

Laporan Penelitian

Perbedaan kecepatan degradasi gel berbasis madu *Heterotrigona itama* berdasarkan nilai indeks kristalinitas: Studi eksperimental

Levi Natya Alus¹, Silvia Anitasari^{2,4*},
Khemasili Kosala³, Sjarif Ismail³,
Sinar Yani^{4,5}

*Korespondensi:
silvia.anitasari@fk.unmul.ac.id

Submisi: 03 Mei 2025
Revisi : 25 mei 2025
Penerimaan: 27 Juni 2025
Publikasi Online: 30 Juni 2025
DOI: [10.24198/pjdrs.v9i2.63110](https://doi.org/10.24198/pjdrs.v9i2.63110)

¹Program Studi Kedokteran Gigi, Fakultas Kedokteran Gigi, Universitas Mulawarman, Samarinda, Indonesia

²Departemen Ilmu Material dan Teknologi Kedokteran Gigi, Fakultas Kedokteran Gigi, Universitas Mulawarman, Samarinda, Indonesia

³Departemen Farmakologi, Fakultas Kedokteran, Universitas Mulawarman, Samarinda, Indonesia

⁴Departemen Mikrobiologi, Fakultas Kedokteran, Universitas Mulawarman, Samarinda, Indonesia

⁵Departemen Oral Biologi, Fakultas Kedokteran Gigi, Universitas Mulawarman, Samarinda, Indonesia

ABSTRAK

Pendahuluan: Pengaplikasian *dental topical* merupakan tindakan preventif guna mencegah kerusakan lapisan gigi dan salah satu kandidatnya adalah gel berbasis madu *Heterotrigona itama*. Karakteristiknya yang kental dan lengket dapat memberikan perlekatan yang erat sehingga tidak mudah terdegradasi. Kecepatan degradasi dari gel ini dapat dianalisis dari nilai indeks kristalinitas menggunakan FTIR. Selain itu, komponen pendukung dapat diketahui melalui gugus fungsi. Tujuan penelitian ini adalah untuk menganalisis perbedaan kecepatan degradasi gel berbasis madu *Heterotrigona itama* berdasarkan nilai indeks kristalinitas dan keberadaan gugus fungsi pendukung. **Metode:** Jenis penelitian berupa *true experimental* menggunakan FTIR-ATR Bruker Alpha II dan *software origin*. Sebanyak 25 gigi dikelompokkan menjadi 5 kelompok perlakuan berupa pengaplikasian gel berbasis madu *Heterotrigona itama* 10%, 12,5% dan 15%, *dental topical application* sebagai kontrol positif dan gel CMC Na 3,5% sebagai kontrol negatif. Analisis statistika yang digunakan, yaitu *one way ANOVA* dan *post hoc test Games Howell*. **Hasil:** Rerata nilai indeks kristalinitas gel berbasis madu *Heterotrigona itama* 10%, 12,5% dan 15% berurutan sebesar $86,14\% \pm 2.91161$, $86,60\% \pm 2.73380$, dan $87,88\% \pm 2.59568$. Gugus fungsi pendukung meliputi O-H; C=O; C-H serta C-O. Elusidasi senyawa kimia, yaitu *carboxylic acid*. Hasil uji ANOVA menunjukkan adanya perbedaan signifikan ($p < 0,05$), uji statistika antar kelompok perlakuan menunjukkan ada perbedaan signifikan secara nyata antara gel berbasis madu *Heterotrigona itama* 10%, 12,5% dan 15% terhadap kontrol positif dan kontrol negatif. **Simpulan:** Terdapat perbedaan kecepatan degradasi gel berbasis madu *Heterotrigona itama* berdasarkan nilai indeks kristalinitas. Gel berbasis madu *Heterotrigona itama* 15% tidak mudah mengalami degradasi pada permukaan gigi dibandingkan kelompok perlakuan lain dikarenakan memiliki nilai indeks kristalinitas tertinggi.

KATA KUNCI: Gel berbasis madu *Heterotrigona itama*, FTIR, kecepatan degradasi, indeks kristalinitas, gugus fungsi

The difference of *Heterotrigona itama* honey gel degradation rate based on crystallinity index: Study experimental

ABSTRACT

Introduction: The application of *dental topical agents* is a preventive measure to protect dental surfaces, and one potential candidate is a *Heterotrigona itama* honey gel. Its thick and sticky characteristics allow for strong adhesion, making it less susceptible to degradation. The degradation rate of this gel can be analyzed through the crystallinity index value using FTIR. In addition, supporting components can be identified through functional group analysis. The purpose of this research was to analyze the difference degradation rate of *Heterotrigona itama* honey gel based on its crystallinity index and functional groups. **Methods:** The type of this research is a *true experimental study* utilizing FTIR-ATR Bruker Alpha II and *origin software*. A total of 25 teeth were divided into 5 groups with 10%, 12.5% and 15% *Heterotrigona itama* honey gels application, a *dental topical application* as the positive control and a 3,5% CMC Na gel as the negative control. The statistical analysis used was *one way ANOVA* and the *Games Howell post hoc test*. **Results:** The average crystallinity index values of 10%, 12.5% 15% *Heterotrigona itama* honey gels were $86,14\% \pm 2.91161$, $86,60\% \pm 2.73380$ and $87.88\% \pm 2.59568$ respectively. The functional groups identified include O-H, C=O, C-H and C-O. Elucidation of chemical compounds showed the presence of *carboxylic acid*. The results of ANOVA showed significant differences ($p < 0.05$). The statistical test between treatments showed a statistically significant difference between 10%, 12,5% and 15% *Heterotrigona itama* honey gels compared to the positive and negative controls. **Conclusions:** There is a difference in the degradation rate of *Heterotrigona itama* honey gel based on crystallinity index. The 15% *Heterotrigona itama* honey gel was less prone to degradation on the tooth surface compared to other treatment groups, as it had the highest crystallinity index.

KEY WORDS: *Heterotrigona itama* honey gel, FTIR, degradation rate, crystallinity index, functional groups

Sitasi : Alus, LN; Anitasari, S; Kosala K; Ismail S dan Yani S. Perbedaan kecepatan degradasi gel berbasis madu *Heterotrigona itama* berdasarkan nilai indeks kristalinitas: studi eksperimental. Padjadjaran Journal of Dental Researchers and Students. 2025;9(2):157-167. DOI: [10.24198/pjdrs.v9i2.63110](https://doi.org/10.24198/pjdrs.v9i2.63110). Copyright: ©2025 by Padjadjaran Journal of Dental Researchers and Students. Submitted to Padjadjaran Journal of Dental Researchers and Students for possible open access publication under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

PENDAHULUAN

Permasalahan karies gigi sampai saat ini masih menjadi problematika yang sangat serius, hal ini terlihat dari banyaknya ditemukan masyarakat yang mengalami karies gigi. Berdasarkan data survei kesehatan Indonesia, rerata proporsi masalah penderita karies gigi di Indonesia mencapai angka 82,8%.¹ Hal ini menunjukkan bahwa 8 dari 10 orang penduduk Indonesia masih menderita karies gigi. Etiologi utama terjadinya karies gigi berawal dari kebiasaan seringnya mengonsumsi makanan manis dan asam yang memicu respon aktif bakteri *Streptococcus mutans* dan *Lactobacillus acidophilus* sehingga mengakibatkan kekuatan lapisan pelindung gigi menjadi melemah dan rusak.²⁻⁴ Tindakan preventif guna menangani kasus ini supaya tidak menjadi lebih parah dapat dilakukan dengan beberapa pendekatan baik secara mekanis maupun kimiawi.

Salah satu tindakan preventif secara kimiawi, yaitu dengan pengaplikasian produk *dental topical application*.⁵ *Dental topical application* merupakan salah satu produk yang dapat berperan dalam melindungi permukaan gigi dan agen perantara *fluoride* guna meningkatkan remineralisasi gigi.⁶ Namun, produk ini memiliki keterbatasan, yaitu mudah mengalami degradasi pada permukaan gigi. Beberapa warna produk *dental topical application* juga dapat mempengaruhi visualisasi estetik gigi sehingga pasien menjadi kurang percaya diri. Selain itu, rasa yang tidak enak membuat pasien menjadi kurang nyaman.⁷ Beberapa produk *dental topical application* juga memiliki harga yang relatif tinggi sehingga penggunaannya sangat terbatas bagi pasien.

Salah satu kandidat produk *dental topical application* berbasis bahan alam adalah madu *Heterotrigona itama*. Madu *Heterotrigona itama* merupakan produk hasil kerja koloni lebah kelulut. Keunggulan utama dari madu ini, yaitu dapat mengeliminasi bakteri *Streptococcus mutans* dan *Lactobacillus acidophilus* yang menjadi salah satu penyebab utama kerusakan lapisan permukaan gigi. Hal ini didukung oleh penelitian Susilowati & Azkia⁸ serta Wu *et al.*,⁹ madu kelulut memiliki kemampuan dalam menghambat aktivitas bakteri *Streptococcus mutans* dan *Lactobacillus acidophilus* penyebab karies gigi. Madu juga memiliki kandungan levulosa yang dapat menciptakan karakteristik berupa cairan kental dan lengket sehingga mudah memberikan perlekatan yang erat.¹⁰

Berbeda dengan kandungan makanan seperti coklat yang memiliki kandungan gula merusak gigi yang tinggi, kandungan levulosa pada madu bersifat tidak merusak lapisan permukaan gigi. Madu juga memiliki kemampuan dalam meningkatkan laju aliran saliva sehingga dapat berperan sebagai *self cleanching* guna mencegah kerusakan lapisan permukaan gigi. Hal ini didukung oleh penelitian dari Ibrahim *et al.*,¹¹ bahwa laju aliran saliva meningkat drastis pasca 1 bulan aplikasi madu. Madu juga dapat berfungsi sebagai *buffering* guna meningkatkan intensitas pH saliva dalam rongga mulut sehingga bisa mencegah kerusakan lapisan permukaan gigi. Hal ini diperkuat oleh penelitian dari Yanti *et al.*,¹² pasca aplikasi madu terjadinya peningkatan pH saliva rongga mulut manusia menjadi netral. Selain itu, kandungan hidrogen peroksida dari madu mampu memberikan efek nyata memutihkan gigi.¹³ Pengonsumsi madu kelulut bisa dikatakan aman dikonsumsi dan tidak memberikan efek serius yang dapat membahayakan bagi tubuh.¹⁴

Ditinjau dari segi sediaan, pengembangan produk madu *Heterotrigona itama* sebagai pelindung permukaan gigi lebih cocok dibuat dalam sediaan gel. Hal ini dikarenakan gel memiliki kemampuan stabilitas yang baik dan konsistensinya yang bersifat stabil.¹⁵ Akan tetapi, warna visual kuning coklat dari gel madu *Heterotrigona itama* akan berpengaruh pada estetika gigi sehingga perlu campuran formulasi dari *baking soda*. Bahan ini merupakan salah satu bahan tambahan yang dapat memberikan efek memutihkan pada suatu produk.¹⁶

Penentuan nilai indeks kristalinitas merupakan salah satu indikator terpenting guna menentukan kecepatan degradasi material atau sebaliknya pada permukaan gigi. Penentuan nilai ini dapat dianalisis menggunakan sebuah instrumen, yaitu *fourier transform infrared* (FTIR). FTIR merupakan perangkat spektroskopi inframerah yang mampu mengidentifikasi puncak spektrum atau *peak* dari gugus fungsi yang teridentifikasi.¹⁷ Selain itu, FTIR juga dapat digunakan untuk menganalisis dan mengkalkulasi nilai indeks kristalinitas yang diperoleh dari keberadaan *peak* kristalin dan amorf.¹⁸ Kalkulasi nilai indeks kristalinitas dapat dihitung menggunakan persamaan matematis, yaitu perbandingan nilai

kristalin dengan penjumlahan nilai keseluruhan (nilai kristalin dan nilai amorf).^{19–21} Apabila nilai indeks kristalinitas suatu material tinggi, maka kemungkinan terjadi degradasi sangat rendah dan bersifat lebih stabil. Akan tetapi, apabila material memiliki fase amorf yang tinggi, maka berpotensi cepat mengalami degradasi dan dapat merusak *coating*.^{22,23}

Pengembangan dan informasi keilmiah terkait penelitian ini masih sangat minim sehingga perlu dilakukan penelitian secara holistik dan peneliti tertarik untuk melakukan penelitian tersebut. Adapun hipotesis penelitian ini, yaitu gel berbasis madu *Heterotrigona itama* tidak mudah mengalami degradasi pada permukaan gigi. Penelitian ini juga menawarkan kebaruan berkaitan dengan nilai indeks kristalinitas dan kecepatan degradasi material. Sebagian besar studi ilmiah sebelumnya mengenai madu *Heterotrigona itama* masih terbatas pada pengujian aktivitas antibakteri. Kajian mengenai pengembangan jenis sediaan dan kecenderungan gel berbasis madu *Heterotrigona itama* mudah mengalami degradasi atau aus pada permukaan gigi juga masih jarang diteliti. Oleh karena itu, dengan melakukan pendekatan eksperimental yang memadukan nilai indeks kristalinitas dan didukung dengan keberadaan gugus fungsi. Tujuan penelitian ini adalah untuk menganalisis perbedaan kecepatan degradasi gel berbasis madu *Heterotrigona itama* berdasarkan nilai indeks kristalinitas dan keberadaan gugus fungsi pendukung.

METODE

Jenis penelitian yang dipilih, yaitu *true experimental* dengan desain berupa *randomized controlled trial post test only control group design*. Jenis penelitian seperti ini memungkinkan untuk didapatkan hasil intervensi secara lebih akurat melalui perbandingan antara kelompok uji dan kelompok kontrol.

Estimasi penelitian berlangsung dari bulan Oktober hingga Desember 2024 di 6 titik tempat berbeda yang menjadi pusat objek penelitian. Diantaranya terletak di wilayah Universitas Mulawarman meliputi Laboratorium Budidaya Hutan (Sub Laboratorium Perlindungan Hutan), Laboratorium Farmakologi, *Skill Lab* Kedokteran Gigi dan *Integrated Laboratory*. Selain itu, pusat pengambilan madu *Heterotrigona itama* terletak di Lubuk Sawah. Terakhir, pusat pengambilan gigi terletak di Puskesmas Air Putih.

Teknik pengambilan sampel, yaitu *simple random sampling*. Jumlah ukuran sampel dikalkulasi menggunakan rumus Federer. Sampel gigi uji yang digunakan, yaitu gigi anterior *maxilla* maupun mandibula sebanyak 25 gigi yang dipilih secara acak oleh peneliti berdasarkan kriteria inklusi dan eksklusi lalu dikelompokkan menjadi 5 kelompok perlakuan. Kelima kelompok perlakuan tersebut terdiri dari kelompok uji F1 (Gigi yang diaplikasikan gel berbasis madu *Heterotrigona itama* 10%), kelompok uji F2 (Gigi yang diaplikasikan gel berbasis madu *Heterotrigona itama* 12,5%), kelompok uji F3 (Gigi yang diaplikasikan gel berbasis madu *Heterotrigona itama* 15%), kelompok kontrol positif (Gigi yang diaplikasikan *dental topical application clinpro white varnish*) dan kelompok kontrol negatif (Gigi yang diaplikasikan gel CMC Na 3,5%) dengan pengulangan sampel sebanyak 5 kali yang diintervensikan oleh peneliti.

Tahapan awal penelitian dimulai dari pengambilan madu dan lebah kelulut. Madu yang tertampung dalam propolis dikumpulkan dengan cara menghisap madu menggunakan vakum penyedot madu hingga terkumpul sebanyak 250 ml. Dilanjutkan dengan pengambilan lebah kelulut sebanyak 2 ekor guna identifikasi binomial nomenklatur. Sampel 2 ekor lebah kelulut dikirim dan diserahkan kepada laboran Laboratorium Budidaya Hutan. Hasil identifikasi binomial nomenklatur harus membuktikan bahwa madu yang diambil merupakan madu *Heterotrigona itama*.

Tahapan berikutnya, yaitu dilakukan pembuatan basis gel CMC Na 3,5%. Bahan dan alat yang dibutuhkan disiapkan terlebih dahulu. Selanjutnya, dilakukan penimbangan bubuk CMC Na 7 gram. Kemudian, masukkan 200 ml *aquadest* ke gelas beker dan dipanaskan diatas *hot plate*. Apabila *aquadest* sudah panas, CMC Na dicampurkan ke gelas beker dan dihomogenkan. Basis gel yang telah jadi dimasukkan ke dalam *laboratory bottle blue cap* dan didiamkan beberapa jam lalu dimasukkan ke dalam *freezer*. Kemudian, basis gel CMC Na 3,5% siap diformulasikan dengan madu *Heterotrigona itama*.

Formulasi pembuatan gel berbasis madu *Heterotrigona itama* 10%, 12,5% dan 15% dimulai dengan memasukkan basis gel CMC Na 3,5% ke dalam gelas sloki kaca

menggunakan pipet tetes plastik dan *eppendorf micropipette*. Kemudian timbang *baking soda* hingga mencapai massa 10 gram. Selanjutnya *baking soda* yang telah ditimbang dimasukkan ke dalam gelas sloki dan dihomogenkan. Tambahkan madu *Heterotrigona itama* sesuai dengan konsentrasi yang dirancang menggunakan pipet tetes plastik dan *eppendorf micropipette* lalu dihomogenkan kembali. Gel madu *Heterotrigona itama* yang telah homogen dituangkan ke botol vial yang telah disterilkan dan siap diaplikasikan di permukaan gigi.

Pengumpulan elemen gigi dilakukan di Puskesmas Air Putih. Elemen gigi yang digunakan, yaitu gigi ekstraksi anterior *maxilla* dan *mandibula* yang dikumpulkan sebanyak-banyaknya lalu dibersihkan dan dibilas dengan air mengalir. Jumlah elemen gigi yang diperoleh sebanyak 50 gigi. Kemudian, dilakukan pemilihan elemen gigi oleh peneliti berdasarkan kriteria inklusi, diantaranya kondisi non karies di permukaan gigi dan kriteria eksklusi meliputi gigi dengan cacat perkembangan, resorpsi akar, fraktur dan pernah dirawat konservatif. Setelah diidentifikasi didapatkan sebanyak 25 gigi yang akan diaplikasikan dengan kelompok perlakuan lalu dimasukkan menggunakan pinset dental ke dalam *mini plastic tubes* berisi larutan *saline* yang telah diberi kode penomoran sesuai dengan kelompok intervensi. Hal ini bertujuan untuk menyesuaikan dengan kondisi rongga mulut manusia pada umumnya.

Tahapan berikutnya berupa pemotongan gigi menggunakan *handpiece highspeed* dan bur preparasi. Ukuran gigi yang dibentuk sekitar 0,5 x 0,5 cm. Hasil gigi yang telah dipotong dibilas dengan air mengalir. Kemudian gigi diletakkan ke dalam *mini plastic tubes* dan siap untuk dioleskan.

Selanjutnya, dilakukan tahapan perlakuan dengan masing-masing gigi dioleskan gel madu *Heterotrigona itama* formulasi konsentrasi 10%, 12,5%, 15%, *dental topical application clinpro white varnish* dan gel CMC Na 3,5% menggunakan *dental disposable micro applicator* ke seluruh permukaan gigi. Kemudian, dikeringkan dengan *three way syringe* sekitar 5 menit. Setelah kering, hasil gigi yang dioles dimasukkan ke dalam *mini plastic tubes* menggunakan pinset dental. Hasil kelompok perlakuan dikirim ke laboratorium untuk dianalisis menggunakan FTIR-ATR.

Sampel yang telah diserahkan ke laboratorium, dianalisis menggunakan FTIR-ATR *Bruker Alpha II* oleh laboran. Hasil analisis data yang didapatkan berupa format (*.txt) dan (*.pdf). Hasil data yang telah diperoleh akan diinterpretasikan dan dianalisis oleh peneliti.

Data hasil FTIR-ATR *Bruker Alpha II* dilakukan analisis nilai indeks kristalinitas dan gugus fungsi menggunakan bantuan perangkat lunak *software origin*. *Software origin* dapat digunakan untuk membantu dalam menganalisis nilai indeks kristalinitas suatu material. Data olahan dari *software origin* didapatkan berupa nilai kristalin serta nilai keseluruhan (penjumlahan nilai kristalin dan nilai amorf). Nilai tersebut dimasukkan ke dalam persamaan indeks kristalinitas (%), yaitu perbandingan antara nilai kristalin dengan nilai keseluruhan (penjumlahan nilai kristalin dan nilai amorf) dikali 100.

Selanjutnya, data kualitatif dianalisis secara deskriptif dari interpretasi gugus fungsi yang teridentifikasi dan data kuantitatif dianalisis secara statistika dari nilai indeks kristalinitas menggunakan bantuan *software IBM SPSS statistic 26*. Metode uji statistik yang dipilih meliputi uji statistika *one way ANOVA* serta *post hoc test Games Howell*. Apabila *p-value* < 0,05, maka hasil penelitian ini adalah adanya perbedaan signifikan secara nyata indeks kristalinitas antara tiap kelompok perlakuan. Namun, apabila *p-value* > 0,05, maka kesimpulan penelitian ini adalah tidak adanya perbedaan signifikan secara nyata indeks kristalinitas antara tiap kelompok perlakuan.

HASIL

Berdasarkan hasil kalkulasi analisis nilai rerata indeks kristalinitas (Tabel 1), gel berbasis madu *Heterotrigona itama* 15% memiliki nilai indeks kristalinitas tertinggi dengan rerata sebesar $87,88\% \pm 2.59568$. Kemudian disusun oleh gel berbasis madu *Heterotrigona itama* 12,5% dengan nilai indeks kristalinitas rerata sebesar $86,60\% \pm 2.73380$. Terakhir, gel berbasis madu *Heterotrigona itama* 10% memiliki nilai indeks kristalinitas rerata sebesar $86,14\% \pm 2.91161$. Nilai dari ketiga kelompok perlakuan ini juga lebih tinggi dibandingkan kelompok kontrol positif (*Dental topical application clinpro white varnish*) dengan nilai

indeks kristalinitas rerata sebesar $69,70\% \pm 3.92498$ dan kelompok kontrol negatif (Gel CMC Na 3,5%) dengan nilai indeks kristalinitas rerata sebesar $59.57\% \pm 4.98144$.

Selain itu, dilihat dari analisis perbandingan antara gel berbasis madu *Heterotrigona itama* 10%, 12,5% dan 15%. Nilai indeks kristalinitas tertinggi diperoleh dari gel berbasis madu *Heterotrigona itama* 15%. Kemudian, disusul oleh gel berbasis madu *Heterotrigona itama* 12,5%. Terakhir, disusul oleh gel berbasis madu *Heterotrigona itama* 10%. Hal ini membuktikan bahwa tingginya konsentrasi madu yang diberikan akan mempengaruhi tingginya nilai indeks kristalinitas sehingga material tersebut tidak cepat dan tidak mudah mengalami degradasi pada permukaan gigi.

Tabel 1. Nilai indeks kristalinitas

No	Perlakuan	Indeks kristalinitas
		Rerata $\pm$ SD
1	F1	$86,14\% \pm 2.91161$
2	F2	$86,60\% \pm 2.73380$
3	F3	$87,88\% \pm 2.59568$
4	Kontrol Positif	$69,70\% \pm 3.92498$
5	Kontrol Negatif	$59.57\% \pm 4.98144$

Keterangan :

F1 : Gel berbasis madu *Heterotrigona itama* 10%

F2 : Gel berbasis madu *Heterotrigona itama* 12,5%

F3 : Gel berbasis madu *Heterotrigona itama* 15%

Kontrol positif : *Dental topical application clinpro white varnish*

Kontrol negatif : Gel CMC Na 3,5%

Berdasarkan hasil analisis gugus fungsi (Tabel 2 dan gambar 1), gel berbasis madu *Heterotrigona itama* 10%, 12,5% dan 15% diprediksi terdapat keberadaan gugus fungsi O-H yang mengalami *stretching* pada rentang *peak wavenumber* 3304 cm^{-1} , 3288 cm^{-1} dan 3289 cm^{-1} . Keberadaan komponen ini dapat diinterpretasikan sebagai gugus hidroksil. Gel berbasis madu *Heterotrigona itama* 10%, 12,5% dan 15% juga diprediksi terdapat keberadaan gugus fungsi C=O yang mengalami *stretching* di rentang *peak wavenumber* 1640 cm^{-1} , 1641 cm^{-1} dan 1641 cm^{-1} .

Keberadaan komponen ini dapat diinterpretasikan sebagai gugus karbonil. Gugus fungsi ini juga terlihat pada kelompok kontrol positif (Gigi yang diaplikasikan *dental topical application clinpro white varnish*) dan kelompok kontrol negatif (Gigi yang diaplikasikan gel CMC Na 3,5%) di rentang *peak wavenumber* 1724 cm^{-1} dan 1640 cm^{-1} .

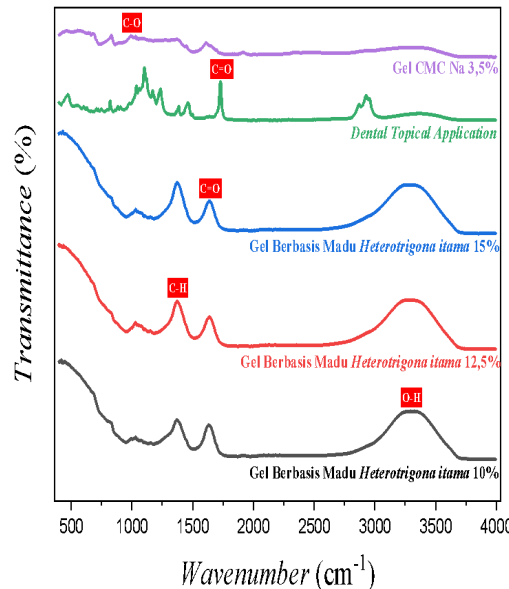
Tabel 2. Perbandingan gugus fungsi yang teridentifikasi

	Peak wavenumber (cm^{-1})	Referensi (cm^{-1})	Gugus fungsi
Gel Berbasis Madu <i>Heterotrigona itama</i> 10%	3304	2500 – 4000	- O-H <i>stretching</i>
	1640	1640 – 1760	- C=O <i>stretching</i>
	1370	1175 – 1455	- C-H <i>bending</i>
	1028	950 – 1175	- C-O <i>stretching</i>
	3288	2500 – 4000	- O-H <i>stretching</i>
Gel Berbasis Madu <i>Heterotrigona itama</i> 12,5%	1641	1640 – 1760	- C=O <i>stretching</i>
	1371	1175 – 1455	- C-H <i>bending</i>
	1024	950 – 1175	- C-O <i>stretching</i>
	3289	2500 – 4000	- O-H <i>stretching</i>
	1641	1640 – 1760	- C=O <i>stretching</i>
Gel Berbasis Madu <i>Heterotrigona itama</i> 15%	1373	1175 – 1455	- C-H <i>bending</i>
	1020	950 – 1175	- C-O <i>stretching</i>

Gel berbasis madu *Heterotrigona itama* 10%, 12,5% dan 15% juga diprediksi terdapat keberadaan gugus fungsi C-H yang mengalami *bending* di rentang *peak wavenumber* 1370 cm^{-1} , 1371 cm^{-1} dan 1373 cm^{-1} . Keberadaan komponen tersebut juga terlihat pada kelompok kontrol positif pada rentang *peak wavenumber* 2941 cm^{-1} dan 1231 cm^{-1} , sedangkan pada kelompok kontrol negatif terlihat pada rentang *peak wavenumber*

1367 cm^{-1} . Gel berbasis madu *Heterotrigona itama* 10%, 12,5% dan 15% juga diperkirakan terdapat keberadaan gugus fungsi C-O yang mengalami *stretching* pada rentang *peak wavenumber* 1028 cm^{-1} , 1024 cm^{-1} dan 1020 cm^{-1} , sedangkan di kelompok kontrol positif keberadaan gugus fungsi tersebut terlihat pada rentang *peak wavenumber* 1100 cm^{-1} dan di kelompok kontrol negatif pada rentang *peak wavenumber* 994 cm^{-1} .

Adanya keberadaan C-O, C=O serta O-H akan membentuk ikatan struktur senyawa rantai kimia. Elusidasi struktur senyawa rantai kimia dari keberadaan gugus fungsi yang teridentifikasi adalah *carboxylic acid*.



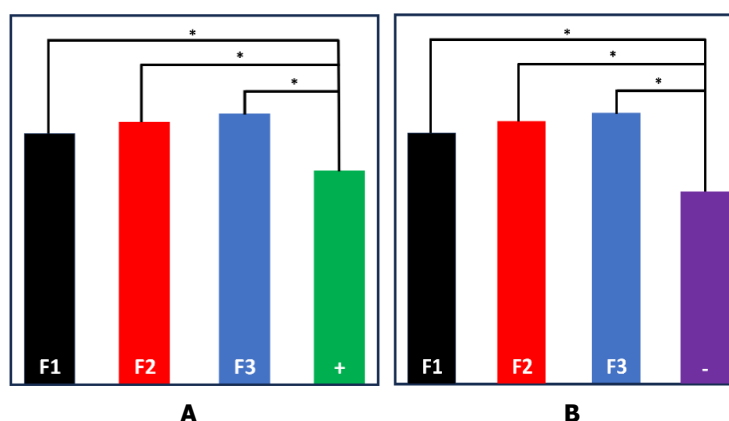
Gambar 1. Gambaran hasil interpretasi keberadaan gugus fungsi

Berdasarkan hasil analisis statistika *one way ANOVA* (Tabel 3), diperoleh nilai *p-value* sebesar 0,001. Temuan ini menunjukkan bahwa terdapat perbedaan signifikan nilai indeks kristalinitas dari gel berbasis madu *Heterotrigona itama* pada formulasi konsentrasi 10%, 12,5% dan 15% (*p-value* < 0,05).

Tabel 3. Hasil analisis statistika <i>one way ANOVA</i>	
Perlakuan	<i>p-value</i>
Gel Berbasis Madu <i>Heterotrigona itama</i> 10%	0,001*
Gel Berbasis Madu <i>Heterotrigona itama</i> 12,5%	
Gel Berbasis Madu <i>Heterotrigona itama</i> 15%	
Dental Topical Application Clinpro White Varnish	
Gel CMC Na 3,5%	

Keterangan :
p-value < 0,05 menandakan perbedaan bermakna secara signifikan diberi tanda (*)

Berdasarkan hasil analisis statistika *post hoc test Games Howell* (Gambar 2 dan tabel 4) dari kelompok perlakuan F1, F2 dan F3 dibandingkan dengan kelompok kontrol positif didapatkan hasil, yaitu adanya perbedaan signifikan secara nyata indeks kristalinitas antara gel berbasis madu *Heterotrigona itama* pada formulasi konsentrasi 10%, 12,5% dan 15% dengan produk *dental topical application clinpro white varnish* (*p-value* < 0,05). Hal serupa juga, pada kelompok perlakuan F1, F2 dan F3 dibandingkan dengan kelompok kontrol negatif didapatkan hasil, yaitu adanya perbedaan signifikan secara nyata indeks kristalinitas antara gel berbasis madu *Heterotrigona itama* pada formulasi konsentrasi 10%, 12,5% dan 15% dengan gel CMC Na 3,5% (*p-value* < 0,05).



Gambar 2. (A) Grafik *post hoc test Games Howell* terhadap kontrol positif
(B) Grafik *post hoc test Games Howell* terhadap kontrol negatif

Tabel 4. Hasil analisis statistika *post hoc test Games Howell*

Perlakuan	p1	p2
Gel Berbasis Madu <i>Heterotrigona itama</i> 10%	0,001*	0,000*
Gel Berbasis Madu <i>Heterotrigona itama</i> 12,5%	0,001*	0,000*
Gel Berbasis Madu <i>Heterotrigona itama</i> 15%	0,000*	0,000*
Dental Topical Application Clinpro White Varnish	-	0,046*
Gel CMC Na 3,5%	0,046*	-

Keterangan :

p-value < 0,05 menandakan perbedaan bermakna secara signifikan diberi tanda (*)

p1 : Hasil uji analisis statistika *post hoc test Games Howell* terhadap dental topical application clinpro white varnish

p2 : Hasil uji analisis statistika *post hoc test Games Howell* terhadap gel CMC Na 3,5%

PEMBAHASAN

Berdasarkan hasil penelitian, nilai indeks kristalinitas gel berbasis madu *Heterotrigona itama* 10%, 12,5% dan 15% tergolong tinggi dibandingkan kelompok kontrol positif (*Dental topical application clinpro white varnish*) dan kontrol negatif (Gel CMC Na 3,5%). Kondisi ini menyebabkan tidak cepat terdegradasinya permukaan gigi yang dioleskan karena material tersebut memiliki nilai indeks kristalinitas yang tinggi. Temuan penelitian ini sejalan dengan studi ilmiah oleh Polatidou *et al.*,²⁴ madu yang berasal dari pakan katun dan timi memiliki persentase yang tinggi, yakni sebesar $77,43 \pm 0,30$ dan $72,72 \pm 4,39$. Nilai indeks kristalinitas ini penting untuk dianalisis karena berpengaruh terhadap kecepatan degradasi material.²⁵ Selain itu, hal ini serupa dengan dental topical application yang umum digunakan sebagai pelindung permukaan gigi dengan nilai indeks kristalinitas rerata sebesar $69,70\% \pm 3,92498$ sehingga dapat digunakan sebagai bahan coating karena tidak mudah terdegradasi pada permukaan giginya.

Ilmu material kedokteran gigi merupakan cabang ilmu yang membahas topik seputar komposisi, interaksi antara bahan dan lingkungan serta sifat material. Banyak faktor yang perlu diperhatikan dalam mempertimbangkan sifat material yang dipilih berkaitan dengan keberhasilan aplikasi material.²⁶ Indeks kristalinitas merupakan salah satu indikator penting guna menentukan kecepatan terjadinya degradasi pada permukaan gigi atau sebaliknya.

Selain itu, antara ketiga kelompok perlakuan tersebut yang paling tidak mudah mengalami degradasi, yaitu gel berbasis madu *Heterotrigona itama* 15%. Hal ini sejalan dengan penelitian Arango-Ospina *et al.*,²⁷ madu manuka dengan konsentrasi 10% dan 20% tidak mudah mengalami degradasi. Hal ini dikarenakan gel berbasis madu *Heterotrigona itama* 15% memiliki nilai indeks kristalinitas tertinggi dibandingkan gel berbasis madu *Heterotrigona itama* 10% dan 12,5%. Suatu material bila memiliki nilai indeks kristalinitas yang tinggi, maka kemungkinan terjadi degradasi sangat rendah.^{23,26}

Selain itu, dengan menganalisis data tambahan pendukung berupa keberadaan gugus fungsi yang teridentifikasi, maka dapat menemukan komponen-komponen tertentu yang dapat berperan pada permukaan gigi. Berdasarkan hasil penelitian, prediksi gugus fungsi tersebut adalah ditemukannya keberadaan gugus fungsi O-H yang mengalami stretching dari gel berbasis madu *Heterotrigona itama* 10%, 12,5% dan 15% pada rentang peak

wavenumber 3304 cm^{-1} , 3288 cm^{-1} dan 3289 cm^{-1} . Hal ini sejalan dengan riset Bong *et al.*,²⁸ yang menganalisis gugus fungsi dari madu kelulut pada rentang *peak wavenumber* 3250 cm^{-1} , dan mereka menemukan keberadaan O-H yang mengalami *stretching*. Hal ini serupa juga dengan penelitian Rozman *et al.*,²⁹ bahwa pada *peak wavenumber* 3380 cm^{-1} ditemukan keberadaan gugus fungsi O-H yang mengalami *stretching*. *Stretching* merupakan gerakan regangan antara dua atom dalam molekul yang melibatkan perubahan panjang ikatan antar gugus fungsi. Keberadaan gugus fungsi O-H dapat membantu dalam mencegah terjadinya perkembangbiakan bakteri untuk tumbuh pada permukaan gigi.³⁰

Keberadaan gugus fungsi C=O yang mengalami *stretching* pada gel berbasis madu *Heterotrigona itama* 10%, 12,5% dan 15% pada rentang *peak wavenumber* 1640 cm^{-1} , 1641 cm^{-1} dan 1641 cm^{-1} , serupa dengan penelitian Sahlan *et al.*,³¹ bahwa pada rentang *peak wavenumber* $1640\text{--}1760\text{ cm}^{-1}$ ditemukannya keberadaan gugus fungsi C=O yang mengalami *stretching*. Hal tersebut juga ditunjukkan pada riset Prata & da Costa *et al.*,³² bahwa pada rentang *peak wavenumber* $1600\text{--}1730\text{ cm}^{-1}$ ditemukan keberadaan gugus C=O. Selain itu, penelitian dari Pichaiakrit *et al.*,³³ menunjukkan bahwa gugus fungsi C=O dapat diprediksi pada rentang *peak wavenumber* 1691 cm^{-1} yang mencerminkan *carboxyl*. Keberadaan gugus fungsi C=O yang mengalami pergeseran sedikit menunjukkan telah terjadi ikatan senyawa metabolitnya. Keberadaan gugus fungsi C=O berada pada rentang *peak wavenumber* $1600\text{--}1700\text{ cm}^{-1}$.³⁴

Selanjutnya, ditemukan keberadaan gugus fungsi C-H yang mengalami *bending* dari gel berbasis madu *Heterotrigona itama* 10%, 12,5% dan 15% pada rentang *peak wavenumber* 1370 cm^{-1} , 1371 cm^{-1} dan 1373 cm^{-1} . Hasil penelitian ini sejalan dengan temuan dari Razif *et al.*,³⁵ yang menyatakan bahwa gugus fungsi C-H dari hidrogel madu kelulut mengalami *bending* pada rentang *peak wavenumber* $1300\text{--}1370\text{ cm}^{-1}$. *Bending* merupakan gerakan tekukan antara dua atom dalam molekul. Hal ini serupa dengan penelitian Setiawan dkk.,³⁶ bahwa keberadaan gugus fungsi C-H dapat diprediksi pada rentang *peak wavenumber* 1416 cm^{-1} . Hal ini juga serupa dengan riset Prata & da Costa *et al.*,³² bahwa pada rentang *peak wavenumber* $1020\text{--}1100\text{ cm}^{-1}$ diprediksi ditemukan gugus fungsi C-H dari analisis uji karakterisasi FTIR. Keberadaan gugus fungsi C-H dapat diketahui dari rentang *peak wavenumber* $1175\text{--}1540\text{ cm}^{-1}$.³¹

Adapun keberadaan gugus fungsi C-O yang mengalami *stretching* dari gel berbasis madu *Heterotrigona itama* 10%, 12,5% dan 15% pada rentang *peak wavenumber* 1028 cm^{-1} , 1024 cm^{-1} dan 1020 cm^{-1} , serupa dengan riset Reskiani *et al.*,³⁷ bahwa pada rentang *peak wavenumber* $1150,33\text{--}1031,45\text{ cm}^{-1}$ diprediksi ditemukannya keberadaan gugus fungsi C-O dari uji karakterisasi. Hal ini juga sejalan dengan penelitian Se *et al.*,³⁸ bahwa gugus fungsi C-O ditemukan di rentang *peak wavenumber* $950\text{--}1200\text{ cm}^{-1}$. Keberadaan gugus fungsi C-O dapat diprediksi dari rentang *peak wavenumber* $950\text{--}1175\text{ cm}^{-1}$.³¹

Elusidasi adalah proses sistematis penentuan struktur kimia dari senyawa bioaktif. Dalam uji karakterisasi kimiawi menggunakan FTIR-ATR perlu dilakukan elusidasi gugus fungsi sehingga dapat diketahui struktur senyawa kimia yang terbentuk. Berdasarkan keberadaan gugus fungsi yang teridentifikasi, keberadaan C-O, C=O dan O-H akan membentuk suatu struktur senyawa rantai kimia. Elusidasi struktur senyawa kimia tersebut adalah *carboxylic acid*. Pemanfaatan derivat *carboxylic acid* sangat banyak implementasinya dalam material kedokteran gigi. Salah satu contohnya memiliki potensi sebagai material adhesif yang mampu melindungi gigi.³³

Keberadaan senyawa ini dapat memberikan perlekatan pada permukaan enamel dan dentin dengan membentuk ikatan ionik.³⁹ Derivat *carboxylic acid* juga dapat memberikan efek memutihkan pada gigi.⁴⁰ Penerapan implementasi material sebagai pemutih gigi sering dimanfaatkan dalam tindakan *bleaching* gigi.^{41,42} Material kedokteran gigi yang mengandung komponen ini juga dapat berpotensi sebagai bahan *dental bonding*.^{43,44} Bahan *bonding* dapat diimplementasikan dalam menggabungkan bahan restorasi dengan jaringan gigi dari enamel hingga dentin.⁴⁵

Selain itu, rosin merupakan salah satu komponen utama dari *dental topical application* yang memiliki bahan kimia aktif ikatan rangkap ganda dan gugus karboksil.⁴⁶ Hasil analisis gel berbasis madu *Heterotrigona itama* 10%, 12,5% dan 15% ditemukan keberadaan senyawa karboksil yang mirip dengan rosin sehingga dapat berpotensi sebagai bahan adhesif pada permukaan gigi. Penggunaan rosin pada material kedokteran gigi dapat

diaplikasikan sebagai bahan adhesif.⁴⁷

Hasil dari uji ANOVA juga menunjukkan ada perbedaan yang signifikan secara statistika terhadap kecepatan degradasi gel berbasis madu *Heterotrigna itama* berdasarkan nilai indeks kristalinitas. Selain itu, hasil uji *post hoc test Games Howell* menunjukkan bahwa kelompok perlakuan gel berbasis madu *Heterotrigna itama* 15% dibandingkan dengan kelompok kontrol positif dan negatif diperoleh nilai paling rendah. Sementara perbandingan antara gel berbasis madu *Heterotrigna itama* 15% dengan kelompok perlakuan gel berbasis madu *Heterotrigna itama* 12,5% dan 10% tidak terlalu jauh berbeda, namun tetap menunjukkan laju degradasi yang lebih rendah dibandingkan kelompok kontrol positif dan negatif. Temuan ini secara statistika menandakan bahwa peningkatan konsentrasi madu dalam formulasi gel berbasis madu *Heterotrigna itama* cenderung meningkatkan nilai indeks kristalinitas yang dapat berperan dalam menghambat degradasi material.

Adapun keterbatasan dalam penelitian ini, yaitu lebih berfokus pada analisis perbedaan kecepatan degradasi berdasarkan nilai indeks kristalinitas sehingga tidak melakukan penelitian *biodegradation* untuk menganalisis seberapa lama waktu yang dibutuhkan untuk bertahan pada permukaan gigi. Oleh karena itu, guna mendukung penelitian lebih lanjut, peneliti menyarankan untuk dapat dilakukan penelitian lanjutan *biodegradation* dari gel berbasis madu *Heterotrigna itama* 10%, 12,5% dan 15% pada permukaan gigi.

SIMPULAN

Penelitian ini menunjukkan bahwa terdapat perbedaan kecepatan degradasi gel berbasis madu *Heterotrigna itama* berdasarkan nilai indeks kristalinitas. Gel berbasis madu *Heterotrigna itama* 15% tidak mudah terdegradasi pada permukaan gigi dibandingkan dengan kelompok perlakuan lainnya dikarenakan memiliki nilai indeks kristalinitas yang tinggi. Implikasi penelitian ini adalah gel berbasis madu *Heterotrigna itama* dapat menjadi solusi alternatif terhadap keterbatasan material yang mudah terdegradasi. Secara teoritis, penelitian ini memberikan kontribusi keilmuan bagi perkembangan ilmu dental material, serta menjadi landasan untuk penelitian lanjutan. Secara aplikatif, dapat sebagai salah satu pilihan tindakan preventif dalam mencegah kerusakan lapisan gigi.

Kontribusi Penulis: Kontribusi peneliti "Konseptualisasi, A.N.L. dan A.S.; metodologi, A.N.L., A.S. dan K.K.; perangkat lunak, A.N.L.; validasi, A.N.L., A.S. dan K.K.; analisis formal, K.K.; investigasi, A.S.; sumber daya, A.N.L.; kurasi data, A.N.L., A.S. dan K.K.; penulisan—penyusunan draft awal, A.N.L.; penulisan-tinjauan dan penyuntingan, A.N.L., A.S. dan K.K.; visualisasi, A.N.L., A.S. dan K.K.; supervisi, A.S.; administrasi proyek, A.N.L.; perolehan pendanaan, A.N.L. Semua penulis telah membaca dan menyetujui versi naskah yang diterbitkan."

Pendanaan: Penelitian ini tidak menerima dana dari pihak luar

Persetujuan Etik: Penelitian ini dilaksanakan sesuai dengan deklarasi Helsinki, dan telah disetujui oleh Komisi Etik Penelitian Kesehatan Fakultas Kedokteran Universitas Mulawarman pada tanggal 7 November 2024 dengan nomor surat 277/KEPK-FK/XI/2024

Pernyataan Ketersediaan Data: Ketersediaan data dapat diperoleh melalui email korespondensi penulis

Konflik Kepentingan: Penulis menyatakan tidak ada konflik kepentingan

DAFTAR PUSTAKA

1. Munira SL, Puspasari D, Trihono, Thaha R, Musadad A, Junadi P, et al. Survei Kesehatan Indonesia (SKI). Kemenkes. 2023. <https://www.badankebijakan.kemkes.go.id/ski-2023-dalam-angka/>
2. Hasan F, Budi HS, Ramasamy R, Tantiana T, Ridwan RD, Winoto ER, et al. A systematic review of *Streptococcus Mutans* and *Veillonellae* species interactions in dental caries progression: Positive or Negative impact? F1000Research. 2025;1–18. DOI: <https://doi.org/10.12688/f1000research.155987.2>
3. Afrasiabi S, AL Gburi AQK, Ranjbar Omrani L, Chiniforush N, Moradi Z. Evaluation of riboflavin, nanocurcumin, and hydrogen peroxide under light conditions: Reduction of mature dental biofilms and enamel mineral loss. Photodiagnosis Photodyn Ther. 2024;50(October):104379. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.pdpdt.2024.104379>
4. Irmawati A, Yuliantoro R, Sidarningsih, Roestamadji RI, Tantiana, Arundina I, et al. The difference of Antibacterial properties extract seeds Papaya and Papaya leaves (*Carica papaya* L) against *Streptococcus mutans*. Res J Pharm Technol. 2024;17(9):4353–62. DOI: <https://doi.org/10.52711/0974-360X.2024.00673>
5. Moradi Z, Baghbani F, Kermanshah H, Chiniforush N, Afrasiabi S. Destruction of cariogenic biofilms by antimicrobial photodynamic therapy mediated by phycocyanin and toluidine blue along with sodium fluoride varnish or titanium tetrafluoride. Photodiagnosis Photodyn Ther. 2024;49(June):104296. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.pdpdt.2024.104296>
6. Paquita E, Hidayat OT, Fatriadi F, Lita YA. Perbedaan densitas email normal dengan email yang diremineralisasi secara in vitro

- menggunakan sediaan NaF, CPP-ACP, dan karbonat apatit: studi eksperimental. *Padjadjaran J Dent Res Students*. 2023;7(2):157. DOI: <https://doi.org/10.24198/pjdrs.v7i2.44293>
7. Shabrina FN, Hartomo BT. Pemberian *topical application fluor* untuk *initial caries* pada pasien anak. *J Oral Heal Care*. 2020;8(2):95–107. DOI: <http://dx.doi.org/10.29238>
 8. Susilowati F, Azkia MN. *Prebiotic Potential of Oligosaccharides: In Vitro Study of Indonesian Local Honey from Apis spp. and Trigona spp. Bees*. In: 6th International Conference of Food, Agriculture, and Natural Resource (IC-FANRES 2021). Atlantis Press; 2022. p. 190–8. DOI: <https://doi.org/10.2991/absr.k.220101.025>
 9. Wu J, Han B, Chen X, Gao J, Zhao S, Sun L, et al. *Quantification of bioactive components and evaluation of microbial community and antibacterial activity from Heterotrigena itama and Tetrigona binghami honeys*. *Int J Food Sci Technol*. 2023;58(5):2247–57. DOI: <https://doi.org/10.1111/ijfs.16325>
 10. Sujanto ISR, Ramly NS, Ghani AA, Huat JTY, Alias N, Ngah N. *Composition and functional properties of stingless bee honey: A review*. *Malaysian J Appl Sci*. 2021;6(1):111–27. DOI: <https://doi.org/10.37231/myjas.2021.6.1.281>
 11. Ibrahim SS, Abou-Bakr A, Ghalwash DM, Hussein RR. *Effectiveness of thyme honey in the management of xerostomia in geriatric patients with end-stage renal disease: a randomized controlled clinical trial with a biochemical assessment*. *Eur J Med Res*. 2023;28(1):1–12. DOI: <https://doi.org/10.1186/s40001-023-01351-9>
 12. Yanti E, Marsha D, Alwi NP, Novia VR. *Pengaruh Berkumur Larutan Madu Terhadap pH Saliva Pada Siswa SDN Air Tawar Timur Kecamatan Padang Utara*. *J Kesehat Saintika Meditory*. 2017;4(1):22–8. DOI: <http://dx.doi.org/10.30633/jsm.v4i1.1118>
 13. Pasril Y, Lestariana BA. *Pengaruh Penggunaan Madu Kaliandra (Calliandra calothyrsus) Kombinasi Ekstrak Buah Stroberi (Fragaria x ananassa) Konsentrasi 100% sebagai Bahan Alternatif untuk Pemutihan Gigi Secara in Vitro*. *STOMATOGNATIC - J Kedokt Gigi Unej*. 2022;19(2):133–41. DOI: <https://doi.org/10.19184/stoma.v19i2.34744>
 14. Jamaludin AS, Saaid M, Manickavasagam G, Han HB, Faizal NM, Osman R. *Evaluation Of Physicochemical Profile, Multi Elemental Composition And Antioxidant Property Of Heterotrigena Itama From Northern Region In Malaysia*. *Malaysian J Anal Sci*. 2022;26(5):1082–101. DOI: <https://mjas.analis.com.my/>
 15. Achsia AA, Kristijono A, Tilarso DP. *Aktivitas Anti Candida albicans ATCC 14053 Sediaan Pasta Gigi Gel Ekstrak Daun Jengkol (Archidendron pauciflorum) dengan Kombinasi Na-CMC dan Karbomer*. *J Sains dan Kesehat*. 2021;3(2):177–87. DOI: <https://doi.org/10.25026/jsk.v3i2.267>
 16. Valian A, Moazeni M, Dabbagh NK. *In Vitro Effect of Sodium Bicarbonate on Tooth Discoloration*. *J Dent Sch Shahid Beheshti Univ Med Sci*. 2023;41(1):17–22. DOI: <https://doi.org/10.25026/jsk.v3i2.267>
 17. Taziri AHN, Usri K, Hidayat OT. *Perbedaan Karakterisasi Ftir Antara Getah Perca Indonesia Dengan Getah Perca Kedokteran Gigi*. *J Mater Kedokt Gigi*. 2016;5(2):71–7. DOI: <https://doi.org/10.32793/jmkg.v5i2.255>
 18. Castilla-Cortázar I, Vidaurre A, Mari B, Campillo-Fernández AJ. *Morphology, crystallinity, and molecular weight of poly(ε-caprolactone)/graphene oxide hybrids*. *Polymers (Basel)*. 2019;11(7). DOI: <https://doi.org/10.3390/polym11071099>
 19. Suryani, Aisyah Abdullah N, Illiyyin Akib N, Ode Ahmad Nur Ramadhan L, Aswan M. *Optimasi Depolimerisasi Kitosan Menggunakan Asam Asetat dengan*. *J Mandala Pharmacon Indones*. 2023;9(2):364–73. DOI: <https://doi.org/10.35311/jmpi.v9i2.283>
 20. Putranto AW, Riska G, Kusumasari C, Margono A, Yanti E. *Glass Ionomer-Carboxymethyl Chitosan Cement: Setting Time, Microhardness, Mineral Phase, Crystallinity, and Dentin Remineralization Potential*. *Open Dent J*. 2024;18(1):1–9. DOI: <https://doi.org/10.2174/0118742106304660240515113035>
 21. Kraipok A, Chutimasakul T, Intawin P, Leenakul W, Pengpat K, Buachumthamrongsuk C, et al. *Engineering antibacterial tannic acid/polyethyleneimine coatings on lithium disilicate glass-ceramics for dental applications*. *J Mater Res Technol*. 2024;30(May):7575–84. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jmrt.2024.05.133>
 22. Rahmawati A, Hartatiek H, Mufti N. *Pengaruh lama maturasi pada sintesis komposit hydroxyapatite-polyethylene glycol terhadap kristalinitas dan kekerasan*. *J MIPA dan Pembelajarannya*. 2022;2(1):24–31. DOI: <https://doi.org/10.17977/um067v2i1p24-31>
 23. Utami DP, Indrani DJ, Eriwati YK. *Peran metode modifikasi permukaan implan terhadap keberhasilan osseointegrasi*. *J Kedokt Gigi Univ Padjadjaran*. 2019;31(2):95–101. DOI: <https://doi.org/10.24198/jkg.v31i2.17967>
 24. Polatidou K, Nouska C, Tananaki C, Biliaderis CG, Lazaridou A. *Physicochemical and Rheological Characteristics of Monofloral Honeys—Kinetics of Creaming—Crystallization*. *MDPI*. 2025;14(10):1–24. DOI: <https://doi.org/10.3390/foods14101835>
 25. Kurniawan FL, Amalia F, Komala ON, Octarina O. *Perbandingan Derajat Kristalinitas dan Konsentrasi Ion Kalsium Hidroksiapatit Tulang Sapi dengan Produk Komersial EthOss®. e-GiGi*. 2025;13(2):406–10. DOI: <https://doi.org/10.35790/eg.v13i2.61290>
 26. Artilia I, Dewi ZY, Sabirin IPR. *Praktis Belajar Ilmu Dental Material*. Yogyakarta: Deepublish; 2023. 1–119 p.
 27. Arango-Ospina M, Lasch K, Weidinger J, Boccaccini AR. *Manuka Honey and Zein Coatings Impart Bioactive Glass Bone Tissue Scaffolds Antibacterial Properties and Superior Mechanical Properties*. *Front Mater*. 2021;7:1–12. DOI: <https://doi.org/10.3389/fmats.2020.610889>
 28. Bong ZR, Shah RM, Chee XW, Hwang SS, Ginjom IRH. *Simple and Rapid Characterization of Sarawak Stingless Bee Honey Using Melissopalynological and ATR - FTIR Analysis Materials and Methods*. *Food Anal Methods*. 2024;17:773–86. DOI: <https://doi.org/10.1007/s12161-024-02608-7>
 29. Rozman AS, Hashim N, Maringgal B, Abdan K. *Optimisation of stingless bee honey nanoemulsions using response surface methodology*. *Foods*. 2021;10(9). DOI: <https://doi.org/10.3390/foods10092133>
 30. Harit T, Cherfi M, Abouloifa H, Isaad J, Bouabdallah I, Rahal M, et al. *Synthesis, Characterization, Antibacterial Properties and DFT Studies of Two New Polypyrazolic Macrocycles*. *Polycycl Aromat Compd*. 2020;40(5):1–11. DOI: <https://doi.org/10.1080/10406638.2018.1555175>
 31. Sahlan M, Ahlam NAL, Agus A, Sabir A, Pratami DK. *Identification and Authentication of Honey Using Chemometric Analysis Based on Atr-Ftir and Raman Spectroscopy*. *Int J Appl Pharm*. 2022;14(Special Issue 3):36–44. DOI: <https://doi.org/10.22159/ijap.2022.v14s3.08>
 32. Prata JC, da Costa PM. *Fourier Transform Infrared Spectroscopy Use in Honey Characterization and Authentication: A systematic review*. *ACS Food Sci Technol*. 2024;4(8):1817–28. DOI: <https://doi.org/10.1021/acsfoodscitech.4c00377>
 33. Pichaiakrit W, Thamrongananskul N, Siralertrmukol K, Swadison S. *Fluoride varnish containing chitosan demonstrated sustained fluoride release*. *Dent Mater J*. 2019;38(6):1036–42. DOI: <https://doi.org/10.4012/dmj.2018-112>
 34. Sahlan M, Karwita S, Gozan M, Hermansyah H, Yohda M, Yoo YJ, et al. *Identification and classification of honey's authenticity by attenuated total reflectance Fourier-transform infrared spectroscopy and chemometric method*. *Vet World*. 2019;12(8):1304–10. DOI: <https://doi.org/10.14202/vetworld.2019.1304-1310>

35. Razif R, Fadilah NIM, Maarof M, Looi Qi Hao D, Wen APY, Fauzi MB. *Physicochemical Characterization of Injectable Genipin-Crosslinked Gelatin-Kelulut Honey Hydrogels for Future Cutaneous Tissue Loss*. MDPI. 2025;17(9):1–26. DOI: <https://doi.org/10.3390/polym17091129>
36. Setiawan RD, Melia S, Juliyarsi I, Rusdimansyah. *Investigation of Stingless Bee Honey from West Sumatra as an Antihyperglycemic Food*. *Prev Nutr Food Sci*. 2024;29(2):170–7. DOI: <https://doi.org/10.3746/pnf.2024.29.2.170>
37. Reskiani S, Rahmawati NR, Arung ET. *Potential Biological Activities of Honey from Heterotrigona Itama and Its Phytochemicals*. *IOP Conf Ser Earth Environ Sci*. 2023;1282(1). DOI: <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1282/1/012043>
38. Se KW, Ibrahim RKR, Wahab RA, Ghoshal SK. *Accurate evaluation of sugar contents in stingless bee (Heterotrigona itama) honey using a swift scheme*. *J Food Compos Anal*. 2018;66:46–54. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jfca.2017.12.002>
39. Huang P, Nie Q, Tang Y, Chen S, He K, Cao M, et al. *A novel nerol-segmented waterborne polyurethane coating for the prevention of dental erosion*. *RSC Adv*. 2024;14(23):16228–39. DOI: <https://doi.org/10.1039/D4RA01744G>
40. Hardini N, Alihlash R, Retnoningrum D, Limijadi EKS. *Whitening Effect of Manalagi Apple (Malus sylvestris) Extract on Tea-Induced Tooth Discoloration*. *Bali Med J*. 2022;11(2):950–2. DOI: <https://doi.org/10.15562/bmj.v11i2.3511>
41. Aragão WAB, Chemelo VS, Alencar C de M, Silva CM, Pessanha S, Reis A, et al. *Biological action of bleaching agents on tooth structure: A review*. *Histol Histopathol*. 2024;39(10):1229–43. DOI: <https://doi.org/10.14670/HH-18-726>
42. Islam S, Padmanabhan V, Abry MF, Mohammed K, Ahmed M, C SAA, et al. *The Impact of Pre-Treatment with Desensitizing Agents on the Effectiveness of In-Office Bleaching: An In Vitro Study*. *Materials (Basel)*. 2024;1–11. DOI: <https://doi.org/10.3390/ma17246097>
43. Ferracane JL. *A Historical Perspective on Dental Composite Restorative Materials*. *J Funct Biomater*. 2024;15(7). DOI: <https://doi.org/10.3390/jfb15070173>
44. Lathikumari SS, Saraswathy M. *Modifications of polyalkenoic acid and its effect on glass ionomer cement*. *Mater Adv*. 2024;5(7):2719–35. DOI: <https://doi.org/10.1039/D3MA00406F>
45. Ren Z, Wang R, Zhu M. *Comparative evaluation of bonding performance between universal and self-etch adhesives: In vitro study*. *Heliyon*. 2024;10(15):e35226. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e35226>
46. Park SA, Son J, Kim AJ, Oh S, Bae JM. *Effect of adhesive components in experimental fluoride varnish on fluoride release within 30 days in vitro study*. *Dent Mater J*. 2024;43(2):320–7. DOI: <https://doi.org/10.4012/dmj.2023-299>
47. Gabriella M, Alviora SL, Eriwati YK, Hermansyah H. *The effect of stirring temperature on fluoride ion release and pH of fluoride varnish*. In: *AIP Conference Proceedings*. 2024. p. 1–7. DOI: <https://doi.org/10.1063/5.0145899>