

.....

Pengaruh Kombinasi Posisi Fiber Terhadap Kekuatan Fleksural dan Ketangguhan Retak Fiber Reinforced Composite Polyethylene

Effect of Combination Position Fiber Against Flexural Strength and Fracture Toughness of Fiber Reinforced Composite Polyethylene

Widyapramana^{1,3}, Widjijono², S.Sunarintyas²

¹Post-graduate student Programme Master of Dentistry Gadjah Mada University Yogyakarta, ^{2,2}Lecturer Department of Biomaterial Faculty of Dentistry Gadjah Mada University Yogyakarta. ³Lecturer Programme of Dentistry Faculty of Medicine Muhammadiyah University Yogyakarta
Corresponding: omi_wd@yahoo.com

Abstrak

Kehilangan gigi akibat karies, trauma, kondisi sistemik dan penyakit periodontal, dapat menyebabkan gangguan fungsional terutama pada saat digunakan untuk pengunyahan. Restorasi gigi tiruan cekat (GTC) secara *direct* yang menggunakan material komposit dengan penguatan *fiber* sering disebut sebagai *fiber reinforced composite* (FRC). UHMWPE merupakan *non-impregnated polyethylene fiber* yang mempunyai kekuatan fleksural lebih baik dari *Pre-impregnated glass fiber*. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh kombinasi posisi *fiber* terhadap kekuatan fleksural dan ketangguhan retak (*fracture toughness*) FRC UHMWPE. Penelitian ini merupakan jenis penelitian eksperimental laboratoris. Bahan penelitian menggunakan *fiber Polyethylene* (Construct, Kerr, USA) lebar 2mm, resin komposit *flowable* (Filtek Z350 XT 3M ESPE, USA), *silane* (RelyX 3M ESPE™Sil, Germany). Sampel dalam penelitian ini adalah batang *polyethylene fiber reinforced composite* (FRC) dengan ukuran 2 x 2 x 25 mm terbagi dalam 3 kelompok kombinasi posisi fiber. Kelompok pertama adalah kombinasi posisi *compression – neutral*, kelompok kedua posisi *neutral – tension* dan kelompok ketiga posisi *compression – tension* dengan jumlah total sampel adalah 18. Sampel FRC diuji dengan menggunakan *universal testing machine* untuk mengetahui kekuatan fleksural (Mpa) dan ketangguhan retak/*fracture toughness* (MPa-m^{1/2}). Perbedaan pengaruh diukur menggunakan analisis data Anova 1 jalur dan LSD (p<0,05). Hasil uji statistik pada sampel FRC menunjukkan terdapat pengaruh perbedaan yang bermakna pada semua sampel yang diuji p=0,00. Sampel batang *polyethylene fiber reinforced composite* (FRC) dengan kombinasi posisi *compression – tension* memiliki kekuatan fleksural 189 MPa dan ketangguhan retak 91,08 MPa-m^{1/2} tertinggi dibandingkan dengan kelompok sampel yang lainnya. Terdapat pengaruh perbedaan kombinasi posisi *fiber polyethylene* pada sampel FRC UHMWPE terhadap kekuatan fleksural dan ketangguhan retak (*fracture toughness*). Berdasarkan hasil uji sampel tersebut dapat dikatakan bahwa kombinasi posisi fiber *compression - tension* pada aplikasi gigi tiruan cekat (GTC) dapat memberikan kekuatan fleksural 189 Mpa yang optimal dan mendekati rerata tekanan pengunyahan sebesar 193 Mpa.

Kata kunci: *fiber reinforced composite* (FRC), UHMWPE, kekuatan fleksural, ketangguhan retak (*fracture toughness*), kombinasi posisi *fiber*.

Abstract

Loss of teeth due to caries, trauma, systemic conditions and periodontal disease, can caused functional impairment, especially when used for mastication. Restoration fixed denture (GTC) were direct the used of composite materials with fiber reinforcement was often referred to as fiber- reinforced composite (FRC). Ultra high molecular weight polyethylene (UHMWPE) was a non - impregnated polyethylene fiber that has a flexural strength

.....

better than the pre - impregnated glass fiber. This study aims to determine the effect of a combination of fiber position on flexural strength and fracture toughness FRC UHMWPE . This study was an experimental research laboratory. Materials research used Polyethylene fiber (Construct, Kerr, USA) 2mm width, flowable composite resin (Filtek Z350 XT 3M ESPE, USA), silane (RelyX 3M ESPE™Sil, Germany). The sample in this study were the polyethylene fiber reinforced composite (FRC) with size 2 x 2 x 25 mm divided into 3 groups combination of fiber position. The first group were a combination of compression position - neutral, the second group neutral position - the third group tension and compression position - tension with the total number of samples were 18. FRC samples were tested using a universal testing machine to determine the flexural strength (MPa) and fracture toughness (MPa - m^{1/2}). The difference in effect was measured using data analysis Anova 1 track and LSD (p < 0.05). The results of statistical tested on samples FRC showed that there were significant differences in the effect of all tested samples p = 0.00. Samples polyethylene fiber reinforced composite (FRC) with a combination of compression position - tension has a flexural strength of 189 MPa and a fracture toughness of 91.08 MPa - m^{1/2} the highest compared with other samples. There were the effect of different combinations of polyethylene fiber position at FRC samples of UHMWPE against flexural strength and fracture toughness. Based on the test results of these samples can be said that the combination of fiber position compression - tension on the application of fixed denture (GTC) can provide flexural strength of 189 MPa and approaching the average optimal masticatory pressure of 193 MPa .

Keywords: fiber reinforced composite (FRC), ultra high molecular weight polyethylene (UHMWPE), flexural strength, fracture toughness, the combination of fiber position .

Pendahuluan

Kehilangan gigi akibat karies, trauma, kondisi sistemik dan penyakit periodontal, dapat menyebabkan gangguan fungsional terutama pada saat digunakan untuk pengunyahan. Pada kondisi ini diperlukan protesa untuk menggantikan gigi yang hilang. Tipe protesa yang sering digunakan adalah gigi tiruan cekat konvensional yang biasa terbuat dari logam dengan lapisan porselen atau disebut dengan *porcelain fused to metal* (PFM). Kekurangan dari gigi tiruan cekat tersebut adalah mudah pecah, retak dan patah. Hal lain yang ditemukan adalah logam *alloy* yang digunakan dapat mengalami korosi⁷.

Gigi tiruan cekat (GTC) konvensional yang terbuat dari logam pada umumnya memerlukan preparasi gigi, yaitu pengurangan jaringan gigi dan membutuhkan waktu yang lebih lama karena harus melalui prosedur laboratorium. GTC dengan material komposit dan preparasi minimal secara *direct* menggunakan FRC dinilai lebih efisien

dan mudah pemasangannya. Kelebihan material FRC jika dibandingkan dengan restorasi logam adalah tahan terhadap korosi dan tidak perlu menghilangkan banyak jaringan gigi yang sehat selama preparasi¹¹.

Restorasi GTC secara *direct* yang menggunakan material komposit dengan penguatan *fiber* sering disebut sebagai *fiber reinforced composite* (FRC). *Fiber* yang lazim digunakan di kedokteran gigi diantaranya adalah *glass fiber*, *aramid fiber*, *carbon/graphite fiber* dan *ultra high molecular weight polyethylene fiber / UHMWPE*². Gigi tiruan cekat untuk regio anterior yang menggunakan bahan FRC memiliki estetik lebih baik dibandingkan dengan bahan *porcelain fused to metal*¹⁶.

UHMWPE merupakan *non-impregnated polyethylene fiber* yang mempunyai kekuatan fleksural lebih baik dari *pre-impregnated glass fiber*⁹. Pada *pre-impregnated fiber* memiliki potensinya kenaikan penyerapan air yang dapat berpengaruh terhadap kekuatan mekanis bahan¹³. Sifat mekanis dari struktur konstruksi

FRC dipengaruhi oleh kombinasi antara partikel *filler* resin komposit dengan volume, lokasi penempatan dan arah *fiber*⁸.

Pada kondisi klinis GTC akan menerima berbagai gaya selama digunakan untuk pengunyahan diantaranya gaya *compression*, *tension*, dan *shear*. Maksimum tekanan oklusal dapat mencapai 900N pada gigi posterior usia dewasa dan tekanan pengunyahan antara 100-300N. Maksimum frekuensi tekanan oklusal bisa terjadi hingga 3000 kali per hari, hal tersebut menjadi pertimbangan bahwa GTC memiliki beban yang besar untuk waktu yang lama dalam penggunaan sehari-hari¹⁸. Penelitian sebelumnya menunjukkan bahwa 2 lapis *fiber* memiliki kekuatan fleksural lebih baik dibandingkan 1 lapis *fiber* UHMWPE. Posisi yang digunakan pada penelitian tersebut adalah penempatan *fiber* 1 lapis dan 2 lapis pada posisi *compression*, *neutral* dan *tension*¹⁵. Kombinasi posisi *fiber* dan ketangguhan retak belum pernah diteliti.

Bahan dan Metode

Penelitian ini merupakan jenis penelitian eksperimental laboratoris. Bahan penelitian menggunakan *fiber Polyethylene*

(Construct, Kerr, USA) lebar 2mm yang difabrikasi dengan gas plasma dingin dan disilanisasi menggunakan resin tanpa filler, resin komposit *flowable* (Filtek Z350 XT 3M ESPE, USA), *silane* (RelyX 3M ESPETMSil, Germany) dideskripsikan pada Tabel 1. Sampel dalam penelitian ini adalah batang *polyethylene fiber reinforced composite* (FRC) dengan ukuran 2 x 2 x 25 mm (sesuai ISO 10477), dibagi dalam 3 kelompok kombinasi posisi fiber (masing-masing terdiri dari 6 spesimen). Kelompok pertama adalah kombinasi posisi *compression – neutral*, kelompok kedua posisi *neutral – tension* dan kelompok ketiga posisi *compression – tension* dengan jumlah total sampel adalah 18. Deskripsi lengkap mengenai pembagian kelompok spesimen dalam penelitian ini dapat dilihat pada Tabel 2.

Sampel FRC diuji dengan menggunakan *universal testing machine* untuk mengetahui kekuatan fleksural (Mpa) dan ketangguhan retak/*fracture toughness* (MPa·m^{1/2}). Perbedaan pengaruh diukur menggunakan analisis data Anova 1 jalur dan LSD (p<0,05).

Tabel 1. Informasi produk yang digunakan dalam penelitian

Material	Manufaktur	Klasifikasi	Komposisi Umum
Filtek Z350 XT	flowable	3M ESPE	Nanofilled composite Matriks: bisGMA, TEGDMA; Zr dan Si 65wt% (cluster partikel 0.6-10µm terdiri dari partikel 4-20nm)
Construct	Kerr	Braided UHMWPE fiber	Fiber difabrikasi dengan gas plasma dingin, disilanisasi resin tanpa filler
RelyX	3M ESPE	Filled adhesive	Methacryloxypropyltrimethoxysilane <2wt%

Tabel 2. Pembagian kelompok perlakuan

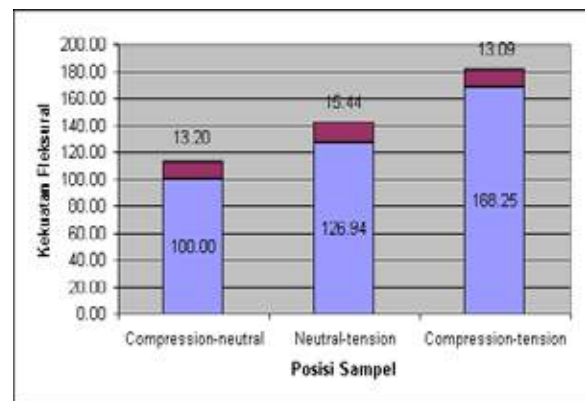
Kelompok	Jenis fiber	Jumlah serat fiber	Letak posisi fiber	Jumlah sampel
I	FRC UHWMPE	2 helai	<i>zone compression - zone neutral</i>	6
II	FRC UHWMPE	2 helai	<i>zone neutral - zone tension</i>	6
III	FRC UHWMPE	2 helai	<i>zone compression - zone tension</i>	6

Hasil

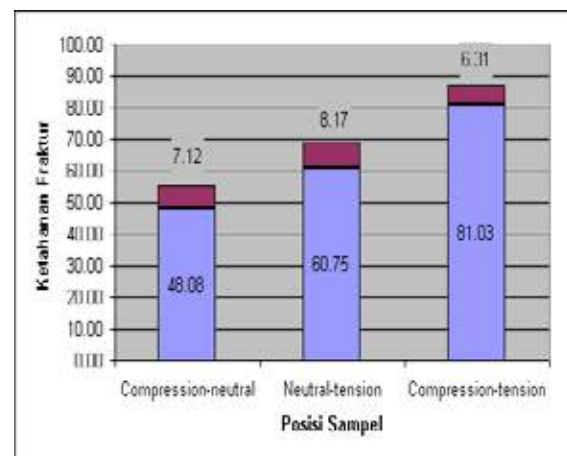
Setelah dilakukan pengujian kekuatan fleksural terhadap sampel berupa batang *fiber reinforced composite* berukuran (2 x 2 x 25) mm dengan kombinasi posisi *fiber* diperoleh data pengukuran kekuatan fleksural subyek penelitian, menunjukkan FRC UHWMPE dengan *fiber* posisi *compression - tension* dengan rerata 168,25 Mpa \pm 13,087 memiliki kekuatan paling tinggi jika dibandingkan dengan kekuatan fleksural subyek penelitian pada kombinasi posisi yang lain. Rerata kekuatan fleksural pada semua kelompok dengan variabel kombinasi posisi *fiber* menunjukkan adanya kecenderungan peningkatan kekuatan fleksural FRC UHWMPE dari kombinasi posisi *compression - neutral*, *neutral - tension* hingga *compression - tension*. Rerata nilai kekuatan fleksural pada semua kelompok sampel terlihat pada Gambar 1.

Nilai rerata ketangguhan retak *polyethylene* FRC menunjukkan kemampuan batang sampel untuk menahan beban yang diberikan hingga terjadi retak ataupun patah. Dari hasil pengukuran didapatkan nilai ketangguhan retak antara 39,27 MPa-m^{1/2} sampai 91,08 MPa-m^{1/2}, nilai hasil rerata pengukuran tertinggi terdapat pada kombinasi posisi *compression - tension*,

yaitu 81,03 MPa-m^{1/2} \pm 6,311. Rerata nilai ketangguhan retak pada seluruh kelompok sampel terlihat pada Gambar 2.



Gambar 1. Rerata \pm SD kekuatan fleksural pada *polyethylene* FRC dengan kombinasi posisi fiber.



Gambar 2. Rerata \pm SD ketangguhan retak pada FRC dengan kombinasi posisi fiber.

Pembahasan

Kombinasi posisi *compression – neutral* pada FRC memiliki kekuatan fleksural yang paling rendah dan kombinasi posisi *compression – tension* memiliki kekuatan fleksural yang paling tinggi. *Fiber* memiliki peranan penting dalam mendistribusikan tekanan pada FRC. Serat *fiber* yang digunakan pada penelitian ini memiliki struktur pola mata rantai yang baik dengan desain anyaman (*braided*) yang mengunci sehingga dapat meningkatkan ketahanan, stabilisasi dan kekuatan geser antar serat untuk menahan dari keretakan. Desain anyaman yang mengunci tersebut juga efektif menghantarkan tekanan sepanjang anyaman *fiber* tanpa tekanan dihantarkan kembali menuju resin¹⁹. Resultan gaya yang diteruskan pada *fiber* jenis anyaman (*braided*) lebih kecil dibandingkan pada *fiber* jenis *unidirectional*. Sudut *fiber* terhadap sumbu pada *braided fiber* berperan dalam menghasilkan resultan gaya yang diteruskan lebih kecil¹².

Penelitian terdahulu menunjukkan bahwa komposit tanpa penguatan *fiber* memiliki rerata kekuatan fleksural paling rendah dibandingkan komposit dengan penambahan *fiber*⁶.

Terdapat beberapa cara untuk meminimalkan tekanan yang dapat mengurangi resiko fraktur, diantaranya dengan mendistribusikan tekanan ke bahan yang memiliki modulus elastisitas yang lebih tinggi. Kekuatan bahan dapat diketahui dari batas elastisitasnya, yaitu tekanan maksimal yang dapat ditahan oleh bahan sebelum bahan tersebut menjadi berubah bentuk¹. Perubahan bentuk pada uji *3-point bending test* berupa pelengkungan/defleksi, dari rumus modulus fleksural dapat diketahui bahwa apabila nilai defleksi semakin besar maka nilai modulus fleksuralnya akan semakin kecil.

Pada uji fleksural bagian bawah FRC akan mengalami tarikan yang diakibatkan oleh terjadinya defleksi, *fiber* pada posisi *tension* bagian bawah FRC akan mampu mendistribusikan tekanan dan menghasilkan resultan gaya yang lebih kecil dibandingkan bagian atas yaitu matriks komposit pada FRC. Resultan gaya yang kecil tersebut tidak akan mengakibatkan tarikan yang disebabkan akibat defleksi.

Analisis statistik menunjukkan bahwa kombinasi posisi *fiber* pada FRC berpengaruh terhadap kekuatan fleksural. *Fiber* dengan kombinasi posisi *compression – tension* pada FRC memiliki kekuatan fleksural tertinggi dibandingkan dengan kombinasi posisi yang lain.

Area yang lemah dari gigi tiruan berada pada sisi yang mengalami tarikan dan berdampak pada pemanjangan dimensi gigi tiruan tersebut. Penguat *fiber* akan tepat apabila diletakkan pada area gigi tiruan yang lemah tersebut⁶. Sebagian besar fraktur terjadi karena tekanan tarik¹. Penempatan *fiber* pada sisi tarikan maka tekanan akan didistribusikan merata pada FRC. *Fiber* yang diletakkan menjauhi sisi tarikan (*tension*) akan lebih mendekati bagian permukaan spesimen dan akan mengalami beban kompresi sehingga kekuatan fleksuralnya semakin menurun. Pengaruh posisi *fiber* lebih dominan dalam mempengaruhi sifat mekanik FRC dan untuk mengoptimalkan pengaruh *fiber* maka penambahan *fiber* harus diletakkan pada sisi tarikan. Ketahanan terhadap perubahan bentuk juga akan didapatkan apabila *fiber* diletakkan pada sisi tarikan, karena pada sisi tarikan akan terjadi tekanan tarik maksimal. Modulus fleksural yang tinggi dapat dijadikan sebagai ketahanan material terhadap perubahan bentuk¹⁷.

.....

Tekanan yang dihasilkan saat pembebanan uji mekanis terhadap batang *polyethylene* FRC, maka tekanan pada permukaan matriks akan didistribusikan merata pada *fiber* sehingga dibutuhkan penambahan *fiber* pada matriks. Distribusi tekanan akan diterima oleh helai *fiber* satu dan kemudian akan diteruskan pada helai *fiber* berikutnya. Pada penelitian ini matriks resin komposit yang digunakan adalah jenis komposit *flowable* yang memiliki kandungan bahan pengisi (*filler*) yang padat. Peningkatan jumlah *filler* pada resin komposit akan meningkatkan modulus elastisitas bahan restorasi¹⁴.

FRC dengan 2 helai *fiber polyethylene* akan meningkatkan modulus fleksural dan ketangguhan retak (*fracture toughness*) dengan kombinasi posisi penempatan *fiber* yang berbeda. Hasil penelitian menunjukkan bahwa kombinasi penempatan *fiber polyethylene* pada posisi *compression – neutral* memberikan nilai kekuatan fleksural tertinggi sebesar 114 MPa dan *fracture toughness* sebesar 55,27 MPa-m^{1/2}, pada posisi *neutral – tension* nilai tertinggi sebesar 144 MPa dan *fracture toughness* sebesar 69,14 MPa-m^{1/2} dan pada posisi *compression – tension* menunjukkan kekuatan fleksural dan ketangguhan retak tertinggi, yaitu 189 MPa dan 91,08 MPa-m^{1/2}. Hasil tersebut menunjukkan peningkatan kekuatan fleksural posisi *neutral – tension* 1,26 kali posisi *compression – neutral*, 1,3 kali pada posisi *compression – tension* terhadap posisi *neutral – tension* dan 1,65 kali pada posisi *compression – tension* terhadap posisi *compression – neutral*. Penambahan 2 unit *fiber glass* (sisi kompresi dan sisi tarikan) mampu meningkatkan modulus elastisitas sebanyak 1,5 kali dari kelompok tanpa penambahan *fiber*⁵. Desain mahkota jembatan dengan 2 helai *fiber* mempunyai kekakuan yang

tertinggi dibandingkan dengan desain mahkota jembatan yang hanya menggunakan 1 helai ataupun tanpa *fiber*¹⁰.

Kekuatan fleksural FRC dengan 2 helai *fiber polyethylene non-impregnated* dengan kombinasi posisi sebesar 234,23 MPa, kelompok *fiber glass pre-impregnated* dengan 2 helai *fiber* sebesar 134,77 MPa, sedangkan kelompok FRC yang hanya menggunakan 1 helai *fiber polyethylene non-impregnated* sebesar 130,63 MPa dan kelompok *fiber glass pre-impregnated* sebesar 114,61 MPa⁹. Pada penelitian ini jenis *fiber* yang digunakan adalah *ultra high strength fiber polyethylene impregnated* yang telah diimpregnasi dengan menggunakan resin tanpa *filler*, untuk kombinasi dengan menggunakan 2 helai *fiber* pada posisi *compression – tension*, kekuatan fleksural yang dihasilkan sebesar 189 MPa. Penelitian terdahulu menunjukkan hasil rerata modulus elastisitas *fiber* UHMWPE dengan posisi kombinasi pada volume *fiber* 18,6% (2 helai) sebesar 12,5 GPa dan volume 75,8% (8 helai) sebesar 12,4 GPa⁵. Pada penelitian ini dengan 2 helai *fiber* UHMWPE pada kombinasi posisi *compression – tension* menunjukkan nilai modulus fleksural sebesar 5,14 GPa.

Besarnya nilai ketangguhan retak (*fracture toughness*) dipengaruhi oleh ketebalan suatu material, semakin tebal maka nilai *fracture toughness* akan semakin besar akan tetapi jika tebal material tersebut melebihi batas kritis maka akan menyebabkan nilai *fracture toughness* cenderung konstan⁴. Nilai *fracture toughness* terhadap ketebalan suatu material dipengaruhi oleh kondisi pembebanan, jika beban yang diberikan merupakan *plane strain* (regangan/tarikan) maka akan membutuhkan ketebalan yang lebih besar sedangkan jika beban yang

diberikan merupakan *plane stress* (tekanan) maka membutuhkan nilai ketebalan yang relatif lebih kecil. Pada penelitian ini pembebanan terhadap sampel batang FRC UHMWPE adalah berupa *plane stress* (tekanan) sebesar 20 N dengan ketebalan 2 mm. Hasil penelitian menunjukkan kecenderungan peningkatan nilai ketangguhan retak (*fracture toughness*) dengan nilai tertinggi pada kombinasi posisi *compression – tension* sebesar $91,08 \text{ MPa}\cdot\text{m}^{1/2}$.

Berdasarkan hasil penelitian untuk mengoptimalkan kekuatan fleksural dan ketangguhan retak pada penggunaan gigi tiruan cekat (mahkota jembatan) maka penempatan posisi *fiber* pada bagian konektor bisa dengan menggunakan kombinasi posisi *compression – tension* dengan hasil pengukuran tertinggi sebesar 189 MPa mendekati kekuatan rerata kompresif pada saat pengunyahan sebesar 193 MPa. Penggunaan resin komposit jenis *packable* yang memiliki kandungan *filler* 70% dari berat volume resin komposit akan menutupi kekurangan pada penelitian ini dibanding menggunakan resin komposit jenis *flowable* dan hanya mengandung *filler* 35% - 50% dari berat total volume matriks resin komposit³. Pada penelitian ini menggunakan resin komposit jenis *flowable* yang hanya mengandung 46% *filler* dari berat volume matriks.

Kesimpulan

Fiber kombinasi 2 posisi pada FRC UHMWPE efektif meningkatkan kekuatan fleksural dan ketangguhan retak (*fracture toughness*). Kombinasi posisi *fiber* pada sisi *compression – tension* FRC UHMWPE memiliki kekuatan fleksural dan ketangguhan retak (*fracture toughness*) paling tinggi.

Daftar Pustaka

1. Anusavice K.J., 2003, *Philips' Science of Dental Materials*, 11th ed., W.B. Saunders Company, Philadelphia.
2. Chan D.C.N., Giannini M., dan De-Goes M.F., 2006, Profesional anterior tooth replacement using nonimpregnated fiber and fiber reinforced composite resin materials : A clinical report, *J. Prosthet. Dent.*; 95:344-8.
3. Craig RG, Powers JM, dan Wataha JC. 2000. *Dental Materials Properties and Manipulation*. 7th ed. Missouri: Mosby, Inc. pp: 60-61
4. David R., 2001, *Introduction to Fracture Mechanics*. Department of Materials Science and Engineering Massachusetts Institute of Technology Cambridge.
5. Dyer S.R., Lassila L.V.J., Jokinen M., dan Vallittu P.K., 2005, Effect of crosssectional design on the modulus of elasticity and toughness of fiber reinforced composite materials, *J. Prosthet. Dent.* 94:219- 226.
6. Ellakwa A.E., Shortall A.C., Shehata M.K., dan Marquis P.M., 2001, The influence of fibre placement and position on the efficiency of reinforced composite bridgework. *Journal of Oral Rehabilitation* 28: 785-791
7. Freilich M.A., Meiers J.C., Duncan J.P., dan Goldberg A.J., 2000, *Fiber reinforced composite*, Quintessence Publishing Co. Illionis.
8. Heumen C.C.M., Kreulen C.M., Bronkhorst E.M., Lesaffre E., dan Creugers N.H.J., 2008, Fiber reinforced dental composites in beam testing, *J. Dent. Material* 24:1435-1443.

-
9. Junior A.A.G., Lopes M.W.V., Gaspar G.S., dan Braz R., 2009, Comparative study of flexural strength and elasticity modulus in two types of direct fiber reinforced systems, *Braz Oral Res.* 23 (3):236-240.
 10. Li W., Swain M.V., Li Q., Ironside J., dan Steven G.P., 2004, Fibre reinforced composite dental bridge Part I: experimental investigation. *Biomaterials* 25 (2004) 4987-4993
 11. Malone W.F.P., Maroso D.J., dan Morgano S.M., 1995, Resin bonded retainers (Maryland Bridge), *J. Dent. Res.* 26: 227-319.
 12. Mallick PK, 2008, *Fiber-reinforced composites: materials, manufacturing, and design*, 3th edition. CRC Press, Taylor & Francis Group, Boca Raton, FL
 13. Miettinen V.A., Narva K.K., dan Vallittu P.K., 1999, Water sorption, solubility and effect of post curing of glass fiber reinforced polymers. *Biomaterials* 20(1): 187-94.
 14. Polacek P., dan Jancar J., 2008, Effect of filler on the adhesion strength between UD fiber reinforced and particulate filled composites, *Composites Science and Technology* 68:251-259
 15. Septommy C., 2013, Pengaruh posisi dan fraksi volumetrik *fiber polyethylene* terhadap kekuatan fleksural *fiber reinforced composite*. Tesis S-2 Ilmu Kedokteran Gigi Universitas Gadjah Mada.
 16. Turker S.B., dan Sener I.D., 2008, Replacement of maxillary central incisor using polyethylene fiber reinforced composite resin fixed partial denture: A clinical report, *J. Prosthet. Dent.* 100: 254-258.
 17. Vakiparta M., Yli-Urpo A., dan Vallittu P.K., 2004, Flexural properties of glass fiber reinforced composite with multi-phase biopolymer matrix. *J. Mater. Sci: Materials in Medicine* 15:7-11
 18. Vallittu P.K., 2001, 2nd International symposium on fiber reinforced plastics in dentistry, Nijmegen, The Netherlands.
 19. Yanti D., Amalia H., dan Sugiatno E., 2011, Perbedaan kekuatan fleksural fiber reinforced composite dengan struktur leno weave dan long longitudinal polyethylene pada gigi tiruan cekat adhesive. *J. Ked. Gigi* Vol.2 No.4 hal. 230-235.