

Research Report

Pengaruh posisi dan fraksi volumetrik fiber polyethylene terhadap kekuatan fleksural fiber reinforced composite

(The effect of position and volumetric fraction polyethylene fiber on the flexural strength of fiber reinforced composite)

Catur Septommy,¹ Widjijono² dan Rini Dharmastiti³

¹ Bagian Prostodonsia, Fakultas Kedokteran Gigi Institut Ilmu Kesehatan Bhakti Wiyata Kediri, Kediri - Indonesia

² Bagian Biomaterial, Fakultas Kedokteran Gigi Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta – Indonesia

³ Jurusan Teknik Mesin dan Industri, Fakultas Teknik Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta - Indonesia

ABSTRACT

Background: Composite resin is a combination of filler and matrix. The additional of fiber in the composite resin has a function as load-bearing in mastication. Polyethylene fiber has been used as a reinforced to receive the forces on the fixed denture fiber reinforced composite (FRC). **Purpose:** The purpose of this study was to determine effect of position and volumetric fraction of fibers on the flexural strength and modulus polyethylene FRC. **Methods:** This study used 7 groups with variations in the position and the volume of fiber. Group I, position compression volume 1 sheet; group II, 2 volume compression sheet position; group III, volume 1 sheet neutral position; group IV, neutral position volume 2 sheets; group V, position tension volume 1 sheet; group VI position tension volume 2 sheets; and group VII without fiber. Each group consisted of 6 samples and FRC rod-shaped samples with size (25 x2 x 2) mm. Samples were tested by three-point bending test with a universal testing machine. The data were analyzed by two-way Anova and LSD test continued ($\alpha = 0,05$). **Results:** Group VI had the highest mean flexural strength than others (360.74 MPa) and group IV had the highest flexural modulus than others (3.56 GPa). The flexural strength and modulus with the variation of position or volume showed a significant differences ($p < 0,05$), while the interaction between position and volume showed no significant difference ($p > 0,05$). **Conclusions:** The position fiber on tension and additional two strips on volumetric fiber affected the increasing flexural strength and modulus of FRC.

Key words: Fiber reinforced composite, polyethylene, position, volumetric, flexural

ABSTRAK

Latar belakang: Komposit merupakan gabungan filler dan matriks. Penambahan fiber pada komposit berfungsi sebagai penahan beban pengunyahan. Polyethylene fiber telah digunakan sebagai penguat dalam menerima gaya-gaya pada gigi tiruan cekat fiber reinforced composite (FRC). **Tujuan:** Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh posisi dan fraksi volumetrik fiber pada kekuatan fleksural polyethylene FRC. **Metode:** Penelitian ini membuat 7 kelompok sampel polyethylene FRC dengan variasi posisi dan volume fiber. Kelompok I, posisi compression volume 1 lembar; kelompok II, posisi compression volume 2 lembar; kelompok III, posisi netral volume 1 lembar; kelompok IV, posisi netral volume 2 lembar; kelompok V, posisi tension volume 1 lembar; kelompok VI, posisi tension volume 2 lembar; dan kelompok VII, tanpa fiber. Setiap kelompok terdiri atas 6 sampel dan sampel berbentuk batang FRC dengan ukuran (25x2x2) mm. Sampel diuji dengan three-point bending test dengan universal testing machine. Data dianalisis dengan two-way anova dan dilanjutkan uji LSD ($\alpha=0,05$). **Hasil:** Rerata kekuatan fleksural kelompok VI paling tinggi (360.74 MPa) dan kelompok IV memiliki modulus fleksural tertinggi (3.56 GPa). Kekuatan dan modulus fleksural dengan variasi posisi atau volume menunjukkan perbedaan bermakna ($p < 0,05$) sedangkan interaksi antara posisi dan volume menunjukkan perbedaan tidak bermakna

($p > 0.05$). **Simpulan:** Posisi fiber pada sisi tension FRC dan penambahan volume 2 lembar fiber akan meningkatkan kekuatan fleksural FRC.

Kata kunci: Fiber reinforced composite, polyethylene, posisi, volume, fleksural

Korespondensi (correspondence): Catur Septommy, Bagian Prostodonsia, Fakultas Kedokteran Gigi Institut Ilmu Kesehatan Bhakti Wiyata Kediri. Jl. KH Wahid Hasyim 65 Kediri 64114, Indonesia. E-mail: tommy.wiens@gmail.com

PENDAHULUAN

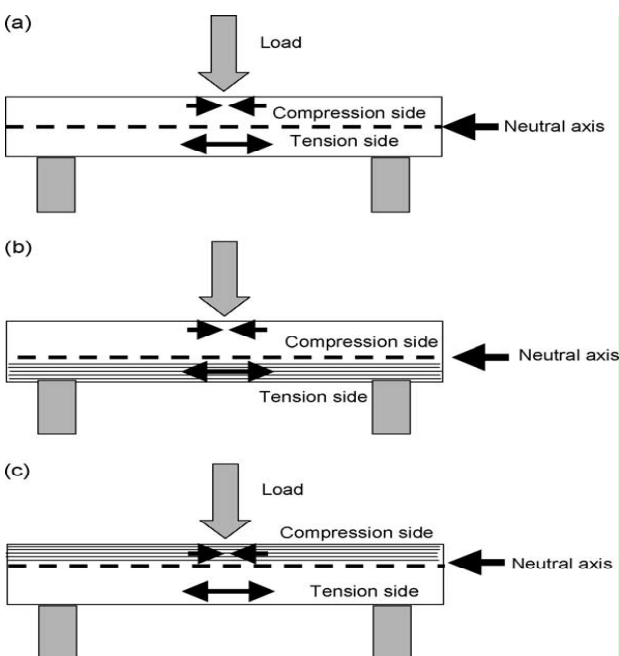
Material resin komposit adalah gabungan dari *filler* dan matrik, sebagian besar resin komposit untuk kedokteran gigi berupa resin komposit dengan *filler* partikulat.¹ Resin komposit partikulat merupakan resin komposit yang mengandung *reinforce* berupa partikulat dan memiliki sifat isotropis yaitu tidak mempunyai arah *filler* khusus dalam strukturnya sehingga sifatnya sama untuk semua arah *filler*, sedangkan resin komposit yang diberi penguat *fiber* memiliki sifat anisotropis yaitu sifatnya tidak sama dalam semua arah.² Resin komposit yang digunakan untuk gigi tiruan adalah jenis resin komposit yang diberi penguat *fiber* sebagai pengganti kerangka logam yang berfungsi sebagai penahan beban pengunyahan.³ Penggunaan *fiber* pada bahan kedokteran gigi memiliki beberapa fungsi diantaranya meningkatkan kekuatan dan kekakuan,

meningkatkan ketahanan bahan terhadap fraktur, serta menurunkan *shrinkage*.⁴

Gigi tiruan cekat (GTC) logam membutuhkan waktu yang lama dalam proses pembuatannya karena tidak bisa dibuat langsung dan harus melewati prosedur laboratorium, sedangkan pada GTC *fiber reinforced composite* (FRC) dapat dibuat secara langsung tanpa melalui prosedur laboratorium.⁵ Kelebihan material resin komposit jika dibandingkan dengan logam adalah tahan terhadap korosi dan pada aplikasinya tidak perlu menghilangkan jaringan yang sehat selama preparasi. Pada GTC anterior berbahan *fiber reinforced composite* lebih estetik dibandingkan dengan bahan logam yang berlapiskan porselin atau yang sering disebut PFM/*porcelain fused to metal*.⁶ FRC merupakan kombinasi antara *filler* resin partikulat dengan *fiber* yang akan menghasilkan estetik dan biomekanik yang sama dengan jaringan gigi.³

Hasil penelitian menunjukkan bahwa *non-impregnated polyethylene fiber* mempunyai kekuatan fleksural lebih baik daripada *pre-impregnated glass fiber*.⁵ Pada *pre-impregnated fiber* sudah terdapat penambahan polimer PMMA (*polymethyl methacrylate*) atau monomer (*acrylate* atau *methacrylate*).⁷ Impregansi merupakan upaya peningkatan keefektifan pembasahan *fiber* dengan matrik polimer.⁸ Walaupun *polyethylene fiber* tidak efektif dalam pembasahan *fiber* dengan matrik polimer, *polyethylene fiber* telah digunakan sebagai penguat dalam menerima gaya-gaya pada gigi tiruan cekat anterior dan memenuhi karakter estetika karena *polyethylene fiber* telah ada penambahan *glass plasma* dingin yang akan menghasilkan permukaan untuk siap bereaksi dengan substrat.^{6,9}

Fiber reinforced composite merupakan kombinasi antara resin partikulat dengan *fiber* sehingga sifat mekanik dari konstruksi FRC dipengaruhi oleh fraksi volumetrik, lokasi, dan arah *fiber*.¹⁰ Hasil penelitian menunjukkan volume *fiber* UHMWPE antara 18,6% dan 75,8% tidak ada perbedaan dalam nilai modulus elastisitasnya dan begitu juga posisi *fiber* UHMWPE yang berbeda dengan fraksi volumetrik *fiber* yang sama didapatkan nilai modulus elastisitas yang berbeda.¹¹ Hal ini menunjukkan bahwa belum ada posisi dan volume *polyethylene fiber* yang optimal untuk meningkatkan sifat mekanik FRC. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh posisi dan fraksi volumetrik *polyethylene fiber* pada kekuatan fleksural FRC.



Gambar 1 Skema area sisi tarikan (*tension side*) dan sisi tekanan (*compression side*). (a) sumbu netral berada pada bagian tengah sampel. (b) *fiber* terletak pada sisi tarikan, (c) *fiber* terletak pada sisi tekanan.¹²

BAHAN DAN METODE

Penelitian ini menggunakan *Polyethylene fiber* lebar 2 mm (Ribbond-THM, Ribbond Inc. USA) yang telah dipotong sepanjang 25 mm; *packable composite* (Filtek 3M ESPE, USA) yang terdiri atas matrik BIS-GMA (*Bisphenol A diglycidyl ether dimethacrylate*); matrik TEGDMA (*tri{ethylene glycol}dimethacrylate*), dan bahan pengisi 66% (volume) silica/zirconia dengan rata-rata ukuran partikel 0,6 µm; *silane coupling agent* (3M ESPE Sil) yang memiliki komposisi 3-MPS *silane* (*3-methacryloyl oxypropyltrimethoxysilane*) dan *ethanol*. *Fiber* dipotong sepanjang 25 mm dengan menggunakan *blade*, kemudian setiap potongan *fiber* diberi *silane* sebanyak 1 tetes tiap sisinya kemudian dengan *microbrush* diulas sebanyak tiga kali tiap sisinya dan ditunggu selama 60 detik, lembaran *fiber* disiapkan sebanyak 1 lembar dan 2 lembar. Untuk mempersiapkan sampel FRC dengan posisi *fiber* pada *compression side*. Cetakan logam dengan ukuran 2 x 2 x 25 mm diletakkan di atas *glass slide* diisi dengan resin komposit *packable* terlebih dahulu, lembaran *fiber* tersebut dipegang dengan pinset dan kemudian diletakkan ke cetakan dengan menyisakan ketebalan 0,5 mm dari permukaan atas cetakan sampel. Ketebalan 0,5 mm diukur dengan bantuan *probe WHO*. Setelah itu bagian atas diaplikasikan resin komposit sampai cetakan penuh, kemudian ditutup dengan *glass slide* dan diikat dengan *rubber band* lalu disinari dengan *QTH light cure* dengan penyinaran dibagi menjadi 3 bagian sepanjang spesimen, masing-masing selama 40 detik. Plat FRC dilepas dari cetakan, kemudian dipoles dengan *polishing disc* dan diukur dengan jangka sorong. Untuk mempersiapkan sampel FRC dengan posisi *fiber* pada *neutral*, caranya sama seperti persiapan sampel dengan posisi *fiber* pada *compression side*. Pada posisi *neutral side*, posisi *fiber* diletakkan setinggi 1 mm dari dasar cetakan. Pada *fiber* dengan *tension side*, posisi *fiber* diletakkan setinggi 0,5 mm dari dasar cetakan sampel FRC. Skema posisi *fiber* pada sisi *tension* (sisi tarikan), sisi netral, dan sisi *compression* (sisi tekanan) dapat dilihat pada gambar 1.

Dilakukan 7 pengelompokan sampel, yaitu kelompok I dengan posisi *compression* volume 1 lembar; kelompok II dengan posisi *compression* volume 2 lembar; kelompok III dengan posisi netral volume 1 lembar; kelompok IV dengan posisi netral volume 2 lembar; kelompok V dengan posisi *tension* volume 1 lembar; kelompok VI dengan posisi *tension* volume 2 lembar; dan kelompok VII dengan tanpa *fiber*. Sampel yang sudah dikelompokkan, kemudian

disimpan di dalam inkubator pada temperatur 37° C selama 24 jam sebelum pengujian. Perlakuan *three-point bending test* dilakukan dengan alat *universal testing machine*. Uji ini dilakukan dengan meletakkan subjek penelitian pada papan penyangga dengan jarak tumpuan sejauh 20 mm (L) dan titik tengah sampel FRC terkena tekanan yang berasal dari alat uji. Setelah sampel mengalami patah, pada layar monitor akan menunjukkan suatu angka (F) yang merupakan tekanan maksimal yang dapat diterima oleh saat fraktur. Selanjutnya data pengukuran yang diperoleh dimasukkan ke dalam rumus kekuatan fleksural $\sigma = 3FL / 2BH^2$, H= kedalaman atau ketebalan bahan (mm); B = lebar bahan (mm). Rerata dan standar deviasi dari tiap kelompok dibandingkan dan dianalisa dengan menggunakan *two way ANOVA* kemudian dilanjutkan uji LSD ($\alpha = 0,05$).

HASIL

Rerata kekuatan fleksural tertinggi pada *polyethylene FRC* dengan posisi *tension* dan volume 2 lembar sebesar 360,74 MPa dan rerata kekuatan fleksural terendah pada kelompok tanpa *fiber* sebesar 68,03 Mpa (Tabel 1). Hasil analisa *two way ANOVA* terdapat perbedaan bermakna ($p < 0,05$) antar kelompok dengan variasi posisi dan variasi volume (Tabel 2). Interaksi kelompok antara variabel posisi

Tabel 1. Rerata dan standar deviasi kekuatan fleksural batang *polyethylene FRC* dengan posisi dan volume *fiber* yang berbeda (MPa)

Kelompok FRC	N	Rerata	Standar Deviasi
Posisi <i>compression</i> volume 1 lembar	6	71,99	11,51
Posisi <i>compression</i> volume 2 lembar	6	87,09	18,48
Posisi netral volume 1 lembar	6	169,34	90,14
Posisi netral volume 2 lembar	6	252,03	81,32
Posisi <i>tension</i> volume 1 lembar	6	256,96	66,07
Posisi <i>tension</i> volume 2 lembar	6	360,74	100,71
Tanpa <i>fiber</i>	6	68,03	4,57

Tabel 2. Rangkuman uji LSD kekuatan fleksural pada *polyethylene FRC* dengan variabel posisi

Posisi <i>fiber</i>	<i>Compression</i> (I)	Netral (I)	<i>Tension</i> (I)	Tanpa <i>fiber</i> (I)
<i>Compression</i> (J)	–	131,133*	229,3*	-11,514
Netral (J)		–	98,167*	-142,646*
<i>Tension</i> (J)			–	-240,814*
Tanpa <i>fiber</i> (J)				–

Tabel 3. Rangkuman uji LSD kekuatan fleksural pada *polyethylene* FRC dengan variabel volumetrik

Volume <i>fiber</i>	1 lembar (I)	2 lembar (I)	Tanpa <i>fiber</i> (I)
1 lembar (J)	–	67,188*	-98,064*
2 lembar (J)	–	–	-165,252*
Tanpa <i>fiber</i> (J)	–	–	–

*= berbeda bermakna ($p < 0,05$)

dengan variasi volume menunjukkan perbedaan tidak bermakna ($p > 0,05$). Hasil analisis LSD untuk variasi posisi menunjukkan terdapat perbedaan bermakna antar rerata kekuatan fleksural dalam seluruh kelompok perlakuan ($p < 0,05$), kecuali antara posisi *compression* dengan tanpa *fiber* tidak terdapat perbedaan bermakna ($p > 0,05$). Hasil analisis LSD untuk variasi volumetrik *fiber* menunjukkan terdapat perbedaan bermakna antar rerata kekuatan fleksural pada semua kelompok ($p < 0,05$) (Tabel 3).

PEMBAHASAN

Tes *3-point bending* merupakan tes simulasi standar untuk konstruksi jembatan, sifat yang dapat diketahui pada tes ini adalah kekuatan fleksural dan elastisitas. Kekuatan fleksural merupakan kemampuan suatu restorasi untuk menahan gaya fleksural, yaitu kombinasi dari gaya tarik dan kompresi, saat sedang berfungsi di dalam mulut baik sebagai restorasi di daerah anterior maupun posterior. Kekuatan fleksural suatu material penting untuk diketahui oleh para klinisi sebagai bahan pertimbangan dalam pemilihan material untuk restorasi.¹³

Sebuah benda batang diberi beban akan terjadi pendistribusian tekanan, maka tekanan pada benda homogen akan didistribusikan merata pada semua bagian bahan.¹⁴ FRC dapat dianggap sebagai bahan homogen walaupun kandungan bahannya tidak sama dalam semua bagian. FRC yang memiliki sifat homogen akan memiliki kekuatan fleksural yang berbeda apabila posisi *fiber* juga berbeda. Fraktur pada FRC mudah terjadi apabila bagian bawah FRC didukung dengan matriks komposit lebih besar.

Fiber memiliki peranan penting dalam mendistribusikan tekanan pada FRC. *Fiber* yang digunakan pada penelitian ini memiliki struktur pola mata rantai silang yang istimewa dengan desain anyaman (*braided*) yang mengunci sehingga dapat meningkatkan ketahanan, stabilisasi, dan kekuatan geser antar serat untuk mencegah dari keretakan. Desain anyaman yang mengunci tersebut juga efektif menghantarkan tekanan sepanjang anyaman *fiber* tanpa tekanan dihantar kembali menuju resin.¹⁵ Pada benda homogen, penambahan volume *fiber* akan menambah kemampuan dalam menyerap energi dan meningkatkan ketahanan terhadap fraktur oleh karena resultan gaya yang diteruskan *fiber* dengan desain anyaman akan menjadi kecil.⁴

Penguat *fiber* akan tepat apabila diletakkan pada area gigi tiruan yang lemah. Area gigi tiruan yang lemah berada pada sisi yang mengalami tekanan tarik, tekanan tarik akan berdampak pada pemanjangan dimensi gigi tiruan.¹⁶ Sebagian besar fraktur terjadi oleh karena komponen tekanan tarik.¹⁷ Aplikasi tekanan tarik akan menyebabkan molekul-molekul berupaya bertahan terhadap tarikan yang berakibat terpisahnya ikatan antar molekul yang memungkinkan terjadinya fraktur. Ketahanan terhadap tarikan dapat ditingkatkan melalui penambahan *fiber*. *Fiber* yang diletakkan di dasar spesimen tepat pada sisi yang menerima beban tarik menunjukkan kekuatan fleksural tertinggi.¹⁸

Penempatan *fiber* pada posisi *tension* tidak ada hubungan antara kekuatan fleksural dengan jumlah *fiber* oleh karena jumlah *fiber* memiliki pengaruh kecil terhadap kekuatan fleksural dan juga didapatkan tidak ada interaksi antara posisi dan jumlah *fiber* pada modulus fleksural.¹⁹ Pengaturan desain *fiber* seperti penempatan *fiber* lebih penting pengaruhnya dibandingkan jenis *fiber*.¹⁰ Pengaruh posisi *fiber* lebih dominan dalam mempengaruhi sifat mekanik FRC dan untuk mengoptimalkan pengaruh *fiber* maka penambahan *fiber* harus diletakkan di sisi tarikan.²⁰ Ketahanan terhadap perubahan bentuk juga akan didapatkan apabila *fiber* diletakkan pada sisi tarikan karena pada sisi tarikan akan terjadi tekanan tarik maksimal.

Pada sisi *tension* spesimen akan terdapat gaya tarik yang maksimum, sedangkan sisi tengah/netral spesimen akan terdapat gaya geser yang maksimum.²¹ Ikatan antar permukaan dapat terbebani oleh gaya tarik atau gaya geser, kualitas elastisitas suatu bahan dapat dipengaruhi oleh kekuatan antar atom atau antar molekul suatu bahan.²² *Fiber* pada sisi kompresi dan kelompok tanpa *fiber* tidak menunjukkan perbedaan rerata kekuatan fleksural. Pada sisi kompresi, gaya tarik dan gaya geser tidak langsung dialihkan ke penguat *fiber*, gaya geser dan gaya tarik akan didistribusi lebih dulu ke resin komposit. *Glass fiber* pada sisi kompresi tidak akan memberi efek kekuatan fleksural dibandingkan *glass fiber* yang diletakkan pada sisi netral atau *tension*.¹⁹

Penambahan *fiber* jenis anyaman secara signifikan dapat meningkatkan keuletan FRC sebesar 9 kali dari resin komposit tanpa *fiber*.⁴ Distribusi tekanan memberi pengaruh yang signifikan terhadap kekuatan FRC, apabila distribusi tekanan lebih merata maka fraktur tidak mudah terjadi.¹⁶ Penambahan jumlah *fiber* sebanyak 2 lembar akan meningkatkan kekuatan fleksural FRC dibandingkan

FRC dengan jumlah 1 lembar *fiber* dan tanpa *fiber*. Desain jembatan dengan 2 lembar *fiber* mempunyai kekakuan yang tertinggi dibandingkan desain jembatan dengan 1 lembar dan tanpa *fiber*.²³ Berdasarkan hasil penelitian untuk mengoptimalkan posisi dan volume *fiber* pada penggunaan gigi tiruan cekat maka penempatan posisi *fiber* pada sisi *tension* dengan volume 1 lembar *fiber polyethylene* sudah optimal untuk digunakan sebagai gigi tiruan cekat, hasil rerata kekuatan fleksural pada sisi *tension* dengan volume 1 lembar sebesar 256,96 MPa sedangkan kekuatan rerata tekanan kompresif pada gigitan gigi posterior sebesar 193 MPa.¹⁷

Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa penempatan posisi *fiber polyethylene* pada sisi *tension* FRC akan meningkatkan kekuatan fleksural dan modulus fleksural FRC. Penambahan volume *fiber polyethylene* sebanyak dua lembar pada FRC juga akan meningkatkan kekuatan fleksural FRC.

DAFTAR PUSTAKA

- Shalaby WS, Salz U. Polymers for dental and orthopedic applications. New York, USA: CRC Press Taylor & Francis Group; 2007. p. 26.
- Tezvergil A, Lassila LVJ, Vallittu PK. The effect of fiber orientation on the polymerization shrinkage strain of fiber-reinforced composites. *J Dent Material* 2006; 22(7): 610-6.
- Polacek P, Jancar J. Effect of filler content on the adhesion strength between UD fiber reinforced and particulate filled composites. *Composites Science and Technology* 2008; 68: 251-9.
- Karbhari VM, Wang Q. Influence of triaxial braid denier on ribbon-based fiber reinforced dental composite. *J Dent Material* 2007; 23(8): 969-76.
- Gaspar Junior Ade A, Lopes MW, Gaspar Gda S, Braz R. Comparative study of flexural strength and elasticity modulus in two types of direct fiber-reinforced systems. *Braz Oral Res* 2009; 23(3): 236-40.
- Turker SB, Sener ID. Replacement of a maxillary central incisor using a polyethylene fiber reinforced composite resin fixed partial denture: A clinical report. *J Prosthet Dent* 2008; 100: 254-58.
- Latsumaki TM, Lassila LVJ, Vallittu PK. The semi-interpenetrating polymer network matrix of fiber-reinforced composite and its effect on the surface adhesive properties. *J Mater Sci: Materials in Medicine* 2003; 14: 803-9.
- Abdulmajeed AA, Narhi TO, Vallittu PK, Lassila LVJ. The effect of high fiber fraction on some mechanical properties of unidirectional glass fiber-reinforced composite. *J Dent Material* 2011; 27: 313-21.
- Belli S, Eskitascioglu G. Biomechanical properties and clinical use of a polyethylene fibre post-core. *Material International Dentistry South Africa* 2006; 8(3): 20-6.
- van Heumen CC, Kreulen CM, Bronkhorst EM, Lesaffre E, Creugers NH. Fiber-reinforced dental composites in beam testing. *J Dent Material* 2008; 24(11): 1435-43.
- Dyer SR, Lassila LV, Jokinen M, Vallittu PK. Effect of cross-sectional design on the modulus of elasticity and toughness of fiber-reinforced composites materials. *J Prosthet Dent* 2005; 94(3): 219-26.
- Narva KK, Lassila LVJ, Vallittu PK. The static strength and modulus of fiber reinforced denture base polymer. *J Dent Mat* 2005; 21: 421-8.
- Mozartha M, Herda E, Soufyan A. Pemilihan resin komposit dan fiber untuk meningkatkan kekuatan fleksural fiber reinforced composite (FRC). *Jurnal PDGI* 2010; 59: 29-34.
- Yusof A. Mekanika bahan dan struktur. Johor: Universitas Teknologi Malaysia; 2001. h. 30.
- Yanti D, Amalia H, Sugiatno E. Perbedaan kekuatan fleksural fiber reinforced composite dengan struktur leno weave dan long longitudinal polyethylene pada gigi tiruan cekat adhesif. *J Ked Gigi* 2011; 2(4): 230-5
- Ellakwa AE, Shortall AC, Shehata MK, Marquis PM. The influence of fibre placement and position on the efficiency of reinforced composite bridgework. *J Oral Rehabilitation* 2001; 28(8): 785-91.
- Anusavice KJ. Philips science of dental material. 11th ed. Philadelphia: WB. Saunders Company; 2003. h. 36.
- Ellakwa AE, Shortall AC, Marquis PM. Influence of fiber position on the flexural properties and strain energy of a fibre-reinforced composite. *J Oral Rehabilitation* 2003; 30(7): 679-82.
- Kanie T, Arikawa H, Fuji K, Ban S. Mechanical properties of reinforced denture base resin: the effect of position and the number of woven glass fibers. *Dental Materials J* 2002; 21(3): 261-9.
- Vakiparta M, Yli-Urpo A, Vallittu PK. Flexural properties of glass fiber reinforced composite with multiphase biopolymer matrix. *J Mater Sci Mater Med* 2004; 15(1): 7-11.
- Lassila LVJ, Vallittu PK. The effect of fiber position and polymerization condition on the flexural properties of fiber-reinforced composite. *J Contemp Dent Prac* 2004; 5(2): 14-26.
- Sakaguchi RL, Powers JM, Craig S. Restorative dental materials. 12th ed. St Louis, Missouri: Mosby Inc; 2006. p. 60.
- Li W, Swain MV, Li Q, Ironside J, Steven GP. Fibre reinforced composite dental bridge. Part I: experimental investigation. *Biomaterials* 2004; 25(20): 4987-93.