

RESEARCH ARTICLE

Perbedaan Kekuatan Impak Pada Bahan Resin Akrilik Self Cured dengan Penambahan Zirconium Dioxide (ZrO_2) Nanopartikel

(The Difference of Impact Strength in Acrylic Resin Self-Cured with the Addition of Zirconium Dioxide (ZrO_2) Nanoparticles)

Annete Juwita*, Widaningsih**, Puguh Bayu Prabowo***

*Sarjana Kedokteran Gigi Fakultas Kedokteran Gigi Universitas Hang Tuah

**Prostodonsia Fakultas Kedokteran Gigi Universitas Hang Tuah

***Ilmu Material dan Teknologi Kedokteran Gigi Fakultas Kedokteran Gigi Universitas Hang Tuah

ABSTRACT

Background: Self-cured acrylic resin is a material used for repairing broken and fractured dentures. Zirconium dioxide (ZrO_2) is a reinforcing material that is being developed as an additive to the acrylic resin. **Purpose:** to determine the effect of zirconium dioxide (ZrO_2) addition on self-cured acrylic resin on impact strength. **Material and Methods:** This study was a true experimental laboratory study with the design of a post-test only control group design, using 24 pieces of self-cured acrylic resin measuring 65 x 10 x 2.5 mm divided into 4 groups with and without zirconium addition dioxide (ZrO_2) nanoparticles. Zirconium dioxide (ZrO_2) nanoparticles were silanized first by mixing the silane coupling agent. Furthermore, the impact strength was tested on the plate. The data obtained were analyzed using the One Way ANOVA test. **Results:** there were significant differences in the impact strength between the groups with a significance value of 0,000 ($p < 0.05$). **Conclusion:** there was a difference in the increase of impact strength in acrylic resin self-cured with the addition of ZrO_2 nanoparticles concentrations of 3%, 5%, and 7%.

Key words: Self cured acrylic resin, zirconium dioxide, impact strength

Correspondence: Widaningsih, Department of Prosthodonti, Faculty of Dentistry, Hang Tuah University, Arif Rahman Hakim 150, Sukolilo, Surabaya, Phone 0818312757, Email: widaningsih2008@yahoo.com

ABSTRAK

Latar Belakang : Resin akrilik *self cured* merupakan bahan yang digunakan untuk reparasi gigi tiruan yang mengalami patah dan fraktur. Zirconium dioxide (ZrO_2) merupakan bahan penguat yang sedang dikembangkan sebagai bahan tambahan pada resin akrilik. **Tujuan :** untuk mengetahui pengaruh penambahan zirconium dioxide (ZrO_2) pada bahan resin akrilik *self cured* terhadap kekuatan impak. **Bahan dan Metode :** Penelitian ini merupakan penelitian *true eksperimental laboratoris* dengan rancangan *the post test only control group design*, dengan menggunakan lempeng resin akrilik *self cured* sebanyak 24 buah berukuran $65 \times 10 \times 2,5$ mm yang dibagi menjadi 4 kelompok dengan dan tanpa penambahan zirconium dioxide (ZrO_2) nanopartikel. Zirconium dioxide (ZrO_2) nanopartikel dilakukan silanisasi terlebih dahulu dengan mencampurkan silane coupling agent. Selanjutnya dilakukan uji kekuatan impak pada lempeng tersebut. Data yang didapatkan dianalisis menggunakan uji *One Way ANOVA*. **Hasil :** terdapat perbedaan kekuatan impak yang signifikan antar kelompok dengan nilai signifikansi 0,000 ($p < 0,05$). **Simpulan :** terdapat perbedaan peningkatan kekuatan impak pada bahan resin akrilik *self cured* dengan penambahan ZrO_2 nanopartikel konsentrasi 3%, 5%, dan 7%.

Kata kunci: Resin akrilik *self cured*, zirconium dioxide, kekuatan impak

Korespondensi: Widaningsih, Departemen Prostodonsia, Fakultas Kedokteran Gigi, Universitas Hang Tuah, Arif Rahman Hakim 150, Sukolilo, Surabaya, Telp 0818312757, Email: widaningsih2008@yahoo.com

PENDAHULUAN

Gigi tiruan merupakan alat pengganti gigi yang hilang dalam memperbaiki fungsi pengunyahan, berbicara, estetika, menjaga kesehatan jaringan periodontal, serta mencegah kerusakan struktur dalam rongga mulut. Basis gigi tiruan adalah bagian gigi tiruan yang berkontak langsung dengan jaringan lunak baik rahang atas maupun rahang bawah dan tempat melekatnya elemen gigi.^{1,2}

Bahan gigi tiruan 95% terbuat dari bahan resin akrilik. Dalam bidang kedokteran gigi, resin akrilik memiliki dua kelompok yaitu turunan asam akrilik dan asam metakrilik yang berpolimerisasi tambahan dengan cara yang sama. Pembentukan resin akrilik terjadi ketika tercampurnya monomer dan polimer serta terjadinya proses polimerisasi sampai terbentuk PMMA. PMMA yang tersusun dari *methyl*

metacrylate (MMA) monomer akan terhubung dan membentuk ikatan panjang polimer.

Berdasarkan cara polimerisasinya, resin akrilik terbagi menjadi 4 yaitu resin akrilik *heat cured*, resin akrilik *self cured*, resin akrilik *visible light cured*, dan resin akrilik *microwave cured*. Resin akrilik sebagai bahan basis gigi tiruan memiliki kelebihan dan kekurangan.^{3,4,5}

Kekurangan dari resin akrilik seperti porositas dan tingkat kekasaran permukaan yang tinggi dapat menyebabkan fraktur pada gigi tiruan. Fraktur pada gigi tiruan sering terjadi pada bagian *midline* plat gigi tiruan rahang atas dan pada bagian sambungan bahan gigi tiruan yang baru dan lama.^{6,7}

Fraktur gigi tiruan juga dapat disebabkan oleh kesalahan operator dalam pembuatan dan manipulasi resin akrilik. Ratio fraktur antara gigi tiruan

rahang atas dan rahang bawah adalah 2:1. Bahan resin akrilik *self cured* adalah bahan yang sering digunakan untuk memperbaiki fraktur atau patah gigi tiruan, karena membutuhkan waktu yang singkat dan dalam sekali kunjungan. Kriteria perbaikan protesa yang baik adalah kekuatan yang memadai, warna yang sama dengan bahan asal, akurasi dimensi yang baik, dan mengembalikan kekuatan asal protesa agar tidak fraktur di kemudian hari.^{8,9}

Resin akrilik *self cured* juga dapat digunakan sebagai bahan dalam pembuatan sendok cetak khusus dan peranti ortodonti lepasan karena sifatnya yang biokompatibel dan mudah dimanipulasi. Keunggulan dari resin akrilik *self cured* adalah keakuratan dimensi yang baik, bentuk yang stabil, *working time* yang singkat, sifat konsistensi yang optimum dan mudah dilakukan deflasking. Kekurangan dari resin akrilik *self cured* adalah kestabilan warna yang kurang, derajat polimerisasi yang tidak sempurna, besar molekul material yang lebih rendah, porositas yang besar dan besarnya jumlah monomer sisa. Sehingga menyebabkan resin akrilik *self cured* mudah patah kembali apabila digunakan sebagai bahan reparasi.^{4,10,11,12}

Zirconium dioxide (ZrO_2) merupakan bahan yang sedang dikembangkan sebagai bahan tambahan pada resin akrilik. Serbuk nanopartikel ZrO_2 dipilih untuk memperbaiki kekurangan yang dimiliki resin akrilik, sehingga menjadi bahan biokompatibel yang memiliki ketahanan terhadap fraktur yang tinggi. Selain itu ZrO_2 memiliki kelebihan lain dibandingkan bahan penguat lainnya yaitu tahan terhadap abrasi, tidak memiliki sifat toksik, tidak menghantarkan listrik,

konduktifitas termal yang rendah, kekuatan termal yang baik, dan tahan korosi.

Nanopartikel ZrO_2 memiliki sifat hidrofilik, sedangkan polimer resin akrilik bersifat hidrofobik. Hal ini dapat mengakibatkan tidak menyatunya partikel-partikel karena terdapat perbedaan energi permukaan. Bahan *silane coupling agent* dibutuhkan untuk menyatukan kedua bahan. *Silane coupling agent* dapat merubah permukaan penguat menjadi bersifat hidrofobik sehingga dapat menyatu dengan baik pada polimer.^{13,14,15}

Berdasarkan latar belakang tersebut, penulis ingin melakukan penelitian ini yang dimaksudkan untuk mengetahui pengaruh penambahan ZrO_2 nanopartikel yang sudah disilanisasi dengan *silane coupling agent* terhadap kekuatan impak bahan resin akrilik *self cured*.

BAHAN DAN METODE

Penelitian yang digunakan adalah penelitian *trues experimental laboratoris* dengan menggunakan rancangan *post test only control group design*. Unit eksperimen pada penelitian ini adalah lempeng akrilik jenis *self cured* dengan ukuran 65 mm x 10 mm x 2,5 mm dengan kriteria sampel permukaan halus dan rata, tidak porus, dan ukuran lempeng sama.

Subyek dalam penelitian ini dibagi menjadi 4 kelompok yang terdiri dari kelompok kontrol tanpa penambahan ZrO_2 nanopartikel, kelompok perlakuan 1 penambahan ZrO_2 nanopartikel konsentrasi 3%, kelompok perlakuan 2 penambahan ZrO_2 nanopartikel konsentrasi 5%, dan kelompok perlakuan 3 penambahan ZrO_2 nanopartikel konsentrasi 7%.

Nanopartikel ZrO_2 terlebih dahulu dilakukan silanisasi untuk meningkatkan adhesi antara nanopartikel ZrO_2 dengan resin akrilik *self cured* dengan cara 30 gr nanopartikel ZrO_2 dimasukkan ke dalam tabung erlenmeyer yang berisi 200 ml etanol murni yang digunakan sebagai pelarut. Selanjutnya tabung erlenmeyer dimasukkan ke dalam sonikator pada temperatur ruang selama 20 menit.

Kemudian digetarkan selama 20 menit pada suhu ruang menggunakan *magnetic stirrer* sehingga nanopartikel ZrO_2 dan etanol tercampur homogen. Setelah itu, larutan ditambahkan *silane coupling agent* sebanyak 1,5 ml (5% dari nanopartikel ZrO_2) ke dalam campuran nanopartikel ZrO_2 dan etanol menggunakan *syringe* steril kemudian getarkan dengan getaran 250 rpm selama 60 menit.

Campuran dituangkan dalam wadah tertutup dan dibiarkan selama 2 hari pada suhu ruang agar zat yang dilarutkan *silane coupling agent* dapat meresap sempurna pada permukaan ZrO_2 . Etanol yang tercampur pada nanopartikel ZrO_2 diuapkan dengan menggunakan *rotary evaporator* dengan suhu $60^\circ C$ dan kecepatan 150 rpm selama 30 menit untuk memisahkan pelarut etanol dan campuran *silane coupling agent* yang telah menyatu dengan ZrO_2 .

Kemudian digunakan alat *vacuum buchner* untuk menghilangkan sisa etanol dan *silane coupling agent* yang tersisa. Selanjutnya nanopartikel ZrO_2 yang sudah di silanisasi dikeringkan di dalam oven suhu $60^\circ C$ selama 20 jam, kemudian dikeluarkan dari oven. Selanjutnya nanopartikel ZrO_2 diproses menggunakan alat sonikator dengan kecepatan 250 rpm

selama 3 menit untuk memecah partikel yang menggumpal.

Pembuatan sampel diawali dengan menyiapkan mold berukuran 65 mm x 10 mm x 2,5 mm didalam kuvet. Pada pembuatan sampel resin akrilik *self cured* tanpa penambahan ZrO_2 , dilakukan pengukuran polimer dan monomer resin akrilik *self cured* dengan perbandingan 12 gr : 6 ml. Lalu memasukkan polimer dan monomer kedalam pot porselen. Kemudian polimer dan monomer diaduk hingga homogen, ditunggu hingga fase dough stage.

Pada pembuatan sampel resin akrilik *self cured* dengan penambahan nanopartikel ZrO_2 konsentrasi 3%, nanopartikel ZrO_2 yang telah disilanisasi ditimbang sebanyak 0,54 gr untuk 1 buah kuvet yang terdiri dari 3 mold sampel kekuatan impak. Perhitungan tersebut setara dengan 3% dari total berat polimer dan monomer. Maka perbandingan ZrO_2 : polimer : monomer untuk pengisian 3 mold adalah 0,54 gr : 11,46 gr : 6 ml. Nanopartikel ZrO_2 , polimer dan monomer diaduk pada pot porselen hingga homogen.

Pada pembuatan sampel resin akrilik *self cured* dengan penambahan nanopartikel ZrO_2 konsentrasi 5%, nanopartikel ZrO_2 yang telah disilanisasi ditimbang sebanyak 0,9 gr untuk 1 buah kuvet yang terdiri dari 3 mold sampel kekuatan impak. Perhitungan tersebut setara dengan 5% dari total berat polimer dan monomer. Maka perbandingan ZrO_2 : polimer : monomer untuk pengisian 3 mold adalah 0,9 gr : 11,1 gr : 6 ml. Nanopartikel ZrO_2 , polimer dan monomer diaduk pada pot porselen hingga homogen.

Pada pembuatan resin akrilik *self cured* dengan penambahan

nanopartikel ZrO_2 konsentrasi 7%, nanopartikel ZrO_2 yang telah disilanisasi ditimbang sebanyak 1,26 gr untuk 1 buah kuvet yang terdiri dari 3 mold sampel kekuatan impak. Perhitungan tersebut setara dengan 7% dari total berat polimer dan monomer. Maka perbandingan ZrO_2 : polimer : monomer untuk pengisian 3 mold adalah 1,26 gr : 10,74 gr : 6 ml.

Nanopartikel ZrO_2 , polimer dan monomer diaduk pada pot porselen hingga homogen.

Kemudian ditunggu hingga fase dough stage, lalu memasukkan adonan resin akrilik *self cured* kedalam mold. Meletakkan plastik *cellophane* yang sudah diberi air diatas kuvet bawah lalu menutup dengan kuvet atas. Kuvet dipres selama 5 menit, kemudian mengeluarkan kuvet dari press kuvet. Kuvet dibuka dan sampel dikeluarkan dari kuvet.

Bagian sampel resin akrilik *self cured* yang tajam dirapikan dengan menggunakan bur *fraser* kemudian dihaluskan dengan menggunakan kertas pasir secara berurutan dari nomer 100 dilanjutkan nomer 500 kemudian nomer 1500. Pemolesan dilakukan dengan menggunakan bur *feltcone* yang diberi pumice dan bur *brush* yang diberi kryet.

Pengukuran kekuatan impak dilakukan dengan menggunakan alat *mini impact tester type KRY* pada suhu ruang 25°C. Metode yang digunakan merupakan gabungan antara metode Charpy dan Izod yaitu dengan meletakkan bahan uji secara horizontal dengan arah pukulan searah bahan uji dengan salah satu ujungnya di cengkram.

Sampel akrilik diletakkan pada dasar (anvil), bandul atau beban diletakkan setinggi h atau sebesar sudut α (sudut α diambil 90°). Kemudian atur

posisi jarum petunjuk skala pada posisi nol. Bandul dilepas, sehingga memukul sampel akrilik. Setelah memukul sampel akrilik, bandul masih akan berayun setinggi h_1 atau sebesar sudut β (amati dan catat sudut β).

Hasil perhitungan kekuatan impak dilanjutkan dengan analisi data menggunakan SPSS 25.0.

HASIL

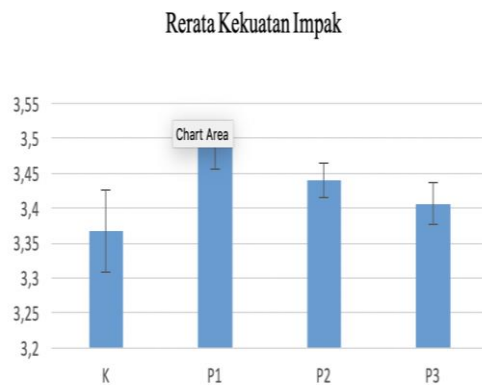
Data yang diperoleh dari hasil penelitian dan dianalisis secara deskriptis.

Tabel 1. Rerata dan standar deviasi uji kekuatan impak pada setiap kelompok perlakuan.

Kelompok	N	Rerata $\pm$ Standar Deviasi
K	6	3,3667 $\pm$ 0,05888
P1	6	3,4867 $\pm$ 0,03011
P2	6	3,4400 $\pm$ 0,02530
P3	6	3,4067 $\pm$ 0,03011

Gambar 1. Grafik rerata perhitungan kekuatan impak pada setiap kelompok perlakuan

Menunjukkan bahwa kelompok P1 yaitu kelompok perlakuan penambahan ZrO_2 konsentrasi 3% pada resin akrilik *self cured* memiliki kekuatan impak yang paling besar dibandingkan dengan kelompok kontrol dan kelompok perlakuan dengan penambahan ZrO_2 konsentrasi 5% dan 7%.



Tabel 2. Hasil uji normalitas dengan *Shapiro-Wilk*

Kelompok	N	Shapiro-Wilk	Sig
K	6	0,958	0,804
P1	6	0,866	0,212
P2	6	0,827	0,101
P3	6	0,866	0,212

Keterangan : $p > 0,05$

Hasil uji normalitas *Shapiro-Wilk* didapatkan distribusi data dari semua kelompok data terdistribusi normal dengan nilai signifikansi lebih dari 0,05 ($p > 0,05$) sehingga dilanjutkan dengan uji parametrik untuk menguji kekuatan impak pada bahan resin akrilik *self cured* dengan penambahan ZrO_2 nanopartikel yaitu dengan uji *One Way Anova*.

Tabel 3. Hasil Homogenitas varians dengan *Levene Test*

Uji Levene	Sig
2,600	0,081

Hasil uji homogenitas menunjukkan bahwa signifikansi semua kelompok lebih dari 0,05 sehingga memenuhi syarat untuk dilakukan uji beda kekuatan impak resin akrilik *self cured* dengan dan

tanpa penambahan ZrO_2 menggunakan uji *One Way Anova*.

Tabel 4. Hasil uji statistik *One Way ANOVA*

	F	Sig
Kekuatan Impak	10,495	0,000

Hasil uji statistik *One Way ANOVA* didapatkan nilai signifikan adalah 0,000 yang berarti lebih kecil dari 0,05 ($p < 0,05$), maka dapat disimpulkan bahwa terdapat perbedaan kekuatan impak yang bermakna antar kelompok. Untuk melihat perbedaan kekuatan impak antar kelompok maka dilanjutkan dengan uji *LSD*.

Tabel 5. Hasil uji *LSD*

Kelompok	P1	P2	P3
K	0,000	0,004	0,087
P1		0,049	0,002
P2			0,149

Hasil uji *LSD* dapat diketahui bahwa kelompok K dengan kelompok P1 dan kelompok P2, serta kelompok P1 dengan kelompok P2 dan kelompok P3 memiliki perbedaan bermakna. Namun kelompok yang paling memiliki perbedaan kekuatan impak dengan dan tanpa penambahan ZrO_2 pada resin akrilik *self cured* adalah kelompok K dengan kelompok P1.

PEMBAHASAN

Penelitian ini meneliti tentang kekuatan impak resin akrilik *self cured* dengan penambahan ZrO_2 nanopartikel. ZrO_2 nanopartikel dalam penelitian ini dilakukan silanisasi terlebih dahulu dengan *silane coupling agent* agar ZrO_2 dapat menyatu dengan resin akrilik *self cured*.¹⁵

Penelitian dilakukan menggunakan sampel plat akrilik dari resin akrilik *self cured* tanpa diberi tambahan ZrO_2 nanopartikel (kelompok kontrol) dan resin akrilik *self cured* dengan penambahan ZrO_2 nanopartikel. Konsentrasi ZrO_2 nanopartikel yang ditambahkan pada resin akrilik *self cured* adalah 3%, 5% dan 7% sesuai dengan penelitian Hameed dkk (2015). Pada penelitian tersebut digunakan resin akrilik *heat cured* dengan penambahan ZrO_2 nanopartikel konsentrasi 3%, 5% dan 7%.

Pada penelitian ini didapatkan hasil analisis statistik pada tabel 1. menunjukkan rerata dan standar deviasi kekuatan impak semakin menurun dengan bertambahnya konsentrasi ZrO_2 yang di tambahkan. Rerata kekuatan impak pada resin akrilik *self cured* tanpa penambahan ZrO_2 memiliki nilai rerata terendah dibandingkan dengan resin akrilik *self cured* dengan penambahan ZrO_2 nanopartikel konsentrasi 3%, 5% dan 7%. Sedangkan nilai rerata kekuatan impak tertinggi terdapat pada resin akrilik *self cured* dengan penambahan ZrO_2 konsentrasi 3%, sedangkan yang paling rendah adalah resin akrilik *self cured* tanpa penambahan ZrO_2 .

Pada penelitian ini, antara kelompok K dengan P1 dan P2 memiliki perbedaan bermakna disebabkan karena transfer beban antara ZrO_2 nanopartikel dengan matriks polimer saat dilakukan aplikasi beban. Kekuatan pergeseran permukaan yang tinggi antara ZrO_2 nanopartikel dan matriks polimer yang disebabkan pembentukan *cross-link* atau ikatan supra molekuler yang menutupi ZrO_2 nanopartikel sehingga dapat mencegah perluasan.^{16,17}

Pada penelitian ini, antara kelompok P1 dengan P2 dan P3 memiliki perbedaan bermakna disebabkan karena penambahan ZrO_2 menyebabkan distribusi dari ZrO_2 nanopartikel tersebut memasuki dan mengisi ruang antara rantai makromolekul linear dari polimer resin akrilik *self cured*. Pergerakan segmental makromolekul juga menjadi terbatas sehingga distribusi ZrO_2 nanopartikel menjadi lebih efektif dan akhirnya kekuatan dan kekakuan bahan menjadi meningkat dan tidak mudah patah atau fraktur.^{16,17,18}

Pada tabel 5. terdapat kelompok yang tidak memiliki perbedaan kekuatan impak yang bermakna yaitu antara kelompok resin akrilik *self cured* dengan penambahan ZrO_2 nanopartikel konsentrasi 7% (Kelompok P3) dengan kelompok resin akrilik *self cured* tanpa penambahan ZrO_2 (Kelompok K) dan kelompok resin akrilik *self cured* dengan penambahan ZrO_2 nanopartikel konsentrasi 5% (Kelompok P2). Hal ini disebabkan karena penambahan ZrO_2 nanopartikel yang terlalu banyak dapat menyebabkan defek pada bahan sehingga menurunkan kekuatan dari bahan tersebut. Pengendapan partikel-partikel ZrO_2 pada matriks polimer dan penambahan ZrO_2 nanopartikel yang berlebih ketika mencapai titik jenuh dalam matriks dapat menyebabkan gangguan dalam kontinuitas pada matriks resin.^{14,16,19}

Penurunan kekuatan juga dapat disebabkan karena efek dari transformasi fase tetragonal-ke-monoklinik dari ZrO_2 yang terjadi pada saat fase transisi martensit akibat dari induksi termal atau aplikasi stress. Perluasan volume ZrO_2 pada fase transformasi ini menyebabkan terjadinya *cracking* pada permukaan polimer. Fase transisi martensit

memiliki sifat yang lunak dan ulet sehingga saat terjadi induksi sehingga dapat terjadi suatu kecacatan atau defek.^{20,21}

Hal lain yang juga dapat mempengaruhi kekuatan impak adalah pengadukan polimer dan monomer yang dilakukan secara manual dapat menyebabkan perbedaan kecepatan pengadukan. Teknik pengadukan yang dilakukan secara manual dapat menyebabkan udara terperangkap didalam matriks resin akrilik sehingga dapat terjadi penurunan kekuatan impak akibat terjadinya porus pada resin akrilik.²²

Penelitian Gad dkk (2016) mengatakan bahwa penambahan ZrO₂ nanopartikel konsentrasi 7% dalam resin akrilik *self cured* memiliki kekuatan flexural yang paling tinggi dibandingkan dengan penambahan ZrO₂ nanopartikel konsentrasi 3% dan 5%. Hal ini membuktikan bahwa penambahan ZrO₂ nanopartikel konsentrasi 7% memiliki sifat *resilient* yang baik sehingga saat *denture* digunakan oleh penderita dapat mengurangi kemungkinan terjadinya resorpsi tulang.

Pada penelitian ini penambahan ZrO₂ nanopartikel dapat meningkatkan kekuatan impak resin akrilik *self cured*. Pada penambahan ZrO₂ nanopartikel konsentrasi 3% pada resin akrilik *self cured* memperoleh hasil peningkatan kekuatan impak tertinggi. Sehingga dengan penambahan konsentrasi 3% ZrO₂ nanopartikel dapat meningkatkan daya tahan dari bahan reparasi resin akrilik *self cured* terhadap terjadinya fraktur atau patah.

SIMPULAN

Ada perbedaan peningkatan kekuatan impak pada bahan resin akrilik *self cured* dengan penambahan ZrO₂ nanopartikel konsentrasi 3%, 5%, dan 7%. Kekuatan impak paling tinggi adalah resin akrilik *self cured* dengan penambahan ZrO₂ nanopartikel konsentrasi 3%.

DAFTAR PUSTAKA

1. Dama C, Soelioangan S, Tumewu E. Pengaruh Perendaman Plat Resin Akrilik dalam Ekstrak Kayu Manis (*Cinnamomum burmanii*) terhadap Jumlah Blastospora *Candida Albicans*. Jurnal e-Gigi (eG). 2013;1(2):5-1.
2. Anusavice KJ, Shen C, dan Rawls HR. Phillips Science of Dental Material, 12th ed. Philadelphia: W.B. Saunders Co.;2013. p. 43-724.
3. Craig GR. *Dental Materials: Properties and Manipulation*. 8th Ed; 2004. p. 186-200.
4. Anusavice KJ. Phillips' Science of Dental Materials. 10th Ed. New Delhi: Elsevier; 2004. p. 9-75, 85-92, 62-155, 6-164, 6-734.
5. Hatrick CD, Eakle WS, Bird WF. Dental Material Clinical Applications for Dental Assistants and Dental Hygienist, 2nd ed. Missouri: Elsevier, Saunders; 2011. p. 23-217.
6. Irfandy, Dharmautama M, Damayanti I. Stabilitas Warna Basis Akrilik Gigi Tiruan Lepas setelah Pembersihan dengan Ekstrak dan Infusa Bunga Rosella. Journal of Dentomaxillofacial. 2014; 13(1):38-42.
7. Budiharjo A, Wahyuningtyas E, Sugiatno E. Pengaruh Lama Pemanasan Pasca Polimerisasi dengan *Microwave* terhadap Monomer Sisa dan Kekuatan Transversa pada Reparasi Plat Gigi Tiruan Resin Akrilik. J Ked Gi. 2014;5(2): 13-1.
8. Agarwal M, Nayak A, Hallikerimath RB. A Study to Evaluate the Transverse Strength of Repaired Acrylic Denture Resins with Conventional Heat-Cured, Autopolymerizing and Microwave-Cured Resins: An in vitro study. J Indian Prosthodont Soc. 2008;8: 41-36.
9. Arundati R, Patil NP. An Investigation into the Transverse and Impact Strength of a New Indegenious High-Impact Denture Base Resin, DPI-tuff and its Comparison with Most Commonly Used Two Denture Base Resins. J Indian Prosthodont Soc. 2006;6(3):133-8.

10. Powers JM, Wataha JC. Dental Materials Properties and Manipulation. 9th Ed. Missouri: Mosby Elsevier;2008. p. 93-286, 299-300.
11. Manappalil JJ. Basic Dental Materials. 2nd Ed. India: Jaypee Brothers Medical Pub Ltd.;2010. p. 399-400.
12. Noort RV. Introduction to Dental Materials. 3rd Ed. China : Mosby Elsevier; 2007. p. 211-214.
13. Ahmed MA, Ebrahim MI. Effect of Zirconium Oxide Nano-Fillers Addition on the Flexural Strength, Fracture Toughness, and Hardness of Heat-Polymerized Acrylic Resin. World Journal of Nano Science and Engineering. 2014;4:57-50.
14. Dahar E, Handayani S. Pengaruh Penambahan Zirkonium Oksida pada Bahan Basis Gigi Tiruan Resin Akrilik Polimerisasi Panas terhadap Kekuatan Impak dan Transversal. Jurnal Ilmiah PANNMED. 2017;12(2): 194-9.
15. Dahar E, Laily AN. Pengaruh Penambahan Zirkonium Oksida dan Serat Kaca pada Bahan Basis Gigi Tiruan Resin Akrilik Polimerisasi Panas terhadap Kekuatan Impak dan Transversal. Jurnal Ilmiah PANNMED. 2017;12(2):160-154.
16. Ihab NS, Moudhaffar MA. Evaluation the Effect of Modified Nano-fillers Addition on Some Properties of Heat Cured Acrylic Denture Base Material. J Bagh College Dent. 2011;23(3):29-23.
17. Hameed HK, Rahman HA. The effect of Addition Nano Particle ZrO₂ on Some Properties of Autoclave Processed Heat Cure Acrylic Denture Base Material. J Bagh College Dent. 2015;27(1): 39-32.
18. Alla RK, Sajjan S, Alluri VR. Influence of Fiber Reinforcement on the Properties of Denture Base Resins. Journal of Biomaterials and Nanobiotechnology. 2013;4: 91-7.
19. Salman TA, Khalaf HA. The Influence of Adding of Modified ZrO₂-TiO₂ Nanoparticles on Certain Physical and Mechanical Properties of Heat Polymerized Acrylics Resin. J Bagh College Dent. 2015;27(3):33-9.
20. Ergun G, Sahin Z, Ataol AS. The Effects of Adding Various Ratios of Zirconium Oxide Nanoparticles to Poly(Methyl Methacrylate) on Physical and Mechanical Properties. Journal of Oral Science. 2018;60(2): 304-15.
21. Nindha TGT. Biomimetik, Biomaterial, Teknologi Manufaktur Printing 3D. Diklat Teknik Mesin Denpasar: Universitas Udayana. 2017; p.635.
22. Ferasima R. Pengaruh Penambahan Serat Kaca dan Serat Polietilen terhadap Kekuatan Impak dan Transversal pada Bahan Basis Gigi Tiruan Resin Akrilik Polimerisasi Panas. IDJ. 2013;2(1): 36-27.
23. Gad MM, Rahoma A, Thobity AM , ArRejaie AS. Influence of Incorporation of ZrO₂ nanoparticles on the Repair Strength of Polymethyl Methacrylate Denture Base. International Journal of Nanomedicine. 2016;11:5633-43.