxide nanoparticles on the flexural strength and hardness of the heat polymerized acrylic resin denture base. **Method:** This type of research is an experimental laboratory with a sample size of 50mm x 10mm x 3mm for flexural strength test and 25mm x 10mm x 3mm for hardness test. The total sample of 48 samples consisted of the control group, the group with the

*addition of titanium dioxide nanoparticles with concentrations of 0,5%, 1%, and 1,5%. **Results:** The highest mean value of flexural strength was in the group of adding titanium dioxide nanoparticles with a concentration of 1% and the lowest was the control group. The highest mean value of hardness was in the group of adding titanium dioxide nanoparticles with the concentration of 1,5% and the lowest was the control group. Based on ANOVA test results, there was a significant effect of adding titanium dioxide nanoparticles with a concentration of 0,5%, 1%, and 1,5% on the flexural strength and hardness of the heat polymerized acrylic resin denture base. **Conclusion:** The addition of titanium dioxide nanoparticles can increase the flexural strength and hardness of the heat polymerized acrylic resin denture base. The addition of titanium dioxide nanoparticles to heat polymerized acrylic resin denture base recommended by the researchers was with a concentration of 1%.*

PENDAHULUAN

Resin akrilik polimerisasi panas adalah salah satu polimer yang biasa digunakan dalam bidang kedokteran gigi seperti pada bahan basis gigi tiruan, gigi tiruan sementara, pesawat ortodontik lepasan seperti retainer dan pesawat fungsional.^{1,2} Basis gigi tiruan RAPP sering digunakan terutama karena manipulasinya, *finishing* dan *polishing* yang mudah dan juga tidak membutuhkan peralatan yang mahal.^{3,4} Selain itu, basis gigi tiruan RAPP memiliki stabilitas yang baik di rongga mulut dan mempunyai kualitas estetik yang tinggi.³ Namun, basis gigi tiruan RAPP juga memiliki beberapa kelemahan diantaranya, sifat mekanis yang rendah seperti kekuatan fleksural dan kekerasan yang rendah dibandingkan dengan kerangka logam, konduktivitas termal yang rendah, adanya porositas, dan mudah fraktur.^{3,4} Penelitian sebelumnya menunjukkan bahwa sebanyak 68% dari fraktur gigi tiruan terjadi hampir setelah 3 tahun pemakaian, 28% terjadi setelah 1 tahun dan 39% dari gigi

tiruan perlu diperbaiki setelah 3 tahun pemakaian.^{4,5}

Fraktur pada basis gigi tiruan seringkali disebabkan karena lemahnya ketahanan bahan terhadap kekuatan fleksural. Fraktur yang diakibatkan tekanan dari kekuatan fleksural muncul setelah pembengkokan pada bahan dengan tekanan yang kecil namun berulang terus menerus dalam jangka waktu yang lama. Basis gigi tiruan dapat mengalami paparan tekanan dari kekuatan fleksural secara terus menerus selama proses pengunyahan akibat adaptasi basis gigi tiruan yang buruk terhadap permukaan mukosa yang mendukungnya, oklusi yang tidak seimbang, morfologi palatum, kekuatan mastikasi yang berlebihan atau deformasi gigi tiruan saat penggunaan dalam rongga mulut.⁶

Resin akrilik memiliki kekerasan yang rendah dibandingkan logam, karena itu bahan ini dapat dengan mudah tergores dan abrasi.⁷ Gigi tiruan yang mudah tergores dan abrasi dapat menyebabkan terbentuknya *microporous* pada permukaan gigi tiruan

yang dapat menjadi lingkungan yang mendukung mikroorganisme untuk bertumbuh.⁸

Banyak upaya telah dilakukan untuk meningkatkan kekuatan mekanik pada resin akrilik. Dibandingkan dengan penambahan *fibers*, penambahan partikel nano *filler* mungkin menjadi bahan pilihan terbaik untuk menambah kekuatan basis gigi tiruan karena terbukti dapat meningkatkan kekuatan fleksural, kekerasan serta kualitas estetika yang baik.⁹ Nanopartikel oksida yang sering digunakan untuk menambah kekuatan basis gigi tiruan adalah Titanium Dioksida (TiO_2), Zirkonium Dioksida (ZrO_2), Aluminium Oksida (Al_2O_3) dan Silikon Dioksida (SiO_2). Nanopartikel oksida tersebut sering digunakan karena memiliki ukuran yang kecil dan memiliki interaksi yang kuat dengan polimer organik.^{9,10} Nanopartikel oksida yang semakin banyak digunakan sebagai *filler* yang ditambahkan pada RAPP adalah nanopartikel TiO_2 karena pengaruhnya terhadap sifat mekanis resin akrilik termasuk kekuatan fleksural dan kekerasan yang tinggi serta efek antibakterinya.¹¹ Selain itu, partikel TiO_2 juga lebih disukai dalam kedokteran gigi karena indeks bias yang tinggi, tahan korosi, biokompatibilitas yang baik, daya tahan yang baik, kekerasan yang tinggi dan juga ekonomis.^{1-4,11}

Ahmed MA dkk (2017) melakukan penelitian dengan membandingkan pengaruh penambahan nanopartikel ZrO_2 , TiO_2 dan

SiO_2 masing-masing dengan konsentrasi 0,5% dan 1% terhadap kekuatan fleksural dan kekerasan RAPP. Hasil penelitian menunjukkan bahwa nanopartikel TiO_2 dapat meningkatkan kekuatan fleksural pada RAPP dengan nilai peningkatan tertinggi yaitu pada konsentrasi 1% dan kekerasan pada RAPP meningkat dengan penambahan nanopartikel TiO_2 konsentrasi 1%.¹² Penelitian tersebut juga didukung oleh penelitian yang dilakukan oleh Alwan MA dan Alameer SS (2015) yang melakukan penelitian mengenai efek penambahan nanopartikel TiO_2 dengan konsentrasi 3% terhadap kekuatan fleksural dan kekerasan RAPP. Hasil penelitian menunjukkan terjadi peningkatan kekuatan fleksural dan kekerasan pada RAPP yang dilakukan penambahan nanopartikel TiO_2 .¹⁰ Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh penambahan nanopartikel titanium dioksida dengan konsentrasi 0,5%, 1% dan 1,5% terhadap kekuatan fleksural dan kekerasan basis gigi tiruan resin akrilik polimerisasi panas.

METODE

Rancangan penelitian yang dilakukan adalah eksperimental laboratoris dan desain penelitian adalah *post-test only with control group design* dengan ukuran sampel yaitu 50mm x 10mm x 3mm untuk uji kekuatan fleksural dan 25mm x 10mm x 3mm untuk uji kekerasan (ISO 20795-1). Total sampel yang digunakan adalah 48 sampel dengan masing-masing jumlah sampel untuk uji

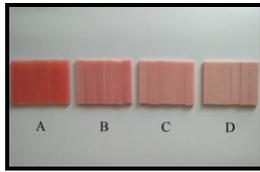
kekuatan fleksural dan uji kekerasan sebanyak 24 sampel. Sampel untuk uji kekuatan fleksural maupun uji kekerasan terbagi menjadi 4 kelompok perlakuan yaitu 6 sampel kelompok RAPP tanpa penambahan nanopartikel TiO₂, 6 sampel kelompok RAPP dengan penambahan nanopartikel TiO₂ konsentrasi 0,5%, 6 sampel kelompok RAPP dengan penambahan nanopartikel TiO₂ konsentrasi 1% dan 6 sampel kelompok RAPP dengan penambahan nanopartikel TiO₂ konsentrasi 1,5%.

Sampel dibuat dengan menggunakan model induk yang terbuat dari logam sebanyak tiga buah untuk 1 kuvet. Pembuatan *mold* dilakukan dengan mencampurkan gips tipe III dan akuades dengan perbandingan 300gr : 90 ml ke dalam *rubber bowl* kemudian diaduk dengan spatula dan dimasukkan ke dalam kuvet bawah. Setelah itu, model induk dioleskan vaselin dan dibenamkan pada kuvet bawah. Setelah gips mengeras, permukaan gips diolesi vaselin dan kuvet atas disatukan dengan kuvet bawah dan diisi dengan adonan gips tipe III dan aquades dengan perbandingan 200gr : 60 ml. Setelah adonan gips mengeras, kuvet dibuka dan model induk dikeluarkan dari kuvet kemudian *mold* diolesi dengan *cold mould seal* dan dibiarkan selama 20 menit.

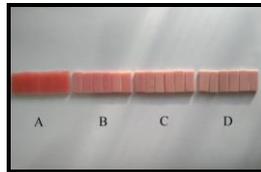
Pengisian akrilik pada *mold* diawali dengan melakukan perbandingan polimer dan monomer dalam pot porselen dengan perbandingan 3gr polimer : 1,5ml monomer. Pada kelompok RAPP tanpa penambahan

nanopartikel titanium dioksida, polimer : monomer disiapkan didalam pot dengan perbandingan 3gr polimer : 1,5ml monomer untuk 1 buah sampel. Pada kelompok RAPP dengan penambahan nanopartikel titanium dioksida 0,5%, perbandingan nanopartikel titanium dioksida : polimer : monomer = 0,0225gr : 2,9977gr : 1,5ml. Pada kelompok RAPP dengan penambahan nanopartikel titanium dioksida 1%, perbandingan nanopartikel titanium dioksida : polimer : monomer = 0,045gr : 2,955gr : 1,5ml. Pada kelompok RAPP dengan penambahan nanopartikel titanium dioksida 1,5%, perbandingan nanopartikel titanium dioksida : polimer : monomer = 0,0675gr : 2,9325gr : 1,5ml. Pada kelompok RAPP dengan penambahan nanopartikel titanium dioksida dilakukan pencampuran nanopartikel titanium dioksida dan bubuk RAPP dengan menggunakan mortar dan alu terlebih dahulu lalu dicampurkan dengan monomer. Setelah itu, aduk perlahan-lahan adonan sampai mencapai fase *dough* kemudian dimasukkan ke dalam cetakan *mold*, ditutup dengan plastik selopan, kemudian kuvet atas dipasangkan lalu ditekan perlahan-lahan dengan press hidrolik mencapai 1000psi, lalu kuvet dibuka dan akrilik berlebih dipotong. Kuvet atas ditutup kembali dan dilakukan penekanan kembali dengan tekanan 2200psi. Kemudian dilakukan proses kuring dengan *waterbath* suhu 70°C selama 90 menit dan 100°C selama 30 menit, dibiarkan hingga mencapai suhu ruang, sampel dikeluarkan

dari kuvet, kelebihan akrilik dibuang menggunakan bur Fraser dan dipoles (Gambar 1 dan 2).



Gambar 1. Sampel uji kekuatan fleksural



Gambar 2. Sampel uji kekerasan

- | | |
|-------------------------------------|-------------------------------------|
| A. Kontrol | A. Kontrol |
| B. Penambahan TiO ₂ 0,5% | B. Penambahan TiO ₂ 0,5% |
| C. Penambahan TiO ₂ 1% | C. Penambahan TiO ₂ 1% |
| D. Penambahan TiO ₂ 1,5% | D. Penambahan TiO ₂ 1,5% |

Pengukuran kekuatan fleksural dilakukan dengan menggunakan tiga titik kelenturan (*three-point bending*) pada alat Universal Testing Machine (*Tensilon AND RTF-1350*, Japan), diuji dari sampel melengkung sampai sampel tersebut patah. Jarak antara kedua penyangga adalah 40mm. Sampel diberi nomor pada kedua ujungnya dan diberi garis pada bagian tengah sebagai acuan meletakkan beban. Energi yang tertera pada alat pengujian dibaca dan dicatat lalu dilakukan perhitungan kekuatan fleksural. Pengukuran kekerasan dilakukan dengan menggunakan alat Vickers Microhardness Tester (*Future-Tech FM-800*, Japan). Sebanyak tiga lekukan dibuat pada titik yang berbeda pada permukaan spesimen dengan jarak tidak kurang dari 1 mm antar lekukan atau tepi spesimen. Pada monitor mesin uji akan terlihat hasil panjang diagonal setiap lekukan lalu hasilnya dicatat dan dirata-ratakan.

Lakukan perhitungan angka kekerasan Vickers.

HASIL

Nilai kekuatan fleksural basis gigi tiruan RAPP pada penelitian ini diperoleh dengan melihat hasil pengujian dari setiap sampel yang diberikan beban dari sampel melengkung sampai sampel tersebut patah dengan menggunakan alat *universal testing machine* dan hasilnya dinyatakan dalam satuan MPa. Hasil penelitian menunjukkan nilai kekuatan fleksural terkecil pada basis gigi tiruan RAPP pada kelompok tanpa penambahan nanopartikel titanium dioksida adalah 63,63MPa, sedangkan nilai kekuatan fleksural terbesar adalah 74,03MPa. Nilai kekuatan fleksural terkecil basis gigi tiruan RAPP pada kelompok dengan penambahan nanopartikel titanium dioksida konsentrasi 0,5% adalah 70,87MPa, sedangkan nilai kekuatan fleksural terbesar adalah 82,86MPa. Nilai kekuatan fleksural terkecil basis gigi tiruan RAPP pada kelompok dengan penambahan nanopartikel titanium dioksida konsentrasi 1% adalah 82,68MPa, sedangkan nilai kekuatan fleksural terbesar adalah 86,78MPa. Nilai kekuatan fleksural terkecil basis gigi tiruan RAPP pada kelompok dengan penambahan nanopartikel titanium dioksida konsentrasi 1,5% adalah 68,95MPa, sedangkan nilai kekuatan fleksural terbesar adalah 78,11MPa (Tabel 1).

Tabel 1. Nilai kekuatan fleksural basis gigi tiruan resin akrilik polimerisasi panas tanpa dan dengan penambahan nanopartikel titanium dioksida dengan konsentrasi 0,5%, 1%, dan 1,5%

No Sampel	Kekuatan Fleksural (MPa)			
	Tanpa penambahan nanopartikel TiO ₂	Penambahan nanopartikel TiO ₂		
		0,5%	1%	1,5%
1	73,98	76,33	82,68*	74,22
2	72,28	82,27	83,50	74,57
3	68,27	82,86**	85,74	78,11**
4	74,03**	70,87*	82,96	75,83
5	65,98	79,76	86,78**	73,89
6	63,63*	79,28	84,67	68,95*
	$\bar{x} = 69,695$	$\bar{x} = 78,562$	$\bar{x} = 84,388$	$\bar{x} = 74,262$
	SD = 4,392	SD = 4,434	SD = 1,635	SD = 3,024

Keterangan: *Nilai terkecil **Nilai terbesar

Tabel 2. Nilai kekerasan basis gigi tiruan resin akrilik polimerisasi panas tanpa dan dengan penambahan nanopartikel titanium dioksida dengan konsentrasi 0,5%, 1%, dan 1,5%

No Sampel	Kekerasan (VHN)			
	Tanpa penambahan nanopartikel TiO ₂	Penambahan nanopartikel TiO ₂		
		0,5%	1%	1,5%
1	16,2**	16,9	17,0*	18,9**
2	16,0	16,9	17,5	17,9
3	16,0	17,1	17,5	16,9*
4	15,0*	16,7*	17,9**	17,5
5	15,7	16,9	17,3	18,3
6	15,1	17,2**	17,7	17,8
	$\bar{x} = 15,667$	$\bar{x} = 16,950$	$\bar{x} = 17,483$	$\bar{x} = 17,883$
	SD = 0,505	SD = 0,176	SD = 0,313	SD = 0,682

Keterangan: *Nilai terkecil **Nilai terbesar

Nilai kekerasan basis gigi tiruan RAPP pada penelitian ini diperoleh dengan melihat hasil pengujian dari setiap sampel dengan menggunakan alat *vickers microhardness tester* dan hasilnya dinyatakan dalam satuan VHN. Hasil penelitian menunjukkan nilai kekerasan terkecil pada basis gigi tiruan RAPP pada kelompok tanpa penambahan nanopartikel titanium dioksida adalah 15 VHN, dan nilai kekerasan terbesar adalah 16,2 VHN. Nilai kekerasan terkecil basis gigi tiruan RAPP pada kelompok dengan penambahan nanopartikel titanium dioksida konsentrasi 0,5% adalah 16,7 VHN, dan nilai kekerasan terbesar adalah 17,2 VHN. Nilai kekerasan terkecil basis gigi tiruan RAPP pada kelompok dengan penambahan

nanopartikel titanium dioksida konsentrasi 1% adalah 17 VHN, dan nilai kekerasan terbesar adalah 17,9 VHN. Nilai kekerasan terkecil basis gigi tiruan RAPP pada kelompok dengan penambahan nanopartikel titanium dioksida konsentrasi 1,5% adalah 16,9 VHN, sedangkan nilai kekerasan terbesar adalah 18,9 VHN (Tabel 2)

Tabel 3. Pengaruh penambahan nanopartikel titanium dioksida dengan konsentrasi 0,5%, 1%, dan 1,5% terhadap kekuatan fleksural basis gigi tiruan resin akrilik polimerisasi panas

Kelompok	Nilai Kekuatan Fleksural (MPa)		P
	n	$\bar{x} \pm SD$	
Tanpa bahan penguat	6	69,695 ± 4,392	0,0001*
Titanium Dioksida 0,5%	6	78,562 ± 4,434	
Titanium Dioksida 1%	6	84,388 ± 1,635	
Titanium Dioksida 1,5%	6	74,262 ± 3,024	

Keterangan: *Signifikan

Pengaruh penambahan nanopartikel titanium dioksida dengan konsentrasi 0,5%, 1%, dan 1,5% terhadap kekuatan fleksural basis gigi tiruan RAPP pada penelitian ini dianalisis dengan menggunakan uji ANOVA satu arah. Sebelum pengujian ANOVA satu arah dilakukan uji normalitas menggunakan uji *Saphiro-Wilk* untuk mengetahui bahwa data seluruh kelompok adalah normal. Hasil uji ANOVA satu arah diperoleh signifikansi $p=0,0001$ ($p<0,05$) menunjukkan ada pengaruh penambahan nanopartikel titanium dioksida dengan konsentrasi 0,5%, 1% dan 1,5% yang signifikan terhadap kekuatan fleksural basis gigi tiruan RAPP (Tabel 3)

Tabel 4. Pengaruh penambahan nanopartikel titanium dioksida dengan konsentrasi 0,5%, 1% dan 1,5% terhadap kekerasan basis gigi tiruan resin akrilik polimerisasi panas

Kelompok	Nilai Kekerasan (VHN)		P
	N	$\bar{x} \pm SD$	
Tanpa bahan penguat	6	15,667 ± 0,505	0,0001*
Titanium Dioksida 0,5%	6	16,950 ± 0,176	
Titanium Dioksida 1%	6	17,483 ± 0,313	
Titanium Dioksida 1,5%	6	17,883 ± 0,682	

Keterangan: *Signifikan

Pengaruh penambahan nanopartikel titanium dioksida dengan konsentrasi 0,5%, 1% dan 1,5% terhadap kekerasan basis gigi tiruan RAPP pada penelitian ini dianalisis dengan menggunakan uji ANOVA satu arah. Sebelum pengujian ANOVA satu arah dilakukan uji normalitas menggunakan uji *Saphiro-Wilk* untuk mengetahui bahwa data seluruh kelompok adalah normal. Hasil uji ANOVA satu arah diperoleh signifikansi

$p=0,0001$ ($p<0,05$) menunjukkan ada pengaruh penambahan nanopartikel titanium dioksida dengan konsentrasi 0,5%, 1%, dan 1,5% yang signifikan terhadap kekerasan basis gigi tiruan RAPP. (Tabel 4)

Tabel 5. Perbedaan pengaruh penambahan nanopartikel titanium dioksida dengan konsentrasi 0,5%, 1%, dan 1,5% terhadap fleksural basis gigi tiruan resin akrilik polimerisasi panas

Kelompok		Mean Difference	P
Tanpa TiO ₂	TiO ₂ 0,5%	8,866	0,0001*
Tanpa TiO ₂	TiO ₂ 1%	14,693	0,0001*
Tanpa TiO ₂	TiO ₂ 1,5%	4,566	0,038*
TiO ₂ 0,5%	TiO ₂ 1%	5,826	0,01*
TiO ₂ 0,5%	TiO ₂ 1,5%	4,300	0,05*
TiO ₂ 1%	TiO ₂ 1,5%	10,126	0,0001*

Keterangan: *Signifikan

Perbedaan pengaruh penambahan nanopartikel titanium dioksida dengan konsentrasi 0,5%, 1%, dan 1,5% terhadap kekuatan fleksural basis gigi tiruan RAPP dilakukan dengan menggunakan uji LSD (*Least Significant Different*). Berdasarkan hasil uji LSD terlihat ada perbedaan pengaruh kekuatan fleksural yang signifikan antara kelompok tanpa penambahan titanium dioksida dengan kelompok penambahan nanopartikel titanium dioksida dengan konsentrasi 0,5% ($p=0,0001$), kelompok tanpa penambahan titanium dioksida dengan kelompok penambahan nanopartikel titanium dioksida dengan konsentrasi 1% ($p=0,0001$), kelompok tanpa penambahan titanium dioksida dengan kelompok penambahan nanopartikel titanium dioksida dengan konsentrasi 1,5% ($p=0,038$), kelompok penambahan nanopartikel titanium dioksida dengan konsentrasi 0,5% dengan kelompok penambahan nanopartikel titanium dioksida

dengan konsentrasi 1% ($p=0,01$), kelompok penambahan nanopartikel titanium dioksida dengan konsentrasi 0,5% dengan kelompok penambahan nanopartikel titanium dioksida dengan konsentrasi 1,5% ($p=0,05$), kelompok penambahan nanopartikel titanium dioksida dengan konsentrasi 1% dengan kelompok penambahan nanopartikel titanium dioksida dengan konsentrasi 1,5% ($p=0,0001$). (Tabel 5)

Tabel 6. Perbedaan pengaruh penambahan nanopartikel titanium dioksida dengan konsentrasi 0,5%, 1% dan 1,5% terhadap kekerasan basis gigi tiruan resin akrilik polimerisasi panas

Kelompok		Mean Difference	P
Tanpa TiO ₂	TiO ₂ 0,5%	1,283	0,0001*
Tanpa TiO ₂	TiO ₂ 1%	1,816	0,0001*
Tanpa TiO ₂	TiO ₂ 1,5%	2,216	0,0001*
TiO ₂ 0,5%	TiO ₂ 1%	0,533	0,059
TiO ₂ 0,5%	TiO ₂ 1,5%	0,933	0,002*
TiO ₂ 1%	TiO ₂ 1,5%	0,400	0,148

Keterangan: *Signifikan

Perbedaan pengaruh penambahan nanopartikel titanium dioksida dengan konsentrasi 0,5%, 1%, dan 1,5% terhadap kekerasan basis gigi tiruan RAPP dilakukan dengan menggunakan uji LSD (*Least Significant Different*). Berdasarkan hasil uji LSD terlihat ada perbedaan pengaruh kekerasan yang signifikan antara kelompok tanpa penambahan titanium dioksida dengan kelompok penambahan nanopartikel titanium dioksida konsentrasi 0,5% ($p=0,0001$), kelompok tanpa penambahan titanium dioksida dengan kelompok penambahan nanopartikel titanium dioksida konsentrasi 1% ($p=0,0001$), kelompok tanpa penambahan titanium dioksida dengan kelompok

penambahan nanopartikel titanium dioksida konsentrasi 1,5% ($p=0,0001$), kelompok penambahan nanopartikel titanium dioksida dengan konsentrasi 0,5% dengan kelompok penambahan nanopartikel titanium dioksida konsentrasi 1,5% ($p=0,002$). Namun, tidak ada perbedaan pengaruh kekerasan yang signifikan antara kelompok penambahan nanopartikel titanium dioksida konsentrasi 0,5% dengan kelompok penambahan nanopartikel titanium dioksida konsentrasi 1% ($p=0,059$), kelompok penambahan nanopartikel titanium dioksida dengan konsentrasi 1% dengan kelompok penambahan nanopartikel titanium dioksida konsentrasi 1,5% ($p=0,148$). (Tabel 6)

PEMBAHASAN

Hasil penelitian diperoleh nilai kekuatan fleksural dan kekerasan basis gigi tiruan RAPP yang bervariasi pada setiap sampel dalam satu kelompok. Nilai yang bervariasi ini dapat disebabkan oleh beberapa faktor yang tidak dapat dikontrol pada saat proses pembuatan sampel selama penelitian seperti pencampuran antara polimer RAPP dan bubuk nanopartikel titanium oksida yang tidak dilakukan secara bersamaan untuk semua sampel, teknik pengadukan yang manual dimana kecepatan pengadukan tidak dapat sepenuhnya dikontrol, monomer sisa dan porositas internal yang tidak dapat dilihat. Teknik pengadukan yang dilakukan secara manual dapat menyebabkan terperangkapnya udara di dalam matriks

RAPP sehingga memungkinkan terjadinya porositas internal yang dapat mempengaruhi kekuatan fleksural basis gigi tiruan.¹³ Selain itu, pencampuran antara polimer RAPP dan nanopartikel titanium dioksida yang dilakukan menggunakan mortal dan alu menyebabkan pencampuran yang kurang homogen antara polimer RAPP dan bahan penguat. Gad MM dan Abualsaud R (2019) menyatakan bahwa metode yang paling efektif dalam pencampuran RAPP dan nanopartikel titanium dioksida agar mendapatkan campuran yang homogen adalah dengan menggunakan metode *high-energy ball milling*.¹⁴ Faktor lain yang dapat menyebabkan bervariasinya nilai kekerasan yang dihasilkan pada setiap sampel adalah proses pengepresan dengan teknik *compression moulding* yang digunakan dalam penelitian ini yang dapat menyebabkan terjadi pembuangan bahan penguat dalam RAPP yang berlebih sehingga konsentrasi bahan penguat nanopartikel titanium dioksida pada setiap sampel pada penelitian ini kurang terdistribusi secara merata.¹⁵

Pada penelitian ini diperoleh nilai tertinggi kekuatan fleksural berada pada kelompok RAPP dengan penambahan nanopartikel titanium dioksida konsentrasi 1%. Hal ini berarti nilai kekuatan fleksural pada kelompok RAPP dengan penambahan nanopartikel titanium dioksida konsentrasi 1,5% memiliki nilai yang lebih rendah dibandingkan dengan kelompok RAPP

dengan penambahan nanopartikel titanium dioksida konsentrasi 1%. Nilai kekuatan fleksural yang lebih rendah pada kelompok RAPP dengan penambahan nanopartikel titanium dioksida konsentrasi 1,5% ini kemungkinan disebabkan karena mulai terjadinya aglomerasi/ penumpukan bahan pada RAPP. Aglomerasi bahan dapat menjadi pusat *stress* pada matriks polimer dan akan mempengaruhi sifat mekanik bahan termasuk kekuatan fleksural RAPP. Aglomerasi dari nanopartikel titanium dioksida memungkinkan terjadinya pembentukan *micro-pores* dan *micro-crack* yang berakibat pada terjadinya kerusakan struktural yang dapat menurunkan sifat mekanik bahan tersebut.¹ Hal ini sesuai dengan penelitian yang dilakukan oleh Tandra E dkk (2018) yang menyatakan bahwa konsentrasi nanopartikel titanium dioksida yang berlebihan dapat menyebabkan polimerisasi resin akrilik yang tidak sempurna sehingga dapat meningkatkan porositas dan resin akrilik akan menjadi lebih rapuh sehingga lebih mudah patah pada saat dilakukan pengujian.⁴

Nilai tertinggi kekerasan berada pada kelompok RAPP dengan penambahan nanopartikel titanium dioksida konsentrasi 1,5%. Hal ini berarti kekerasan basis gigi tiruan RAPP meningkat seiring dengan bertambahnya konsentrasi nanopartikel titanium dioksida yang ditambahkan. Hal ini dapat disebabkan oleh karena titanium dioksida yang bertindak sebagai pengisi

dalam matriks RAPP yang mengarah pada peningkatan kekakuan, penurunan mobilitas dan volume bebasnya tanpa mempengaruhi sifat elemen atau struktural dari RAPP.^{16,17} Adanya peningkatan ikatan antara nanopartikel titanium dioksida dan matriks RAPP dapat menanggung gaya atau beban yang diberikan sehingga lebih banyak energi yang diperlukan untuk memutus ikatan ini.¹⁸ Hasil yang diperoleh menunjukkan penambahan nanopartikel titanium dioksida dapat meningkatkan kekuatan fleksural dan kekerasan basis gigi tiruan RAPP. Hasil penelitian ini sesuai dengan penelitian yang dilakukan oleh Ahmed MA dkk (2017) yang menyatakan bahwa penambahan nanopartikel ZrO_2 , TiO_2 dan SiO_2 dengan konsentrasi 0,5% dan 1% dapat meningkatkan kekuatan fleksural dan kekerasan basis gigi tiruan RAPP. Adanya peningkatan kekuatan fleksural dan kekerasan basis gigi tiruan RAPP yang ditambahkan nanopartikel titanium dioksida ini dikarenakan adanya *interface* yang besar dari nanopartikel titanium dioksida ketika dicampurkan dalam resin akrilik polimerisasi yang memiliki koefisien dielektrik yang lebih kecil. Hal ini akan menyebabkan adanya interaksi muatan listrik yang kuat diantara nanopartikel titanium dioksida dan RAPP yang akan menghasilkan lapisan listrik dipol pada permukaan nanopartikel. Efek ini dapat dianggap sebagai efek kurungan dielektrik atau polarisasi permukaan yang akan mempercepat pemisahan muatan yang besar

dan meningkatkan medan listrik di dalam nanopartikel. Energi dari nanopartikel titanium dioksida yang lebih rendah akan menyerap dua foton energi untuk ditransfer ke keadaan energi yang lebih tinggi, sehingga menghasilkan hasil akumulatif dari penyerapan dua foton (ATP).¹² Penelitian ini juga sesuai dengan penelitian yang dilakukan oleh Tandra E dkk (2018) yang menyatakan penambahan nanopartikel titanium dioksida dengan konsentrasi 1% dapat meningkatkan kekuatan fleksural dari RAPP namun terjadi penurunan pada konsentrasi 3%. Peningkatan kekuatan fleksural pada kelompok penambahan nanopartikel titanium dioksida dengan konsentrasi 1% terjadi karena nanopartikel titanium dioksida bertindak sebagai pengisi yang dapat mengisi ruang kosong antara rantai matriks RAPP tanpa mengubah struktur dasar rantainya sehingga tekanan yang diberikan pada saat dilakukan pengujian kekuatan fleksural didistribusikan ke nanopartikel titanium dioksida yang tersebar merata di antara matriks RAPP. Nanopartikel titanium dioksida dapat mengisi ruang rantai RAPP dengan meningkatkan densitas massa jenis resin akrilik.⁴ Hasil penelitian ini juga didukung oleh penelitian yang dilakukan oleh Alrahlah A dkk (2018) yang menyatakan bahwa penambahan nanopartikel titanium dioksida dengan konsentrasi 1%, 2%, dan 3% dapat meningkatkan kekerasan basis gigi tiruan RAPP dengan nilai keseluruhan peningkatan masing-masing sebesar 18%, 24%, dan 35%

dengan kedalaman penekanan yang sama. Peningkatan nilai kekerasan dengan penambahan nanopartikel titanium dioksida dapat dikaitkan dengan peningkatan kekakuan matriks RAPP yang disebabkan karena adanya penurunan volume bebas dan mobilitas molekul.¹⁶

Nanopartikel titanium dioksida dapat berinteraksi secara kimia maupun fisika dengan matriks RAPP. Titanium dioksida dapat berikatan dengan gugus -COOR pada polimer RAPP dengan 2 cara. Salah satu caranya adalah dengan membentuk ikatan hidrogen (-H) antara gugus karbonil (-C=O) dan gugus hidroksil (-OH) dari nanopartikel titanium dioksida. Cara lain adalah pengikatan nanopartikel titanium dioksida dengan dua atom oksigen dari gugus -COOR oleh koordinasi bidentat dengan kation Ti^{4+} . Nanopartikel titanium dioksida akan membentuk struktur *crosslink* dengan polimer RAPP sehingga dengan meningkatnya jumlah muatan nanopartikel titanium dioksida maka ikatan ini juga akan meningkat. Peningkatan kepadatan *crosslink* ini akan menyebabkan meningkatnya sifat mekanik RAPP termasuk kekuatan fleksural dan kekerasan.¹⁹

Hasil analisis statistik LSD (*Least Significant Different*) untuk uji kekuatan fleksural menunjukkan bahwa ada perbedaan pengaruh yang bermakna antar tiap kelompok. Perbedaan yang paling signifikan yaitu antara kelompok tanpa penambahan nanopartikel titanium dioksida dengan

kelompok penambahan nanopartikel titanium dioksida konsentrasi 1% dengan *mean difference* sebesar 14,693. Hasil ini sesuai dengan penelitian yang dilakukan oleh Karci M dkk (2018) yang melakukan penelitian dengan mengevaluasi efek penambahan nanopartikel Al_2O_3 , SiO_2 , dan TiO_2 masing-masing dengan konsentrasi 1%, 3%, dan 5%. Hasil penelitiannya menunjukkan terjadi peningkatan kekuatan fleksural basis gigi tiruan RAPP pada penambahan nanopartikel titanium dioksida konsentrasi 1% dan 3% dengan nilai peningkatan paling besar yaitu pada konsentrasi 1%. Hal ini disebabkan karena distribusi partikel yang homogen dengan konsentrasi yang melebihi 1% tidak mudah untuk dicapai sehingga kecenderungan terjadinya aglomerasi bahan nanopartikel dapat terjadi seiring dengan meningkatnya rasio nanopartikel yang ditambahkan.²⁰

Hasil analisis statistik LSD (*Least Significant Different*) untuk kelompok kekerasan menunjukkan bahwa ada perbedaan pengaruh yang bermakna antara kelompok tanpa penambahan nanopartikel titanium dioksida dengan kelompok penambahan nanopartikel titanium dioksida konsentrasi 0,5%, kelompok tanpa penambahan nanopartikel titanium dioksida dengan kelompok penambahan nanopartikel titanium dioksida konsentrasi 1%, kelompok tanpa penambahan nanopartikel titanium dioksida dengan kelompok penambahan nanopartikel titanium dioksida konsentrasi 1,5%,

kelompok penambahan nanopartikel titanium dioksida konsentrasi 0,5% dengan kelompok penambahan nanopartikel titanium dioksida konsentrasi 1,5%. Namun, tidak ada perbedaan pengaruh yang bermakna antara kelompok penambahan nanopartikel titanium dioksida konsentrasi 0,5% dengan kelompok penambahan nanopartikel titanium dioksida konsentrasi 1%, kelompok penambahan nanopartikel titanium dioksida konsentrasi 1% dengan kelompok penambahan nanopartikel titanium dioksida konsentrasi 1,5%. Perbedaan yang paling signifikan yaitu antara kelompok tanpa penambahan nanopartikel titanium dioksida dengan kelompok penambahan nanopartikel titanium dioksida konsentrasi 1,5% dengan *mean difference* sebesar 2,216. Hasil ini sesuai dengan penelitian yang dilakukan oleh Alrahlah A dkk (2018) yang menyatakan bahwa kekerasan basis gigi tiruan RAPP dapat meningkat dengan adanya penambahan nanopartikel titanium dioksida. Hal ini disebabkan karena adanya peningkatan kekakuan matriks yang disebabkan karena penurunan volume bebas dan mobilitas molekul.¹⁶

SIMPULAN

Penambahan nanopartikel titanium dioksida dapat meningkatkan kekuatan fleksural dan kekerasan basis gigi tiruan resin akrilik polimerisasi panas. Peningkatan kekuatan fleksural paling besar yaitu pada konsentrasi 1%. Pada kekerasan basis gigi tiruan RAPP

terjadi peningkatan seiring dengan bertambahnya konsentrasi dari nanopartikel titanium dioksida dengan peningkatan paling besar yaitu pada konsentrasi 1,5%. Oleh karena itu, penambahan nanopartikel titanium dioksida pada basis gigi tiruan RAPP yang dianjurkan oleh peneliti yaitu dengan penambahan nanopartikel titanium dioksida dengan konsentrasi 1%.

REFERENSI

1. Shirkavand S, Moslehifard E. *Effect of TiO₂ on tensile strength of dental acrylic resins*. JODDD. 2014; 8(4): 197-203.
2. Rajeev S. *Nano reinforcement of denture base resins*. Journal of Prosthetic and Implant Dentistry. 2018; 1(3): 182-7.
3. Ahmed M, El-Shennawy M, Athomali Y, Omar A. *Effect of titanium dioxide nano particles incorporation on mechanical and physical properties on two different types of acrylic resin denture base*. J Nano Sci and Engineering. 2016; 6: 111-9.
4. Tandra E, Wahyuningtyas E, Sugiatno E. *The effect of nanoparticles TiO₂ on the flexural strength of acrylic resin denture plate*. Padjadjaran J of Dentistry 2018; 30(1): 35-40.
5. Yoshida K, Takahashi Y, Hamanaka I, Kawaguchi T, Sasaki H, Shimizu H. *Reinforcing effect of glass fiber-reinforced composite reinforcement on flexural strength at proportional limit of a repaired denture base resin*. Acta Biomater Odontol Scand. 2015; 1(2-4): 81-5.
6. Santoso WA, Soekobagiono, Salim S. *Kekuatan transversa resin akrilik heat-cured yang ditambah ultra high molecular weight polyethylene fiber*. J of Prosthodont. 2012; 3(2): 6-11.
7. Puspitasari D, Saputera D, Anisyah RN. *Perbandingan kekerasan resin akrilik tipe heat cured pada perendaman larutan desinfektan alkalin peroksida dengan ekstrak seledri (apium graveolens L.) 75%*. ODONTO Dental J. 2016; 3(1): 34-41.
8. Aziz HK. *Comparisons the microhardness of different cured acrylic denture base systems after subjected to chemical cleaning solutions*. Mustansiria Dent J. 2013; 10(1): 77-87.

9. Alnamel HA, Mudhaffer M. *The effect of Silicon di oxide nano-fillers reinforcement on some properties of heat cure polymethyl methacrylate denture base material*. J Bagh College Dentistry 2014; 26(1): 32-6.
10. Alwan SA, Alameer SS. *The effect of the addition of silanized nano titania fillers on some physical and mechanical properties of heat cured acrylic denture base materials*. J Bagh College Dentistry. 2015; 27(1): 86-91.
11. Naji SA, Kashi TJ, Behroozibakhsh M, Hajizamani H, Habibzadeh S. *Effects of incorporation of 2.5 and 5 wt% TiO₂ nanotubes on fracture toughness, flexural strength, and microhardness of denture base poly methyl methacrylate (PMMA)*. J Adv Prosthodont. 2018; 10: 113-21.
12. Ahmed MA, Omar AA, Elshennawy M, Ebrahim MI, Althomali YM. *Influence of addition of different types of Nano-Filler on the microstructure and mechanical properties of PMMA based denture resin*. Kasma. 2017; 45(1): 48-59.
13. Ferasima R, Zulkarnain M, Nasution H. *Pengaruh penambahan serat kaca dan serat polietilen terhadap kekuatan dampak dan transversal pada bahan basis gigi tiruan resin akrilik polimerisasi panas*. IDJ 2013; 2(1): 27-36.
14. Gad M, Abualsaud R. *Behavior of PMMA denture base materials containing titanium dioxide nanoparticles: a literature review*. International J Biomater. 2019;2019:1-14.
15. Elboraey AN, Dehis WM, Mousa MK. *Flexural and tensile strength of acrylic resin denture base materials processed by three different methods*. RJPBCS 2016; 7(3): 2556-62.
16. Alrahlah A, Fouad H, Hashem M, Niazy AA, Albadah A. *Titanium oxide (TiO₂)/polymethylmethacrylate (PMMA) denture base nanocomposites: mechanical, viscoelastic and antibacterial behavior*. Material. 2018; 11(1096): 1-15.
17. Hashem M et al. *Influence of titanium oxide nanoparticles on physical and thermomechanical behavior of poly methyl methacrylate (PMMA): a denture base resin*. Sci Adv Mater. 2017; 9: 938-44.
18. Mosalman S, Rashahmadi S, Hasanzadeh R. *The effect of TiO₂ nanoparticles on mechanical properties of poly methyl methacrylate nanocomposites*. Int J of Engineering. 2017; 30(5); 807-13.
19. Chatterjee A. *Effect of nanoTiO₂ addition on poly(methyl methacrylate): an exciting nanocomposite*. J Applied Polymer Sci. 2010;116:3396-3407.
20. Karci M, Demir N, Yazman S. *Evaluation of flexural strength of different denture base materials reinforced with different nanoparticles*. J of Prosthodontics. 2018: 1-8.