

**PENGARUH POST CURING TIME TERHADAP PERBEDAAN
KEKERASAN, DIAMETRAL TENSILE STRENGTH DAN WATER
SORPTION
(KAJIAN TERHADAP BAHAN RESIN KOMPOSIT 3D PRINTING)**

*The Effect of Post Curing Time on Differences in Hardness, Diametral Tensile
Strength and Water Sorption
(Study of 3D Printing composite resin materials)*

**Joseph Joseph¹, Ade Prijanti Dwisaptarini^{1*}, Melaniwati Melaniwati¹, Rosalina
Tjandrawinata²**

¹Departemen Konservasi Gigi, Fakultas Kedokteran Gigi, Universitas Trisakti, Jakarta
Barat, Indonesia

²Departemen Bahan Kedokteran Gigi, Fakultas Kedokteran Gigi, Universitas Trisakti,
Jakarta Barat, Indonesia

*Email: a.p.dwisaptarini@trisakti.ac.id

ABSTRACT

Teeth that have undergone endodontic treatment often lose significant structure, requiring strong and durable restorations to prevent clinical failure and support long-term function. This study aimed to evaluate the effect of post-curing time on the hardness, diametral tensile strength (DTS), and water sorption of 3D-printed resin composites. An experimental study was conducted using 80 disc-shaped resin composite specimens divided into four groups based on post-curing time duration (5 minutes, 10 minutes, no curing, and control). Hardness was measured using the Vickers Hardness test, DTS with a Universal Testing Machine, and water sorption through immersion in artificial saliva. Hypothesis testing was performed using ANOVA and Post Hoc Tamhane tests. The results showed that increasing the post-curing time significantly improved hardness but did not affect DTS and water sorption. The group with 10 minutes of post-curing time achieved the best results in hardness improvement. The findings indicate that post-curing time positively influences the mechanical and physical properties of resin composites, particularly the hardness of 3D-printed materials. This process enables better polymer densification, resulting in stronger materials resistant to degradation in the oral environment. The duration of post-curing time significantly contributes to optimizing the mechanical and physical properties of 3D-printed resin composites, making it an essential step in manufacturing restorations for the long-term success of dental restorations.

Keywords: surface hardness, post-curing, resin composite, tensile strength, water sorption, 3D printing

ABSTRAK

Gigi yang telah menjalani perawatan endodontik sering kehilangan struktur signifikan, membutuhkan restorasi yang kuat dan tahan lama untuk mencegah kegagalan klinis serta mendukung fungsi jangka panjang. Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi pengaruh *post curing time* terhadap kekerasan, kekuatan tarik diametral (DTS), dan penyerapan air resin komposit 3D printing. Penelitian eksperimental menggunakan 80 spesimen resin komposit berbentuk cakram yang dibagi menjadi 4 kelompok berdasarkan durasi *post curing time* (5 menit, 10 menit, tanpa *curing*, dan kontrol). Pengukuran kekerasan dilakukan menggunakan uji *Vickers Hardness*, DTS dengan *Universal Testing Machine*, dan *water sorption* melalui metode perendaman saliva buatan. Uji hipotesis menggunakan ANOVA dan *Post Hoc Tamhane*. Hasil menunjukkan bahwa peningkatan durasi *post curing time* signifikan meningkatkan kekerasan namun

tidak pada DTS dan *water sorption*. Kelompok dengan *post curing time* selama 10 menit menghasilkan nilai terbaik untuk peningkatan nilai kekerasan. Hasil penelitian menunjukkan bahwa *post curing time* secara positif memengaruhi sifat mekanis dan fisik resin komposit terutama kekerasan material *3D printing*. Proses ini memungkinkan pemadatan polimer yang lebih baik, sehingga menghasilkan bahan yang lebih kuat dan tahan terhadap degradasi di lingkungan oral. Durasi *post curing time* berkontribusi secara signifikan terhadap optimasi sifat mekanis dan fisik resin komposit *3D printing*, menjadikannya langkah penting dalam pembuatan restorasi untuk keberhasilan restorasi gigi jangka panjang.

Kata kunci: kekerasan permukaan, *post curing*, resin komposit, *tensile strength*, *water sorption*, *3D printing*

PENDAHULUAN

Gigi yang telah menjalani perawatan endodontik akan kehilangan struktur gigi dalam jumlah yang signifikan. Kehilangan struktur gigi menjadi lebih luas disebabkan oleh pembersihan karies sehingga sebagian *cusp* hilang dan dapat menyebabkan fraktur gigi. Kehilangan struktur gigi secara luas dapat menyulitkan saat merestorasi gigi ke bentuk anatomi yang baik. Restorasi komposit dapat diterima sebagai perawatan definitif dimana akses kavitas hanya terbatas pada permukaan oklusal. [1], [2]

Teknologi inovatif telah mempercepat adopsi alur kerja digital di banyak praktik kedokteran gigi, dan metode berbasis komputer untuk fabrikasi restorasi gigi. Sebagian besar proses manufaktur berbasis komputer berdasarkan pada pengurangan manufaktur atau milling. *Three dimensional printing* pertama kali dikembangkan pada tahun 1980-an, tetapi dengan kemajuan teknologi *computer aided design* (CAD), *3D printer* dengan keterbatasan teknologi dan harga yang mahal dapat diatasi. Saat ini, *3D printer* terjangkau, *user friendly*, dan mampu menghasilkan bentuk *printing* yang kompleks. Sebagian besar *3D printer* didasarkan pada *stereolitografi* (SLA) atau *digital light processing* (DLP) [3], [4].

Salah satu restorasi *indirect* berbahan komposit adalah CAD/ CAM *composite materials* [2], [5]. CAD/ CAM *composite materials* sering tersedia sebagai prosedur fabrikasi subtraktif dengan mesin milling CAD/ CAM dalam bentuk blok fabrikasi homogen. Blok ini menunjukkan karakteristik superior dibandingkan material komposit *direct* [2]. Berbagai parameter perlu dikontrol dalam proses *3D printing*. Sifat mekanik dan fisik *printing material* dipengaruhi oleh ketebalan setiap lapisan cetak, kedalaman dan tingkat polimerisasi, penyusutan antar lapisan, dan intensitas dan sudut sumber cahaya penyinaran [6]. Berbagai parameter dalam *3D printing* yang mempengaruhi kekuatan mekanik suatu bahan *printing* yang dapat mempengaruhi kualitas atau kekuatan restorasi dihasilkan. Setelah di *print* resin fotopolimerisasi juga mengalami proses *post curing* pada oven *ultraviolet* (UV) untuk meningkatkan kekuatan mekaniknya dengan mempolimerisasi monomer yang tidak bereaksi sambil memastikan bahwa polimerisasi merata dan lengkap di semua area [7], [8].

Aldahian dkk. menemukan bahwa spesimen *3D printing* memiliki kekerasan permukaan yang lebih tinggi dibandingkan dibandingkan dengan CAD-CAM dan konvensional, sedangkan Simoneti dkk. mengamati nilai kekerasan permukaan pada spesimen *3D printing* lebih rendah dibandingkan dengan spesimen konvensional. Temuan ini menunjukkan bahwa data yang ada tentang sifat-sifat *3D printing* masih terbatas dan kontroversial. Terdapat hipotesis yang menyatakan bahwa restorasi *3D printing* memiliki sifat mekanik yang lebih baik atau sebanding dengan resin komposit CAD-CAM. [9] *Diameter Tensile Strength* (DTS) adalah sifat mekanis yang penting dari komposit resin sebagai material restoratif. *Diameter tensile strength* yang tinggi diperlukan material restorasi untuk menahan gaya mastikasi pada rongga mulut. Kegagalan klinis dari komposit dental sering disebabkan oleh nilai *tensile strength* yang

rendah. Aldahian dkk. menemukan bahwa spesimen *3D printing* memiliki kekerasan permukaan yang lebih tinggi dibandingkan dengan CAD-CAM dan konvensional, sedangkan Simoneti dkk. mengamati nilai kekerasan permukaan pada spesimen *3D printing* lebih rendah dibandingkan dengan spesimen konvensional [10]. Beberapa penulis mempelajari efek cairan (artifisial saliva, air yang diionisasi) pada sifat mekanis pada *resin based composites*. Kanchanavasita et al. mengamati bahwa kelebihan dari air yang berlebih dapat berperan sebagai *plasticizer* pada *resin-based materials* [11].

Salah satu langkah penting dalam proses *3D printing* adalah *post curing*, yaitu perlakuan tambahan menggunakan sinar *ultraviolet* (UV) untuk meningkatkan polimerisasi resin. Durasi *post curing* yang berbeda dapat memengaruhi sifat mekanis material, seperti kekerasan, kekuatan tarik, dan penyerapan air. Penelitian mengenai durasi optimal *post curing* pada resin komposit *3D printing* masih terbatas. Sangat penting untuk mengetahui durasi *post curing* yang terbaik untuk suatu material agar komposit *3D printing* mempunyai sifat mekanis dan fisik dengan maksimal dan bertahan lama di rongga mulut [12].

Material resin komposit *3D printing* yang biasa digunakan mulai beredar untuk restorasi sementara. Bahan ini mempunyai potensi kekuatan dan *longevity* yang bagus sebagai material restorasi tetap untuk gigi pasca endodontik. Pada permasalahan diatas, maka akan diteliti lanjut mengenai kekerasan dan *diameter tensile strength* dari resin komposit *3D printing* dan juga akan dilihat pengaruh *post curing time* 5 dan 10 menit dan *water sorption* pada restorasi jangka panjang (Saremco, Crowntec, Swiss). Peneliti tertarik untuk meneliti apakah ada perbedaan *water sorption*, kekerasan dan *diameter tensile strength* yang signifikan pada restorasi dengan bahan *resin composite 3D printing* dengan perlakuan *post curing time* yang berbeda.

METODE

Penelitian ini menggunakan desain eksperimen murni dengan desain *pre-test* dan *post-test* pada kelompok kontrol. Sampel penelitian terdiri dari 80 spesimen resin komposit berbentuk cakram dengan diameter 6 mm dan tinggi 3 mm, yang dicetak menggunakan teknologi *3D printing* berbasis *Stereolithography (SLA)*. Spesimen dibagi menjadi empat kelompok berdasarkan durasi *post curing time*: tanpa *post curing*, *post curing* selama 5 menit, *post curing* selama 10 menit, kontrol menggunakan resin komposit indirek. Kriteria inklusi pada sampel ini meliputi sampel memiliki ketebalan dengan ketentuan yang telah ditetapkan dan kriteria eksklusinya meliputi sampel mengalami *chipping*. Variabel yang digunakan pada penelitian ini berupa variabel bebas yaitu *post curing time* dan variabel terikat yang meliputi kekerasan permukaan, *diameteral tensile strength* dan *water sorption*. Variabel yang dikendalikan pada penelitian ini adalah mesin *3D printing* dan ketebalan material restorasi. Instrumen pada penelitian ini dilakukan dengan dokumentasi data dan analisis menggunakan SPSS 26.

Penelitian dilaksanakan di Dua Dental Lab dan Laboratorium DMT Core Kampus B, Fakultas Kedokteran Gigi Universitas Trisakti, selama periode Mei hingga Juni 2024. Pembuatan sampel dilakukan dengan spesimen dicetak menggunakan printer *3D (Phrozen Sonic, Taiwan)* dengan bahan resin komposit fotopolimerisasi, kemudian sampel dipolimerisasi awal sesuai protokol produsen sebelum perlakuan *post curing*. Perlakuan *post curing* dilakukan menggunakan *unit curing UV (Phrozen Cure V2, Taiwan)* pada suhu konstan 40°C. Durasi perlakuan disesuaikan dengan kelompok (5 menit atau 10 menit).

Pada penelitian ini, *post curing time* yang dipakai adalah 5 menit dan 10 menit. Penggunaan *post curing time* 5 menit pada komposit *3D printing* adalah terdapat penelitian yang membuktikan bahwa terdapat kenaikan sifat mekanis dari bahan komposit *3D printing* sehingga menyebabkan banyak *dental lab* yang menurunkan waktu

post curing untuk mempersingkat waktu produksi. Penelitian ini juga menggunakan *post curing time* 10 menit pada komposit *3D printing* adalah mengikuti anjuran *product knowledge* sesuai dengan *printing device* yang digunakan pada penelitian ini dan terdapat *claim* bahwa material akan mengalami peningkatan kekuatan mekanis dari material *3D printing* [13]

Uji kekerasan permukaan dilakukan menggunakan *Micro Vickers Hardness Tester* dengan beban sebesar 200 gram selama 15 detik. Nilai kekerasan dihitung dalam satuan Vickers Hardness Number (VHN). [15] Pengujian *Diametral Tensile Strength* (DTS) dilakukan dengan *Universal Testing Machine* pada kecepatan 1 mm/menit. Sampel ditempatkan di antara dua plat paralel, dan gaya tarik dihitung hingga spesimen patah[16]. Pengujian Water Sorption dilakukan dengan cara spesimen dikeringkan hingga berat stabil dalam inkubator pada suhu 37°C. Setelah itu, sampel direndam dalam saliva buatan selama 14 hari. Berat sebelum dan sesudah perendaman dicatat menggunakan timbangan analitik presisi 0,001 gram untuk menghitung penyerapan air [17].

Data dianalisis menggunakan perangkat lunak SPSS versi 26. Data dianalisis menggunakan uji Shapiro-Wilk untuk mengevaluasi normalitas dan Levene Test untuk menguji homogenitas. Perbedaan antar kelompok dianalisis menggunakan One Way ANOVA, diikuti dengan uji Post Hoc Tamhane jika terdapat perbedaan yang signifikan[18].

HASIL

Penelitian ini mengevaluasi pengaruh *post curing time* terhadap kekerasan permukaan, *diametral tensile strength* (DTS), dan *water sorption* pada resin komposit *3D printing*. Pengukuran dilakukan sebelum dan setelah perendaman dalam saliva buatan selama 14 hari. Hasil penelitian ditunjukkan pada tabel dibawah:

Tabel 1. Nilai Rerata dan Standar Deviasi Pengukuran Uji Kekerasan pada Sampel Material Sebelum dan Sesudah Perendaman (VHN)

Kelompok	N	Sebelum perendaman (VHN)	Sesudah perendaman (VHN)
P1 (5 menit)	20	22,08 ± 1,69	21,95 ± 1,36
P2 (10 menit)	20	26,81 ± 2,7	24,92 ± 1,24
Kn (tanpa <i>curing</i>)	20	18,19 ± 2,58	17,42 ± 0,76
Kp (kontrol)	20	52,78 ± 10,5	53,65 ± 7,61

Tabel 1 menunjukkan bahwa rerata pengujian kekerasan paling besar ditunjukkan pada kelompok Kp dengan nilai sebesar 52,78 VHN dengan standar deviasi 10,5 VHN sebelum perendaman dan 53,65 VHN dengan standar deviasi 7,61 VHN sesudah perendaman. Rerata pengujian kekerasan paling rendah ditunjukkan pada kelompok Kn dengan nilai sebesar 18,19 VHN dengan standar deviasi sebesar 2,58 VHN sebelum perendaman dan 17,42 VHN dengan standar deviasi sebesar 0,76 VHN sesudah perendaman.

Tabel 2. Nilai Rerata dan Standar Deviasi Pengukuran Uji DTS pada Sampel Material Sebelum dan Sesudah Perendaman (MPa)

Kelompok	N	Sebelum perendaman(MPa)	Sesudah perendaman (MPa)
P1 (5 menit)	20	22,72 ± 1,32	22,06 ± 5,27
P2 (10 menit)	20	29,36 ± 7,84	24,16 ± 5,52
Kn (tanpa <i>curing</i>)	20	21,29 ± 3,56	20,24 ± 2,81
Kp (kontrol)	20	45,93 ± 7,25	40,53 ± 4,56

Pada tabel 2 menunjukkan bahwa rerata pengujian DTS paling besar ditunjukkan pada kelompok Kp dengan nilai sebesar 45,93 MPa dengan standar deviasi 7,25 MPa sebelum perendaman dan 40,53 MPa dengan standar deviasi 4,56 MPa sesudah perendaman. Rerata pengujian DTS paling rendah ditunjukkan pada kelompok Kn dengan nilai sebesar 21,29 MPa dengan standar deviasi sebesar 3,56 MPa sebelum

perendaman dan 20,24 MPa dengan standar deviasi sebesar 2,81 MPa sesudah perendaman.

Tabel 3. Nilai Rerata dan Standar Deviasi Pengukuran Uji *Water Sorption* pada Sampel Material Sebelum dan Sesudah Perendaman (g)

Kelompok	N	Sebelum Perendaman (g)	Setelah Perendaman (g)
P1 (5 menit)	20	0,12± 0,00	0,12± 0,00
P2 (10 menit)	20	0,13± 0,00	0,13± 0,00
Kn (tanpa <i>curing</i>)	20	0,12± 0,00	0,12± 0,00
Kp (kontrol)	20	0,15± 0,00	0,15± 0,00

Pada tabel 3 menunjukkan bahwa rerata pengujian water sorption paling besar ditunjukkan pada kelompok Kp dengan nilai sebesar 0,15 g dengan standar deviasi 0,00 g sebelum perendaman dan nilai sebesar 0,15 g dengan standar deviasi 0,00 g sesudah perendaman. Rerata pengujian water sorption paling rendah ditunjukkan pada kelompok Kn dan P1 dengan nilai sebesar 0,12 g dengan standar deviasi sebesar 0,00 g sebelum perendaman dan nilai sebesar 0,12 g dengan standar deviasi sebesar 0,00 g sesudah perendaman.

PEMBAHASAN

Struktur gigi pasca endodontik akan mempunyai *survival rate* yang lebih rendah dibandingkan dengan gigi vital. Kegagalan pada gigi pasca endodontik juga dipengaruhi oleh restorasi yang tidak adekuat [1], [2]. Teknologi digital terbaru yang berkaitan dengan *3D imaging, computer design, modeling, manufacturing* dan bahan kedokteran gigi sangat mempengaruhi bidang kedokteran gigi [3],[18]. *3D printing material* sebagai metode manufaktur tambahan sebagai restorasi gigi berbahan komposit sedang banyak diteliti. Aplikasi dari *3D printing* meliputi produksi *crown* permanen dan sementara, mengurangi waktu dan biaya produksi dan meningkatkan produksi *crown* dengan bentuk yang kompleks [19].

Pencetakan sampel di penelitian ini menggunakan teknik SLA (*Stereolithography*). SLA diyakini sebagai teknologi pencetakan 3D yang paling menonjol dan populer yang telah digunakan secara luas di seluruh dunia. Teknologi ini pertama kali diusulkan dan dikembangkan oleh Hull pada tahun 1986 dan kemudian dikomersialkan oleh 3D Systems Inc. SLA adalah proses di mana sumber cahaya dengan panjang gelombang tertentu (biasanya dalam kisaran ultraviolet) digunakan untuk secara selektif *cure* permukaan cair dalam wadah resin yang sebagian besar mengandung monomer yang dapat difotopolimerisasi bersama dengan aditif lain dalam jumlah yang sangat kecil, khususnya fotoinisiator [20].

Proses polimerisasi yang diaktifkan cahaya (yaitu monomer cair berubah menjadi resin padat) umumnya berlangsung dari titik ke garis, garis ke lapisan, kemudian lapisan demi lapisan, bersama dengan pemindaian cahaya pada permukaan cair. Ketika polimerisasi satu lapisan selesai, platform pembuatan atau tangki resin bergerak ke atas atau ke bawah pada ketebalan lapisan. Perbedaan utama antara teknologi SLA dan DLP terletak pada jenis mekanisme *curing* yang digunakan. Teknologi SLA menggunakan laser ultraviolet (UV) dan material di *curing* titik demi titik sementara teknologi DLP menggunakan proyektor DLP dan pada saat yang sama, satu lapisan di *curing* [21].

Penelitian ini menunjukkan pada uji kekerasan sebelum perendaman bahwa sampel *3D printing tanpa post curing* (Kontrol negatif) menunjukkan perbedaan rata-rata yang tidak signifikan dengan sampel *3D printing post curing time 5 menit* (P1), sementara menunjukkan perbedaan rata-rata yang signifikan pada kelompok sampel *3D printing post curing time 10 menit* (P2). Hal ini menunjukkan bahwa *post curing time 10 menit* merupakan waktu paling ideal dalam membuat polimerisasi komposit *3D printing* secara paling baik hingga menghasilkan sifat kekerasan paling ideal. Sementara pada kelompok

komposit indirect (Kp) sebelum dan sesudah perendaman menunjukkan perbedaan yang signifikan pada semua pengujian kekerasan. Hal ini disebabkan dari kandungan *komposit indirect* yang mengandung *zirconia filler* (kandungan *inorganic filler*: vol 53% dan *ceramic microfilament*) yang membuat hasil kekerasan dari material menjadi superior [8], [14]

Uji DTS dengan sampel *3D printing* tanpa *post curing* (Kontrol negatif), sampel *3D printing dengan post curing time* 5 menit dan 10 menit (P1 dan P2) sebelum dan sesudah perendaman menunjukkan perbedaan rata-rata yang tidak signifikan. Hal ini menunjukkan bahwa *post curing time* tidak terlalu berpengaruh kepada hasil DTS masing-masing kelompok sampel. Pengujian sampel *3D printing* pada semua kelompok (Kn, P1 dan P2) sebelum dan sesudah perendaman menunjukkan perbedaan rata-rata yang signifikan dengan kelompok komposit *indirect* (Kp) karena kandungan komposisi yang berbeda dari kelompok komposit *3D printing* dan *indirect*. Uji DTS juga didapatkan bahwa kelompok komposit *indirect* (Kp) mengalami patah getas (*brittle fracture*) yaitu pola patahan yang diawali dengan retakan secara cepat tanpa adanya deformasi plastis sehingga tidak tampak gejala material tersebut akan patah dan pola patahannya menjadi pecahan berkeping-keping. Sementara pada kelompok *3D printing* (Kn, P1 dan P2) menunjukkan patah ulet (*ductile fracture*) yang ditandai dengan penyerapan energi dan deformasi plastis yang cukup besar di sekitar patahan sehingga akan ada reduksi luas pada penampang patahan dan tempo terjadinya patahan lebih lama karena jika beban dihilangkan maka penalaran retakan akan berhenti [16], [22].

Pengujian *water sorption* pada sampel *3D printing* dari masing-masing kelompok (Kn, P1 dan P2) dan sampel komposit *indirect* (Kp) menunjukkan rata-rata massa yang stagnan dan tidak terjadi penambahan massa pada perendaman menit ke 0, 15, 30, 45, 60, 120, 180 dilanjutkan dengan hari ke 4, 7, 10 sampai hari ke 14. Hal ini menunjukkan bahwa baik material komposit *3D printing* maupun komposit *indirect* tidak mudah meresorpsi cairan [23].

Kesimpulan dari penelitian adalah *post curing time* berpengaruh terhadap uji kekerasan karena menunjukkan perbedaan rata-rata yang signifikan pada masing-masing kelompok *3D printing*, namun *post curing* tidak berpengaruh terhadap uji DTS dan *water sorption* dilihat dari perbedaan yang tidak signifikan pada rata-rata uji DTS sebelum dan sesudah perendaman dan rata-rata massa sampel yang stagnan pada perendaman sampai hari ke 14. *Water sorption* pada restorasi menyebabkan adanya perubahan dimensional, fraktur pada kontur permukaan, dan diskolorisasi. Efek negatif ini dapat menyebabkan kegagalan pada restorasi. Resin komposit dengan kandungan rasio *filler* yang tinggi akan mengasorpsi cairan yang sedikit.

SIMPULAN

Variasi durasi *post curing* memiliki dampak yang signifikan terhadap peningkatan nilai kekerasan pada material komposit *3D printing*. Durasi 10 menit *post curing* menghasilkan nilai kekerasan tertinggi. Hasil uji diametral Tensile Strength dan *water sorption* menunjukkan durasi *post curing* tidak berpengaruh terhadap kekuatan tarik diametral (DTS) dan kemampuan material dalam menyerap air. Saran untuk penelitian ini adalah melakukan penelitian lebih lanjut mengenai pengaruh *post curing time* terhadap sifat mekanis dan fisik lain dari resin komposit *3D printing*, melakukan penelitian menggunakan media perendaman yang berbeda dengan waktu perendaman yang berbeda. Disarankan untuk pembuatan restorasi *indirect* dengan bahan resin komposit *3D printing* dengan waktu *post curing time* 10 menit. Dan melakukan seleksi kasus dalam pembuatan restorasi definitif dengan material *composite 3D printing*.

DAFTAR RUJUKAN

- [1] F. Mannocci and J. Cowie, "Restoration of endodontically treated teeth," *Br Dent J*, vol. 216, no. 6, pp. 341–346, Mar. 2014, doi: 10.1038/sj.bdj.2014.198.
- [2] N. D. Ruse and M. J. Sadoun, "Resin-composite blocks for dental CAD/CAM applications," Dec. 25, 2014, *SAGE Publications Inc*. doi: 10.1177/0022034514553976.
- [3] J. Schweiger, D. Edelhoff, and J. F. Güth, "3d printing in digital prosthetic dentistry: An overview of recent developments in additive manufacturing," *J Clin Med*, vol. 10, no 9, pp. 2010, May 01, 2021, doi: 10.3390/jcm10092010.
- [4] S. J. Alzahrani, M. S. Hajjaj, A. A. Azhari, W. M. Ahmed, H. E. Yeslam, and R. M. Carvalho, "Mechanical Properties of Three-Dimensional Printed Provisional Resin Materials for Crown and Fixed Dental Prosthesis: A Systematic Review," *Bioengineering*, vol. 10, no. 6, pp. 1-14, Jun. 01, 2023, *MDPI*. doi: 10.3390/bioengineering10060663.
- [5] P. J. Atria *et al.*, "3D-printed resins for provisional dental restorations: Comparison of mechanical and biological properties," *Journal of Esthetic and Restorative Dentistry*, vol. 34, no. 5, pp. 804–815, Jul. 2022, doi: 10.1111/jerd.12888.
- [6] E. Sonkaya, Z. Gonca, and B. Kürklü, "The Effect of Different Surface Treatments on the Repair of 3D Permanent Resin Restorations by Composite Resin Different surface treatments and repair of 3D permanent resin, *PREPRINT (Version 1)*, vol. 216, no. 6, pp. 341–346, 2022, doi: 10.21203/rs.3.rs-1808447/v1.
- [7] R. Daher, S. Ardu, E. di Bella, I. Krejci, and O. Duc, "Efficiency of 3D printed composite resin restorations compared with subtractive materials: Evaluation of fatigue behavior, cost, and time of production," *Journal of Prosthetic Dentistry*, vol. 131, no. 5, pp. 943–950, May 2024, doi: 10.1016/j.prosdent.2022.08.001.
- [8] A. S. Al-Qahtani *et al.*, "Surface properties of polymer resins fabricated with subtractive and additive manufacturing techniques," *Polymers (Basel)*, vol. 13, no. 23, Dec. 2021, doi: 10.3390/polym13234077.
- [9] Y. A. Al-Dulaijan *et al.*, "Comparative Evaluation of Surface Roughness and Hardness of 3D Printed Resins," *Materials*, vol. 15, no. 19, Oct. 2022, doi: 10.3390/ma15196822.
- [10] D. S. M. Casselli, C. C. Worschech, L. A. M. S. Paulillo, and C. T. dos S. Dias, "Diametral tensile strength of composite resins submitted to different activation techniques," *Braz Oral Res*, vol. 20, no. 3, pp. 214–218, 2006, doi: 10.1590/s1806-83242006000300006.
- [11] R. Brożek, K. Pałka, R. Koczorowski, and B. Dorocka-Bobkowska, "Effect of artificial saliva on the mechanical properties of a polymer material reinforced with fiber, used in esthetic tooth restorations," *Dent Med Probl*, vol. 57, no. 3, pp. 261–267, Jul. 2020, doi: 10.17219/dmp/118642.
- [12] D. Kim *et al.*, "Effects of post-curing time on the mechanical and color properties of three-dimensional printed crown and bridge materials," *Polymers (Basel)*, vol. 12, no. 11, pp. 1–20, Nov. 2020, doi: 10.3390/polym12112762.
- [13] E. Prause *et al.*, "Mechanical properties of 3D-printed and milled composite resins for definitive restorations: An in vitro comparison of initial strength and fatigue behavior," *Journal of Esthetic and Restorative Dentistry*, vol. 36, no. 2, pp. 391–401, Feb. 2024, doi: 10.1111/jerd.13132.
- [14] I. Hubbezoğlu, G. Bolayir, O. M. Doğan, A. Doğan, A. Özer, and B. Bek, "Microhardness evaluation of resin composites polymerized by three different light sources," *Dent Mater J*, vol. 26, no. 6, pp. 845–853, 2007, doi: 10.4012/dmj.26.845.
- [15] C. K. Scotti, M. M. de A. C. Velo, F. A. P. Rizzante, T. R. de L. Nascimento, R. F. L. Mondelli, and J. F. S. Bombonatti, "Physical and surface properties of a 3D-printed

- composite resin for a digital workflow,” *Journal of Prosthetic Dentistry*, vol. 124, no. 5, pp. 614.e1-614.e5, Nov. 2020, doi: 10.1016/j.prosdent.2020.03.029.
- [16] S. Cangül, Ö. Adigüzel, S. Tekin, F. Öztekin, and Ö. Satıcı, “A comparison of the water absorption and water solubility values of four different composite resin materials,” *Cumhuriyet Dental Journal*, vol. 21, no. 4, pp. 335–342, 2018, doi: 10.7126/cumudj.449340.
- [17] I. Erlita, Y. M. Hernandi, and M. Y. I. Nahzi, “Effect Of Diametral Tensile Strength Of Bulk Fill Composite Resin With The Addition Of Sugarcane Waste Fiber. ”, *Dentino Jurnal Kedokteran Gigi*, vol. 3, no. 1, pp. 43-46, 2018, doi: 10.20527/dentino.v3i1.4599.g4004
- [18] S. J. Alzahrani, M. S. Hajjaj, A. A. Azhari, W. M. Ahmed, H. E. Yeslam, and R. M. Carvalho, “Mechanical Properties of Three-Dimensional Printed Provisional Resin Materials for Crown and Fixed Dental Prosthesis: A Systematic Review,” Jun. 01, 2023, *MDPI*. doi: 10.3390/bioengineering10060663.
- [19] V. Truxova, J. Safka, M. Seidl, I. Kovalenko, L. Volesky, and M. Ackermann, “Ceramic 3d printing: Comparison of SLA and DLP technologies,” *MM Science Journal*, vol. 2020, no. June, pp. 3905–3911, Jun. 2020, doi: 10.17973/MMSJ.2020_06_2020006.
- [20] F. Rezaie *et al.*, “3D Printing of Dental Prostheses: Current and Emerging Applications,” Feb. 01, 2023, *MDPI*. doi: 10.3390/jcs7020080.
- [21] J. E. Ryu, Y. L. Kim, H. J. Kong, H. S. Chang, and J. H. Jung, “Marginal and internal fit of 3D printed provisional crowns according to build directions,” *Journal of Advanced Prosthodontics*, vol. 12, no. 4, pp. 225–232, Aug. 2020, doi: 10.4047/jap.2020.12.4.225.
- [22] A. E. Hadi *et al.*, “Effect of Water Absorption Behaviour on Tensile Properties of Hybrid Jute-Roselle Woven Fibre Reinforced Polyester Composites,” *International Journal of Automotive and Mechanical Engineering*, vol. 18, no. 4, pp. 9170–9178, 2021, doi: 10.15282/IJAME.18.4.2021.02.0705.
- [23] S. Sanjeevi *et al.*, “Effects of water absorption on the mechanical properties of hybrid natural fibre/phenol formaldehyde composites,” *Sci Rep*, vol. 11, no. 1, Dec. 2021, doi: 10.1038/s41598-021-92457-9.