

Differences in the color stability of E-glass fiber non dental reinforced composites with or without the addition of silane coupling agents

Perbedaan stabilitas warna *E-glass fiber non dental reinforced composite* dengan atau tanpa penambahan *silane coupling agent*

Adiva Afnela Putri, Widya Puspita Sari, Resti Iswani

Fakultas Kedokteran Gigi Universitas Baiturrahmah

Padang, Indonesia

Corresponding author: Adiva Afnela Putri, e-mail: adivaafnelaputri2@gmail.com; Widya Puspita Sari, e-mail: widyapuspitasari@fkg.unbrah.ac.id

ABSTRACT

Fiber reinforced composite (FRC) resin can improve color stability. The most commonly used fiber in dentistry is E-glass fiber, but dental E-glass fiber has limitations and is expensive. The composition of non-dental E-glass fiber is almost the same but the concentration is different. E-glass fiber is difficult to adhere to composite resin so it requires silane coupling agent as a binder. The difference in color stability of E-glass fiber non dental reinforced composite with or without the addition of silane coupling agent was studied through quantitative research with laboratory experimental method using one group pretest and posttest design. The samples were FRC plates obtained by purposive sampling method, 13 mm in diameter and 2 mm thick, which were divided into 2 groups of E-glass fiber non dental with silane and without silane. The color stability test was carried out by Us-Vis spectrophotometer whose absorbance value and wavelength were calculated to determine the area value of $l^*a^*b^*$ in each sample. Statistical analysis using independent t-test. Significant differences were found between non-dental E-glass fiber with silane and without silane. It was concluded that non-dental E-glass fiber with silane showed better color stability than without silane.

Keywords: color stability, non-dental E-glass fiber, silane coupling agent.

ABSTRAK

Resin komposit yang diperkuat fiber atau bisa disebut *fiber reinforced composite* (FRC) dapat meningkatkan stabilitas warna. Fiber yang paling sering digunakan dalam kedokteran gigi adalah *E-glass fiber*, akan tetapi *E-glass fiber dental* memiliki keterbatasan dan harganya mahal. Komposisi dari *E-glass fiber non dental* hampir sama namun konsentrasi berbeda. *E-glass fiber* sulit untuk melekat pada resin komposit sehingga membutuhkan *silane coupling agent* sebagai pengikatnya. Perbedaan stabilitas warna *E-glass fiber non dental reinforced composite* dengan atau tanpa penambahan SCA diteliti melalui penelitian kuantitatif dengan metode eksperimental laboratorium menggunakan *one group pretest and posttest design*. Sampel adalah lempeng FRC yang diperoleh secara metode *purposive sampling*, berbentuk lingkaran berdiameter 13 mm dan tebal 2 mm yang dibagi menjadi 2 kelompok *E-glass fiber non dental* dengan *silane* dan tanpa *silane*. Uji stabilitas warna dilakukan dengan spektrofotometer Us-Vis yang nilai absorbansi dan panjang gelombangnya dihitung luas daerah; ditentukan nilai $l^*a^*b^*$ pada tiap sampel. Analisis statistik menggunakan uji *independent t-test*. Diperoleh perbedaan signifikan antara *E-glass fiber non dental* dengan *silane* dan tanpa *silane*. Disimpulkan bahwa *E-glass fiber non dental* dengan *silane* menunjukkan stabilitas warna yang baik dari pada tanpa *silane*.

Kata kunci: stabilitas warna, *E-glass fiber non dental*, *silane coupling agent*

Received: 10 March 2023

Accepted: 1 July 2023

Published: 1 August 2023

PENDAHULUAN

Karies merupakan salah satu penyakit yang dialami seluruh masyarakat dunia.¹ Data Riset Kesehatan Dasar 2018 menunjukkan prevalensi karies gigi sekitar 90% dari seluruh penduduk Indonesia.² Perawatan dan pencegahan perluasan karies dilakukan penempatan pada gigi menggunakan bahan restorasi,³ yang menjadi pilihan utama saat ini adalah resin komposit,⁴ karena memiliki sifat fisik menyerupai warna gigi alami.⁵

Sifat fisik resin komposit memiliki keterbatasan yakni penyusutan polimerisasi, penyerapan dan kelarutan air. Penyerapan air memiliki efek negatif pada bahan restorasi resin komposit yakni dapat mengurangi ketahanan terhadap aus, kerusakan sifat mekanik, dan perubahan warna.⁶ Perubahan warna dapat disebabkan oleh faktor intrinsik seperti penyusutan polimerisasi yang menyebabkan celah mikro antara struktur gigi dan bahan restorasi.⁷ Faktor ekstrinsik disebabkan oleh aku-

mulasi plak dan noda, pewarna makanan dan zat pewarna warna yang berpotensi menyebabkan perubahan warna seperti teh, kopi, susu dan bahan desinfektan.⁸

Fiber dapat ditambahkan ke dalam resin komposit atau biasa disebut *fiber reinforced composites* (FRC) yang dapat meningkatkan sifat mekanis resin komposit dan juga memiliki banyak keuntungan seperti meningkatkan kekuatan tegangan dan *flexural*, memiliki sifat estetis baik, bersifat biokompatibilitas dan mampu mengurangi penyerapan air.⁹

Fiber atau serat yang biasa digunakan, yaitu *polyethylene, glass, aramid*, dan *carbone/graphite*.¹⁰ *Glass fiber* merupakan serat yang paling sering digunakan di bidang kedokteran gigi karena memiliki kelebihan, yaitu mudah dimanipulasi, adaptasinya baik, estetis baik, sifat mekaniknya baik, serta mampu berikatan baik dengan matriks polimer melalui *silane coupling agent* (SCA).^{10,13}

Glass fiber dibedakan menjadi A-glass, C-glass, D-

glass, E-glass S-glass, R-glass.¹⁴ E-glass fiber merupakan jenis glass fiber yang paling banyak digunakan di kedokteran gigi (50%) dibandingkan glass fiber lainnya.¹⁵ E-glass fiber memiliki kelebihan, yaitu densitas lebih rendah, relatif tidak sensitif terhadap kelembaban dan memiliki ketahanan terhadap kimia dan panas.¹⁰ E-glass fiber tersusun atas 45,47% SiO₂, 38,49% CaO, 12,11% Al₂O₃, dan kurang dari 1% Na₂O+K₂O.¹⁶

E-glass fiber dental di Indonesia tersedia dalam jumlah terbatas dan harga yang mahal, namun demikian terdapat glass fiber non dental yang umum digunakan pada dunia teknik.¹⁶ Pemeriksaan komposisi glass fiber non dental dengan teknik x-ray fluorescence spectrometer (XRF) menunjukkan bahwa beberapa glass fiber non dental yang tersedia di Indonesia seperti fiberglass mats (LT, China), fiberglass roving (CMA, China) dan woven roving (HJ, China) memiliki kemiripan dengan persentasi yang berbeda dengan E-glass fiber dental. Glass fiber non dental yang telah diteliti memiliki kandungan alkali yang sedikit lebih tinggi daripada E-glass fiber dental; tingginya alkali berpengaruh terhadap tekanan dan penyerapan air.¹⁶

Glass fiber non dental dengan tipe E-glass fiber ditemukan di dunia teknik, namun tidak diketahui komposisinya, maka dari itu dilakukan prepenelitian yang dilakukan di Laboratorium Kimia Universitas Negeri Padang menggunakan uji x-ray fluorescence. Berdasarkan hasil uji diketahui kandungan glass fiber non dental terdiri dari 39% SiO₂, 8% Al₂O₃, 46% CaO, 0% MnO, 0% BaO dan 0% K₂O, yang memiliki komposisi yang hampir sama dengan E-glass fiber dental.

Fiber memiliki keterbatasan yaitu sulit untuk melekat pada matriks resin, sehingga dibutuhkan silane coupling agent sebagai pengikat antara fiber dan matriks resin. Peningkatan kuat-ikat oleh silane coupling agent akan memberikan pengaruh yang baik terhadap penyerapan air.¹⁷ Silane berfungsi untuk meningkatkan ikatan antara dua bahan yang tidak sama. Silane membentuk ikatan siloxane (Si-O-Si) dengan gugus hidroksil pada permukaan E-glass fiber.¹⁸ Gugus organofungsional silane akan bereaksi dengan gugus fungsional pada matriks polimer sehingga kekuatan perlekatan antara E-glass fiber dan matriks polimer meningkat. Selain itu juga terjadi pengurangan kelarutan komponen, dan penyerapan air yang merupakan sifat resin komposit yang berpengaruh terhadap stabilitas warna.¹⁹

Pada penelitian dibahas perbedaan stabilitas warna E-glass fiber non dental reinforced composite dengan atau tanpa penambahan silane coupling agent?

METODE

Penelitian ini bersifat kuantitatif dengan metode eksperimen laboratorium menggunakan one group pretest posttest. Kriteria sampel adalah lempeng FRC, meng-

gunakan 4 sampel untuk masing-masing kelompok. Penelitian dilakukan di Laboratorium Kimia Universitas Negeri Padang pada bulan November 2021 sampai Januari 2022

Pemotongan fiber

E-glass fiber non dental (Chopped Strand Mat 450/1040) (Jiangsu, China) diukur dengan penggaris sepanjang 6 mm dan lebar 2 mm dipotong dengan gunting. Fiber ditimbang untuk menentukan berat; sebelum aplikasi fiber disimpan 24 jam di dalam desiccator (DSGL 150, The Lab Depot, Inc.) untuk menghilangkan kadar air. Selanjutnya pembuatan satu sampel tanpa fiber untuk menentukan berat sampel. Penimbangan berat fiber dilakukan dengan menggunakan neraca digital ketelitian 0,01 mg (KERN & Sohn GmbH).

Sampel dikelompokkan atas Kelompok 1, yaitu 4 sampel terdiri dari E-glass fiber non dental tanpa silane dan kelompok 2 yaitu 4 sampel terdiri dari E-glass fiber non dental + silane

Pembuatan sampel

Cetakan mould (diameter 13 mm dan tinggi 2 mm) diberi penanda pada tinggi 1 mm untuk perlekatan resin. Flowable composite (CharmFil Flow, DenKist, Korea) diinjeksikan ke dalam mould sampai batas penanda (1 mm). Pada kelompok 2, E-glass fiber disilanisasi (Monobond S, Ivoclar Vivadent, Liechtenstein), dengan pipet mikro (Comecta) sebanyak 1,7 µL, yang lalu didiamkan selama 1 menit dan selanjutnya dikeringkan dengan pengering elektrik selama 1 menit. Selanjutnya E-glass fiber dimasukkan ke dalam semua cetakan sampel, dilapisi dengan flowable composite hingga seluruh permukaan fiber tertutup resin dan mould terisi penuh.

Permukaan FRC ditutup dengan celluloid strip dilanjutkan dengan penyinaran menggunakan LED light cure unit (LED B, woodpecker, Cina) untuk polimerisasi tegak lurus terhadap sampel penelitian dengan jarak 2 mm selama 20 detik. Setelah penyinaran selesai sampel dikeluarkan dari cetakan.

Perendaman sampel

Sampel direndam dalam larutan saliva buatan sedalam 20 mL menggunakan conical tube yang telah dilubangi tutupnya selanjutnya menggunakan jarum jahit, yang dimasukkan benang melewati tutup conical tube kemudian diikatkan pada sampel penelitian. Setelah panjang benang mencapai 80 mm, maka sisa benang ditempelkan pada tutup conical tube dengan menggunakan isolasi. Sampel selanjutnya direndam dalam saliva buatan pada suhu 37°C selama 7 hari, kemudian dikeluarkan dari conical tube lalu dikeringkan dengan menggunakan tissue selama 10 detik dan dibiarkan di udara selama 15 detik.

Uji stabilitas warna

Stabilitas warna sampel diuji dengan menggunakan spektrofotometer UV/VIS (Analytik Jena Specord 210 Plus 190-1100 nm). Cahaya dari sumber cahaya yang masuk ke monokromator dan didispersi menjadi cahaya monokromatis yang ditransmisikan melalui sampel dalam tempat sampel dan cahaya yang disalurkan jatuh pada detektor, kemudian dikonversikan sinyal listrik yang memperkuat dan tercatat pada rekorder spektrofotometer.

Instrumen fotometri dan kolorimetri mengukur warna objek dan menyatakannya dalam tiga nilai koordinat (L^* , a^* , b^*). Koordinat L^* (cahaya, dari $-L\ 0$ = hitam sampai $+L\ 100$ = putih), a^* (dari $-a$ = hijau sampai $+a$ = merah), and b^* (dari $-b$ = biru sampai $+b$ = kuning). Perbedaan warna dua objek dapat ditentukan dengan membandingkan perbedaan antara nilai koordinat masing-masing untuk setiap objek.

Rumus untuk menghitung perbedaan warna pada sistem ini adalah $\Delta E = \sqrt{(\Delta L^*)^2 + (\Delta a^*)^2 + (\Delta b^*)^2}$. ΔE^* = total perbedaan warna, ΔL^* = (L^* sampel dikurangi L^* standar). Δa^* = (a^* sampel dikurangi a^* standar). Δb^* = (b^* sampel dikurangi b^* standar). Nilai ΔE dapat diklasifikasikan menjadi $\Delta E = 0$: excellent, $\Delta E = 0,5-1,5$: baik, $\Delta E = 1,5-2$: sangat baik, $\Delta E = 2-3,5$: dapat dibedakan secara klinis, $\Delta E > 3,5$: tidak dapat diterima

Analisis data

Analisis data digunakan untuk melihat perbedaan stabilitas warna *E-glass fiber non dental reinforced composite* dengan atau tanpa penambahan SCA menggunakan *independent sample t-test*. Sebelumnya dilakukan uji normalitas dan homogenitas sebagai syarat untuk melakukan uji *independent sample t-test*. Uji normalitas menggunakan *Shaphiro-wilk* karena sampel kurang dari 50, sedangkan uji homogenitas *Levene's test* untuk menentukan 2 atau lebih kelompok data yang memiliki varian yang sama atau tidak.

HASIL

Pada tabel 1 dapat dilihat rata-rata stabilitas warna setelah dimasukkan ke dalam rumus antaramasing-masing kelompok sampel.

Tabel 1 Stabilitas warna *E-glass fiber non dental reinforced composite* dengan atau tanpa penambahan *silane coupling agent*.

No	Sampel	Rerata Nilai ΔE	Kategori
1	<i>E-glass fiber non dental tanpa silane</i>	2,820	Dapat dibedakan secara klinis
2	<i>E-glass fiber non dental + silane</i>	1,939	Baik

Tabel 2 Hasil uji *Shaphiro-Wilk* Stabilitas Warna kelompok *glass fiber non dental* tanpa *silane* dan *E-glass fiber non dental + silane*

	Statistic	Df	Sig.
<i>E-glass fiber non dental tanpa silane</i>	0,886	4	0,365*
<i>E-glass fiber non dental + silane</i>	0,938	4	0,645*

(*) hasil data dari signifikansi normalitas

Tabel 3 Hasil Uji *Levene test* Stabilitas Warna kelompok *glass fiber non dental* tanpa *silane* dan *E-glass fiber non dental + silane*

	Levene Statistic	Sig.
<i>Uji Homogenitas</i>	4,614	0,075*

(*) mengartikan hasil data signifikansi homogenitas

Tabel 1 menjelaskan stabilitas warna masing-masing kelompok *glass fiber non dental* tanpa *silane* dan *E-glass fiber non dental + silane*. Nilai rerata stabilitas warna paling tinggi terdapat pada kelompok *E-glass fiber non dental* tanpa *silane* yaitu 2,820, sedangkan pada kelompok *E-glass fiber non dental + silane* memiliki nilai stabilitas warna yang lebih tinggi yaitu 1,939.

Selanjutnya data dianalisis menggunakan program statistik SPSS for Window 24.0 menggunakan *independent sample t-test* untuk melihat apakah terdapat perbedaan stabilitas warna antar kelompok *glass fiber non dental* tanpa *silane* dan *E-glass fiber non dental + silane*. Syarat untuk melakukan *independent sample t-test* adalah distribusi data harus normal. Untuk mengetahui data terdistribusi normal atau tidak dilakukan uji normalitas menggunakan uji *Shaphiro-Wilk* dan uji homogenitas dengan uji *levene test* (Tabel 2).

Hasil uji *Shaphiro-Wilk* diperoleh nilai sig *E-glass fiber non dental* tanpa *silane* 0,365 dan *E-glass fiber non dental + silane* 0,645 yaitu keduanya $> 0,05$, artinya data yang diperoleh terdistribusi normal, sehingga syarat untuk melakukan *independent sample t-test* terpenuhi.

Hasil uji homogenitas diperoleh nilai-p 0,075 yang lebih besar dari 0,05 artinya data yang diperoleh homogen, dengan demikian syarat untuk melakukan *independent sample t-test* terpenuhi sehingga *independent sample t-test* dapat dilakukan (Tabel 3).

Tabel 4 menunjukkan hasil *independent sample t-test* dengan perolehan nilai $p = 0,000$ ($< 0,05$) artinya terdapat perbedaan stabilitas warna *E-glass fiber non dental reinforced composite* dengan atau tanpa penambahan SCA secara signifikan; nilai stabilitas warna tertinggi terdapat pada kelompok *E-glass fiber non dental + silane*.

PEMBAHASAN

Hasil rerata stabilitas warna pada Tabel 1 menun-

Tabel 4 Hasil *independent t-test* Stabilitas Warna kelompok *glass fiber non dental* tanpa *silane* dan *E-glass fiber non dental + silane*

		<i>Levene's Test for Equality of Variances</i>		<i>t-test for Equality of Means</i>	
		F	Sig.	Sig. (2-tailed)	Mean Difference
Stabilitas warna	<i>Equal variances assumed</i>	4,614	0,075	0,000*	0,880
	<i>Equal variances not assumed</i>			0,000*	0,880

(*) mengartikan hasil data *independent sample t-test*

jukkan kelompok *E-glass fiber non dental* tanpa *silane* memiliki rerata nilai stabilitas warna, yaitu 2,820 dan tingkatan ΔE dapat dibedakan secara klinis. Sedangkan pada kelompok *E-glass fiber non dental+silane* memiliki rerata nilai stabilitas warna yaitu 1,939 dan tingkatan ΔE adalah baik. Perbedaan ini menunjukkan bahwa jumlah stabilitas warna yang dihasilkan oleh FRC tanpa penambahan *silane* masih berada di bawah dari FRC+*silane*. Penambahan SCA dapat mengubah permukaan matriks resin yang cenderung bersifat hidrolitik menjadi hidrofobik sehingga dapat mencegah penyerapan air masuk ke dalam ikatan *fiber* dan matriks.²⁰ Penyerapan air dan kelarutan merupakan sifat yang penting dan memiliki pengaruh terhadap kekuatan, daya tahan terhadap abrasi, dan stabilitas warna dari bahan restorasi.²¹

Silane merupakan senyawa yang terdiri atas silikon dan hidrogen dengan formula Si_nH_{2n+2} . *Silane* memiliki kemampuan untuk merekatkan bahan organik seperti resin, logam, oksida logam. Mekanisme perlekatan didasarkan pada gugus struktur *silane* yang bereaksi dengan penguat sehingga dapat bereaksi dengan resin.²⁰ *Silane coupling agent* membentuk ikatan *siloxane* (Si-O-Si) dengan gugus hidroksil pada saat berinteraksi dengan permukaan *glass fiber*. Gugus organofungsional *silane* akan bereaksi dengan gugus fungsional pada matriks polimer sehingga kekuatan pelekatan antara *glass fiber* dan matriks polimer akan membentuk rantai siloksan. Reaksi kimia ini menghasilkan peningkatan ikatan antara komponen, sehingga dapat mengurangi penyerapan air serta mengurangi kelarutan komponen.¹⁰

Penambahan *fiber* ke dalam *resin composite* mampu mengurangi penyerapan dan kelarutan air. *Fiber* dalam mengurangi penyerapan air tidak terlepas dari adhesi antara *glass fiber* dan matriks polimer yang dihasilkan oleh bahan SCA. Penelitian Ladiora¹⁹ menjelaskan pada kelompok dengan penambahan *silane* pada *glass fiber non dental* memiliki rerata nilai penyerapan air yang lebih rendah jika dibandingkan dengan pada kelompok *glass fiber non dental* tanpa *silane*. *Glass fiber* tanpa *silane* mengakibatkan kemampuan adhesi bahan menjadi

rendah dan menjadi titik awal keretakan dari FRC karena interaksi yang buruk dengan matriks polimer.²² Keretakan pada FRC dapat memicu masuknya air sehingga mempengaruhi terhadap stabilitas warna dari FRC.

Hasil *t-test* pada tabel 4 menjelaskan bahwa terdapat perbedaan yang signifikan antara stabilitas warna *E-glass fiber non dental reinforced composite* dengan atau tanpa penambahan SCA. Hasil ini didukung oleh penelitian Shotaro, yaitu kelompok *glass fiber+silane* menunjukkan perubahan warna yang lebih rendah jika dibandingkan dengan kelompok *glass fiber* tanpa *silane* yang mengalami perubahan warna yang lebih tinggi. Perbedaan ini disebabkan *fiber reinforced* tanpa penambahan *silane* tidak memiliki bahan untuk mengikat antara *fiber* dan matriks polimer sehingga tidak terbentuk ikatan kovalen yang mengakibatkan berkurangnya fungsi *fiber* sebagai penguat dalam resin *composite* dalam hal ini untuk mengurangi penyerapan air.²³ Penyerapan air dapat menyebabkan pelepasan monomer yang tidak bereaksi, degradasi hidrolitik dan celah mikro terbentuk sehingga mengakibatkan kekasaran permukaan yang selanjutnya dapat menimbulkan perubahan warna.²⁴ Penambahan *silane* ke dalam struktur FRC menunjukkan stabilitas warna yang baik sehingga penambahan *silane* pada *glass fiber non dental* dapat menjadi alternatif dalam pembuatan FRC dalam aplikasi di kedokteran gigi.

Berdasarkan hasil penelitian ini diharapkan *E-glass fiber non dental+silane* dapat digunakan dalam aplikasi kedokteran gigi. Pengujian sifat biologis seperti sitotoksik suatu bahan dan sifat mekanik seperti kekuatan fleksural perlu dilakukan sebagai syarat agar bahan dapat digunakan dalam aplikasi klinis.

Disimpulkan bahwa *E-glass fiber non dental+silane* menunjukkan stabilitas warna yang baik dari pada *E-glass fiber non dental* tanpa *silane*. Perlu penelitian lebih lanjut tentang perbedaan volume *silane* dan waktu pengeringan *silane*, dan penggunaan SCA menunjukkan stabilitas warna yang lebih baik, sehingga dapat menjadi pertimbangan untuk mengurangi penyerapan air dan meningkatkan stabilitas warna.

DAFTAR PUSTAKA

1. Vesthi NA, Aditya G, Amalina R. Hubungan kadar urea saliva terhadap derajat keasaman saliva pada anak usia 12-15 tahun. ODONTO Dent J 2015; 2(2).
2. Kemenkes RI. Laporan nasional riset kesehatan dasar. Kementerian Kesehatan RI; 2018. p.1–582.
3. Jain S, Patil RU, Diwan P, Rajput S, Meshram S, Kak S. Principles and practice of conservative adhesive restorations: a brief review. Int J Dent Res 2020; 5(2): 110-6.
4. Yu OY, Zaeneldin AM, Hamama HHH, Mei ML, Patel N, Chu CH. Conservative composite resin restoration for proximal caries – two case reports. Clin Cosm Invest Dent 2020; 12: 415-22.
5. Yadav KD. Techniques in direct composite restoration. Modern Approaches in Dentistry and Oral Health Care 2018; 3(5):307–9.
6. Abbasi M, Moradi Z, Mirzaei M, Kharazifard MJ, Rezaei S. Polymerization shrinkage of five bulk-fill composite resins in comparison with a conventional composite resin. J Dent Tehran Univ Med Sci 2019; 15(6).
7. Kristanti Y. Perubahan warna resin komposit nanohibrida akibat perendaman dalam larutan kopi dengan kadar gula yang berbeda. J PDGI 2016; 65(1):26–30.
8. Menon A, Ganapathy DM, Mallikarjuna AV. Factors that influence the colour stability of composite resins. Drug Invent Today 2019. 11(3): 744–9.
9. Ozcan K. Effect of fiber reinforcement on color stability of composite resins. J Conserv Dent 2020; 23(3):299–303.

10. Faizah A, Widjijono W, Nuryono N. Pengaruh komposisi beberapa glass fiber non dental terhadap kelarutan komponen fiber reinforced composites. *Majalah Kedokteran Gigi Indonesia* 2017; 2(1):13.
11. Raszewski Z. Mechanical properties of hot curing acrylic resins after reinforced with different kinds of fibers. *Int J Biomed Mater Res* 2013;1(1):9.
12. Scribante A, Sfondrini MF, Brogini S, D'Allocco M, Gandini P. Efficacy of esthetic retainers: Clinical comparison between multistranded wires and direct-bond glass fiber-reinforced composite splints. *Int J Dent* 2011.
13. Zhang M, Matinlinna JP. E-glass fiber reinforced composites in dental applications. *Silicon* 2012; 4(1):73-8.
14. Sharafeddin F, Alavi A, Talei Z. Flexural strength of glass and polyethylene fiber combined with three different composites. *J Dent (Shiraz, Iran)* 2013; 14(1): 13-9.
15. Abushowmi TH, AlZaher ZA, Almaskin DF, Qaw MS, Abualsaud R, Akhtar S, et al. Comparative effect of glass fiber and nano-filler addition on denture repair strength. *J Prosthodont* 2020; 29(3): 261-8.
16. Sari WP, Sumantri D, Imam DNA. Pemeriksaan komposisi glass fiber komersial dengan teknik x-ray fluorescence spectrometer (Xrf). *B-Dent, Jurnal Kedokteran Gigi Universitas Baiturrahmah* 2014; 1(2): 155-60.
17. Ramasamy M, Prabhakar R, Thirunavukarasu R, Saravanan R, Rajvikram N, Sowndarya V. Evaluation of color stability of coated aesthetic arch wires. *Eur J Molec Clin Med* 2020; 7(11): 5194-200.
18. Lung C, Matinlinna JP. Surface pretreatment methods and silanization. In: Matinlinna JP. *Handbook of oral biomaterials*. PAN Stanford Publishing; 2014. p. 73-8
19. Ladiora F, Sari WP, Fadriyanti O. Pengaruh penambahan silane pada glass fiber non dental terhadap persentase dan volume penyerapan air. *Fiber Reinforced composite* 2016; 3(2): 100-10.
20. Prasetyo D, Raharjo WW, Ubaidillah. Pengaruh penambahan coupling agent terhadap kekuatan mekanik composite polyester-cantula dengan anyaman serat 3D Angle Interlock. *Mekanika* 2013; 12(1): 44-52.
21. Yudhit A, Rusfian IC. Penyerapan air dan kelarutan resin komposit mikrohibrid dan nanohibrid. *Makassar Dent J* 2013;5; 1-5.
22. Imam DNA, Sunarintyas S, Nuryono N. Pengaruh komposisi glass fiber non dental dan penambahan silane terhadap kekuatan geser fiber reinforced composite sebagai retainer ortodonsi. *Majalah Kedokteran Gigi Indonesia* 2015; 1(1): 53.
23. Arslan C, Dogan M. The effects of silane coupling agents on the mechanical properties of basalt fiber reinforced poly(butylene terephthalate) composites. *Composites Part B: Engineering* 2018; 146: 145-54.
24. Mansouri SA, Zidan A. Effect of water sorption and solubility on color stability of bulk-fill resin composite. *J Contemp Dent Pract* 2018; 19(9):1129-34.