

Kekuatan Tekan 3d-Printed Poly (Methyl Methacrylate) Sebagai Kandidat Material untuk Baseplate Gigi Tiruan Lengkap

Ananda Firly Nugroho¹, Urip Agus Salim², Muslim Mahardika², Archadian Nuryanti³, Budi Arifvianto^{2*}

¹Departemen Teknik Mesin dan Industri, Fakultas Teknik, Universitas Gadjah Mada ; ananda.firly.nugroho@mail.ugm.ac.id

²Departemen Teknik Mesin dan Industri dan Centre for Innovation of Medical Equipment and Devices (CIMEDs), Fakultas Teknik, Universitas Gadjah Mada; urip-as@ugm.ac.id

²Departemen Teknik Mesin dan Industri dan Centre for Innovation of Medical Equipment and Devices (CIMEDs), Fakultas Teknik, Universitas Gadjah Mada; muslim_mahardika@ugm.ac.id

³Departemen Ilmu Biomedika Kedokteran Gigi, Fakultas Kedokteran Gigi, Universitas Gadjah Mada; archadiannuryanti@ugm.ac.id

²Departemen Teknik Mesin dan Industri dan Centre for Innovation of Medical Equipment and Devices (CIMEDs), Fakultas Teknik, Universitas Gadjah Mada; budi.arif@ugm.ac.id

DOI: <https://doi.org/10.xxxxx/xxxxx>

*Korespondensi: Budi Arifvianto

Email: budi.arif@ugm.ac.id

Published: Januari, 2024



Copyright: © 2024 by the authors. Submitted for possible open access publication under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY NC) license (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

Abstrak: Saat ini, gigi tiruan khususnya gigi tiruan lengkap (GTL) umumnya dibuat dengan cara konvensional, yakni dengan proses polimerisasi berbasis *heat curing* pada material *poly(methyl methacrylate)* atau PMMA. Kekurangan dari metode konvensional ini terletak pada rendahnya akurasi produk yang dihasilkan, proses yang relatif lama serta kenyamanan gigi tiruan saat digunakan. Salah satu teknik yang berpotensi digunakan dalam pembuatan gigi tiruan adalah teknologi *additive manufacturing* (AM). Meski demikian, metode baru ini masih perlu diteliti secara mendalam untuk meyakinkan bahwa teknik ini dapat digunakan untuk membuat gigi palsu. Salah satu hal yang masih perlu dikaji tentang teknik AM untuk gigi palsu ini adalah aspek kekuatan material yang diperoleh dengan teknologi ini. Pada penelitian ini dilakukan pengujian tekan material PMMA yang dicetak dengan metode AM dan *heat curing konvensional*. Pengujian dilakukan setelah material tersebut direndam dalam larutan air ludah atau saliva buatan. Hasil dari penelitian ini menunjukkan bahwa material yang dibuat dengan menggunakan metode AM memiliki kuat tekan yang lebih tinggi daripada material yang dibuat secara konvensional. Nilai kuat tekan tertinggi diperoleh pada material yang dicetak AM sebesar 130 MPa.

Keywords: *additive manufacturing*; PMMA; kekuatan tekan; gigi tiruan

PENDAHULUAN

Edentulisme atau kehilangan gigi secara keseluruhan merupakan masalah yang umum terjadi. Hasil Riset Kesehatan Dasar (Riskesdas) tahun 2018 Kementerian Kesehatan Republik Indonesia menunjukkan adanya peningkatan signifikan kasus kehilangan gigi keseluruhan berdasarkan usia, yakni 1,7% pada kelompok usia 35 sampai 44 tahun dan 10,1% pada kelompok usia lebih dari 65 tahun ke atas. Untuk mengembalikan fungsi mulut dan estetika wajah pasien yang mengalami kehilangan gigi keseluruhan (*edentulous*) dapat dilakukan dengan membuat gigi tiruan lengkap (GTL).

Pada saat ini, proses pembuatan gigi tiruan khususnya gigi tiruan lengkap (GTL) lebih banyak dibuat dengan cara konvensional (Cunha et al., 2013). Kekurangan metode konvensional untuk pembuatan GTL tersebut terletak pada (1) rendahnya akurasi pada saat pencetakan manual, (2) proses yang sangat lama, dan (3) kenyamanan gigi tiruan saat digunakan (Han et al., 2016). Salah satu teknik yang berkembang dan berpotensi untuk digunakan dalam gigi tiruan adalah teknologi *additive manufacturing* (AM). AM, atau 3D

printing, dikenal sebagai salah satu metode untuk membuat objek fisik dengan cara menyusun material secara berurutan atau lapis demi lapis (Wang et al., 2017).

Gigi tiruan yang diterapkan pada manusia di lingkungan rongga mulut terkena berbagai macam gaya atau beban. Material gigi tiruan ini umumnya mengalami gaya tekan, beban kejut, tekuk dan gesekan. Sejauh ini, penelitian tentang kekuatan material gigi tiruan yang dibuat dengan proses 3D-printing masih belum banyak dilakukan. Oleh karenanya, pengujian mekanik terhadap material gigi tiruan yang dibuat dengan teknik 3D-*printing* perlu untuk dilakukan. Tujuan dari penelitian ini adalah mendapatkan data kekuatan tekan material *poly(methyl methacrylate)* (PMMA) yang dibuat dengan teknik 3D-*printing* berbasis *digital light processing*. Selanjutnya, kekuatan tekan material PMMA tersebut dibandingkan dengan material akrilik yang biasa digunakan sebagai material gigi tiruan (metode konvensional).

METODE

Alat dan Material

Alat yang digunakan untuk pembuatan spesimen dengan metode *additive manufacturing* (AM) adalah mesin 3D print Anycubic Photon Mono X. Mesin Anycubic Wash and Cure 2.0 merupakan alat yang digunakan dalam penelitian ini untuk mengeringkan (*curing*) hasil *printing sample* pengujian. Bahan yang dicetak dengan teknik AM dalam penelitian ini adalah TEMP-Biocompatible resin yang komposisi kimianya tertulis pada Tabel 1. Material ini merupakan bahan *poly(methyl methacrylate)* (PMMA) yang metode polimerisasinya menggunakan sinar UV dalam mesin 3D *printer* berbasis *stereolithography* (SLA).

Tabel 1. Komposisi kimia bahan TEMP-Biocompatible resin yang diproses dengan 3D-printing pada penelitian ini

Nama senyawa	Kuantitas (%)
<i>Isopropylidenediphenol peg-2 dimethacrylate</i>	45 ≤ 60 %
<i>1,6 hexanediol dimethacrylate</i>	1 ≤ 5 %
<i>2-hidroxyethyl methacrylate</i>	1 ≤ 5 %
<i>Diphenyl(2,4,6-trimethylbenzoyl)phospine oxide</i>	1 ≤ 5 %
<i>Hydroxy propyl methacrylate</i>	1 ≤ 5 %
<i>Phenyl bis(2,4,6-trimethylbenzoyl)-phospine oxide</i>	≤ 1 %

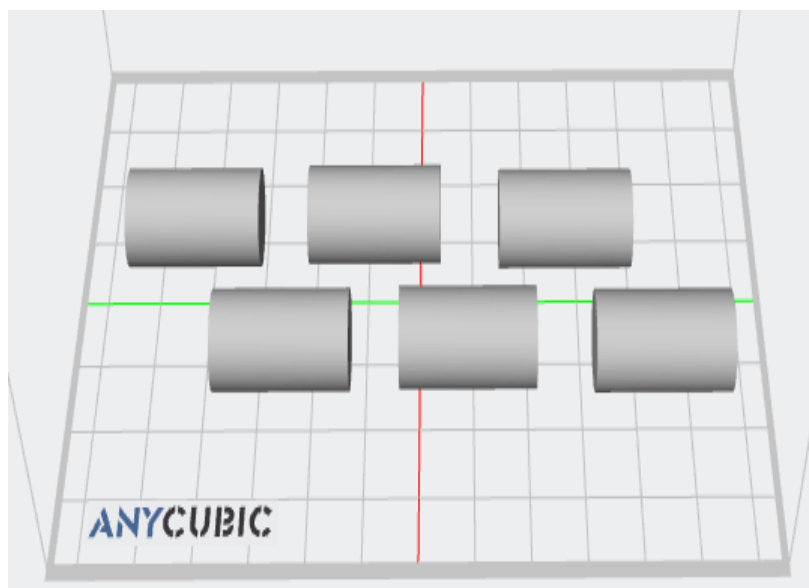
Tabel 2. Karakteristik material *heat cured* akrilik untuk gigi tiruan konvensional

<i>Mixing Ratio</i>	<i>Mixing Time</i>	<i>Dough Time</i>	<i>Working Time</i>	<i>Curing Time</i>
Cairan 1 ml : 2,4g bubuk	1-2 menit	14-20 menit	8-10 menit	20 menit

Material pembanding yang digunakan dalam penelitian ini berupa akrilik PMMA yang digunakan pada gigi tiruan yang selama ini digunakan oleh pasien. Karakteristik material ini tertulis pada Tabel 2. Pembuatan spesimen akrilik ini dilakukan secara konvensional, yakni *heat curing* menggunakan alat *kuvet and press* dengan metode polimerisasi panas. Selanjutnya, cairan alkohol dengan kadar 70% digunakan untuk membersihkan sisa resin yang tidak ikut terpolimerisasi.

Pembuatan spesimen

Dalam penelitian ini, spesimen 3D *printing* dicetak dengan menggunakan mesin SLA 3DP Anycubic Photon Mono X. Selain itu, mesin Anycubic Wash and Cure 2.0 digunakan untuk proses pembersihan sisa resin yang tidak terpolimerisasi dan proses pengeringan spesimen. Spesimen yang digunakan dalam penelitian dirancang dengan menggunakan *software* Autodesk Fusion 360 untuk membuat desain 3D lalu disimpan dalam format file *standard tessellation language* (STL). File STL yang dihasilkan pada *software* CAD diolah dengan bantuan Anycubic Photon Workshop *slicer software* untuk mendapatkan lapisan yang diiris secara horizontal sesuai dengan ketebalan lapisan yang diinginkan. Pada *slicer software* ini, build orientation diatur seperti yang terlihat pada Gambar 2 untuk *build orientation* 90°.



Gambar 1. Build orientation spesimen 90°

Sementara itu, pembuatan spesimen konvensional menggunakan alat *kuvet and press* yang dibuat dengan *mixing ratio* 1 ml cairan : 2,4 gram bubuk, *working time* 10 menit dengan suhu 100 °C, dan *curing time* 20 menit. Jumlah spesimen untuk setiap jenis adalah 5 buah. Cairan *artificial saliva* yang digunakan sebagai media rendaman kedua spesimen di atas dibuat dengan komposisi merujuk pada penelitian sebelumnya (Zheng et al., 2003), dengan kandungan sebagaimana ditunjukkan oleh Tabel 3.

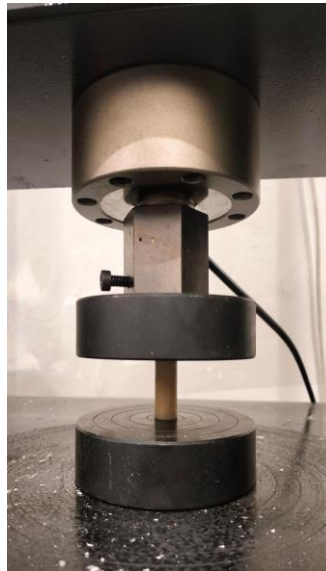
Tabel 3. Komposisi kimia cairan *artificial saliva*

NaCl	KCl	CaCl ₂ .2H ₂ O	NaH ₂ PO ₄ .2H ₂ O	Na ₂ S.9H ₂ O	Urea	Distilled water
0,4 g	0,4 g	0,795 g	0,78 g	0,005 g	1 g	1000 ml

Prosedur pengujian

Pengujian tekan dilakukan dengan menggunakan mesin Universal Testing Machine (UTM) tipe CRN-50 (Carson, Taiwan) dengan konfigurasi seperti yang terlihat pada Gambar 2. Kecepatan *cross-head* mesin dalam pengujian tekan ini adalah 2 mm/min, sesuai dengan standar pengujian ASTM D 695.

Pencelupan spesimen dilakukan selama 10 hari dalam cairan *artificial saliva* dengan kandungan kimianya tertulis pada Tabel 3. Proses pengambilan data berat spesimen setelah pencelupan dilakukan secara periodik dengan rumus yang ada pada Persamaan (1).



Gambar 2. Pengujian tekan material gigi tiruan

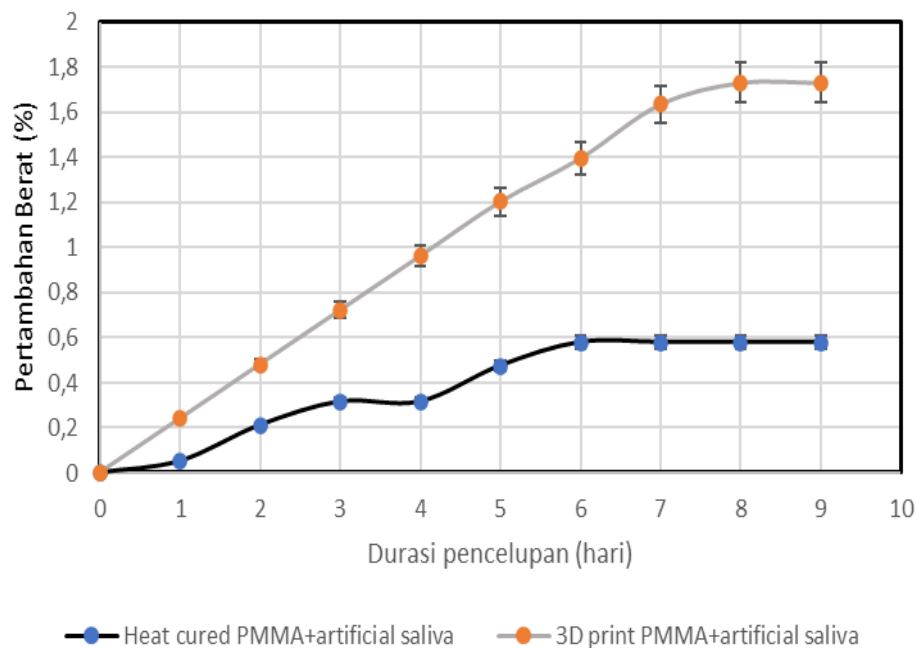
$$\% \text{ Pertambahan Berat} = \frac{\text{berat Ha} - \text{berat H1}}{\text{berat H1}} \times 100 \% \quad (1)$$

dimana Ha dan H1 adalah berat awal dan berat pada hari tertentu spesimen.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Dari Gambar 3 dapat dilihat bahwa proses penyerapan cairan saliva pada resin 3D *printing* PMMA lebih tinggi dibandingkan dengan *heat cured* PMMA. Hal ini sesuai dengan penelitian yang dilakukan oleh Perea-Lowery et al. (2021) dan Berli et al., (2020) yang menemukan nilai penyerapan air yang lebih tinggi pada spesimen 3D *printing*. Peningkatan penyerapan air mungkin disebabkan oleh teknik polimerisasi. Derajat polimerisasi rendah dari resin cetak 3D mengakibatkan monomer tidak bereaksi (Gad et al., 2022). Selain konstituen lain dari resin terpolimerisasi, seperti zat pengikat silang, pemlastis, inisiator, atau bahan terlarut, hal ini menyebabkan penyerapan air yang tinggi (Craig et al., 2011). Faktor lain yang mempengaruhi penyerapan air adalah perbedaan komposisi kimia antara resin terpolimerisasi panas dan resin cetak 3D (Pfeiffer and Rosenbauer, 2004).

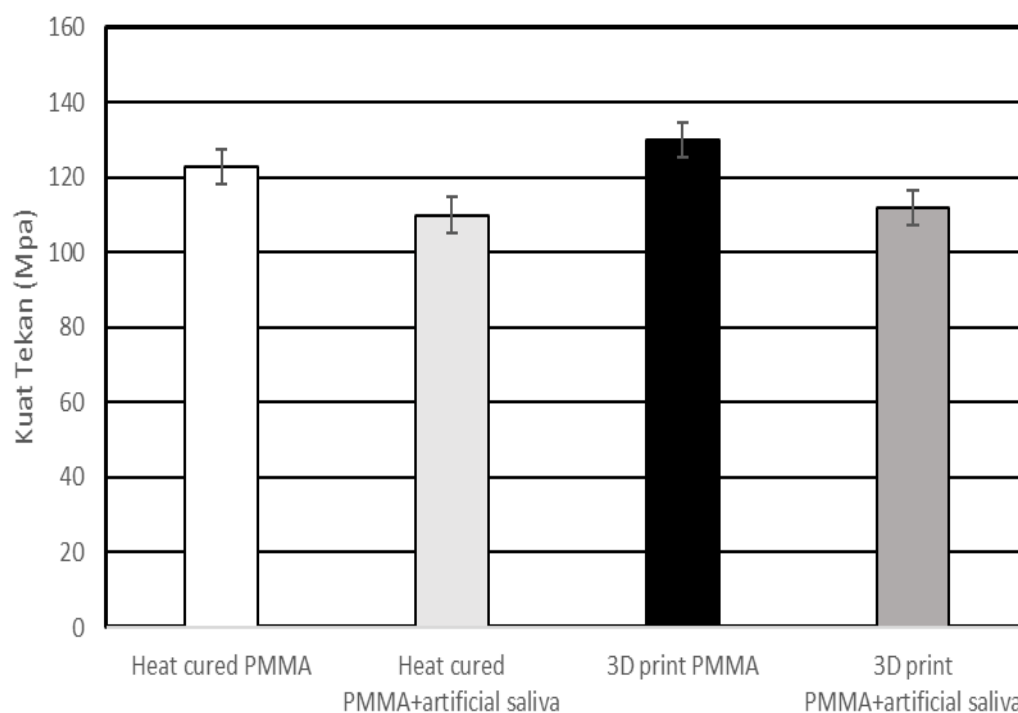
Selain teknik polimerisasi, teknik pelapisan cetak yang digunakan untuk memproduksi resin cetak 3D mungkin menjadi alasan peningkatan jumlah penyerapan air. Cairan yang diserap masuk di antara lapisan, dan kemudian molekul air berdifusi ke dalam polimer resin, yang memungkinkan ruang interpolimer terisi dengan air, memaksa rantai polimer menjauh dari rantai lainnya (Lin et al., 2000). Fenomena ini mungkin berdampak buruk pada antarmuka lapisan, yang menyebabkan efek *swelling* resin dan memisahkan lapisan yang dicetak (Hada et al., 2021). Kehadiran rongga dalam resin cetak 3D dikonfirmasi dengan *scanning electron microscopy* (SEM) (Gad et al., 2022). Air yang diserap berdifusi dan menembus ruang kosong, yang dapat menjelaskan peningkatan tingkat penyerapan air dalam resin cetak 3D (Perea-Lowery et al., 2021)



Gambar 3. Persentase pertambahan per hari berat spesimen akibat rendaman dalam cairan artificial saliva: (a) spesimen akrilik *heat cured acrylic* dan (b) spesimen *3D printed PMMA*

Kekuatan tekan material *heat-cured PMMA* dan *3D printing PMMA* ditunjukkan pada Gambar 4. Dalam penelitian ini, kedua jenis material diuji dalam keadaan kering dan basah setelah pencelupan dalam cairan *artificial saliva* selama 9 hari. Secara umum, pencelupan pada cairan *artificial saliva* menurunkan kekuatan tekan kedua material tersebut. Pada material *heat-cured PMMA*, pencelupan pada cairan *artificial saliva* menurunkan kekuatan tekan dari 123,1 menjadi 109,9 MPa. Sementara itu, perlakuan yang sama pada material *3D-printing PMMA* juga menurunkan kekuatan tekan material dari 130 MPa menjadi 112 MPa. Pengaruh terhadap nilai tekan dipengaruhi oleh lama perendaman karena semakin lama waktu rendam maka semakin banyak cairan yang terserap dan mencapai titik jenuhnya sesuai pada Gambar 3 (Al-Nori et al., 2007). Setelah dilakukan perendaman dalam cairan *artificial saliva*, terdapat pengurangan nilai kekuatan tekan pada kedua material. Penyerapan cairan tersebut ke dalam matrik resin menurunkan kekuatan tekan karena peningkatan kadar cairan menyebabkan bertambahnya jarak antar rantai molekuler dan akan bertindak sebagai *plasticizer* (Powers and Wataha, 2008). Resin akrilik sebagaimana polimer lainnya memiliki dua macam ikatan yaitu ikatan primer dan ikatan sekunder. Ikatan primer merupakan ikatan antar atom dalam rantai sedangkan ikatan sekunder merupakan ikatan antar rantai-rantainya. Ikatan primer resin akrilik memiliki kekuatan yang baik, namun ikatan sekundernya lemah. Ikatan sekunder resin akrilik yang lemah ini menyebabkan molekul air mampu berpenetrasi ke dalam matriks. Ion air dalam matriks akan berikatan dengan gugus hidroksil dan memecah rantai polimer. Pecahnya rantai polimer pada matriks resin akan menyebabkan ruang kosong antar ikatan sehingga memungkinkan terjadi penyerapan air (O'Brien, 2002). Penyerapan air akan terus-menerus terjadi melalui mekanisme difusi. Akibatnya molekul air mampu melakukan penetrasi dan menempati posisi di antara rantai serta memaksa rantai polimer untuk memisah. Adanya molekul air di dalam massa yang terpolimerisasi menyebabkan matrik resin mengalami ekspansi serta bertindak sebagai *plasticizer* sehingga mempengaruhi kekuatannya (Anusavice, 2003).

Bila dibandingkan, material 3D-*printing* PMMA mempunyai kekuatan tekan yang sedikit lebih tinggi dibandingkan material *heat-cured* PMMA baik dalam keadaan kering maupun basah. Pada Gambar 4 dapat dilihat bahwa material PMMA dengan manufaktur 3D *printing* memiliki kuat tekan yang lebih tinggi dibandingkan dengan *conventional heat-polymerized*. Lee et al. (2022) dan Buduru et al. (2019) melakukan penelitian klinis dimana berhasil membuat prosthesis resin PMMA untuk Gigi Tiruan Lengkap. CAD/CAM resin PMMA juga memiliki modulus flexural yang tinggi (Koike et al., 2011) yang didukung dengan ketahanan fraktur dan kenyamanan yang baik (Meng and Latta, 2005). Material *heat cured* PMMA memiliki nilai kuat tekan yang lebih rendah karena material ini memiliki kelemahan dalam release residual dari monomer *methyl methacrylate* yang berpengaruh pada kestabilan dimensi dan tingginya porositas (Al-Fouzani et al., 2017).



Gambar 4. Kuat tekan material PMMA yang diproses dengan *heat curing* dan 3D *printing*

SIMPULAN

Dari hasil eksperimen dalam penelitian ini, kita dapat mengetahui kuat tekan dari material PMMA *heat cured* yang biasa digunakan dalam proses pembuatan gigi tiruan lengkap secara konvensional dan membandingkannya dengan kuat tekan material PMMA 3d *printing* yang masih dalam proses penelitian.

Material PMMA dalam keadaan basah oleh cairan *artificial saliva* dapat menurunkan kuat tekannya karena efek dari penyerapan cairan tersebut ke dalam material. Material PMMA yang diproses dengan 3D *printing* mampu menyerap cairan *artificial saliva* lebih banyak daripada *heat cured acrylic*. Pada penelitian mengenai material PMMA untuk gigi tiruan lengkap (GTL) yang dibuat menggunakan metode *additive manufacturing* (AM) dengan mesin 3D *printing* memiliki kuat tekan lebih tinggi dibandingkan material PMMA yang umum digunakan saat ini dengan metode konvensional (*heat cured*). Pada penelitian selanjutnya, perlu dilakukan pengujian mekanis yang lain seperti uji *bending* dan uji *impact* untuk mengetahui perbandingan sifat mekanis yang lebih kompleks dari kedua material tersebut.

DAFTAR PUSTAKA

- Al-Fouzan, A. F., Al-mejrad, L. A., & Albarrag, A. M. (2017) 'Adherence of *Candida* to complete denture surfaces *in vitro*: A comparison of conventional and CAD/CAM complete dentures', *The Journal of Advanced Prosthodontics*.
- Alharbi, N., Osman, R., & Wismeijer, D. (2016) 'Effects of build direction on the mechanical properties of 3D-printed complete coverage interim dental restorations', *The Journal of Prosthetic Dentistry*.
- Al-Nori, A., Hussain, A., & Rejab, L. (2007) 'Water sorption of heat-cured acrylic resin' *Al-Rafidain Dental Journal*.
- Anusavice, K. (2003) '*Science of dental dalam aquadest baik pada perendaman selama 1, 4, material*', Mosby Elsevier.
- Berli, C., Thieringer, F. M., Sharma, N., Müller, J. A., Dedem, P., Fischer, J., & Rohr, N. (2020) 'Comparing the mechanical properties of pressed, milled, and 3D-printed resins for occlusal devices', *The Journal of Prosthetic Dentistry*.
- Buduru, S., Culic, B., Talmaceanu, D., & Pal, A. (2019) 'A comparative study of the accuracy of five CAD-CAM systems', *Medicine and Pharmacy Reports*.
- Chua, Y. T. (2017) '*Perspective on 3D printing of separation membranes and comparison to related unconventional fabrication techniques*', *Journal of membrane science*.
- Craig, R. G., Powers, J. M., & Sakaguchi, R. L. (2011) '*Craig's Restorative Dental Materials*', Mosby Elsevier.
- Cunha, T., Della Vecchia, M., Regis, R., Ribeiro, A. B., Muglia, V. A., Mestriner, W., & De Souza, R. (2013) 'A randomised trial on simplified and conventional methods for complete denture fabrication: Masticatory performance and ability', *Journal of Dentistry*.
- Gad, M., Fouda, S., Abualsaud, R., Alshahrani, F., Al-Thobity, A., Khan, S., Akhtar, S., Ateeq, I., Helal, M., & Al-Harbi, F. (2022) 'Strength and Surface Properties of a 3D-Printed Denture Base Polymer', *Journal of Prosthodontics*.

-
- Hada, T., Kanazawa, M., Iwaki, M., Katheng, A., & Minakuchi, S. (2021) 'Comparison of Mechanical Properties of PMMA Disks for Digitally Designed Dentures', *Polymers*.
- Koike, T., Ishizaki, K., Ogami, K., Ueda, T., & Sakurai, K. (2011) 'Influence of anterior palatal coverage on perception and retention in complete dentures', *The Journal of Prosthetic Dentistry*.
- Lee, J., Belles, D., Gonzalez, M., Kiat-amnuay, S., Dugarte, A., & Ontiveros, J. (2022) 'Impact Strength of 3D-Printed and Conventional Heat-Cure and Cold-Cure Denture Base Acrylic Resins', *The International Journal of Prosthodontics*.
- Lin, C., Lee, S., Tsai, T., Dong, D., & Shih, Y. (2000) 'Degradation of repaired denture base materials in simulated oral fluid', *Journal of Oral Rehabilitation*.
- Meng, T., and Latta, M. (2005) 'Physical Properties of Four Acrylic Denture Base Resins', *The Journal of Contemporary Dental Practice*.
- O'Brien, W. (2002). *Dental material and their selection* (3rd ed.). Quintessence Publishing.
- Perea-Lowery, L., Gibreel, M., Vallittu, P., & Lassila, L. (2021) '3D-Printed vs. Heat-Polymerizing and Autopolymerizing Denture Base Acrylic Resins', *Materials*.
- Pfeiffer, P., and Rosenbauer, E. (2004) 'Residual methyl methacrylate monomer, water sorption, and water solubility of hypoallergenic denture base materials', *The Journal of Prosthetic Dentistry*.
- Powers, J., and Wataha, J. (2008). *Dental materials properties and manipulation*, Missouri: Mosby Elsevier.
- Väyrynen, V., Tanner, J., & Vallittu, P. (2016) 'The anisotropy of the flexural properties of an occlusal device material processed by stereolithography', *The Journal of Prosthetic Dentistry*.
- Wang, Y., Blache, R., & Xu, X. (2017) 'Selection of additive manufacturing processes', *Rapid Prototyping Journal*.
- Weili Han, M., Yanfeng Li, M., & Ying Zhang, M. (2016) *'Design and fabrication of complete dentures using CAD/CAM technology'*.

Zheng, J., Zhou, Z. R., Zhang, J., Li, H., & Yu, H. Y. (2003) 'On the friction and wear behaviour of human tooth enamel and dentin. *Wear*'.