



Systematic Literature Review: Modifikasi Resin Akrilik Dengan Bahan Alam Untuk Sifat Mekanik

Maqfirah Amiruddin¹, Hardiani Restu Ananda¹, Titan Mawlani^{1*}

¹Fakultas Kedokteran Gigi Universitas Muslim Indonesia

*Penulis Korespondensi: dentistry.umi12@gmail.com

ABSTRAK

Pendahuluan: Modifikasi resin akrilik menjadi perhatian penting dalam pengembangan bahan kedokteran gigi karena resin akrilik konvensional memiliki keterbatasan pada sifat mekanik, seperti kekuatan lentur, ketahanan impact, dan resistensi terhadap fraktur. **Tujuan:** Penelitian ini bertujuan untuk meninjau secara sistematis bukti ilmiah terkini mengenai modifikasi resin akrilik menggunakan bahan alam dalam upaya meningkatkan sifat mekaniknya. **Metode:** Tinjauan yang digunakan adalah Systematic Literature Review dengan pedoman PRISMA. Pencarian literatur dilakukan melalui beberapa basis data ilmiah dengan menggunakan kata kunci relevan serta kriteria seleksi berdasarkan kerangka PICOS. **Hasil:** Menunjukkan bahwa tidak terdapat satu jenis modifikasi bahan alam yang dapat dianggap paling unggul untuk meningkatkan seluruh sifat mekanik resin akrilik. Berbagai bahan alam, seperti serat alami, biopolimer, dan filler bioaktif, memiliki kelebihan dan keterbatasan yang bergantung pada jenis, konsentrasi, serta interaksinya dengan matriks resin. Beberapa penelitian melaporkan peningkatan kekuatan lentur dan ketahanan impact pada konsentrasi tertentu, sedangkan penggunaan berlebihan justru dapat menurunkan kualitas mekanik. **Kesimpulan:** Modifikasi resin akrilik dengan bahan alam perlu dilakukan secara terkontrol dan komprehensif guna memperoleh performa mekanik yang optimal dan dapat diaplikasikan secara klinis.

Kata Kunci: Resin akrilik; bahan alam; sifat mekanik; basis gigi tiruan

ABSTRACT

Introduction: Modification of acrylic resin has become an important focus in the development of dental materials because conventional acrylic resin presents limitations in mechanical properties, including flexural strength, impact resistance, and fracture resistance. **Objective:** This study aimed to systematically review current scientific evidence regarding the modification of acrylic resin using natural materials to improve its mechanical properties. **Methods:** Observation result employed was a Systematic Literature Review conducted according to the PRISMA guidelines. Literature searches were performed across several scientific databases using relevant keywords and selection criteria based on the PICOS framework. **Results:** The findings indicated that no single type of natural material modification could be considered universally superior in enhancing all mechanical properties of acrylic resin. Various natural materials, such as natural fibers, biopolymers, and bioactive fillers, demonstrated distinct advantages and limitations depending on their type, concentration, and interaction with the resin matrix. Several studies reported improvements in flexural strength and impact resistance at specific concentrations, whereas excessive incorporation negatively affected the mechanical performance. **Conclusion:** Modification of acrylic resin with natural materials should be carried out in a controlled and comprehensive manner to achieve optimal mechanical performance and clinical applicability.

Keywords: Acrylic resin; natural materials; mechanical properties; denture base

How to cite: Amiruddin M, Ananda HR, Mawlani T. Systematic literature review: modifikasi resin akrilik dengan bahan alam untuk sifat mekanik. DENThalib Jour. 2026;4(2):40-52.

PUBLISHED BY:

Fakultas Kedokteran Gigi
Universitas Muslim Indonesia

Address:

Jl. Pajonga Dg. Ngalle. 27 Pa'batong (Kampus I UMI)
Makassar, Sulawesi Selatan, Indonesia

Email:

denthalibjournal.fkgumi@gmail.com,

Article history:

Received 2 April 2026

Received in revised form 30 April 2026

Accepted 30 April 2026

Available online 31 April 2026

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



PENDAHULUAN

Resin akrilik berbasis polymethyl methacrylate (PMMA) merupakan material yang paling luas digunakan sebagai basis gigi tiruan dalam praktik prostodonsia. Penggunaan resin akrilik didukung oleh kemudahan manipulasi, kemampuan estetik yang baik, serta penerimaan biologis yang relatif memadai dalam lingkungan rongga mulut. Selain itu, material ini telah lama diaplikasikan secara klinis dan masih menjadi pilihan utama dalam pembuatan gigi tiruan lepasan hingga saat ini.^{1,2} Meskipun memiliki berbagai keunggulan, resin akrilik konvensional dilaporkan memiliki keterbatasan pada aspek sifat mekanik. Beberapa penelitian menunjukkan bahwa PMMA rentan mengalami fraktur akibat kekuatan lentur dan ketahanan impak yang relatif rendah, terutama ketika menerima beban mastikasi berulang atau distribusi gaya yang tidak merata. Kondisi ini menyebabkan fraktur basis gigi tiruan masih menjadi permasalahan klinis yang sering dijumpai pada penggunaan jangka panjang.³ Keterbatasan tersebut mendorong berbagai upaya pengembangan material untuk meningkatkan performa mekanik resin akrilik.

Salah satu pendekatan yang banyak dikaji adalah modifikasi resin melalui penambahan bahan penguat atau filler. Namun, penggunaan bahan sintesis sebagai filler dilaporkan dapat meningkatkan biaya produksi dan tidak selalu memberikan peningkatan sifat mekanik yang konsisten. Oleh karena itu, perhatian peneliti mulai beralih pada penggunaan bahan alternatif yang lebih ramah lingkungan dan berpotensi memberikan manfaat tambahan.²

Beberapa tahun terakhir, bahan alam menjadi fokus utama dalam pengembangan resin akrilik termodifikasi. Berbagai bahan alam seperti kitosan, serat tumbuhan, dan nanopartikel alami dilaporkan memiliki potensi untuk meningkatkan sifat mekanik PMMA. Penambahan kitosan pada konsentrasi tertentu mampu meningkatkan kekuatan lentur dan ketahanan impak resin akrilik.^{3,4} Selain itu, kitosan juga memberikan efek tambahan berupa aktivitas antibakteri pada resin akrilik.⁵ Selain biopolimer, penggunaan serat alam dan nanopartikel alami juga dilaporkan memberikan hasil yang menjanjikan. Kombinasi serat rami dan nanopartikel alami mampu meningkatkan kekuatan tarik, tekan, dan impak PMMA secara signifikan.⁶ Temuan serupa yang menunjukkan bahwa nanoselulosa dari sekam padi dapat meningkatkan ketahanan impak resin akrilik apabila digunakan pada konsentrasi optimal.⁷ Hasil-hasil tersebut menunjukkan bahwa bahan alam memiliki potensi besar sebagai penguat mekanik resin akrilik.

Efektivitas bahan alam dalam memodifikasi resin akrilik tidak selalu memberikan hasil positif. Penggunaan *gum arabic* pada konsentrasi tinggi justru menurunkan sifat mekanik resin akrilik.⁸ Selain itu, distribusi bahan alam yang tidak homogen serta metode pencampuran yang kurang tepat dapat menyebabkan penurunan performa mekanik.^{1,9} Hal ini menunjukkan bahwa keberhasilan modifikasi resin akrilik sangat bergantung pada jenis bahan, konsentrasi, serta teknik aplikasinya. Hingga saat ini, hasil penelitian mengenai modifikasi resin akrilik dengan bahan alam menunjukkan variasi temuan yang cukup luas. Perbedaan desain penelitian, jenis bahan alam, bentuk partikel, serta metode pengujian mekanik menyebabkan belum adanya kesimpulan yang bersifat universal. Oleh karena itu, diperlukan pemahaman yang komprehensif melalui sintesis ilmiah untuk mengidentifikasi pola temuan dan faktor-faktor yang memengaruhi keberhasilan modifikasi resin akrilik berbasis bahan alam.²

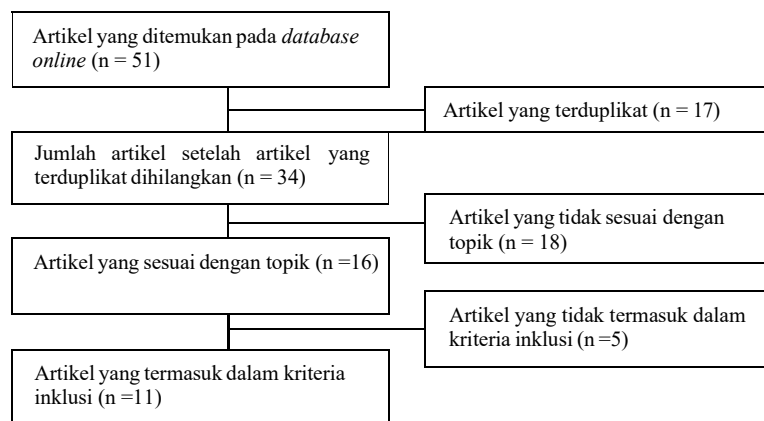
Modifikasi resin akrilik dengan bahan alam merupakan topik yang relevan dan penting untuk dikaji lebih lanjut. Diperlukan telaah pustaka yang sistematis untuk merangkum dan menganalisis bukti ilmiah terkini mengenai pengaruh bahan alam terhadap sifat mekanik resin akrilik. Oleh karena itu, diperlukan suatu kajian bentuk *systematic literature review* (SLR). Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi berbagai studi yang membahas modifikasi resin akrilik dengan bahan alam, khususnya dalam kaitannya dengan peningkatan sifat mekanik sebagai dasar pengembangan material gigi tiruan yang lebih kuat dan berkelanjutan.

METODE

Penelitian ini merupakan SLR yang membahas modifikasi resin akrilik dengan bahan alam dalam kaitannya dengan peningkatan sifat mekanik pada aplikasi kedokteran gigi. Metode ini dipilih untuk memperoleh gambaran komprehensif dan terstruktur mengenai perkembangan penelitian terkini yang relevan dengan topik tersebut. Sumber literatur diperoleh dari Google Scholar dan PubMed. Artikel yang direncanakan untuk dianalisis dalam kajian ini berjumlah minimal 10 artikel, dengan kriteria publikasi dalam kurun waktu lima (5) tahun terakhir.

Penelusuran artikel dilakukan menggunakan kata kunci dalam Bahasa Indonesia meliputi “resin akrilik”, “bahan alam”, “sifat mekanik”, dan “basis gigi tiruan”. Sementara itu, kata kunci dalam Bahasa Inggris meliputi “*acrylic resin*”, “*natural materials*”, “*mechanical properties*”, dan “*denture base*”. Untuk meningkatkan ketepatan hasil pencarian, kata kunci tersebut dikombinasikan menggunakan *Boolean Operator (AND dan OR)* dengan rumusan sebagai berikut: (“*acrylic resin*” OR “resin akrilik”) AND (“*natural materials*” OR “bahan alam”) AND (“*mechanical properties*” OR “sifat mekanik”).

Pencarian literatur melalui publikasi di tiga database dan menggunakan kata kunci yang telah ditentukan, peneliti mendapatkan artikel yang sesuai dengan kata kunci tersebut. Berdasarkan sumbernya, 51 artikel yang telah diperoleh disaring dan didapatkan 10 artikel sebagai berikut (gambar 1).



Gambar 1. Bagan PRISMA.

HASIL

Tabel 1. Rangkuman hasil tinjauan pustaka modifikasi resin akrilik dengan bahan alam terhadap sifat mekanik.

No.	Author(s)/ Tahun	Judul	Metode (Desain (D), Sampel (S), Instrumen (I), Analisis (A))	Hasil	Data Base
1.	Ismiyati & Alhasyimi. (2022)	Pengaruh Penambahan Kitosan dan Asam Akrilik pada Resin Akrilik. <i>Jurnal Kedokteran Gigi Eropa</i> Vol. 17	D: Laboratorium Eksperimental S : 30 sampel I : Uji mikrobiologi & morf A: ANOVA	Penambahan kitosan dan asam akrilat menurunkan porositas resin akrilik serta menghambat pertumbuhan bakteri.	PubMed
2.	Chander & Venkatraman. (2021)	Sifat Mekanis Resin Basis Gigi Tiruan yang Diperkuat Kitosan. <i>Jurnal Penelitian Prostodonti</i>	D: Eksperimental S: 160 sampel I: Uji lentur dan dampak J: ANOVA	Kitosan konsentrasi 5% memberikan peningkatan sifat mekanik paling optimal.	PubMed
3.	Ahmed SH & Salih WM. (2021)	Sifat Mekanik Resin Laminasi Akrilik (PMMA) yang Diperkuat dengan Nanopartikel Alami dan Serat Rami. <i>Seri Konferensi IOP: Ilmu dan Rekayasa Material</i> Vol. 1094	D: Laboratorium Eksperimental S: Spesimen PMMA dengan penguat nanopartikel kulit kenari 0,3% dan serat rami 0,3–0,9% I: Uji tarik (ASTM D638), tekan (ASTM D695), dan dampak Izod (ISO 180) A: Analisis deskriptif komparatif	Penambahan serat rami hingga 0,9% bersama nanopartikel alami meningkatkan kekuatan tarik, tekan, dampak, serta ketangguhan fraktur PMMA dibandingkan material tanpa penguat.	Scopus
4.	Marbun dkk. (2021)	Perendaman Resin Akrilik dalam Ekstrak Rosella. <i>Jurnal Kedokteran Gigi Mulawarman</i>	D: Eksperimental S: 12 kelompok I: Uji tekan A: ANOVA	Ekstrak rosella konsentrasi tertentu meningkatkan kekuatan tekan resin akrilik.	Google Scholar

5.	Verma & Lahori. (2023)	Pengaruh Kitosan terhadap Sifat Mekanik dan Stabilitas Warna. Jurnal Kedokteran Gigi Interdisipliner	D: In vitro S: 240 sampel; I: Uji lentur dan warna; A: ANOVA	Kitosan 5% meningkatkan kekuatan mekanik tanpa perubahan warna signifikan	PubMed
6.	Lumban Gaol AA, Mariati NW, Wahyuni R. (2026)	Uji Daya Hambat Ekstrak Etanol Daun Waru (<i>Hibiscus tiliaceus</i>) terhadap <i>Candida albicans</i> pada Dasar Akrilik. <i>e-GiGi</i> Vol.14 No.1	D: Eksperimental murni (post-test kelompok kontrol) S: Basis resin akrilik dengan 6 kelompok perlakuan I: Metode Kirby–Bauer modifikasi (sumuran) A: One Way ANOVA dilanjutkan uji Tukey HSD	Ekstrak etanol daun waru pada konsentrasi 20–50% menunjukkan kemampuan menghambat pertumbuhan <i>Candida albicans</i> pada dasar akrilik, dengan daya hambat tertinggi pada konsentrasi 50%.	Google Scholar
7.	Alqutaibi dkk. (2023)	Bahan Basis Gigi Tiruan Polimerik: Sebuah Tinjauan. Polimer	D: Tinjauan Pustaka; S: Artikel terpilih; I: Analisis literatur; A: Sintesis naratif	PMMA masih dominan digunakan, namun diperlukan modifikasi bahan alam untuk meningkatkan sifat mekanik.	Scopus
8.	Alsadon dkk. (2023)	Pengaruh Bubuk Gom Arab pada Akrilik Basis Gigi Tiruan. Jurnal Ilmu Kedokteran Pakistan	D: Eksperimental S: 40 sampel; I: Uji kekerasan; A : ANOVA	Gum arabic konsentrasi tinggi menurunkan sifat mekanik resin akrilik.	PubMed
9.	Hasran dkk. (2021)	Penambahan Nanoselulosa Sekam Padi ke PMMA. Jurnal Studi Kesehatan Vokasional	D: Eksperimental Laboratorium in Vitro S: Spesimen resin Akrilik I: Uji dampak A: ANOVA	Nanoselulosa sekam padi meningkatkan kekuatan impak resin akrilik.	Google Scholar
10.	Dias dkk. (2025)	Pengaruh Penambahan Nanopartikel Kitosan pada Resin Akrilik terhadap Sifat Mekanik dan Antimikroba Gigi Tiruan Lepas Pasang. <i>Oral</i> (MDPI)	D: Tinjauan peninjauan (PRISMA); S: 9 penelitian in vitro; I: Uji mekanik dan antimikroba A: Sintesis deskriptif	Nanopartikel kitosan meningkatkan sifat mekanik resin akrilik dan aktivitas antijamur, bergantung pada konsentrasi dan metode pencampuran.	Scopus
11.	Raof, dkk. (2024)	Menyelidiki Potensi Bubuk Dari Kulit Kenari Sebagai Pengisi Dalam Basis Gigi Tiruan PMMA. <i>IJETA</i> . Vol.34 No.5	D: Eksperimental; S: 4 Sample; I: Uji Kekuatan Tekan,Uji Kekerasan Permukaan, Uji Penyerapan Air A: One-way ANOVA & Uji-T.	Menambahkan bubuk kulit kenari pada PMMA bisa meningkatkan kekuatan tekanan dan kekerasan dari material, meskipun disertai dengan peningkatan penyerapan air.	Google Scholar

Karakteristik Studi

Penelitian yang direview dapat diklasifikasikan menurut desain dan metode penelitian yang digunakan. Sebagian besar artikel menggunakan desain eksperimental laboratoris (in vitro) untuk mengevaluasi pengaruh penambahan bahan alam terhadap sifat mekanik resin akrilik. Selain itu, beberapa artikel menggunakan pendekatan *literature review* dan *scoping review* untuk merangkum perkembangan modifikasi resin akrilik berbasis bahan alam secara komprehensif. Metode penelitian yang diterapkan berfokus pada evaluasi laboratoris, khususnya pengujian sifat mekanik resin akrilik setelah dimodifikasi dengan berbagai jenis bahan alam. Bahan alam yang digunakan meliputi serat alami, biopolimer, nanopartikel alami, serta ekstrak tanaman, dengan variasi konsentrasi dan metode pencampuran yang berbeda. Desain eksperimental umumnya membandingkan resin akrilik termodifikasi dengan resin akrilik konvensional sebagai kelompok kontrol. Jumlah sampel dalam penelitian yang dikaji bervariasi, mulai dari puluhan hingga ratusan spesimen uji, tergantung pada desain dan jenis pengujian mekanik yang dilakukan. Instrumen pengujian yang digunakan meliputi uji tarik, uji lentur, uji tekan, uji impak, uji kekerasan permukaan, serta pengujian ketangguhan fraktur, yang mengacu pada standar internasional seperti ASTM dan ISO. Analisis data pada sebagian besar penelitian dilakukan secara deskriptif dan komparatif, dengan penerapan uji statistik seperti ANOVA untuk menilai perbedaan antar kelompok perlakuan.

Karakteristik Spesimen

Spesimen pada artikel yang direview umumnya berupa resin akrilik berbasis *polymethyl methacrylate* (PMMA) yang dimodifikasi dengan penambahan bahan alam dalam bentuk serat, partikel, maupun nanopartikel. Variasi spesimen mencakup perbedaan jenis bahan alam, ukuran partikel, serta persentase penambahan terhadap matriks resin. Sebagian besar penelitian menggunakan spesimen berbentuk balok atau batang uji yang disesuaikan dengan standar pengujian mekanik. Beberapa penelitian juga mengevaluasi aspek pendukung lain, seperti daya serap air, densitas, dan stabilitas struktur, untuk melengkapi penilaian sifat mekanik. Studi-studi tersebut umumnya mengecualikan penggunaan bahan sintesis murni sebagai penguat utama, sehingga fokus kajian tetap tertuju pada potensi bahan alam sebagai alternatif modifikator resin akrilik.

Hasil Review

Modifikasi resin akrilik dengan bahan alam dapat memengaruhi sifat mekanik secara signifikan, namun efek yang dihasilkan sangat bergantung pada jenis bahan alam, konsentrasi, serta metode incorporasi ke dalam matriks resin. Sebagian besar penelitian melaporkan adanya peningkatan kekuatan lentur, kekuatan impak, dan ketangguhan fraktur pada resin akrilik yang dimodifikasi dengan bahan alam pada konsentrasi optimal.¹⁰ Namun demikian, beberapa artikel juga menunjukkan bahwa penambahan bahan alam dalam jumlah berlebihan atau dengan distribusi yang tidak homogen dapat menyebabkan penurunan sifat mekanik, seperti meningkatnya porositas atau melemahnya ikatan antarmuka antara bahan penguat dan resin. Selain itu, kombinasi bahan alam dalam bentuk serat dan nanopartikel dilaporkan memberikan hasil yang lebih stabil dibandingkan penggunaan satu jenis penguat saja.¹¹ Secara keseluruhan, hasil kajian menunjukkan bahwa tidak semua bahan alam secara otomatis meningkatkan sifat mekanik resin akrilik, sehingga diperlukan pemilihan bahan dan formulasi yang tepat. Temuan ini menegaskan bahwa modifikasi resin akrilik dengan bahan alam merupakan pendekatan yang menjanjikan, namun harus dilakukan secara terkontrol dan berbasis bukti ilmiah agar dapat diaplikasikan secara optimal dalam bidang kedokteran gigi.

Tabel 2. Sintesis hasil tinjauan pustaka berdasarkan aspek utama.

No.	Aspek yang Ditinjau	Artikel Terkait
1.	Jenis bahan alam dalam modifikasi resin akrilik	a) Ismiyati & Alhasyimi (kitosan) b) Verma & Lahori (kitosan). c) Chander & Venkatraman (kitosan) d) Ahmed & Salih (serat rami dan nanopartikel alami) e) Hasran dkk. (nanoselulosa sekam padi) f) Alsadon dkk. (permen karet arab) g) Raoof dkk. (bubuk cangkang Kenari)
2.	Bentuk bahan alam yang digunakan	a) Ahmed & Salih (serat dan nanopartikel) b) Hasran dkk. (nanopartikel) c) Dias dkk. (nanopartikel kitosan) d) Raoof dkk. (Mikropartikel)
3.	Pengaruh bahan alam terhadap sifat mekanik resin akrilik	a) Verma & Lahori (peningkatan kekuatan lentur dan stabilitas warna) b) Chander & Venkatraman (peningkatan kekuatan dan impak) c) Ahmed & Salih (peningkatan tarik, tekan, dan impak) d) Hasran dkk. (peningkatan kekuatan dampak) e) Raoof dkk. (Kekuatan tekan dan kekerasan permukaan)

4.	Pengaruh konsentrasi bahan alam	a) Ismiyati & Alhasyimi (efek optimal pada konsentrasi tertentu) b) Verma & Lahori (konsentrasi 5% paling efektif) c) Alsadon dkk. (penurunan sifat mekanik pada dosis tinggi) d) Dias dkk. (hasil bergantung formulasi dan distribusi partikel) e) Raoof dkk. (tergantung konsentrasi mikropartikel yang digunakan)
5.	Metode pengujian sifat mekanik	a) Ahmed & Salih (tarik, tekan, dampak) b) Verma & Lahori (lentur dan stabilitas warna) c) Chander & Venkatraman (lentur dan dampak) d) Raoof dkk. (tekanan, kekerasan, penyerapan air)
6.	Efek tambahan selain mekanik	a) Ismiyati & Alhasyimi (antibakteri) b) Dias dkk. (antijamur dan antibakteri) c) Lumban Gaol dkk. (antijamur)
7.	Keterbatasan penggunaan bahan alam	a) Alsadon dkk. (penurunan mekanik pada konsentrasi tinggi) b) Dias dkk. (ketergantungan pada metode pencampuran)
8.	Pendekatan kombinasi bahan alam (hibrid)	a) Ahmed & Salih (serat + nanopartikel alami) b) Alqutaibi dkk. (tinjauan material polimer berbasis hibrid)

Hasil literatur yang dirangkum pada Tabel 1 dan Tabel 2, modifikasi resin akrilik dengan bahan alam menunjukkan potensi dalam meningkatkan sifat mekanik bahan basis gigi tiruan. Hasil penelitian yang dianalisis memperlihatkan variasi temuan yang dipengaruhi oleh perbedaan jenis bahan alam, konsentrasi, serta metode aplikasi yang digunakan. Kondisi ini menunjukkan bahwa peningkatan sifat mekanik resin akrilik tidak bersifat universal, melainkan sangat bergantung pada karakteristik material dan formulasi yang diterapkan. Secara umum, bahan alam seperti biopolimer, serat alami, dan nanopartikel dilaporkan mampu meningkatkan kekuatan lentur, ketahanan dampak, serta ketangguhan fraktur resin akrilik apabila digunakan pada kondisi yang optimal. Namun, beberapa studi juga melaporkan penurunan sifat mekanik akibat penggunaan bahan alam pada konsentrasi berlebih atau distribusi yang kurang homogen. Oleh karena itu, pembahasan selanjutnya difokuskan pada analisis peran masing-masing kelompok bahan alam serta faktor konsentrasi dan metode aplikasi terhadap sifat mekanik resin akrilik.

PEMBAHASAN

A. Pengaruh Kitosan terhadap Sifat Mekanik Resin Akrilik

Penggunaan kitosan sebagai bahan alam dalam modifikasi resin akrilik banyak dilaporkan dalam literatur karena sifat biopolimer ini yang kompatibel dengan jaringan biologis. Berdasarkan hasil tinjauan pustaka, kitosan mampu berinteraksi dengan matriks polymethyl methacrylate (PMMA) sehingga berpotensi memperbaiki sifat mekanik bahan basis gigi tiruan. Modifikasi polimer dengan biopolimer alami merupakan salah satu pendekatan yang menjanjikan dalam pengembangan material kedokteran gigi.² Penambahan kitosan pada konsentrasi tertentu dapat meningkatkan kekuatan lentur dan ketahanan dampak resin akrilik secara signifikan dibandingkan bahan tanpa modifikasi.³ Peningkatan ini dikaitkan dengan kemampuan kitosan membentuk ikatan antarmuka yang lebih baik antara partikel penguat dan matriks resin. Dengan demikian, transfer beban mekanik dapat berlangsung lebih efektif selama pengujian mekanik. Hasil yang menunjukkan bahwa konsentrasi kitosan sekitar 5% memberikan hasil mekanik paling optimal tanpa menimbulkan perubahan warna yang bermakna.⁴ Namun, pada konsentrasi yang lebih tinggi, kitosan justru menyebabkan penurunan sifat mekanik akibat terganggunya homogenitas struktur resin. Temuan ini menunjukkan bahwa efektivitas kitosan sangat dipengaruhi oleh proporsi bahan yang digunakan. Selain peningkatan sifat mekanik, kitosan juga dilaporkan memberikan manfaat tambahan dari aspek biologis. Resin akrilik yang dimodifikasi dengan kitosan memiliki aktivitas antibakteri dan antijamur.^{5,9} Kombinasi antara peningkatan mekanik dan efek biologis ini menjadikan kitosan sebagai salah satu bahan alam yang paling potensial dalam pengembangan resin akrilik multifungsi.

B. Pengaruh Serat Alam terhadap Penguatan Resin Akrilik

Serat alam merupakan salah satu bahan penguat yang banyak digunakan dalam modifikasi resin akrilik karena sifat mekaniknya yang baik dan ketersediaannya yang melimpah. Dalam tinjauan ini, serat rami menjadi bahan yang paling sering dilaporkan memberikan peningkatan sifat mekanik. Penambahan serat rami pada PMMA mampu meningkatkan kekuatan tarik, tekan, dan dampak secara signifikan.⁶ Mekanisme peningkatan sifat mekanik oleh serat alam berkaitan dengan kemampuan serat menahan dan mendistribusikan beban mekanik di dalam matriks resin. Apabila serat terdistribusi secara merata dan memiliki ikatan antarmuka yang baik dengan PMMA, maka deformasi material dapat diminimalkan. Kondisi ini terlihat pada spesimen dengan konsentrasi serat yang optimal.⁶ Namun demikian, efektivitas serat alam tidak hanya ditentukan oleh jenis serat, tetapi juga oleh panjang, orientasi, dan persentase penambahannya. Serat dengan konsentrasi yang terlalu tinggi berpotensi menyebabkan terbentuknya porositas dan ketidakteraturan struktur, yang justru menurunkan kekuatan mekanik. Oleh karena itu, kontrol terhadap parameter ini menjadi faktor penting dalam keberhasilan modifikasi resin akrilik. Berdasarkan hasil tinjauan pustaka, serat alam dinilai memiliki potensi besar sebagai bahan penguat resin akrilik apabila digunakan secara tepat. Pendekatan ini tidak hanya meningkatkan sifat mekanik, tetapi juga mendukung prinsip keberlanjutan melalui pemanfaatan sumber daya alam yang ramah lingkungan.

C. Peran Nanopartikel Alami dalam Peningkatan Sifat Mekanik

Nanopartikel alami mulai banyak digunakan dalam modifikasi resin akrilik karena ukurannya yang sangat kecil memungkinkan distribusi yang lebih homogen dalam matriks resin. Penambahan nanoselulosa dari sekam padi mampu meningkatkan kekuatan dampak resin akrilik secara signifikan.⁷ Peningkatan ini dikaitkan dengan luas permukaan nanopartikel yang besar sehingga meningkatkan interaksi dengan PMMA. Selain nanoselulosa, Penggunaan nanopartikel alami dari kulit kenari yang dikombinasikan dengan serat rami.⁶ Kombinasi ini menghasilkan peningkatan sifat mekanik yang lebih stabil dibandingkan penggunaan satu jenis penguat saja. Hal ini menunjukkan bahwa nanopartikel alami dapat berperan sebagai pengisi mikrostruktur yang memperkuat matriks resin. Efektivitas nanopartikel sangat bergantung pada metode pencampuran dan dispersi.⁹ Distribusi partikel yang tidak merata dapat menyebabkan aglomerasi, yang berpotensi menurunkan sifat mekanik material. Oleh karena itu, teknik pencampuran yang tepat menjadi faktor kunci dalam aplikasi nanopartikel alami pada resin akrilik. Secara keseluruhan, penggunaan nanopartikel alami memberikan peluang besar dalam pengembangan resin akrilik dengan sifat mekanik yang lebih baik. Namun, diperlukan kontrol yang ketat terhadap ukuran partikel, konsentrasi, dan metode aplikasinya agar manfaat yang diperoleh dapat maksimal.

D. Pengaruh Konsentrasi dan Metode Aplikasi Bahan Alam

Selain jenis bahan alam, konsentrasi dan metode aplikasinya juga sangat memengaruhi hasil modifikasi resin akrilik. Beberapa artikel menunjukkan bahwa bahan alam pada konsentrasi rendah hingga sedang cenderung memberikan peningkatan sifat mekanik, sedangkan konsentrasi tinggi justru berdampak negatif.⁸ Konsentrasi optimal kitosan menjadi faktor utama dalam menjaga keseimbangan antara peningkatan mekanik dan stabilitas struktur resin.⁴ Konsentrasi yang tidak tepat dapat mengganggu homogenitas matriks dan menurunkan kekuatan material. Oleh karena itu, penentuan formulasi yang tepat menjadi langkah krusial dalam modifikasi resin akrilik. Metode pencampuran, baik secara manual maupun mekanis, turut menentukan kualitas akhir material. Distribusi bahan alam yang homogen berkontribusi terhadap peningkatan sifat mekanik yang lebih konsisten.⁹ Sebaliknya, pencampuran yang kurang optimal berpotensi menimbulkan cacat struktural. Dengan demikian, keberhasilan modifikasi resin akrilik tidak hanya ditentukan oleh jenis bahan alam yang digunakan, tetapi juga oleh konsentrasi dan metode aplikasinya. Pendekatan yang terkontrol dan berbasis bukti ilmiah sangat diperlukan untuk menghasilkan material dengan sifat mekanik yang optimal dan stabil.

E. Implikasi Modifikasi Resin Akrilik Berbasis Bahan Alam terhadap Aplikasi Klinis

Modifikasi resin akrilik dengan bahan alam tidak hanya memberikan dampak pada sifat mekanik secara laboratoris, tetapi juga memiliki implikasi penting terhadap aplikasi klinis gigi tiruan. Peningkatan kekuatan lentur dan ketahanan impak berpotensi mengurangi kejadian fraktur basis gigi tiruan selama penggunaan jangka panjang. Kondisi ini menjadi relevan mengingat fraktur masih sering dilaporkan sebagai komplikasi klinis pada pengguna gigi tiruan berbasis PMMA. Resin akrilik dengan sifat mekanik yang lebih baik diharapkan mampu mempertahankan stabilitas struktural saat menerima beban mastikasi berulang. Selain itu, peningkatan performa mekanik dapat meningkatkan kepercayaan diri pasien dalam menggunakan gigi tiruan. Adaptasi pasien terhadap gigi tiruan juga berpotensi menjadi lebih baik dengan berkurangnya kegagalan material. Dengan demikian, modifikasi berbasis bahan alam memiliki nilai tambah dari sudut pandang klinis.^{12,13,14} Penggunaan bahan alam sebagai modifikator resin akrilik juga berkaitan dengan aspek keamanan biologis dalam rongga mulut. Beberapa bahan alam, seperti kitosan, dilaporkan memiliki aktivitas antibakteri dan antijamur yang dapat membantu menjaga kebersihan permukaan gigi tiruan.¹⁵ Efek biologis tersebut berpotensi menurunkan risiko kolonisasi mikroorganisme patogen pada basis gigi tiruan. Penurunan kolonisasi mikroba dapat berkontribusi terhadap pencegahan stomatitis akibat gigi tiruan. Selain itu, bahan alam umumnya memiliki tingkat biokompatibilitas yang baik apabila digunakan dalam konsentrasi yang sesuai. Namun demikian, evaluasi toksisitas jangka panjang tetap diperlukan sebelum penerapan klinis secara luas.^{16,17} Oleh karena itu, aspek biologis dan mekanik perlu dipertimbangkan secara bersamaan. Dari sudut pandang praktik protodonsia, resin akrilik termodifikasi harus tetap memenuhi standar manipulasi dan pemrosesan laboratorium. Penambahan bahan alam tidak boleh mengganggu proses pencampuran, polimerisasi, maupun adaptasi basis gigi tiruan terhadap jaringan pendukung. Beberapa penelitian menunjukkan bahwa distribusi bahan alam yang tidak homogen dapat menyulitkan proses fabrikasi dan menurunkan kualitas hasil akhir. Hal ini menekankan pentingnya teknik pencampuran yang tepat dan terstandar. Resin akrilik yang sulit dimanipulasi berpotensi meningkatkan kesalahan teknis selama proses laboratorium.^{18,19} Oleh karena itu, formulasi bahan alam harus disesuaikan dengan prosedur kerja teknisi gigi. Kesesuaian antara sifat material dan teknik laboratorium menjadi faktor penentu keberhasilan klinis. Variasi hasil penelitian yang ditemukan dalam tinjauan pustaka juga menunjukkan bahwa tidak semua modifikasi bahan alam layak langsung diterapkan secara klinis. Beberapa bahan alam menunjukkan peningkatan sifat mekanik hanya pada kondisi eksperimental tertentu. Ketidaksesuaian formulasi dapat menyebabkan penurunan kekuatan mekanik atau peningkatan porositas resin akrilik. Porositas yang tinggi dapat berdampak negatif terhadap kebersihan dan daya tahan gigi tiruan. Selain itu, perubahan sifat mekanik yang tidak konsisten dapat menurunkan keandalan material dalam penggunaan sehari-hari.²⁰ Oleh karena itu, hasil penelitian laboratoris perlu diuji lebih lanjut melalui evaluasi yang lebih aplikatif. Pendekatan bertahap menjadi penting sebelum adopsi klinis. Implikasi klinis lainnya berkaitan dengan kenyamanan dan kepuasan pasien pengguna gigi tiruan. Gigi tiruan yang lebih kuat dan stabil dapat meningkatkan rasa aman saat berbicara dan mengunyah. Kenyamanan penggunaan jangka panjang juga berpotensi meningkat dengan berkurangnya kejadian kerusakan material. Hal ini dapat berdampak positif terhadap kualitas hidup pasien edentulous. Selain itu, berkurangnya kebutuhan perbaikan atau penggantian gigi tiruan dapat mengurangi beban biaya perawatan. Dari perspektif pasien, material yang lebih tahan lama menjadi keuntungan yang signifikan.²¹ Oleh karena itu, peningkatan sifat mekanik memiliki implikasi langsung terhadap hasil perawatan. Meskipun demikian, penerapan klinis resin akrilik berbasis bahan alam tetap memerlukan pertimbangan standar regulasi dan keamanan. Setiap bahan tambahan harus memenuhi persyaratan keamanan material kedokteran gigi. Uji laboratorium yang terbatas belum sepenuhnya mencerminkan kondisi lingkungan rongga mulut yang kompleks. Faktor seperti suhu, kelembapan, pH saliva, dan beban mastikasi dinamis dapat memengaruhi kinerja material. Oleh karena itu, uji klinis dan simulasi jangka panjang sangat dibutuhkan. Pendekatan ini bertujuan memastikan bahwa

peningkatan sifat mekanik tetap stabil selama penggunaan. Tanpa evaluasi lanjutan, risiko kegagalan material tidak dapat diabaikan.^{22,23} Secara keseluruhan, modifikasi resin akrilik dengan bahan alam menunjukkan potensi besar untuk meningkatkan kualitas material gigi tiruan. Implikasi klinis yang dihasilkan mencakup peningkatan daya tahan, kenyamanan pasien, serta potensi manfaat biologis tambahan. Namun, keberhasilan penerapan klinis sangat bergantung pada pemilihan bahan, konsentrasi, dan metode aplikasi yang tepat. Hasil tinjauan pustaka menegaskan bahwa pendekatan berbasis bukti ilmiah sangat diperlukan dalam pengembangan material ini. Penelitian lanjutan dengan desain yang lebih komprehensif masih dibutuhkan untuk menjembatani hasil laboratoris dan aplikasi klinis. Dengan pendekatan yang terkontrol, resin akrilik berbasis bahan alam berpotensi menjadi alternatif material yang lebih unggul. Hal ini diharapkan dapat mendukung pengembangan prostodonsia yang lebih berkelanjutan.

F. Pengaruh Jenis Bahan Alam terhadap Sifat Mekanik Resin Akrilik

Berbagai jenis bahan alam telah digunakan sebagai modifikator resin akrilik untuk meningkatkan sifat mekanik. Bahan-bahan tersebut meliputi biopolimer, serat alami, dan nanopartikel yang berasal dari sumber hayati. Setiap jenis bahan alam memiliki karakteristik fisik dan kimia yang berbeda. Perbedaan tersebut memengaruhi cara bahan berinteraksi dengan matriks PMMA. Interaksi antarmuka yang baik dapat meningkatkan transfer beban mekanik. Sebaliknya, ketidakcocokan sifat material dapat menurunkan kekuatan resin.^{24,10} Oleh karena itu, jenis bahan alam menjadi faktor utama dalam keberhasilan modifikasi resin akrilik. Kitosan merupakan salah satu biopolimer alam yang paling banyak diteliti dalam modifikasi resin akrilik. Bahan ini dikenal memiliki struktur yang mampu berikatan dengan matriks polimer. Penelitian menunjukkan bahwa kitosan dapat meningkatkan kekuatan lentur resin akrilik. Selain itu, kitosan juga berkontribusi pada peningkatan ketangguhan fraktur. Efek ini terjadi apabila kitosan digunakan pada konsentrasi yang sesuai. Pada konsentrasi berlebih, kitosan justru dapat mengganggu homogenitas resin. Hal ini menunjukkan pentingnya kontrol formulasi material.²⁵ Selain biopolimer, serat alam juga banyak dimanfaatkan sebagai bahan penguat resin akrilik. Serat rami merupakan contoh serat alam yang sering dilaporkan efektif meningkatkan sifat mekanik. Serat ini mampu menahan beban tarik dan mendistribusikannya ke dalam matriks resin. Dengan distribusi yang baik, deformasi material dapat diminimalkan. Peningkatan kekuatan tarik dan impak menjadi hasil yang sering dilaporkan.²⁶ Namun, orientasi dan panjang serat sangat memengaruhi hasil akhir. Tanpa pengaturan yang tepat, serat dapat menjadi titik lemah material. Nanopartikel alami menawarkan pendekatan berbeda dalam modifikasi resin akrilik. Ukuran partikel yang sangat kecil memungkinkan penyebaran yang lebih merata. Penyebaran homogen dapat meningkatkan luas kontak antara filler dan matriks resin. Hal ini berdampak positif terhadap sifat mekanik material. Nanopartikel nanoselulosa merupakan salah satu contoh yang banyak dilaporkan. Peningkatan ketahanan impak sering ditemukan pada penggunaan nanopartikel ini. Namun, aglomerasi partikel tetap menjadi tantangan utama. Kombinasi beberapa jenis bahan alam juga mulai banyak dikaji dalam penelitian. Pendekatan hibrid ini bertujuan menggabungkan keunggulan masing-masing bahan. Serat alam dapat berperan sebagai penahan beban utama. Nanopartikel berfungsi mengisi celah mikro dalam matriks resin. Kombinasi ini berpotensi menghasilkan struktur yang lebih stabil. Beberapa penelitian melaporkan peningkatan mekanik yang lebih konsisten.^{27,28} Namun, formulasi hibrid memerlukan kontrol yang lebih kompleks. Tanpa optimasi, hasil yang diperoleh dapat bervariasi. Tidak semua bahan alam memberikan efek peningkatan sifat mekanik. Beberapa bahan justru menyebabkan penurunan kekuatan resin akrilik. Hal ini dapat disebabkan oleh ketidakcocokan sifat material. Ukuran partikel yang terlalu besar juga dapat meningkatkan porositas. Porositas yang tinggi berkontribusi pada penurunan kekuatan mekanik. Oleh karena itu, pemilihan bahan alam harus dilakukan secara selektif. Evaluasi awal sangat diperlukan sebelum aplikasi lebih lanjut.²⁹ Secara keseluruhan, jenis bahan alam memiliki pengaruh signifikan terhadap sifat mekanik resin akrilik. Setiap bahan menunjukkan respons mekanik yang berbeda. Faktor struktur, ukuran, dan

kompatibilitas material menjadi penentu utama. Hasil tinjauan pustaka menunjukkan bahwa tidak ada bahan alam yang bersifat universal. Keberhasilan modifikasi sangat bergantung pada kecocokan material. Oleh karena itu, pemilihan bahan harus berbasis bukti ilmiah. Pendekatan ini penting untuk menghasilkan resin akrilik dengan performa optimal.

G. Peran Konsentrasi dan Distribusi Bahan Alam dalam Matriks PMMA

Selain jenis bahan, konsentrasi bahan alam memegang peranan penting dalam modifikasi resin akrilik. Konsentrasi menentukan jumlah filler yang berinteraksi dengan matriks PMMA. Pada konsentrasi rendah, bahan alam dapat memperbaiki struktur mikro resin. Peningkatan kekuatan mekanik sering dilaporkan pada kondisi ini. Namun, peningkatan tersebut tidak bersifat linear. Pada titik tertentu, penambahan bahan justru merugikan. Oleh karena itu, konsentrasi optimal menjadi fokus utama penelitian. Beberapa studi melaporkan bahwa konsentrasi rendah hingga sedang memberikan hasil mekanik terbaik. Kondisi ini memungkinkan distribusi filler yang lebih homogen. Distribusi homogen membantu pembentukan ikatan antarmuka yang baik. Ikatan ini berperan dalam transfer beban mekanik. Ketika beban diterima, tegangan dapat tersebar secara merata. Hal ini mengurangi risiko terjadinya fraktur lokal. Dengan demikian, konsentrasi bahan menjadi faktor penentu keberhasilan modifikasi.^{30,31} Sebaliknya, penggunaan bahan alam dalam konsentrasi tinggi sering dikaitkan dengan penurunan sifat mekanik. Penumpukan filler dapat menyebabkan aglomerasi partikel. Aglomerasi ini menciptakan titik lemah dalam struktur resin. Titik lemah tersebut rentan terhadap retak dan fraktur. Selain itu, porositas material dapat meningkat. Peningkatan porositas berdampak negatif terhadap kekuatan mekanik. Oleh karena itu, konsentrasi berlebih harus dihindari. Distribusi bahan alam dalam matriks PMMA juga menjadi aspek yang sangat krusial. Distribusi yang tidak merata dapat mengganggu homogenitas material. Ketidakhomogenan ini memengaruhi stabilitas struktur resin. Pada kondisi tertentu, distribusi yang buruk dapat menurunkan ketahanan impak.⁸ Hal ini sering terjadi akibat teknik pencampuran yang kurang optimal. Oleh karena itu, metode pencampuran perlu diperhatikan. Teknik yang tepat dapat meningkatkan kualitas hasil modifikasi. Metode pencampuran mekanis sering dilaporkan³² lebih efektif dibandingkan pencampuran manual. Pencampuran mekanis membantu memecah aglomerasi partikel. Dengan demikian, filler dapat tersebar lebih merata. Distribusi yang baik meningkatkan interaksi antarmuka material. Interaksi ini mendukung peningkatan sifat mekanik resin. Namun, metode ini memerlukan peralatan tambahan. Hal tersebut dapat memengaruhi efisiensi proses produksi. Selain metode pencampuran, bentuk filler juga memengaruhi distribusi material. Nanopartikel cenderung lebih mudah terdistribusi dibandingkan partikel berukuran besar. Namun, nanopartikel juga lebih rentan mengalami aglomerasi. Oleh karena itu, diperlukan teknik khusus untuk menjaga kestabilannya. Penggunaan agen dispersan menjadi salah satu solusi yang dilaporkan. Pendekatan ini dapat meningkatkan homogenitas material. Dengan distribusi yang baik, sifat mekanik dapat ditingkatkan secara konsisten.³³ Secara keseluruhan, konsentrasi dan distribusi bahan alam merupakan faktor kunci dalam modifikasi resin akrilik. Kedua faktor ini saling berkaitan dan tidak dapat dipisahkan. Konsentrasi optimal tanpa distribusi yang baik tidak akan memberikan hasil maksimal. Demikian pula distribusi baik dengan konsentrasi tidak tepat tetap berisiko menurunkan performa. Oleh karena itu, optimasi kedua aspek ini sangat diperlukan. Pendekatan terkontrol menjadi dasar pengembangan material. Hal ini penting untuk memastikan peningkatan sifat mekanik yang stabil.

Faktor utama penyebab gingivitis pubertas adalah bakteri di dalam plak, yang dapat menyebabkan inflamasi pada gingiva dengan cara menghasilkan enzim yang mampu menghidrolisis komponen intersel dan epitel gingiva serta jaringan ikat di bawahnya. Faktor predisposisi atau faktor sekunder paling memengaruhi gingivitis pada remaja adalah ketidakseimbangan hormon, yaitu peningkatan hormon endokrin selama pubertas, yang menyebabkan vasodilatasi sehingga meningkatnya sirkulasi darah pada jaringan gingiva dan meningkatnya kepekaan iritan lokal.⁷ Aktivitas anti bakteri utama di madu adalah terkait dengan hidrogen peroksida (H_2O_2) yang terbentuk secara enzimatis. Tingkat

hidrogen peroksida (H_2O_2) yang diproduksi bersifat anti bakteri, namun tidak membahayakan jaringan tubuh.⁸ Kandungan hidrogen peroksida adalah desinfektan alami di dalam madu. Hidrogen peroksida didapat ketika madu diencerkan sehingga enzim glukosa oksidase bekerja aktif. Protein yang terkandung didalam madu diantaranya alfa dan beta glukosidase dan amilase.⁹ Senyawa yang terkandung pada madu yang dapat menghambat pertumbuhan bakteri yaitu kandungan hidrogen peroksida, flavonoid dan konsentrasi gula yang sangat tinggi. Hidrogen peroksida dikenal sebagai komponen antibiotik seperti notatin. Flavonoid yang terkandung dalam gula merupakan turunan dari senyawa fenol yang memiliki sifat antibakteri.¹⁰ Hal ini sejalan dengan penelitian yang dilakukan oleh Hasanuddin NR yang menunjukkan bahwa larutan madu lebah barat (*Apis Mellifera*) dengan konsentrasi 50% secara signifikan menurunkan kadar leukosit pada tikus wistar jantan (*Rattus Norvegicus*) yang diinduksi oleh bakteri *porphyromonas gingivalis*.⁶ Dengan demikian, madu lebah barat (*Apis mellifera*) konsentrasi 50% dapat dipertimbangkan sebagai alternatif agen antibakteri alami dalam bentuk obat kumur untuk membantu pengendalian indeks gingiva secara kimiawi. Penggunaan madu sebagai obat kumur tidak hanya efektif dalam proses penyembuhan gingivitis pada remaja, tetapi juga memiliki keunggulan berupa sifat antiinflamasi dan antioksidan yang mendukung kesehatan jaringan gingiva, sehingga berpotensi meningkatkan status kebersihan gigi dan mulut secara keseluruhan. Penelitian ini memiliki keterbatasan. Pertama, jenis penelitian ini pre-eksperimen sehingga tidak memiliki kelompok kontrol dan randomisasi sampel. Kedua, penelitian ini tidak memiliki kombinasi dengan bahan alami lainnya. Terakhir, penelitian ini hanya tertuju pada remaja.

KESIMPULAN

Modifikasi resin akrilik dengan bahan alam memiliki potensi untuk meningkatkan kekuatan bahan basis gigi tiruan. Beberapa bahan alam seperti kitosan, serat alami, dan nanopartikel alami dapat membantu meningkatkan kekuatan lentur, ketahanan impak, dan mengurangi risiko fraktur pada resin akrilik. Namun demikian, keberhasilannya sangat dipengaruhi oleh jenis bahan, konsentrasi, dan cara pencampurannya. Penggunaan bahan alam dalam jumlah yang tepat dapat memberikan hasil yang baik, sedangkan penggunaan berlebihan atau pencampuran yang tidak homogen justru dapat menurunkan sifat mekanik resin akrilik. Selain meningkatkan kekuatan, beberapa bahan alam juga memiliki efek antibakteri dan antijamur yang bermanfaat untuk kesehatan rongga mulut. Secara klinis, resin akrilik yang dimodifikasi dengan bahan alam berpotensi membuat basis gigi tiruan lebih kuat, tahan lama, dan nyaman digunakan pasien. Meskipun demikian, sebagian besar penelitian masih dilakukan secara laboratoris sehingga masih diperlukan penelitian lanjutan dan uji klinis sebelum bahan ini dapat digunakan secara luas dalam praktik kedokteran gigi.

DAFTAR PUSTAKA

1. Noori ZS, Al-Khafaji AM. *Effect of tea tree oil on heat cure acrylic resin properties (an in vitro/laboratory study)*. Rom J Stomatol. 2024;70(2):137–42.
2. Alqutaibi AY, Baik A, Almuzaini SA, Farghal AE, Alnazzawi AA, Borzangy S, et al. *Polymeric denture base materials: a review*. Polymers (Basel). 2023;15(15).
3. Chander NG, Venkatraman J. *Mechanical properties and surface roughness of chitosan reinforced heat polymerized denture base resin*. J Prosthodont Res. 2022;66(1):101–8.
4. Verma N, Lahori M. *Effect of chitosan on the mechanical properties and color stability of two commercially available heat cure denture base resins: an in vitro study*. J Interdiscip Dent. 2023;13(3):143–52.
5. Ismiyati T, Alhasyimi AA. *Effect of chitosan and acrylic acid addition to acrylic resin on porosity and streptococcus mutans growth in denture base*. Eur J Dent. 2023;17(3):693–8.

6. Ahmed SH, Salih WM. *Mechanical properties of acrylic laminations resin (pmma) reinforced by natural nanoparticles and hemp fibers*. IOP Conf Ser Mater Sci Eng. 2021;1094(1):012136.
7. Hasran MAR, Imam DNA, Sunendar B. *Addition of rice husk nanocellulose to the impact strength of resin base heat cured*. J Vocat Heal Stud. 2021;4(3):119.
8. Alsadon O, Alkhureif AA, Khan AA. *Effect of gum arabic powder on the mechanical properties of denture base acrylic*. Pakistan J Med Sci. 2023;39(1):223–6.
9. Dias DM, Botelho LP, de Almeida e Silva LD, Soares ME da C, Galo R. *Effect of adding chitosan nanoparticles to acrylic resin on mechanical and antimicrobial properties of removable dentures: scoping review*. Oral. 2025;5(4):85.
10. Marbun D, Martalina E, Asfirizal V. *Perbedaan kekuatan tekan pada resin akrilik tipe heat-cured yang direndam dalam ekstrak bunga Rosella (Hibiscus sabdariffa L.) dan sodium perborat*. Mulawarman Dent J. 2021;1(1):10.
11. Lumban Gaol AA, Mariati NW, Wahyuni R. *Uji daya hambat ekstrak etanol daun Waru (Hibiscus tiliaceus) terhadap jamur Candida Albicans pada basis akrilik*. e-GiGi. 2025;14(1):45–50.
12. Oleiwi J, I. Salih S, Fadhil H. *Study compression and impact properties of pmma reinforced by natural fibers used in denture*. Eng Technol J. 2018;36(6A):652–5.
13. Pan Y, Liu F, Xu D, Jiang X, Yu H, Zhu M. *Novel acrylic resin denture base with enhanced mechanical properties by the incorporation of PMMA-modified hydroxyapatite*. Prog Nat Sci Mater Int [Internet]. 2013;23(1):89–93. Available from: <http://dx.doi.org/10.1016/j.pnsc.2013.01.016>.
14. Alhotan A, Yates J, Zidan S, Haider J, Silikas N. *Flexural strength and hardness of filler-reinforced pmma targeted for denture base application*. Materials (Basel). 2021;14(10):1–14.
15. Kasuma N, Putri YG, Lipoeto I. *Pengaruh larutan kopi bubuk robusta terhadap stabilitas warna pada resin akrilik polimerisasi panas*. B-Dent J Kedokt Gigi Univ Baiturrahmah. 2018;2(1):23–8.
16. Fransisca W, Nasution ID. *Pengaruh penambahan serat kaca dan serat poliester terhadap kekuatan impak bahan basis gigitiruan resin akrilik polimerisasi panas*. B-Dent J Kedokt Gigi Univ Baiturrahmah. 2018;2(1):16–22.
17. Manik SD, Tarigan S. *Penambahan nanopartikel titanium dioksida terhadap kekuatan fleksural dan kekerasan basis gigi tiruan resin akrilik polimerisasi panas*. B-Dent J Kedokt Gigi Univ Baiturrahmah. 2021;8(1):42–54.
18. Gad MM, Fouda SM, Fahad AAH, Năpănkangas Ritva, Aune R. *IJN-130722-pmma-denture-base-material-enhancement---a-review-of-fiber--*. Int J Nanomedicine. 2017;12:3801–12.
19. Khan AA, Alkhureif AA, Awaiyer MS, Bautista LSJ. *Surface, mechanical and chemical properties of modified denture resin using natural biopolymer*. Pakistan J Med Sci. 2023;39(6):1631–6.
20. Riyadi W, Purwasmita SB, Imam DNA. *Penambahan nanoselulosa sekam padi terhadap kekuatan fleksural basis gigi tiruan resin akrilik polimerisasi panas*. J Dent. 2020;4(2):336–42.
21. Sugianitri NK, Suhendra S. *Impact strength test on addition of agave sisalana fiber and e-glass fiber in acrylic resin dental plate repair*. Interdental J Kedokt Gigi. 2021;17(1):49–55.
22. Wahyuni S, Balqish B. *Pengaruh perendaman gigi artifisial resin akrilik dalam ekstrak daun kemangi terhadap kekerasan permukaan*. Padjadjaran J Dent Res Students. 2022;6(3):210.
23. Sitorus V. *Pengaruh perendaman basis gigi tiruan resin akrilik polimerisasi panas dalam ekstrak daun Serai (Cymbopogon nardus) dan klorheksidin terhadap kekasaran permukaan*. J Sehat Indones. 2024;6(02):544–59.
24. Sitorus Z, Maghfirah A. *Sitorus Z, Maghfirah A, Romania Y, Humaidi S. Sifat mekanik gigi tiruan akrilik dengan penguat serat gelas*. Ind J Appl Phys 2017; 4(2): 183–91. 2014;4(2):183–91.
25. Raoof ASM, Kareem MM, Ahmed AG, Mohammed ZJ. *investigating the potential of walnut shell powder as a filler in PMMA denture bases*. Rev des Compos des Mater Av. 2024;34(5):603–12.

26. Fouly A, Alnaser IA, Assaifan AK, Abdo HS. *Creating customized hip-spacers using PMMA-based green composites to fulfill specific needs of individuals with disabilities*. J Disabil Res. 2023;2(1):98–105.
27. Salih SI, Oleiwi JK, Fadhil HS. *Preparation and investigation of some properties of acrylic resin reinforced with siwak fiber used for denture base applications*. Kurdistan J Appl Res. 2017;2(3):309–14.
28. Aldegheishem A, Aldeeb M, Al-Ahdal K, Helmi M, Alsagob EI. *Influence of reinforcing agents on the mechanical properties of denture base resin: a systematic review*. Polymers (Basel). 2021;13(18):1–12.
29. Putranti DT, Angelica A. Pengaruh penambahan nano hidroksiapatit cangkang kerang kepah pada bahan basis gigi tiruan resin akrilik polimerisasi panas terhadap kekuatan transversal: eksperimental laboratoris. J Kedokt Gigi Univ Padjadjaran. 2024;36(1):28–37.
30. Tarsis JT, Wahyuni S. Pengaruh penambahan nanoselulosa serat daun Nanas pada basis gigi tiruan resin akrilik polimerisasi panas terhadap kekuatan transversal. J Kedokt Gigi Univ Padjadjaran [Internet]. 2023;35(3):251–5.
31. Cornelia Z. Perbedaan modulus elastisitas basis gigi tiruan resin akrilik polimerisasi panas tanpa dan dengan penambahan nanoselulosa serat daun nanas: studi eksperimental laboratoris. J Kedokt Gigi Univ Padjadjaran. 2023;35:223–9.
32. Shauti FR, Wahyuni S, Sarjana PS, Gigi K, Universitas KG, Utara S, et al. Perbedaan modulus elastisitas basis gigi tiruan resin akrilik polimerisasi panas pada penambahan nanosilika abu cangkang kelapa sawit: studi eksperimental laboratoris. J Kedokt Gigi Univ Padjadjaran. 2024;36(2):177–85.
33. Nainggolan RS, Wahyuni S. Perbedaan efek penambahan silika dari abu cangkang kelapa Sawit terhadap kekasaran permukaan basis gigi tiruan resin akrilik polimerisasi panas: studi eksperimental. Padjadjaran J Dent Res Students. 2025;9(2):183–9.