

Research Report

Compressive strength resin komposit hybrid post curing dengan light emitting diode menggunakan tiga ukuran lightbox yang berbeda

(Compressive strength of hybrid composites resin with post curing light emitting diode using three different sizes of lightbox)

Mirza Aryanto,¹ Milly Armilia² dan Dudi Aripin²

¹Bagian Konservasi Gigi, Fakultas Kedokteran Gigi Universitas Prof. Dr. Moestopo (B), Jakarta – Indonesia

²Bagian Konservasi Gigi, Fakultas Kedokteran Gigi Universitas Padjadjaran, Bandung – Indonesia

ABSTRACT

Background: The use of different polymerization methods may result in variation of mechanical properties of composite resin. Polymerization increases the conversion rate of monomers reflecting in improvement of compressive strength. Post-curing methods can be used to increase strength to the composite resin. **Purpose:** To determine the difference of compressive strength of post cured hybrid composite resin by using three different size of lightbox. **Methods:** This research was conducted in a true in vitro experiment. Research carried out by making a tube-shaped cylinder hybrid with 3 mm diameter and 6 mm height composite resin samples post cured by using 3 different size of light box, 3 cm x 3 cm x 3 cm (A), 4 cm x 4 cm x 4 cm (B) 6 cm x 6 cm x 6 cm (C), and a non post-curing control. Compressive strength test was then performed using a universal testing machine. Each sample was tested and averaged to obtain values in order to be analyzed statistically using ANOVA and multiple comparison. **Results:** There is an increase in compressive strength of each group, namely group A (172.9460 MPa), B (154.821 MPa), C (154.0789 MPa) and control (123.3550 MPa), and a statistically significant difference ($F < 0.05$). **Conclusion:** The smaller size of the lightbox is used, the higher the compressive strength of composite resin.

Key words: Compressive strength, post curing, lightbox, hybrid composite resin

ABSTRAK

Latar belakang: Penggunaan berbagai metode polimerisasi dapat mengubah sifat mekanis resin komposit. Proses polimerisasi dapat meningkatkan derajat konversi monomer, sehingga dapat meningkatkan compressive strength resin komposit. Metode post curing dapat digunakan untuk menambah kekuatan resin komposit. **Tujuan:** Untuk mengetahui perbedaan compressive strength resin komposit hybrid yang dilakukan post curing menggunakan tiga ukuran lightbox yang berbeda. **Metode:** Jenis penelitian ini adalah eksperimental murni yang dilakukan secara in vitro. Penelitian dilakukan dengan membuat sampel resin komposit hybrid berbentuk tabung silinder dengan diameter 3 mm dan tinggi 6 mm yang dilakukan post curing menggunakan lightbox ukuran 3 cm x 3 cm x 3 cm (A), lightbox ukuran 4 cm x 4 cm x 4 cm (B), lightbox ukuran 6 cm x 6 cm x 6 cm (C), dan kelompok kontrol yang tidak dilakukan post curing. Kemudian dilakukan uji compressive strength dengan menggunakan alat uji universal testing machine. Data dianalisis secara statistik menggunakan ANOVA dan multiple comparison. **Hasil:** Terdapat peningkatan compressive strength pada tiap kelompok, yaitu kelompok A (172,9460 MPa), B (154,821 MPa), C (154,0789 MPa) dan kontrol (123,3550 MPa), dan secara statistik terdapat perbedaan yang signifikan ($p < 0,05$). **Simpulan:** Semakin kecil ukuran lightbox yang digunakan, semakin tinggi tingkat compressive strength resin komposit hybrid.

Kata kunci: Compressive strength, post curing, lightbox, resin komposit hybrid

Korespondensi (correspondence): Mirza Aryanto, Bagian Konservasi Gigi, Fakultas Kedokteran Gigi Universitas Prof. Dr. Moestopo (B), Jl. Bintaro Permai Raya No. 3, Jakarta 12220, Indonesia. E-mail: emyr2000@yahoo.com

PENDAHULUAN

Resin komposit telah digunakan secara luas di bidang kedokteran gigi karena dapat memberikan hasil akhir restorasi yang baik, yaitu memiliki estetis yang memadai dan kekuatan yang cukup.¹ Resin komposit pertama kali diperkenalkan pada pertengahan tahun 60-an sebagai bahan restorasi pada gigi anterior, tetapi saat ini resin komposit digunakan juga pada gigi posterior.² Restorasi pada gigi harus dapat menerima beban kunyah, baik secara langsung maupun tidak langsung pada saat oklusi dan artikulasi. Beban yang diterima oleh gigi posterior jauh lebih besar bila dibandingkan dengan gigi anterior, oleh karena itu jenis resin komposit yang digunakan harus memiliki *compressive strength* yang baik.³

Compressive strength resin komposit salah satunya dipengaruhi oleh proses polimerisasi. Proses polimerisasi akan menentukan persentase perubahan ikatan ganda monomer menjadi ikatan tunggal polimer dikenal sebagai derajat konversi. Umumnya, resin komposit yang disinari hanya memiliki derajat konversi sebesar 55-75%. Sisa monomer yang tidak berpolimerisasi akan menurunkan *compressive strength* resin komposit. Hal ini sejalan dengan penelitian yang menyatakan terdapat hubungan langsung antara derajat konversi dengan *compressive strength* resin komposit, semakin besar derajat konversi, maka semakin tinggi nilai *compressive strength* resin komposit.⁴⁻⁷

Compressive strength adalah kemampuan suatu bahan untuk menahan beban kekuatan tekan. *Compressive strength* yang rendah dapat mengakibatkan kegagalan restorasi secara klinis, yaitu degradasi tepi pada daerah restorasi yang tipis dan terjadi patah serta retak pada restorasi.^{1,3} Semakin banyak sisa monomer yang tersisa akibat proses polimerisasi yang tidak sempurna maka tingkat *compressive strength* semakin rendah dan menyebabkan terjadinya celah mikro yang dapat menyebabkan karies sekunder, dan sensitivitas gigi.^{6,8} Akibat dari rendahnya *compressive strength* dan adanya celah mikro tersebut menyebabkan terjadi kegagalan restorasi resin komposit.^{9,10} Teknik restorasi resin komposit indirek dengan *post curing* diperkenalkan untuk mengurangi kekurangan tersebut. *Post curing* adalah suatu teknik polimerisasi tambahan yang dilakukan setelah penyinaran awal dengan tujuan agar meningkatkan derajat konversi untuk menyempurnakan polimerisasi. Cara *post curing* ada beberapa, yaitu kombinasi penyinaran, pemanasan, dan pemanasan dengan tekanan.^{6,7,9}

Menurut penelitian, *post curing* dapat dilakukan menggunakan *lightbox* yang berupa kubus kaca yang terdiri dari cermin pantul. Penelitian tersebut membuktikan bahwa *post curing* dengan *lightbox* memberikan kekerasan komposit yang lebih baik dibandingkan tanpa *post curing*. *Post curing* dengan *lightbox* mampu menyempurnakan proses polimerisasi karena efek refleksi sinar yang lebih merata dan akhirnya akan meningkatkan kekerasan resin komposit.^{11,12} Pembuatan *lightbox* pada penelitian sebelumnya dibuat sendiri dan menggunakan ukuran yang

berbeda. Hal ini disebabkan belum ada penelitian mengenai pengaruh ukuran *lightbox* terhadap *compressive strength*.

Tujuan penelitian untuk mengetahui perbedaan *compressive strength* resin komposit *hybrid* pada *post curing* dengan penyinaran *light emitting diode* menggunakan tiga ukuran *lightbox* yang berbeda.

BAHAN DAN METODE

Jenis penelitian yang digunakan adalah eksperimental murni secara *in vitro*. Populasi penelitian ini adalah bahan resin komposit jenis *hybrid*. Sampel diambil dari populasi resin komposit secara acak. Sampel berjumlah 40 buah, berbentuk silinder dengan ukuran diameter 3 mm dengan ketebalan 6 mm.

Pada penelitian ini dilakukan pembuatan sampel dengan cara menyiapkan cetakan resin komposit, masukkan selapis resin komposit (± 2 mm) ke dalam cetakan. Tekan dan ratakan dengan stopper semen. Resin komposit disinari dengan LED selama 20 detik, kemudian ditambahkan lapisan resin komposit sampai cetakan penuh, pada permukaan atas lapisan terakhir dilapisi dengan *celluloid strip* kemudian disinari kembali. Setelah resin komposit dilepaskan dari cetakan, sampel diukur kembali dengan jangka sorong. Permukaan sampel diperiksa kembali menggunakan kaca karena harus berkontak tepat dengan bidang alat uji. Sampel dibagi menjadi 4 kelompok yang masing-masing terdiri dari 10 sampel, yaitu kelompok A, B, C dan kelompok kontrol. Pada kelompok A, resin komposit *hybrid* dilakukan *post curing* menggunakan *lightbox* ukuran 3 cm x 3 cm x 3 cm selama 60 detik. Kelompok B, resin komposit *hybrid* dilakukan *post curing* menggunakan *lightbox* ukuran 4 cm x 4 cm x 4 cm selama 60 detik. Kelompok C, resin komposit *hybrid* dilakukan *post curing* menggunakan *lightbox* ukuran 6 cm x 6 cm x 6 cm selama 60 detik. Pada kelompok kontrol tidak dilakukan *post curing*.

Sampel diletakkan pada meja uji *universal testing machine* di bawah beban tekan hingga berkontak dengan sampel, sampai pusat beban mesin berada dalam arah vertikal dari tengah permukaan sampel. Mesin uji diaktifkan lalu diberikan beban 1 N secara kontinu dengan kecepatan 1 mm/min, sampai terbentuk retakan atau patahan pada sampel. Analisis data hasil penelitian menggunakan uji ANOVA. Jika hasil signifikan dilanjutkan dengan metode uji *Least Square Difference* (LSD).

HASIL

Hasil pengujian menggunakan *universal testing machine* didapatkan rerata nilai *compressive strength* dari tiap sampel. Rerata nilai *compressive strength* dianalisis menggunakan *one way ANOVA* untuk menguji kesamaan rerata *compressive strength* resin komposit setelah diberi empat macam perlakuan dan didapatkan hasil yang sangat

bermakna ($p < 0,05$). Setelah dilakukan uji ANOVA maka nilai data kembali dilakukan uji *Multiple Comparison* dengan *Least Square Different* (LSD).

Hasil dari Tabel 1 menunjukkan bahwa antara kontrol ketiga kelompok uji hasilnya adalah signifikan, artinya ada perbedaan antara ukuran *lightbox* yang digunakan dengan kontrol ($p < 0,05$). Kelompok uji B dibanding kelompok uji C hasil tidak ada perbedaan yang signifikan ($p > 0,05$).

Gambar 1 memperlihatkan gambaran deskriptif rerata nilai *compressive strength* resin komposit *hybrid* yang dilakukan *post curing* dengan menggunakan ukuran *lightbox* yang berbeda. Grafik tersebut terlihat rerata nilai *compressive strength* karena perlakuan *post curing* dengan menggunakan ukuran *lightbox* 3 cm x 3 cm x 3 cm paling tinggi dan rerata nilai *compressive strength* pada kontrol yang tidak dilakukan *post curing* paling rendah.

PEMBAHASAN

Resin komposit sebagai bahan restorasi gigi telah banyak digunakan sebagai bahan restorasi gigi posterior yang menerima beban kunyah yang besar. Kekuatan resin komposit dipengaruhi proses polimerisasi. Sifat mekanis resin komposit dapat ditingkatkan dengan melakukan proses polimerisasi yang sempurna. Pada kenyataannya, monomer yang terpolimerisasi hanya sekitar 48-60%. Untuk menyempurnakan polimerisasi, dikembangkan teknik *post curing* yang bertujuan untuk menyempurnakan polimerisasi resin komposit dan meningkatkan sifat mekanis.^{3,13,14}

Beberapa faktor yang penting dipertimbangkan dalam sistem penyinaran pada saat proses polimerisasi adalah: waktu paparan, intensitas sinar, jarak dan sudut antara sinar dan resin komposit, ketebalan resin, warna resin, jenis *filler*, jumlah fotoinisiator.¹⁵⁻²⁰

Tabel 2 menunjukkan terdapat perbedaan nilai *compressive strength* antara ke empat kelompok uji. Hal ini sesuai dengan beberapa penelitian sebelumnya yang membuktikan bahwa *post curing* dapat meningkatkan derajat polimerisasi resin komposit yang diperiksa melalui uji *compression test*.^{7,14,32,33}

Polimerisasi resin komposit selalu meninggalkan monomer-monomer yang tidak terpolimerisasi sempurna. Hal ini dipengaruhi oleh penetrasi sinar yang tidak sampai dengan sempurna ke seluruh matriks dan *filler* resin komposit, sehingga perlu dilakukan polimerisasi tambahan (*post curing*) untuk meningkatkan derajat konversi dan meningkatkan sifat mekanis restorasi resin komposit. Teknik *post curing* yang dilakukan pada penelitian ini menggunakan *lightbox* dengan prinsip dasar pemantulan sinar pada cermin pantul. Setiap sinar dari LED dipantulkan secara merata dari permukaan cermin di dalam *lightbox* sehingga mampu menyempurnakan penetrasi sinar pada matrik resin dari segala arah.^{11,12}

Metode *post curing* dengan penyinaran muncul setelah beberapa penelitian memperlihatkan besarnya monomer yang tersisa tidak terpolimerisasi karena intensitas sinar tidak dapat mencapai keseluruhan fotoinisiator pada matrik resin komposit. Jarak antara sinar dengan komposit sangat mempengaruhi penetrasi sinar. Pada teknik restorasi indirek dilakukan penyinaran tambahan di luar mulut untuk meningkatkan penetrasi sinar, sehingga akan meningkatkan derajat polimerisasi.^{5,21,22}

Penyinaran tambahan dapat dilakukan dengan menggunakan alat bantu yaitu *lightbox*. *Lightbox* adalah kotak kubus berukuran sama sisi, pada bagian dalam setiap sisinya adalah cermin pantul. Ketika penyinaran dilakukan dari atap *lightbox*, sinar akan menyebar secara merata melalui pantulan cermin. Penggunaan alat ini dapat menyebabkan penetrasi sinar lebih merata, sehingga derajat polimerisasi meningkat.^{11,12}

Konsep pemakaian *lightbox* dengan cermin pantul adalah dari teori bahwa sebuah sinar dengan panjang gelombang tertentu bila dikenakan pada cermin pantul akan mengalami pemantulan. Pemantulan terjadi jika berkas sinar sejajar jatuh pada permukaan, maka sinar tersebut akan dipantulkan sejajar dan searah (Gambar 2). Sinar yang jatuh pada cermin akan mengalami pemantulan/refleksi sebesar 45%, penyerapan/absorpsi sebesar 17%, dan penerusan/transmisi sebesar 38%.²³⁻²⁵

Penelitian membuktikan bahwa resin komposit *hybrid* memiliki *compressive strength* dan ketahanan fraktur yang

Tabel 2. Rerata nilai *compressive strength* resin komposit *hybrid post curing* menggunakan *lightbox* dengan ukuran yang berbeda (MPa)

No.	Kontrol	Kel A	Kel B	Kel C
1	98,513	146,90	158,26	179,86
2	121,02	204,82	169,58	182,01
3	119,07	142,85	124,89	259,27
4	116,99	145,36	168,41	106,87
5	122,56	191,32	211,54	165,22
6	105,66	233,16	133,88	163,30
7	123,11	194,25	176,93	120,96
8	112,78	176,18	81,101	121,13
9	128,20	185,25	74,949	81,749
10	125,65	109,37	248,67	160,31
Rerata ± Simpangan Baku	123,3550 ± 24,306	172,9460 ± 36,487	154,821 ± 53,827	154,0789 ± 49,890

lebih besar dibandingkan jenis mikrofil. Resin komposit *hybrid* merupakan bahan kombinasi ukuran partikel *macrofilled* dan *microfilled* dengan ukuran *filler* 0,4-1 μ . Bahan pengisi resin komposit *hybrid* terdiri dari silika koloida yang memiliki volume 75-80% dari keseluruhan volume. Resin komposit jenis *hybrid* memiliki ekspansi termal yang setara dengan struktur gigi dan memiliki sifat fisik yang lebih kuat dibandingkan jenis lain.¹⁴

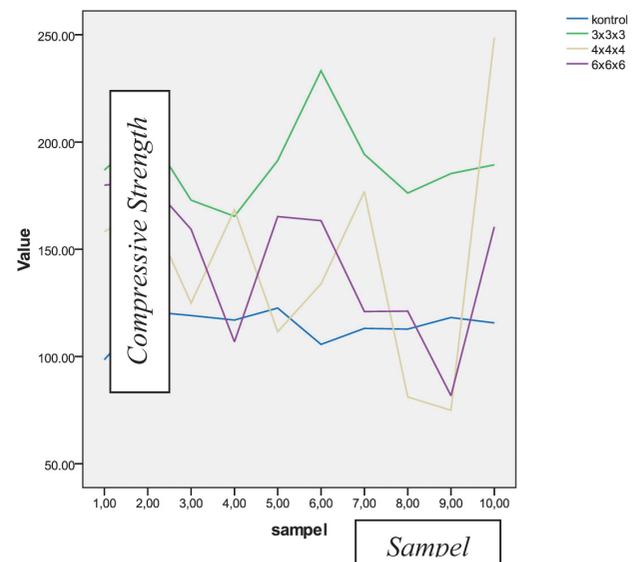
Compressive strength adalah kemampuan suatu bahan untuk menahan beban kekuatan tekan. Ketika batas nilai *compressive strength* terlewati, maka bahan tersebut akan mengalami kehancuran atau pecah.²⁶⁻²⁹ *Compressive strength* resin komposit tergantung pada kandungan *filler*, tipe *filler*, ukuran *filler* dan derajat konversi.^{30,31} Derajat konversi adalah perhitungan persentase ikatan ganda monomer karbon yang bergabung menjadi ikatan tunggal yang membentuk resin polimer. Semakin tinggi derajat konversi bahan resin komposit, semakin tinggi pula tingkat kekerasan, ketahanan terhadap keausan dan sifat mekanis lainnya.¹⁴ Derajat konversi sangat berpengaruh terhadap sifat mekanis restorasi resin komposit.³² Beberapa penelitian menunjukkan bahwa polimerisasi dengan penyinaran dipengaruhi oleh beberapa faktor, misalnya kandungan resin komposit, warna resin komposit, kualitas unit sumber penyinaran, waktu paparan, serta ketebalan lapisan resin komposit.³³ Sistem polimerisasi tambahan dengan cara *post curing* dapat meningkatkan derajat konversi monomer sehingga dapat meningkatkan kekerasan permukaan, *compressive strength* dan fleksural.²⁹

Post curing dapat meningkatkan nilai konversi monomer dengan cara dilakukan polimerisasi sinar terhadap keseluruhan permukaan restorasi.⁷ Banyak penelitian yang telah dilakukan pada *post curing*, menurut hasil penelitian terbukti bahwa *post curing* dapat meningkatkan sifat mekanis resin komposit.^{32,34} Hal ini bertentangan dengan penelitian yang lain yang menunjukkan bahwa perlakuan *post curing* tidak meningkatkan ketahanan resin komposit terhadap keausan.³⁴ Salah satu metode *post curing* adalah penyinaran tambahan yang dilakukan dengan menggunakan lightbox yang berupa kubus kaca yang memiliki efek cermin sehingga dapat memantulkan sinar secara merata ke segala arah.^{11,12} Menurut penelitian diketahui bahwa jarak dari sumber sinar mempengaruhi polimerisasi resin komposit. Semakin jauh jarak sumber sinar dari resin komposit, maka polimerisasi resin komposit akan semakin menurun.^{35,36}

Hasil *post curing* dengan *lightbox* pada penelitian ini membuktikan bahwa terdapat perbedaan *compressive strength* resin komposit pada *post curing* dengan sinar tambahan menggunakan tiga ukuran *lightbox* yang berbeda. Diagram hasil analisis seperti terlihat pada Gambar 1 serta Tabel 2 memperlihatkan bahwa rata-rata nilai *compressive strength* pada ukuran *lightbox* 3 cm x 3 cm x 3 cm menunjukkan nilai paling tinggi dan telah terbukti paling signifikan secara statistik. Hal ini membuktikan bahwa pada ukuran *lightbox* terkecil, terdapat pemantulan sinar yang paling baik sehingga proses polimerisasi lebih

merata. Proses polimerisasi yang merata dapat dilihat dari nilai *compressive strength* yang paling tinggi dibandingkan dengan pemakaian ukuran *lightbox* yang lain.

Nilai *compressive strength* resin komposit dipengaruhi oleh banyak faktor, antara lain komposisi matriks organik resin komposit, derajat konversi serta tipe dan jumlah partikel *filler*. Faktor yang dapat dimodifikasi pada penelitian ini adalah intensitas sinar, panjang gelombang dan waktu paparan untuk mendapatkan derajat konversi yang lebih besar. Hasil penelitian menunjukkan rerata nilai *compressive strength* pada *lightbox* ukuran 4 cm x 4 cm

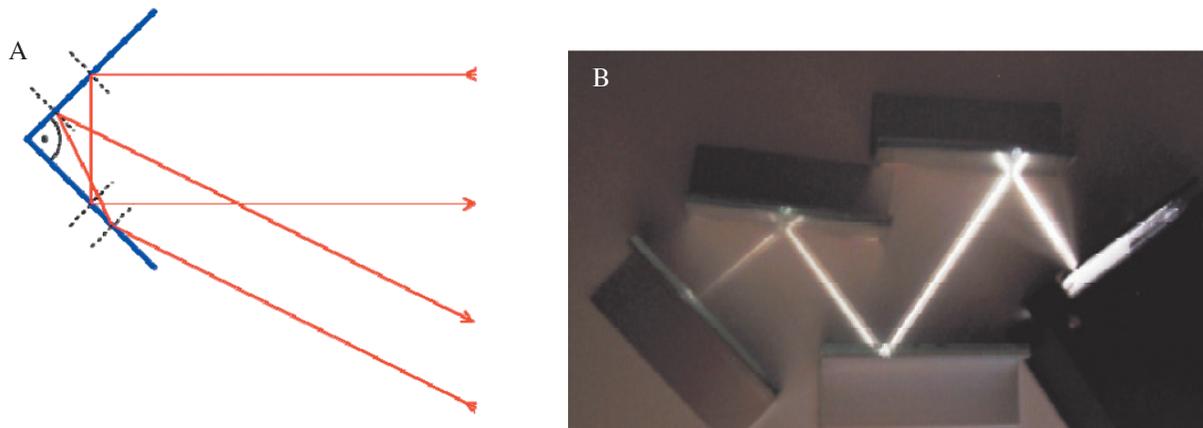


Gambar 1. Gambaran deskriptif *compressive strength* resin komposit *hybrid* yang dilakukan *post curing* dengan ukuran *lightbox* yang berbeda.

Tabel 1. Hasil analisis *multiple comparison* untuk menguji perbedaan rerata *compressive strength* resin komposit antara empat macam perlakuan

(I) Perlakuan	(J) Perlakuan	Sig.
Kontrol	Kelompok A	.000**
	Kelompok B	.043*
	Kelompok C	.048*
Kelompok A	Kontrol	.000*
	Kelompok B	.004*
	Kelompok C	.003*
Kelompok B	Kontrol	.043*
	Kelompok A	.004*
	Kelompok C	.959
Kelompok C	Kontrol	.048*
	Kelompok A	.003*
	Kelompok B	.959

Keterangan: * = signifikan



Gambar 2. Gambaran pola pantulan sinar yang mengenai cermin pantul.^{24,25} (a) Menunjukkan gambaran sinar jatuh akan sejajar dengan sinar pantul; (b) Terlihat gambaran sinar dengan intensitas yang berkurang setelah dipantulkan pada cermin.

x 4 cm terlihat lebih besar dari rerata nilai *compressive strength* pada ukuran *lightbox* ukuran 6 cm x 6 cm x 6 cm tetapi tidak signifikan secara statistik. Hal ini disebabkan pengurangan intensitas sinar pada jarak yang diperbesar.

Menurut penelitian penambahan jarak mempengaruhi pengurangan derajat konversi akibat pengurangan intensitas yang dipancarkan sinar. Hal ini sesuai dengan penelitian bahwa penambahan jarak 10 mm dapat mengurangi intensitas sinar sekitar 10%.^{35,36} Selain itu, saat sinar dipantulkan pada cermin pantul, terjadi pengurangan intensitas sinar. Pada saat sinar dipancarkan pada cermin pantul, tidak semua intensitas sinar yang dipantulkan, karena sebagian intensitas sinar mengalami penerusan (transmisi) dan penyerapan (absorpsi).²³⁻²⁵ Kombinasi antara jarak dan pengurangan intensitas setelah pemantulan mengakibatkan pengurangan derajat konversi yang mengakibatkan terjadinya pengurangan nilai *compressive strength* pada resin komposit.

Kesimpulan penelitian ini semakin kecil ukuran *lightbox* yang digunakan, semakin tinggi tingkat *compressive strength* resin komposit.

DAFTAR PUSTAKA

- Roberson TM, Heymann H, Swift EJ. Sturdevant's art and science of operative dentistry. 5th ed. St. Louis: Mosby Inc; 2006. p. 505-15.
- Hervás-García A, Martínez-Lozano MA, Cabanes-Vila J, Barjau-Escribano A, Fos-Galve P. Composite resins. A review of the materials and clinical indications. *Med Oral Patol Oral Cir Bucal* 2006; 11(2): E215-20.
- Craig RG, Powers JM. Restorative dental materials. 12th ed. St. Louis: Mosby; 2006. p. 191-208.
- Mohamad D, Young RJ, Mann AB, Watts DC. Post-polymerization of dental resin composite evaluated with nanoindentation and micro-Raman spectroscopy. *Arc of Orofac Sc* 2007; 2: 26-31.
- Jain V. Evaluation of second generation indirect composite resin. Thesis. Department of Dental Material. Indiana University; 2008. p. 15-6.
- Aschheim KW, Dale BG. Esthetic dentistry. 2nd ed. St. Louis: Mosby; 2001. p. 97-101.
- Hargreaves KM, Cohen S, Berman LH. Cohen's pathways of the pulp. 10th ed. St. Louis: Mosby; 2011. p. 303-9.
- Ciccone-Nogueira JC, Borsatto MC, Souza-Zaroniario WC, Ramos RP, Palma-Dibb RG. Microhardness of composite resin at different depths varying the post-irradiation time. *J Appl Oral Sci* 2007; 15(4): 305-9.
- Lombardo GHL, Carvalho CF, Galhano G, Souza ROA, Nogueira Jr L, Pavanelli CA. Influence of additional polymerization in the microhardness of direct composite resins. *Cienc Odont Bras* 2007; 10(2): 10-5.
- Awan M. A study investigating the mechanical testing of a novel dental restorative material and its biocompatibility. Thesis. Birmingham: Biomaterial Unit School of Dentistry St Chad's Queensway; 2010. p. 13-4.
- Widyasari R. Perbedaan compressive strength komposit pada post curing dengan pemanasan dan lightbox. Tesis. Bandung: Fakultas Kedokteran Gigi Universitas Padjadjaran; 2010. p. 12-7.
- Rizany T. Perbandingan daya tahan terhadap tekanan antara komposit hybrid dan komposit nanofilled setelah post curing menggunakan lightbox. Tesis. Bandung: Fakultas Kedokteran Gigi Universitas Padjadjaran; 2010. p. 14-5.
- Van Noort, R. Introduction to dental materials. 3rd ed. London: Mosby Elsevier Ltd; 2007. p. 43-50.
- Anusavice, Kenneth. Philip's science of dental material. 11th ed. St. Louis: WB Saunders Co; 2003. p. 402-20.
- Pattel, V. Study of the composite resin. Thesis. Chemistry Education. University of Pennsylvania; 2007. p. 23-5.
- Sankai SG, Diwakar HS, Babu R, Krishna M, Murthy VS. Synopsis of dental materials. Bangalore: Paras Med Pub; 2002. p. 19-32.
- Nicholson JW. The chemistry of medical and dental materials. Cambridge: MPG Books Ltd; 2002. p. 148-58.
- Gladwin M, Bagby M. Clinical aspects of dental materials: theory, practice and cases. 3rd ed. Philadelphia: Lippincott Ltd; 2009. p. 55-72.
- Lindberg A. Resin composites: Curing techniques. Disertation. Sweden: Department of Dental Education. Umeå University; 2005. p. 27-9.
- Malhotra N, Mala K. Light-curing considerations. Available at: <http://cde.dentalaegis.com/courses/4466>. Diakses tanggal 15 Juni 2011.
- Nandini S. Indirect composite resin. *J Conserv Dent* 2010; 13(4): 184-94.

22. Terry DA, Leinfelder KF. Development of a processed composite resin restoration: preparation and laboratory fabrication. *Int Dent SA* 2003; 8(4): 12-20.
23. Subadyo TA. Impact of solar radiation reflection. Disertasi. Jakarta: Universitas Indonesia; 1997. p. 34-7.
24. Beeson S, Mayer JW. *Patterns of light*. Oxford: Springer; 2008. p. 13-23.
25. Fakhruddin H. Measuring the refractive index of air using a vacuum chamber. American Vacuum Society International Symposium; 1998. p. 21-2.
26. Kilaru KR. Comparative evaluation of compressive strength hybrid posterior composites: an in vitro study. Thesis. Bangalore: Department of Conservative Dentistry and Endodontics. Rajiv Gandhi University 2006. p. 23-5.
27. Wang L, D'Alpino PHP, Lopes LG, Pereira JC. Mechanical properties of dental restorative materials. *J Appl Oral Sci* 2003; 11(3): 162-7.
28. Manolea H, Degeratu S, Deva V, Coles E, Draghici E. Contributions on the study of the compressive strength of the light-cured composite resins. *J CHS*. 2009; 36(4): 62-5.
29. Klymus ME, Oshima HMS. Influence of the mechanical properties of composites for indirect dental restorations on pattern failure. *Baltic Dent and Maxillofacial J* 2007; 9: 57-60.
30. McCabe JF, Walls AWG. *Applied dental materials*. 9th ed. Oxford: Blackwell Pub. 2008. p. 195-224.
31. Elbishari H, Silikas N, Satterthwaite J. Filler size of resin-composites, percentage of voids and fracture. *Dent Mater J* 2012; 31(4): 523–7.
32. Xu, HHK. Whisker-reinforced heat-cured dental resin composite: effect of filler level and heat-cure temperature and time. *J Dent Res* 2000; 79(6): 1392-7.
33. Jong LCG, Opdam NJM, Bronkhorst EM, Roeters JJM, Wolke JGC, Geitenbeek B. The effectiveness of different polymerization protocols for class II composite resin restorations. *Journal of Dentistry* 2007; 35: 513-20.
34. Martin Jr LO, Mota JM, Vaz RR. Evaluation of the mechanical properties of light-cure composite resins submitted to post-cure. *RFO Passo Fundo J* 2010; 15(3): 275-80.
35. Sobrinho LC, Lima AA, Consani S, Sinhoreti MAC, Knowles JC. Influence of curing tip distance on composite knoop hardness values. *Braz Dent J* 2000; 11(1): 11-7.
36. Aquiar AHB, Lazzari CR, Lima DANL, Ambrosano GMB, Lovadino JR. Effect of light curing tip distance and resin shade on microhardness of a hybrid resin composite. *Braz Oral Res* 2005; 19(4): 302-6.