



ARTIKEL RISET

URL artikel: <http://e-jurnal.fkg.umi.ac.id/index.php/Sinnunmaxillofacial>

Karakterisasi Kekerasan Mikro Berdasarkan Variasi Ketebalan Resin Komposit *Bulk-Fill* dengan Polimerisasi *Light Emitting Diode*

^KRidhayani Hatta¹, Tari², Medinda Aisyah³, Dede Arsista⁴, Runi Oktayani⁵, Ichwanul Muslim⁶

^{1,4}Departemen Ilmu Material dan Teknologi, Fakultas Kedokteran Gigi, Universitas YARSI, Jakarta

^{2,3}Program Profesi Dokter Gigi, Fakultas Kedokteran Gigi, Universitas YARSI, Jakarta

⁵Departemen Konservasi Gigi, Fakultas Kedokteran Gigi, Universitas YARSI, Jakarta

⁶Dentistry, College of Medicine and Health, University of Birmingham, United Kingdom

Email Penulis Korespondensi (^K): ridhayani.drg@gmail.com

ridhayani.drg@gmail.com¹, merilianaisyah@gmail.com², taribudi01@gmail.com³, dede.arsista@yarsi.ac.id⁴, oktayani.runi@gmail.com⁵, ichwanul93@gmail.com⁶

+6285342708692

ABSTRAK

Pendahuluan: Resin komposit *bulk-fill* menjadi salah satu material restoratif yang banyak digunakan karena kemudahan aplikasi dalam lapisan tebal dan waktu kerja yang lebih efisien. Namun demikian, perbedaan ketebalan lapisan resin dapat memengaruhi efektivitas polimerisasi, yang pada akhirnya berdampak pada kekerasan mikro sebagai salah satu indikator keberhasilan restorasi. **Tujuan Penelitian:** Untuk menganalisis karakteristik kekerasan mikro resin komposit *bulk-fill* pada berbagai ketebalan setelah dilakukan polimerisasi menggunakan *light emitting diode* (LED). **Bahan dan Metode:** Sampel resin komposit *bulk-fill* dibuat dalam beberapa variasi ketebalan (2,4 dan 6 mm), kemudian dilakukan penyinaran LED dengan intensitas cahaya 1000mW/cm², pada jarak 2 mm selama 20 detik. Total 9 spesimen dilakukan pengukuran kekerasan mikro menggunakan *Vickers microhardness test* dengan beban uji 100gram selama 15 detik. Analisis statistik menggunakan uji ANOVA *one-way*, dengan nilai $p < 0,05$. **Hasil:** Adanya penurunan nilai kekerasan mikro seiring bertambahnya ketebalan resin (2 mm = 60,63; 4 mm = 42,6; 6 mm = 38,3), dengan perbedaan yang signifikan ($p = 0,032$). Temuan ini menegaskan bahwa meskipun resin komposit *bulk-fill* dirancang untuk aplikasi dalam lapisan tebal, efektivitas polimerisasi tetap dipengaruhi oleh variasi ketebalan dan intensitas penyinaran LED. **Kesimpulan:** Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa ketebalan resin komposit *bulk-fill* berpengaruh signifikan terhadap nilai kekerasan mikro setelah dilakukan polimerisasi menggunakan LED *curing*. Peningkatan ketebalan resin komposit *bulk-fill* terbukti menyebabkan penurunan nilai kekerasan mikro secara bermakna.

Kata kunci: *bulk-fill*; kekerasan mikro; ketebalan resin; polimerisasi LED; resin komposit

PUBLISHED BY:

Fakultas Kedokteran Gigi
Universitas Muslim Indonesia

Address:

Jl. Pajonga Dg. Nagalle. 27 Pab'batong (Kampus I UMI)
Makassar, Sulawesi Selatan.

Email:

sinnunmaxillofacial.fkgumi@gmail.com,

Article history:

Received 3 Oktober 2025
Received in revised 7 Oktober 2025
Accepted 13 Oktober 2025
Available online 30 Oktober 2025

licensed by [Creative Commons Attribution-ShareAlike 4.0 International License](https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/).



ABSTRACT

Introduction: Bulk-fill composite resins are widely used restorative materials due to their ease of application in thicker increments and improved clinical efficiency. However, variations in resin thickness may affect the effectiveness of polymerization, ultimately influencing microhardness as a key indicator of restoration success. **Objective:** This study aimed to analyze the microhardness characteristics of bulk-fill composite resins at different thicknesses following polymerization with a light-emitting diode (LED). **Materials and Methods:** Bulk-fill composite samples were prepared at thicknesses of 2, 4, and 6 mm, then polymerized using an LED curing light with an intensity of 1000 mW/cm² at a 2 mm distance for 20 seconds. A total of nine specimens were tested for microhardness using the Vickers microhardness test under a 100 g load for 15 seconds. Data were analyzed using one-way ANOVA with a significance level at $p < 0.05$. **Results:** Microhardness values decreased with increasing thickness (2 mm = 60.63; 4 mm = 42.6; 6 mm = 38.3), showing a statistically significant difference ($p = 0.032$). These findings indicate that although bulk-fill composites are designed for application in thicker increments, polymerization effectiveness is still influenced by material thickness and LED curing parameters. **Conclusion:** This study demonstrates that the thickness of bulk-fill composite resin has a significant effect on microhardness after polymerization with LED curing. An increase in the resin thickness was associated with a marked decrease in microhardness, indicating reduced polymerization efficiency at greater depths.

Keywords: bulk-fill; composite resin; LED polymerization; microhardness; resin thickness

PENDAHULUAN

Resin komposit merupakan salah satu material restoratif yang paling banyak digunakan dalam praktik kedokteran gigi modern. Perkembangannya didorong oleh kebutuhan akan bahan yang memiliki sifat estetik tinggi, biokompatibel, serta mampu bertahan lama di dalam rongga mulut.¹ Inovasi terbaru dalam bidang ini adalah hadirnya resin komposit *bulk-fill*, yang dirancang untuk diaplikasikan dalam lapisan tebal hingga 4 mm tanpa memerlukan penumpukan berlapis tipis seperti pada resin komposit konvensional. Keunggulan ini menawarkan efisiensi waktu klinis sekaligus menyederhanakan prosedur restorasi.^{1,2}

Resin komposit *bulk-fill* memiliki variasi dalam komposisi, terutama pada kandungan *filler*, ukuran partikel, jenis monomer, serta karakteristik fotoinisiator, yang secara langsung memengaruhi kedalaman polimerisasi, derajat konversi, dan sifat mekanisnya.³ Komponen tambahan resin komposit *bulk-fill* berupa *ivocerin* yaitu *polymerization booster* yang dikombinasikan dengan sistem inisiator.⁴ Kehadiran *ivocerin* memungkinkan polimerisasi resin komposit *bulk-fill* dengan ketebalan hingga 4 mm dalam satu kali aplikasi, karena memiliki rentang absorpsi gelombang yang lebih luas dibandingkan *camphorquinone*, sehingga memungkinkan material *bulk-fill* dipolimerisasi secara optimal hingga kedalaman 4 mm hanya dengan penyinaran selama 10 detik menggunakan *light emitting diode* (LED) dengan intensitas cahaya minimal 1000 mW/cm².^{4,5}

Meskipun demikian, keberhasilan restorasi dengan resin komposit *bulk-fill* sangat bergantung pada kualitas polimerisasi. Polimerisasi yang tidak optimal dapat menurunkan sifat mekanis material, termasuk kekerasan mikro, yang menjadi parameter penting dalam menilai tingkat keberhasilan pengerasan resin.⁶ Kekerasan mikro berhubungan langsung dengan derajat konversi monomer menjadi

polimer, sehingga menjadi indikator vital dalam memastikan daya tahan restorasi terhadap beban mastikasi dan faktor lingkungan rongga mulut.⁷

Salah satu faktor yang memengaruhi efektivitas polimerisasi adalah ketebalan lapisan resin. Pada ketebalan yang lebih besar, penetrasi cahaya dari sumber polimerisasi (LED) cenderung menurun akibat hamburan dan penyerapan cahaya oleh material. Hal ini dapat mengurangi energi yang mencapai lapisan dalam, sehingga menurunkan derajat polimerisasi dan berimplikasi pada berkurangnya nilai kekerasan mikro.⁸ Berbagai penelitian sebelumnya melaporkan adanya variasi hasil polimerisasi pada resin komposit *bulk-fill*, terutama bila digunakan pada ketebalan maksimum yang direkomendasikan.⁸⁻¹¹

Dengan mempertimbangkan hal tersebut, penelitian ini dilakukan untuk menganalisis karakterisasi kekerasan mikro resin komposit *bulk-fill* pada berbagai ketebalan setelah dilakukan polimerisasi menggunakan LED. Hasil penelitian ini diharapkan dapat memberikan pemahaman lebih dalam mengenai hubungan antara ketebalan material, efektivitas polimerisasi, dan sifat mekanis resin komposit. Secara klinis, temuan ini diharapkan dapat menjadi landasan bagi praktisi kedokteran gigi dalam menentukan strategi aplikasi resin *bulk-fill* yang lebih tepat, sehingga kualitas dan ketahanan restorasi dapat lebih optimal.

BAHAN DAN METODE

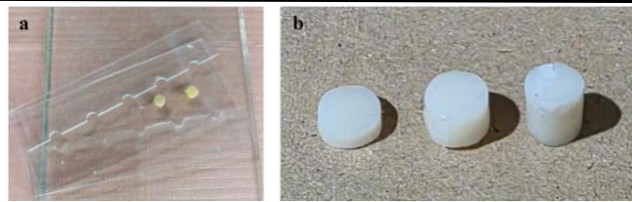
Jenis penelitian yang akan dilakukan adalah *true eksperimental* laboratoris dengan desain *post-test-only control grup design*. Tempat penelitian di Departemen Teknik Metalurgi dan Material, Fakultas Teknik Universitas Indonesia.

Sampel dan Kelompok Uji

Sampel menggunakan resin komposit *packable bulkfill* 3M Filtek *One Bulk Fill*. Penyinaran menggunakan Woodpecker® *light cure*, dengan intensitas cahaya 1000mW/cm². Penyinaran disesuaikan dengan rekomendasi penyinaran standar untuk resin komposit *packable bulkfill* di jarak 2 mm dengan penyinaran selama 20 detik.^{2,5} Kriteria inklusi dalam penelitian ini mencakup resin komposit yang masih dalam kondisi baik serta belum melewati masa kedaluwarsa, memiliki permukaan yang rata dan halus, serta bebas dari gelembung udara. Sementara itu, sampel dikeluarkan dari penelitian apabila sampel resin komposit patah atau memiliki ketebalan yang tidak sesuai dengan spesifikasi yang ditetapkan.

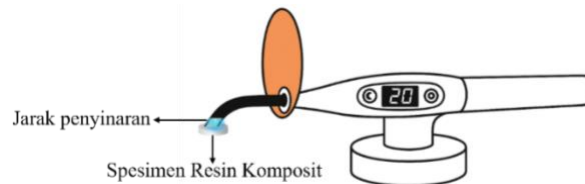
Persiapan Sampel

Sampel dibuat dengan menggunakan *mold* dari plat akrilik dengan diameter 5 mm dengan ketebalan 2, 4 dan 6 mm. *Mold* akrilik kemudian diletakkan di atas *glass slab* yang telah dipalisi dengan plastik *cellophane* untuk mencegah adhesi resin komposit.



Gambar 1. a. Mold dari plat akrilik; b. Ketebalan sampel resin komposit (2, 4 dan 6 mm)

Polimerisasi dilakukan menggunakan LED dengan posisi spesimen tegak lurus terhadap *light curing unit*. Pipet plastik berukuran 2 mm ditempelkan pada ujung LED unit untuk memastikan jarak penyinaran statis, lalu disinari selama 20 detik.



Gambar 2. Posisi penyinaran LED pada spesimen resin komposit

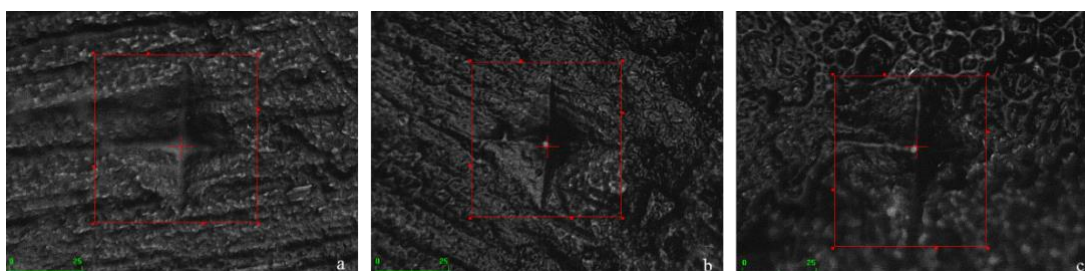
Setelah proses penyinaran selesai, spesimen dikeluarkan dari cetakan, lalu permukaannya diratakan menggunakan amplas halus berukuran 1000-grit. Selanjutnya, dimensi spesimen diperiksa kembali dengan kaliper untuk memastikan kesesuaian diameter dan ketebalan yang diinginkan. Sampel kemudian direndam dalam akuades selama 24 jam pada inkubator bersuhu 37°C sebelum dilakukan pengujian.

Syarat Pengujian

Sebelum dilakukan pengujian, sampel dipastikan dalam kondisi bersih, bebas dari kotoran, minyak, maupun kontaminan lain, serta memiliki permukaan yang rata dan halus agar menghasilkan indentasi yang jelas. Permukaan sampel harus benar-benar datar dan sejajar dengan meja uji, serta ditempatkan tegak lurus terhadap indentor untuk menghindari perubahan sudut indentasi. Setelah pengujian, hasil indentasi diperiksa secara visual guna memastikan sudut tetap sesuai standar (136°).

Uji Kekerasan Mikro

Pengujian kekerasan mikro dilakukan menggunakan alat *Vickers microhardness tester* berdasarkan standar prosedur ISO 4049. Beban uji yang digunakan sebesar 100 gram selama 15 detik. Penilaian dilakukan pada total sembilan spesimen, masing-masing terdiri dari tiga sampel untuk ketebalan 2 mm, 4 mm, dan 6 mm. Setiap spesimen diuji sebanyak tiga kali untuk memperoleh replikasi data yang lebih akurat.



Gambar 3. Karakterisasi kekerasan mikro dengan *Vickers microhardness tester*. a. 2 mm; b. 4 mm; c. 6 mm

Analisis Data

Analisis data untuk mengetahui pengaruh jenis resin komposit dan waktu penyinaran LED terhadap kedalaman *curing* menggunakan perangkat lunak SPSS versi 29. Analisis statistik menggunakan uji *One-Way* ANOVA dengan nilai $p < 0,05$ dianggap signifikan.

HASIL

Penelitian ini menghasilkan data mengenai nilai kekerasan mikro resin komposit *bulk-fill* pada variasi ketebalan 2 mm, 4 mm, dan 6 mm setelah dilakukan polimerisasi menggunakan LED *curing unit*. Pengukuran dilakukan dengan uji *Vickers microhardness* sesuai standar ISO 4049.

Secara umum, diperoleh kecenderungan bahwa semakin besar ketebalan resin komposit, nilai kekerasan mikro yang dihasilkan cenderung menurun. Sampel dengan ketebalan 2 mm menunjukkan nilai kekerasan mikro tertinggi (60,63 HV), yang merefleksikan efektivitas polimerisasi pada spesimen resin komposit yang tipis dengan penetrasi cahaya optimal. Pada ketebalan 4 mm (42,6 HV), nilai kekerasan mikro masih menunjukkan penurunan dibandingkan kelompok 2 mm. Sementara itu, kelompok sampel dengan ketebalan 6 mm (38,3 HV) memperlihatkan penurunan kekerasan mikro yang lebih nyata, menandakan keterbatasan penetrasi cahaya LED pada resin komposit yang lebih tebal.

Sebelum dilakukan analisis menggunakan *One-Way* ANOVA, data terlebih dahulu diuji untuk memastikan distribusi normal dan keseragaman varians antar kelompok. Uji normalitas dilakukan menggunakan *Shapiro-Wilk test*, sedangkan uji homogenitas menggunakan *Levene's test*.

Hasil uji normalitas menunjukkan bahwa seluruh kelompok data pada variasi ketebalan 2 mm, 4 mm, dan 6 mm memiliki nilai $p > 0,05$, yang menandakan distribusi data bersifat normal. Demikian pula, hasil uji homogenitas menunjukkan nilai $p > 0,05$, sehingga dapat disimpulkan bahwa varians antar kelompok adalah homogen. Dengan demikian, data memenuhi asumsi dasar untuk dilakukan analisis parametrik menggunakan *One-Way* ANOVA.

Tabel 1. Kekerasan mikro resin komposit *packable bulkfill* dengan *Vickers microhardness test*

Ketebalan Spesimen	Jarak <i>Curing</i>	Waktu <i>Curing</i>	Mean (HV)	Std. Dev	p
2 mm	2 mm	20 detik	60,63	6,65	0,032*
4 mm	2 mm	20 detik	42,6	1,98	
6 mm	2 mm	20 detik	38,3	0,21	

*Uji *One-way* ANOVA; $p < 0,05$ signifikan

Hasil analisis statistik menggunakan uji *One-Way* ANOVA menunjukkan adanya perbedaan signifikan antar kelompok ketebalan ($p < 0,05$). Hal ini mengindikasikan bahwa ketebalan resin komposit *bulk-fill* berpengaruh langsung terhadap kualitas polimerisasi yang tercermin dari nilai kekerasan mikro.

PEMBAHASAN

Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa ketebalan resin komposit *bulk-fill* berpengaruh signifikan terhadap nilai kekerasan mikro setelah dilakukan polimerisasi dengan LED *curing*. Nilai kekerasan mikro tertinggi diperoleh pada kelompok dengan ketebalan 2 mm, diikuti oleh 4 mm, sementara ketebalan 6 mm memperlihatkan kekerasan mikro paling rendah. Temuan ini konsisten dengan prinsip dasar polimerisasi fotoinisiasi, di mana intensitas cahaya yang mencapai lapisan lebih dalam akan semakin berkurang akibat penyerapan dan hamburan cahaya oleh partikel *filler* serta matriks resin.^{12,13}

Penurunan kekerasan mikro pada ketebalan yang lebih besar menandakan keterbatasan penetrasi cahaya LED. Walaupun resin komposit *bulk-fill* dirancang dengan teknologi khusus, seperti penggunaan *polymerization booster* dan sistem fotoinisiator dengan rentang absorpsi lebih luas, efektivitas polimerisasi tetap menurun seiring bertambahnya ketebalan.⁸ Hal ini sesuai dengan penelitian sebelumnya yang melaporkan bahwa ketebalan optimal aplikasi resin komposit *bulk-fill* berada pada kisaran 2–4 mm, karena di atas ketebalan tersebut terjadi penurunan derajat konversi monomer yang berimplikasi pada sifat mekanis material.^{14,15}

Secara klinis, hasil ini menegaskan pentingnya mempertimbangkan ketebalan resin komposit saat aplikasi bahan restorasi. Penggunaan resin komposit yang terlalu tebal tanpa memperhatikan kemampuan penetrasi cahaya dapat menghasilkan area polimerisasi yang tidak sempurna di bagian dalam restorasi. Kondisi ini berpotensi menurunkan kekuatan mekanis, meningkatkan risiko *microleakage*, serta mempercepat kegagalan restorasi. Oleh karena itu, meskipun produsen merekomendasikan resin komposit *bulk-fill* untuk aplikasi hingga 4 mm, hasil penelitian ini mengingatkan bahwa kehati-hatian tetap diperlukan, khususnya pada kasus dengan akses cahaya yang terbatas atau kedalaman kavitas yang lebih besar.^{4,5}

Dari sisi metodologi, penggunaan uji *Vickers microhardness* terbukti efektif sebagai indikator tingkat keberhasilan polimerisasi. Kekerasan mikro yang lebih tinggi menunjukkan konversi monomer yang lebih baik dan sifat mekanis yang lebih optimal. Namun, perlu dicatat bahwa faktor lain seperti jenis resin, komposisi *filler*, dan intensitas LED *curing unit* juga berperan dalam menentukan hasil akhir.¹⁶

Dengan demikian, penelitian ini menegaskan bahwa kualitas polimerisasi resin komposit *bulk-fill* tidak hanya bergantung pada formulasi material, tetapi juga sangat dipengaruhi oleh ketebalan aplikasi dan parameter penyinaran.⁹ Implikasi klinis dari temuan ini adalah perlunya mengatur ketebalan resin komposit serta pemilihan unit *curing light* dengan intensitas yang memadai untuk menjamin keberhasilan restorasi jangka panjang.¹⁸

Penelitian ini tentu saja memiliki beberapa keterbatasan, antara lain, kondisi pengujian dilakukan secara *in vitro*, sehingga tidak sepenuhnya merepresentasikan kondisi klinis di rongga mulut yang dipengaruhi oleh faktor saliva, suhu, maupun beban mastikasi. Selain itu, penelitian ini hanya

menggunakan satu jenis resin komposit *bulk-fill* dan satu unit LED *curing light* dengan parameter tertentu, sehingga hasilnya belum dapat digeneralisasi untuk semua jenis material atau *curing unit*. Selain itu, pengujian hanya difokuskan pada parameter kekerasan mikro tanpa mengevaluasi sifat mekanis lain seperti modulus elastisitas, ketahanan aus, atau *microleakage*.

Untuk penelitian selanjutnya, disarankan dilakukan evaluasi pada berbagai jenis resin komposit *bulk-fill* dengan variasi komposisi *filler* dan sistem fotoinisiator untuk memperoleh gambaran yang lebih komprehensif. Penelitian juga perlu melibatkan variasi intensitas dan durasi penyinaran LED *curing*, termasuk perbandingan dengan jenis *curing light* lain, guna mengetahui pengaruhnya terhadap kualitas polimerisasi. Selain itu, studi *in vivo* sebaiknya dilakukan untuk menilai ketahanan restorasi dalam kondisi klinis nyata. Penelitian lanjutan yang menambahkan parameter sifat mekanis lain akan semakin memperkuat pemahaman mengenai ketahanan resin komposit *bulk-fill*.

KESIMPULAN DAN SARAN

Penelitian ini menunjukkan bahwa ketebalan resin komposit *bulk-fill* berpengaruh signifikan terhadap nilai kekerasan mikro setelah dilakukan polimerisasi menggunakan LED *curing*. Efektivitas polimerisasi LED menurun seiring bertambahnya ketebalan material akibat keterbatasan penetrasi cahaya. Secara klinis, hasil penelitian ini menekankan pentingnya mempertimbangkan ketebalan lapisan resin komposit *bulk-fill* saat aplikasi bahan restorasi. Meskipun material ini dirancang untuk penggunaan hingga 4 mm, kualitas polimerisasi tetap lebih optimal pada ketebalan yang lebih rendah. Oleh karena itu, kontrol terhadap ketebalan aplikasi dan pemilihan *curing light* dengan intensitas yang memadai sangat diperlukan untuk menjamin kualitas restorasi komposit agar lebih tahan lama.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada semua pihak yang telah memberikan dukungan dan kontribusi dalam pelaksanaan penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Matos JD, Nakano LJ, Lopes GD, Bottino MA, Vasconcelos JE, Jesus RH, Maciel LC. Caracterización de Resina Compuesta Mono Incremental en Relación a las Propiedades Físicas, Químicas, Mecánicas y Ópticas y el Comportamiento Clínico. *International Journal of Odontostomatology*. 2021 Mar;15(1):226-33. doi:10.4067/S0718-381X2021000100226.
- [2] Yudistian I. Bulk fill composite resin restoration techniques replace incremental techniques: teknik restorasi resin komposit bulk fill menggantikan tehnik inkremental. *Interdental Jurnal Kedokteran Gigi (IJKG)*. 2021;17(1):9-14. doi: 10.46862/interdental.v17i1.2110.
- [3] de Araújo-Neto VG, Sebold M, de Castro EF, Feitosa VP, Giannini M. Evaluation of physico-mechanical properties and filler particles characterization of conventional, bulk-fill, and bioactive resin-based composites. *Journal of the Mechanical Behavior of Biomedical Materials*. 2021 Mar 1;115:104288. doi: 10.1016/j.jmbbm.2020.104288.
- [4] Algamaiah H, Silikas N, Watts DC. Conversion kinetics of rapid photo-polymerized resin composites. *Dental Materials*. 2020 Oct 1;36(10):1266-74. doi: 10.1016/j.dental.2020.07.008.

-
- [5] Hayashi J, Tagami J, Chan D, Sadr A. New bulk-fill composite system with high irradiance light polymerization: Integrity and degree of conversion. *Dental Materials*. 2020 Dec 1;36(12):1615-23. doi: 10.1016/j.dental.2020.10.012.
- [6] de Mendonça BC, Soto-Montero JR, de Castro EF, Pecorari VG, Rueggeberg FA, Giannini M. Flexural strength and microhardness of bulk-fill restorative materials. *Journal of Esthetic and Restorative Dentistry*. 2021 Jun;33(4):628-35. doi: 10.1111/jerd.12727.
- [7] Strini BS, Marques JF, Pereira R, Sobral-Souza DF, Pecorari VG, Liporoni PC, Aguiar FH. Comparative evaluation of bulk-fill composite resins: knoop microhardness, diametral tensile strength and degree of conversion. *Clinical, Cosmetic and Investigational Dentistry*. 2022 Dec 31:225-33. doi: 10.2147/CCIDE.S376195.
- [8] Al Nahedh HN, Al-Senan DF, Alayad AS. The effect of different light-curing units and tip distances on the polymerization efficiency of bulk-fill materials. *Operative Dentistry*. 2022 Jul 1;47(4):E197-210. doi: 10.2341/20-282-L.
- [9] Hasanain FA, Nassar HM, Ajaj RA. Effect of light curing distance on microhardness profiles of bulk-fill resin composites. *Polymers*. 2022 Jan 28;14(3):528. doi: 10.3390/polym14030528.
- [10] Nooh AN, Al Nahedh H, AlRefeai M, Alkudhairy F. The effect of irradiance on the degree of conversion and volumetric polymerization shrinkage of different bulk-fill resin-based composites: an in vitro study. *European Journal of Dentistry*. 2021 May;15(02):312-9. doi: 10.1055/s-0040-1721236.
- [11] Negovetic Mandic V, Par M, Marovic D, Rakić M, Tarle Z, Klarić Sever E. Blue laser for polymerization of bulk-fill composites: influence on polymerization kinetics. *Nanomaterials*. 2023 Jan 11;13(2):303. doi: 10.3390/nano13020303.
- [12] Fei G, Parra-Cabrera C, Zhong K, Tietze ML, Clays K, Ameloot R. Scattering model for composite stereolithography to enable resin–filler selection and cure depth control. *ACS Applied Polymer Materials*. 2021 Nov 24;3(12):6705-12. doi: 10.1021/acsapm.1c01519.
- [13] Sofiani E, Rovi F. Pengaruh lama penyinaran dan ketebalan resin komposit bulk fill terhadap kebocoran mikro. *Insisiva Dental Journal*. 2020 Nov 30;9(2):72-8. doi: 10.18196/DI.9221.
- [14] Siagian JS, Ikhsan T, Abidin T. Effect of different LED light-curing units on degree of conversion and microhardness of bulk-fill composite resin. *The Journal of Contemporary Dental Practice*. 2020 Nov 4;21(6):615-20. doi: 10.5005/jp-journals-10024-2848.
- [15] Rocha MG, Roulet JF, Sinhoreti MA, Correr AB, Oliveira D. Light transmittance and depth of cure of a bulk fill composite based on the exposure reciprocity law. *Brazilian Dental Journal*. 2021 Apr 2;32:78-84. doi: 10.1590/0103-6440202103842.
- [16] Carrillo-Marcos A, Salazar-Correa G, Castro-Ramirez L, Ladera-Castañeda M, López-Gurreonero C, Cachay-Criado H, Aliaga-Mariñas A, Cornejo-Pinto A, Cervantes-Ganoza L, Cayo-Rojas CF. The microhardness and surface roughness assessment of bulk-fill resin composites treated with and without the application of an oxygen-inhibited layer and a polishing system: an in vitro study. *Polymers*. 2022 Jul 28;14(15):3053. doi: 10.3390/polym14153053.
- [17] Ajaj RA, Farsi NJ, Alzain L, Nuwaylati N, Ghurab R, Nassar HM. Dental bulk-fill resin composites polymerization efficiency: A systematic review and meta-analysis. *Journal of Composites Science*. 2021 Jun 2;5(6):149. doi: 10.3390/JCS5060149.
-