

PERBEDAAN MODULUS ELASTISITAS TUMPATAN KOMPOSIT DENGAN FILLE BERBAHAN DASAR SINTETIS DAN NON SINTETIS

Risnayanti Anas¹, Erna Irawati A², Eva Novawaty³, Nurasisa Iestari⁴, Qina Aprilyanti⁵

^{1,2,3,4,5}Universitas Muslim Indonesia

Email: qinaapriyanti1904@gmail.com¹, qinaapriyanti1904@gmail.com²,
qinaapriyanti1904@gmail.com³, qinaapriyanti1904@gmail.com⁴,
qinaapriyanti1904@gmail.com⁵

ABSTRAK

Latar Belakang: Resin komposit adalah bahan restorasi dalam bidang kedokteran gigi yang banyak digunakan karena memiliki sifat mekanik dan estetika yang baik. Filler dalam komposit berperan penting dalam meningkatkan ketahanan modulus elastisitas. Penelitian ini membandingkan sifat modulus elastisitas tumpatan komposit dengan *filler* berbahan dasar non sintetis dan sintetis. **Tujuan:** Mengetahui perbandingan sifat modulus elastisitas antara tumpatan komposit dengan *filler* berbahan dasar non sintetis dan sintetis. **Metode:** Penelitian ini menggunakan desain quasi-eksperimental dengan pendekatan *post-test with control group design*. **Hasil:** Hasil uji statistik menggunakan *Shapiro-Wilk Test* menunjukkan data berdistribusi normal ($p > 0,05$), sementara uji T-independen menunjukkan terdapat perbedaan signifikan antara kedua kelompok ($p < 0,05$). **Kesimpulan:** Terdapat perbedaan signifikan dalam sifat modulus elastisitas antara tumpatan komposit dengan *filler* berbahan dasar sintetis dan non sintetis, meskipun secara rata-rata *filler* sintetis menunjukkan ketahanan modulus elastisitas yang lebih baik.

Kata Kunci: Modulus Elastisitas, Resin Komposit, Hidroksiapatit.

ABSTRACT

Background: Composite resin is a restorative material in dentistry that is widely used because it has good mechanical and aesthetic properties. Fillers in composites play an important role in increasing the resistance of the elastic modulus. This study compares the properties of the elastic modulus of composite fillings with non-synthetic and synthetic fillers. **Objective:** To determine the comparison of the properties of the elastic modulus between composite fillings with non-synthetic and synthetic fillers. **Method:** This study used a quasi-experimental design with a post-test with control group design approach. **Results:** The results of statistical tests using the One Sample Kolmogorov-Smirnov Test showed that the data were normally distributed ($p > 0.05$), while the independent T-test showed a significant difference between the two groups ($p < 0.05$). **Conclusion:** There is a significant difference in the properties of the elastic modulus between composite fillings with synthetic and non synthetic fillers, although on average synthetic fillers showed better elastic modulus resistance.

Keywords: Elastic Modulus, Composite Resin, Hydroxyapatite.

PENDAHULUAN

Di era moderen saat ini teknologi material kedokteran gigi terus dikembangkan, sebagian masyarakat di era modern ini menganggap bahwa penampilan yang menarik adalah suatu kebutuhan yang sangat penting. Masyarakat tidak hanya memperhatikan perawatan gigi dari segi menghilangkan rasa sakit dan fungsi pengunyahan, tetapi juga memperhatikan masalah estetik. Penampilan gigi berperan penting dalam menentukan keindahan wajah dan interaksi sosial. Jika gigi mengalami kerusakan maka keindahan estetikanya akan terganggu.

Seiring berkembangnya teknologi kedokteran gigi, bahan restorasi mengalami kemajuan dalam segi estetik, kekerasan dan kekuatan bahan terhadap tekanan kunyah. Dalam material kedokteran gigi bahan restorasi gigi yang di gunakan berasal dari berbagai macam bahan yang berbeda seperti polimer, keramik, logam dan resin komposit.

Resin komposit adalah salah satu bahan restorasi dalam bidang kedokteran gigi yang umum digunakan saat ini. Resin komposit memiliki keunggulan dalam bidang estetik karena sewarna dengan gigi dan mampu diaplikasikan secara langsung ke dalam kavitas dengan baik sehingga menguntungkan dalam segi waktu dan biaya. Resin komposit memiliki komponen utama yang terdiri dari tiga yaitu matriks resin organik, bahan pengisi anorganik (*filler*) dan bahan pengikat (*coupling agent*) yang mengikat antara bahan pengisi anorganik dan matriks resin, juga aktivator-aktivator diperlukan untuk polimerisasi resin. Komposisi bahan pengisi juga dapat bervariasi antara merek yang ada di pasaran dan dapat berupa *quartz*, *silica*, *zirkonium*, *strontium*, *barium* dan lain-lain. Resin Komposit memiliki beberapa sifat fisik dan mekanik. Sifat fisiknya terdiri dari *polymerization shrinkage*, penyerapan air dan kelarutan. Sifat mekanisnya terdiri dari kekuatan *fleksural*, modulus elastisitas dan kekasaran permukaan.

Modulus elastisitas merupakan perbandingan antara tegangan dan regangan aksial dalam deformasi yang elastis. Tegangan merupakan distribusi gaya per-unit luas, sedangkan regangan adalah perubahan panjang per-unit panjang bahan semula.

Perkembangan teknologi komposit tidak hanya pada komposit sintetis, akan tetapi juga mengarah pada komposit non sintetis. Komposit dengan bahan sintetis memang terlihat lebih menjanjikan dari segi ketahanan saat diberi beban, namun tidak sejalan dengan dampak setelah pemakaian apakah dapat di daur ulang dan menggunakan sumber terbaru. Sehingga penggunaan bahan sintetis beralih ke bahan non sintetis agar lebih ramah lingkungan.

Salah satu bahan non sintetis yang digunakan untuk material komposit berasal dari hewan yaitu tulang sapi. Tulang sapi memiliki komposisi yang hampir sama dengan tulang manusia,

memiliki komposisi seperti mineral, organik dan air yang sama. Tulang sapi dapat dimanfaatkan sebagai sumber hidroksiapatit serta kolagen untuk dijadikan implan pada tulang manusia. Kandungan hidroksiapatit dan kolagen pada tulang sapi hampir mencakup jumlah komposisi anorganik dan organik pada tulang tersebut. Pada komposisi anorganik tulang sapi terdiri atas 93% hidroksiapatit dan 7% β - trikalsium fosfat.

Hidroksiapatit (HA) merupakan senyawa yang memiliki kemiripan dengan bagian mineral dalam tulang. HA memiliki struktur Kristal monoklinik maupun heksagonal. Pemanfaatan hidroksiapatit dalam bidang medis khususnya dalam bidang kedokteran gigi terus dikembangkan dalam berbagai penelitian, salah satu contohnya adalah pemanfaatan hidroksiapatit sebagai bahan tumpatan.

Penelitian sebelumnya yang dilakukan oleh Risnayanti Anas 2023 menyatakan bahwa hidroksiapatit tulang sapi yang digunakan sebagai *filler* berpotensi untuk meningkatkan sifat kekerasan dari bahan tumpatan komposit. Meskipun kekerasan, sifat fisik dan sifat mekanik lainnya seperti kekerasan permukaan, modulus elastisitas juga harus dipertimbangkan

METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan metode *quasi-eksperimental* dengan desain *post-test only with control group design* untuk membandingkan modulus elastisitas tumpatan komposit berbahan non sintetis dan sintetis. Penelitian dilaksanakan di Laboratorium Metalurgi Fisik, Fakultas Teknik Mesin, Universitas Hasanuddin – Gowa, pada 22 November 2024 hingga 18 Januari 2025. Populasi penelitian adalah resin komposit dengan ukuran *filler* 0,4–0,5 μm . Sampel terdiri dari resin komposit non sintetis dengan *filler* hidroksiapatit tulang sapi dan resin komposit sintetis.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil

Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui modulus elastisitas resin komposit dengan *filler* bahan non sintetis (hidroksiapatit dari tulang sapi) dan juga sintetis (pabrikan). Senyawa hidroksiapatit diekstrak dari tulang sapi menggunakan metode hydrothermal alkaline. Kemudian dilakukan uji modulus elastisitas dengan alat *Universal Testing Machine* (Shimadzu, Jepang) di Laboratorium Metalurgi Fisik Fakultas Teknik Mesin Universitas Hasanuddin – Gowa.

Uji ini dilakukan dengan meletakkan sampel dengan posisi di tengah jarum panduan, lalu

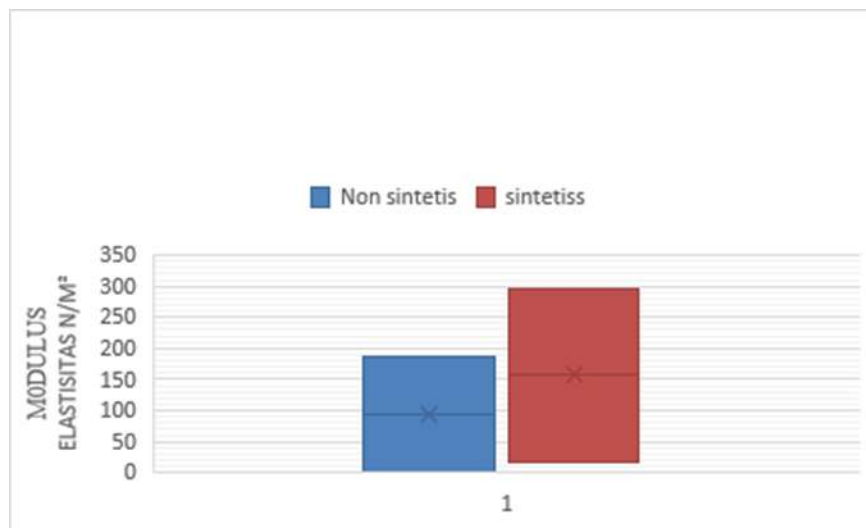
pemberian beban dengan posisi dijepit. Selanjutnya mesin dihidupkan dan diatur kecepatannya yaitu 0,5 mm/menit. Pengambilan data dilakukan dengan melihat monitor alat uji yang menunjukkan besarnya beban dalam angka tertentu (N) yang diperlukan sampai sampel menjadi fraktur.

Hasil penelitian tersebut dapat dilihat pada tabel 1

**Tabel 1 Hasil uji modulus elastisitas pada kedua kelompok sampel dalam
Newton/meter²**

	Kelompok	N	Mean (N/M ²)	Std. Deviation
Modulus Elastisitas	Sintetis	16	283195,69	21064,74
	Non Sintetis	16	185788,50	16234,05

Ket: N = Jumlah sampel, Mean = Nilai rata-rata



Gambar 1 Grafik hasil uji modulus elastisitas (N/m²)

Dari hasil penelitian ini, didapatkan nilai rerata modulus elastisitas komposit pada kelompok non sintetis adalah 283195,69 N/m² dan kelompok non sintetis adalah 185788,50 N/m².

Analisis Hasil Penelitian

Uji normalitas pada suatu data dikatakan berdistribusi normal jika nilai p-value > 0.05 dan dikatakan tidak berdistribusi normal jika nilai p-value < 0.05. Pada penelitian ini digunakan uji *Shapiro-Wilk* dengan hasil uji normalitas data didapatkan nilai p-value > 0.05

yang artinya data berdistribusi normal.

Berdasarkan hasil uji normalitas pada modulus elastisitas dari kedua kelompok sampel berdistribusi normal dimana perlakuan pada sampel komposit sintetis didapatkan p-value 0.000 yang artinya lebih kecil dari 0,05 dan untuk perlakuan pada sampel komposit non sintetis didapatkan p-value 0.037 yang artinya lebih besar dari 0,05. Selanjutnya dilakukan uji perbedaan rata-rata dari kedua kelompok sampel menggunakan uji *t independent*.

Hasil uji *t independent* dapat dilihat pada tabel 2

Tabel 2 Uji *t Independent*

	Kelompok	N	Mean (N/m ²)	p-value
Modulus Elastisitas	Sintetis	16	283195,69	0,001
	Non Sintetis	16	185788,50	
	Total	32		

Ket: Uji *t-independent* signifikan jika ($p < 0.05$)

Rerata nilai modulus elastisitas dari kelompok komposit sintetis sebesar 283195,69 N/m² dan kelompok komposit non sintetis sebesar 185788,50 N/m². Hasil uji statistik dengan menggunakan uji *t independent* memperlihatkan adanya perbedaan yang bermakna antara rata-rata nilai modulus elastisitas kelompok komposit alami dan kelompok komposit sintetis dengan nilai p sebesar 0,001.

Pembahasan

Modulus elastisitas merupakan parameter penting dalam menentukan kekuatan dan ketahanan suatu material terhadap deformasi elastis. Dalam penelitian ini, perbandingan modulus elastisitas antara komposit dengan *filler* non sintetis dan sintetis telah dianalisis untuk mengetahui efektivitas masing-masing jenis *filler* dalam memperkuat struktur komposit. *Filler* non sintetis yang digunakan adalah hidroksiapatit dari tulang sapi, sedangkan *filler* sintetis berasal dari material buatan pabrik dengan kontrol komposisi dan struktur yang lebih presisi. Perbedaan sifat fisik dan kimia antara kedua jenis *filler* ini diperkirakan memberikan dampak yang signifikan terhadap modulus elastisitas komposit yang dihasilkan.

Anas R dkk (2023) menunjukkan bahwa penggunaan HA tulang sapi dalam resin

komposit dapat meningkatkan kekerasan permukaan dan kekuatan tekan material. *filler* non sintetis seperti hidroksiapatit (HA) dari tulang sapi menawarkan alternatif yang lebih ramah lingkungan dan biokompatibel. HA memiliki struktur kimia yang mirip dengan jaringan keras gigi dan tulang, serta mampu mendukung regenerasi jaringan.

Hasil komposit non sintetis memiliki konsistensi atau viskositas yang lebih rendah dari pada komposit sintetis atau buatan pabrik. Hal ini mungkin disebabkan karena matriks polimer organik yang digunakan hanya UDMA dengan konsistensi rendah, tidak menggunakan bis-GMA yang dapat mengontrol konsistensi pada resin komposit. Hal ini sejalan dengan penelitian yang dilakukan oleh Islam MS, dkk (2023) yang menyatakan bahwa bis-GMA memiliki berat molekul tinggi dan memiliki viskositas yang lebih tinggi dibandingkan UDMA sehingga menjadikannya pilihan yang baik untuk matriks resin komposit. Bis-GMA bersifat sitotoksik dan dapat menyebabkan perubahan pada organ sensitif estrogen dan sel. Hal tersebut akan mempengaruhi modulus elastisitas komposit non sintetis dan hal ini terbukti dari besarnya rerata nilai modulus elastisitas komposit non sintetis yang lebih rendah bila dibandingkan dengan resin komposit sintetis.

Rendahnya modulus elastisitas komposit alami jika dibandingkan dengan komposit sintetis selain karena tanpa menggunakan bis-GMA, juga dapat disebabkan karena proses pencampuran yang kurang sempurna atau tidak merata dalam pembuatan komposit alami sehingga menyebabkan ketidakhomogenan. Tidak homogennya komposit yang dibuat menyebabkan penyebaran *filler* hidroksiapatitnya kurang merata, sedangkan fungsi *filler* adalah untuk memperkuat, mengurangi jumlah matriks, dan pengerutan akibat polimerisasi, selain itu juga berfungsi meningkatkan kekerasan, kekuatan (tekan, tarik, dan geser), modulus elastisitas, dan ketahanan terhadap keausan.

Penggunaan hidroksiapatit sebagai *filler* dapat menyebabkan kecilnya nilai modulus elastisitas dari resin komposit olahan sendiri. Hidroksiapatit dikenal memiliki biokompatibilitas yang baik sehingga cocok digunakan dalam aplikasi medis, terutama berkontak pada jaringan tubuh. Namun, kekurangannya adalah memiliki struktur yang porus dan bersifat rapuh, sehingga memiliki kekuatan ikat yang rendah terhadap permukaan bahan yang dilapisinya, modulus elastisitas yang rendah, mudah patah dan tidak mampu menahan beban dalam waktu jangka panjang karena sifat mekanis yang kurang baik.

Perbandingan hasil penelitian ini dengan penelitian terdahulu menunjukkan bahwa komposit dengan *filler* sintetis memiliki modulus elastisitas yang lebih tinggi dibandingkan

dengan beberapa jenis komposit yang telah dikembangkan sebelumnya, seperti halnya penelitian yang dilakukan oleh Matseevich (2020) tentang komposit kayu-polimer dengan *filler* kayu dan CaCO_3 menunjukkan kisaran modulus elastisitas sebesar $2,4 \times 10^9$ - $4,66 \times 10^9$ N/m^2 , yang menunjukkan peningkatan modulus elastisitas dengan penambahan *filler* anorganik.

Penelitian yang dilakukan Wu (2018) tentang komposit berbasis polietilena dengan *filler* $\text{Al}(\text{OH})_3$ menunjukkan bahwa modulus elastisitas mencapai puncaknya pada fraksi pengisi 40%. Jika dibandingkan dengan hasil penelitian saat ini, modulus elastisitas yang diperoleh untuk komposit dengan *filler* sintetis ($283195,50 \text{ N/m}^2$) masih lebih rendah dibandingkan dengan beberapa material berbasis polimer yang mengandung *filler* anorganik dalam jumlah besar, tetapi tetap menunjukkan keunggulan dibandingkan dengan beberapa komposit berbasis serat non sintetis.

Dari perbandingan penelitian sebelumnya, terlihat bahwa modulus elastisitas komposit dengan *filler* sintetis lebih tinggi dibandingkan dengan *filler* hidroksiapatit non sintetis, namun masih lebih rendah dibandingkan dengan beberapa komposit berbasis polimer dengan *filler* anorganik seperti CaCO_3 dan $\text{Al}(\text{OH})_3$. Hal ini menunjukkan bahwa meskipun *filler* sintetis meningkatkan modulus elastisitas secara signifikan, masih terdapat potensi untuk peningkatan lebih lanjut, misalnya melalui optimasi fraksi *filler* atau metode pencampuran yang lebih homogen.

Perbedaan modulus elastisitas yang signifikan ini dapat dijelaskan oleh karakteristik masing-masing *filler*. Hidroksiapatit non sintetis yang diekstraksi dari tulang sapi memiliki struktur yang lebih heterogen dengan kemungkinan adanya porositas lebih tinggi dibandingkan dengan *filler* sintetis yang dibuat dengan struktur yang lebih seragam dan kontrol yang lebih baik dalam ukuran partikel. Porositas dalam *filler* non sintetis dapat menyebabkan berkurangnya kekuatan tarik dan modulus elastisitas karena keberadaan rongga udara yang melemahkan struktur komposit. Sementara itu, *filler* sintetis memiliki densitas yang lebih tinggi dan distribusi partikel yang lebih seragam, sehingga memungkinkan interaksi yang lebih baik dengan matriks resin dan meningkatkan modulus elastisitas keseluruhan.

Dalam beberapa sampel komposit non sintetis, terdapat indikasi bahwa struktur materialnya lebih rentan terhadap fraktur dibandingkan dengan komposit sintetis. Hal ini didukung oleh nilai modulus elastisitas yang lebih rendah serta distribusi hasil uji yang lebih luas, menunjukkan bahwa *filler* non sintetis belum mampu memberikan kontribusi yang

optimal terhadap peningkatan modulus elastisitas. Meskipun demikian, nilai modulus elastisitas yang diperoleh masih dalam batas yang dapat diterima untuk aplikasi tertentu, terutama pada material yang membutuhkan fleksibilitas lebih tinggi

KESIMPULAN DAN SARAN

Resin komposit adalah bahan restorasi dalam bidang kedokteran gigi yang banyak digunakan karena memiliki sifat mekanik dan estetika yang baik. Filler dalam komposit berperan penting dalam meningkatkan ketahanan modulus elastisitas. Penelitian ini membandingkan sifat modulus elastisitas tumpatan komposit dengan *filler* berbahan dasar non sintetis dan sintetis. Mengetahui perbandingan sifat modulus elastisitas antara tumpatan komposit dengan *filler* berbahan dasar non sintetis dan sintetis. Penelitian ini menggunakan desain quasi-eksperimental dengan pendekatan *post-test with control group design*. Hasil uji statistik menggunakan *Shapiro-Wilk Test* menunjukkan data berdistribusi normal ($p > 0,05$), sementara uji T-independen menunjukkan terdapat perbedaan signifikan antara kedua kelompok ($p < 0,05$). Terdapat perbedaan signifikan dalam sifat modulus elastisitas antara tumpatan komposit dengan *filler* berbahan dasar non sintetis dan sintetis, meskipun secara rata-rata *filler* sintetis menunjukkan ketahanan modulus elastisitas yang lebih baik

Rekomendasi

1. Pada peneliti selanjutnya, disarankan dapat difokuskan pada peningkatan metode pemrosesan hidroksiapatit non sintetis untuk mengurangi porositas dan meningkatkan homogenitas ukuran partikel, sehingga dapat meningkatkan modulus elastisitasnya.
2. Pada peneliti selanjutnya, disarankan untuk melakukan penelitian lebih memperhatikan proses pencetakan dan intensitas sinar karena mempengaruhi modulus elastisitas yang dihasilkan.

DAFTAR PUSTAKA

- Kleiman AV, Velazques FA. Dental and undefined minimally invasive esthetic dentistry. 2019;76(1).
- Fitria TK, Riyadi S. The effect of composite brushing with different types of toothpaste on stain due to immersion in coffee, tea and cuko pempek water. Jurnal kesehatan gigi.2022;9(1);9.

- Harlinto JA, Usri K, Takarini V. Berbagai pertimbangan utama dokter gigi dalam memilih produk bahan tambal: Studi Observasional. *Padjadjaran Journal Of Dental Researchers and Students*.2023;7(2);114.
- Manurung R, dkk. Analisi kekuatan komposit yang diperkuat serat bambu menggunakan resin polyester dengan memvariasikan susunan serat secara acak dan lurus memanjang. *Journal of mechanical engineering*. 2020;2(1);28.
- Djustiana N, Karlina E, Cahyanto A, Hasratiningsih Z, Nurhayati R. Uji kekerasan resin komposit olahan sendiri dengan filler hidroksiapatit dari tulang ikan air tawar. *Jurnal material kedokteran gigi*.2018;2(7);45
- Hau Harra RR, Masturi, Yulianti I, Hau KS, Talu Ds . Modulus elastisitas bambu betung dengan variabel panjang. *Journal prosiding seminar nasional fisika*. 2016;5:38
- Budiantin SA, dkk. Exploration of bovine bone waste as source of bovine hydroxyapatite synthesis and its composite with Gelatinhy droxypropyl methyl cellulose as injectable bone substitute. *Journal clinical pharmacy*.2020:136.
- Rahmania. Sintesis dan karakteristik hidroksiapatit dari cangkang kerang darah (Anadara Granosa) sebagai bahan baku semen tambal gigi. *Jurnal teknosains*.2019;13(1);27.
- Afifah F, Cahyaningrum ES. Sintesis dan karakteristik hidroksiapatit dari tulang sapi menggunakan teknik kalsinasi. *UNESA journal of chemistry*.2020;9(3);191.
- Kumala RY, Prasasti A, Saputri SC. Perbedaan kekuatan tekanan resin komposit nanofiller pada perendaman obat kumur beralkohol dan non alkohol. *Journal of dentistry*.2020;4(1);294
- Damaru R, Novaringga A, Darmansyah, Ginting BS. Resin composit synthesis reinforced with banana tree fiber with carboxylic silica (Sio₂-COOH) addition as a nanofiller. *Indonesia journal of chemical science*.2021;10(1);22
- Anas R. Pemanfaatan hidroksiapatit tulang sapi sebagai filler terhadap peningkatan sifat kekerasan tumpatan komposit. 2023. 12.
- Azizi F, Ezoji F, Khafri S, Esmaeili B. Surface micro-hardness and wear resistance of a self adhesive flowable composite in comparison to conventional flowable composites. *Frontiers in dentistry*. 2023;20(10);5.
- Ferry AN. Utama MD. Jubhari EH. Addition Of Hydroxyapatite From Mangrove Crab (Scylla Serrata) Shell Powder To The Cementation Strength Of Glass Ionomer Cement. *Makassar Dental Journal*. 2024;13(1). 131-132 p.

- Milla LE, Indrani DJ. Hidroksiapatit, Alginat, dan Kitosan sebagai Bahan Scaffold Tulang: Studi Spektroskopi. *Dentika Dental Journal*. 2016;19(2):94
- Afifah F, Cahyaningrum SE. Sintesis dan Karakterisasi Hidroksiapatit dari Tulang Sapi (*Bos taurus*) Menggunakan Teknik Kalsinasi. *UNESA Journal of Chemistry*. 2020;9(3):190-191
- Zhang S. *Hydroxyapatite Coatings for Biomedical Applications*. New York; CRC Press: 2013.12-13
- Darwis D, Warastuti Y. Sintesis dan karakteristik komposit hidroksiapatit (HA) sebagai graft tulang sintetik. *Jurnal ilmiah aplikasi isotop dan radiasi*. 2015;4(2);145
- Hutabarat SG, Qodir TD, Setiawan H, Niviyanti RA. Sintesis komposit hidroksiapatit-lantanum oksida (HA-La₂O₃) dengan metode hidrotermal secara in-situ dan ex-situ. *Jurnal penelitian kimia*. 2019;15(2);288
- Mozartha M. Hidroksiapatit dan aplikasinya di bidang kedokteran gigi. *Cakradonya dental jurnal*. 2015;7(2);836
- Hatta R, Evolusi Dental Komposit Estetis. *Jurnal Material Kedokteran Gigi*. 2021;10(2):70
- Nurhapsari A, Kusuma ARP. Penyerapan air dan kelarutan resin komposit tipe *microhybrid*, *nanohybrid*, *packable* dalam cairan asam. *ODONTO Dental Journal*. 2018;5(1):69
- Sukaguchi R, Ferracane J, Powers J. *Craig's Restorative Dental Materials* 14th Ed. St. Louis; Elsevier: 2019. 147-148, 150, 152-153
- Rahmawati, suwito, Septia . Sintesis dan karakteristik hidroksiapatit dari cangkang telur ayam. *Jurnal kimia*. 2020;4(2);109
- Hatta R. Evolusi dental komposit estetis. *Jurnal material kedokteran gigi*. 2021;10(2);70.
- Islam MS, Nassar M, Elsayed MA, Jameel DB, Ahmad TT, Rahman MM. In vitro optical and physical stability of resin composite materials with different filler characteristics. *Polymers*. 2023;15(2121):2
- Hastratiningsih Z, Karlina E, Primasari VS. Analisis Kekuatan Tarik Diametral Resin Komposit Olahan Sendiri dengan Filler Hidroksiapatit dari Tulang Ikan Air Tawar. *Jurnal Material Kedokteran Gigi*. 2015;4(1):16
- Djustiana N, Karlina E, Cahyanto A, Hasrahtiningsih Z, Nurhayati R. Uji kekerasan resin komposit olahan sendiri dengan *filler* hidroksiapatit dari tulang ikan air tawar. *Jurnal Material Kedokteran Gigi*. 2018;2(7):46-47

- Hayajneh MT, Al-Shrida MM, Al-Oqla FM. Mechanical, thermal, and tribological characterization of bio-polymeric composites: A comprehensive review. *e-Polymers*. 2022;22(1):641-663.
- Liu C, Xu M, Wang Y. Exploring the potential of hydroxyapatite-based materials in biomedicine: A comprehensive review. *Mater Sci Eng R Rep*. 2024;161
- Rajkumar K, Nambiraj KM, Ramraji K, Khan BSH. Influence of silicon filler size and concentration on thermal stability and erosion wear resistance of polymer composite. *Silicon*. 2022;14(15):9595-9608.
- Chandra Sekhara Rao PV. Study on Effects of Matrix Modifications on the Properties of Polymeric Composites by using NDT technique. *Mater Today Proc*. 2021;44:166.