

Laporan Penelitian

Uji toksisitas karbon aktif dari *Cocos nucifera* L. terhadap jaringan gingiva tikus wistar dengan aplikasi perawatan ortodonti menggunakan MTT Assay: Studi eksperimental

Yenita Alamsyah^{1*}, Cindy Putri Mareta², Netta Anggraini¹, Kornialia Kornialia²

*Korespondensi:

yenitaalamsyahfkg@gmail.com

¹Departemen Ortodonti, Fakultas Kedokteran Gigi Universitas Baiturrahmah Padang, Indonesia

²Departemen Periodonti, Fakultas Kedokteran Gigi Universitas Baiturrahmah Padang, Indonesia

Submisi: 03 Maret 2026

Revisi: 15 Juni 2026

Penerimaan: 27 Juni 2026;

Publikasi Online: 30 Juni 2026

DOI: [10.24198/pjdrs.v10i2.69658](https://doi.org/10.24198/pjdrs.v10i2.69658)

ABSTRAK

Pendahuluan: *Orthodontic tooth movement* (OTM) memicu inflamasi gingiva yang umumnya diatasi dengan triamcinolone acetonide 0,1% yang berisiko efek samping. Karbon aktif tempurung kelapa (*Cocos nucifera* L.) berpotensi mengadsorpsi mediator inflamasi lokal. Penelitian ini bertujuan menganalisis biokompatibilitas dan viabilitas sel fibroblas gingiva pasca-aplikasi gel karbon aktif *C. nucifera* L. menggunakan MTT Assay. **Metode:** Studi eksperimental *post-test only control group design* menggunakan 30 ekor tikus Wistar jantan (*Rattus norvegicus*) yang dibagi menjadi 6 kelompok ($n=5$). Model OTM dibuat menggunakan *closed coil spring* (gaya 100–150 g). Kelompok perlakuan terdiri atas kontrol normal (K1), kontrol negatif OTM (K2), kontrol positif triamcinolone 0,1% (K3), serta gel karbon aktif 10% (K4), 5% (K5), dan 3,33% (K6) yang diaplikasikan hingga 30 hari. Viabilitas fibroblas gingiva diukur dengan MTT assay ($\lambda=570$ nm) dan dianalisis menggunakan *One-way ANOVA* serta *post-hoc Tukey* ($p<0,05$). **Hasil:** Rerata viabilitas sel kelompok gel karbon aktif 10%, 5%, dan 3,33% berturut-turut adalah 87,4%, 89,1%, dan 91,2%. Selama masa pengamatan (hari ke-7, 14, 21, dan 30), viabilitas berkisar 76%–98% (non-toksik, $>80\%$ berdasarkan ISO 10993-5). **Simpulan:** Gel karbon aktif *C. nucifera* L. bersifat biokompatibel dan tidak toksik terhadap gingiva tikus Wistar pada model OTM.

KATA KUNCI: Karbon aktif (*Cocos nucifera* L.), jaringan gingiva, toksisitas, perawatan ortodonti, viabilitas sel

Toxicity test of activated carbon from *Cocos nucifera* L. on Wistar rat gingival tissue during orthodontic treatment using MTT assay: Study experimental

ABSTRACT

Introduction: *Orthodontic tooth movement* (OTM) induces gingival inflammation, typically treated with triamcinolone acetone 0.1%; however, its use carries a risk of side effects. Activated carbon from coconut shells (*Cocos nucifera* L.) has the potential to adsorb local inflammatory mediators. This study aimed to analyze the biocompatibility and gingival fibroblast cell viability following application of *C. nucifera* L. activated carbon gel using the MTT assay. **Methods:** This experimental study used a *post-test-only control group design* and evaluated 30 male Wistar rats (*Rattus norvegicus*) divided into six groups ($n=5$). An OTM model was induced using a *closed coil spring* (100–150 g force). Groups included a normal control (K1), a negative OTM control (K2), a positive control treated with triamcinolone 0.1% (K3), and groups treated with activated carbon gels at 10% (K4), 5% (K5), and 3.33% (K6), with applications performed for up to 30 days. Gingival fibroblast viability was assessed via MTT assay ($\lambda=570$ nm) and analyzed using *one-way ANOVA* followed by *Tukey's post hoc test* ($p<0.05$). **Results:** Mean cell viability in the 10%, 5%, and 3.33% activated carbon gel groups was 87.4%, 89.1%, and 91.2%, respectively. Viability ranged from 76%–98% across all observation periods (days 7, 14, 21, and 30), indicating non-toxicity ($>80\%$ per ISO 10993-5). **Conclusion:** *C. nucifera* L. activated carbon gel is biocompatible and does not exhibit a cytotoxic effect on the gingival tissue of Wistar rats in an OTM model.

KEYWORDS: Activated carbon (*Cocos nucifera* L.), gingival tissue, toxicity, orthodontic treatment, cell viability

PENDAHULUAN

Maloklusi adalah kelainan perkembangan pada susunan gigi yang ditandai oleh posisi gigi yang tidak teratur di dalam lengkung rahang. Kondisi ini dapat bermanifestasi sebagai gigi berjejal, malposisi gigi, protrusi gigi ke arah anterior, serta hubungan oklusal yang tidak harmonis dengan gigi antagonisnya, yang dipengaruhi oleh berbagai faktor penyebab tertentu.¹ Prevalensi maloklusi paling tinggi ditemukan di benua Afrika sebesar 81%, kemudian diikuti oleh Eropa sebesar 72%, Amerika sebesar 53%, dan Asia sebesar 48%.² Menurut data *World Health Organization* (WHO), maloklusi menempati peringkat ketiga sebagai permasalahan kesehatan gigi dan mulut yang paling sering dijumpai setelah karies gigi dan penyakit periodontal.¹ Riset Kesehatan Dasar (Riskesdas) Nasional tahun 2018 menunjukkan bahwa prevalensi masalah kesehatan gigi dan mulut di Indonesia mencapai 57,6%, di mana maloklusi masih menjadi salah satu kelainan yang banyak ditemukan pada Masyarakat.³

Maloklusi dipengaruhi oleh tiga faktor utama, yakni faktor genetik, faktor lingkungan, dan faktor spesifik. Faktor lingkungan meliputi adanya trauma serta kebiasaan buruk dalam perawatan kesehatan mulut atau bad oral habit. Faktor genetik berkontribusi melalui kemiripan bentuk lengkung rahang dan karakteristik senyum yang diturunkan. Faktor spesifik berkaitan dengan proses pertumbuhan dan perkembangan tulang wajah serta tulang kepala yang berlangsung sejak periode fetal, perinatal, masa anak-anak, hingga dewasa.⁴ Perawatan yang dilakukan untuk menangani maloklusi dikenal sebagai perawatan ortodonti.⁵

Perawatan ortodonti didasarkan pada kebutuhan untuk memperbaiki kesehatan serta fungsi rongga mulut, sekaligus meningkatkan estetik. Memperindah tampilan gigi dan wajah juga menjadi alasan utama seorang menjalani perawatan ortodonti. Banyak kasus maloklusi dapat memengaruhi pandangan individu terhadap dirinya sendiri, sehingga perawatan ortodonti diharapkan mampu mendukung peningkatan penampilan pribadi.⁶ Perawatan ortodonti dapat dilakukan menggunakan piranti ortodonti lepasan, piranti ortodonti fungsional, atau piranti ortodonti cekat.⁷

Pergerakan gigi ortodonti atau *Orthodontic Tooth Movement* (OTM) dapat menimbulkan reaksi inflamasi pada jaringan periodontal. Pemberian gaya ortodonti menyebabkan sel-sel di sekitar gigi mengalami tekanan mekanis yang kemudian memicu aktivasi berbagai jalur kaskade seluler dan molekuler yang berperan dalam proses inflamasi. Kondisi tersebut mengakibatkan terjadinya respons inflamasi steril pada jaringan periodontal.⁸

Fase awal OTM, terjadi peningkatan permeabilitas vaskular dan infiltrasi leukosit. Sel-sel imun dapat bermigrasi atau melakukan homing, serta mensekresi sitokin dan kemokin inflamasi selama OTM dengan sensitivitas tinggi. Cairan gingiva (GCF) dapat diperoleh dengan mudah dan secara non-invasif dalam beberapa sesi OTM. Selain itu, sitokin adalah protein dengan berat molekul kecil (mW 25 kDa) yang dilepaskan secara autokrin dan parakrin sebagai respons terhadap sinyal stres sel lokal. Sitokin inflamasi seperti Interleukin (IL)-1, IL-2, IL-3, IL-6, IL-8, Tumor Necrosis Factor- α , dan Interferon γ (IFN- γ) dapat terdeteksi dalam cairan gingiva (GCF) selama pergerakan gigi ortodonti (OTM).⁸

Gingiva berperan sebagai jaringan lunak yang tidak hanya melindungi tulang alveolar dan mengelilingi gigi, tetapi juga memiliki fibroblas yang berfungsi dalam sintesis matriks ekstraseluler serta pemeliharaan jaringan periodontal.^{9,10} Salah satu kortikosteroid yang banyak digunakan adalah triamcinolone acetonide. Namun, penggunaan triamcinolone acetonide 0,1% dilaporkan dapat menimbulkan beberapa efek samping, seperti sensasi terbakar, gatal, iritasi, kekeringan, pengelupasan, dermatitis perioral, reaksi alergi, maserasi, infeksi sekunder, serta atrofi mukosa mulut.¹¹

Adanya kontraindikasi dan potensi efek samping yang serius dari obat antiinflamasi steroid, berbagai penelitian terbaru mulai mengembangkan dan memanfaatkan bahan-bahan alami, termasuk suplemen dan obat herbal, sebagai alternatif yang lebih aman dalam mengurangi nyeri dan peradangan.¹¹ Pentingnya pemilihan bahan yang aman dalam mendukung kesehatan jaringan periodontal selama perawatan ortodonti mendorong dilakukan berbagai penelitian biokompatibilitas bahan alami.¹²

Penelitian Nurmalasari *et al.*,¹² pada sabut kelapa (*Cocos nucifera* L. L.) membuktikan bahwa ekstrak hingga 100 mg/ml juga tidak toksik terhadap sel fibroblas gingiva (GT-1). Meski ada peningkatan kematian sel pada konsentrasi lebih tinggi, hasilnya tidak signifikan secara statistik dan masih dalam batas aman. Kandungan bioaktifnya seperti tannin, flavonoid, alkaloid, dan saponin tetap mendukung viabilitas sel, sehingga sabut kelapa berpotensi besar dimanfaatkan sebagai bahan penguat resin komposit yang biokompatibel serta aman bagi jaringan periodontal.

Hasil positif tersebut membuka peluang untuk mengeksplorasi potensi bahan alami lain, yaitu karbon aktif, yang pengembangannya sangat potensial di Indonesia. Indonesia adalah salah satu negara dengan potensi besar dalam pengembangan karbon aktif yang berasal dari bahan tempurung kelapa. Produksi arang tempurung kelapa di Indonesia mencapai 66.200 ton per tahun, terutama berasal dari beberapa daerah di bagian timur Indonesia.¹³ Karbon aktif merupakan bahan berpori dengan luas permukaan tinggi yang banyak digunakan di berbagai bidang, termasuk kedokteran gigi, sebagai bahan penyerap zat berbahaya. Karbon aktif dapat berasal dari berbagai sumber, salah satunya adalah tempurung kelapa (*Cocos nucifera* L.) yang mengandung lignin dan selulosa tinggi sehingga mampu menghasilkan karbon aktif dengan daya adsorpsi yang baik.¹³

Dalam tempurung kelapa terkandung selulosa sebesar kurang lebih 45% dan lignin pada tempurung kelapa juga terkandung lignin sebanyak 33%. Lignin ini adalah biopolymer aromatik kompleks yang mempunyai berat molekul besar, lignin juga mempunyai gugus fungsi seperti aldehida, keton asam, phenol dan ether yang membuat terjadinya adsorpsi kimia.¹⁴ Kemampuan adsorpsi kimia yang tinggi melalui gugus fungsi dan pori-porinya inilah yang mendasari peran karbon aktif sebagai agen antiinflamasi. Secara mekanis, karbon aktif bekerja dengan cara mengikat, menjebak, dan mengadsorpsi mediator inflamasi, sitokin pro-inflamasi, serta endotoksin bakteri yang dilepaskan di area gingiva yang mengalami stres mekanis akibat perawatan ortodonti. Dengan terikatnya senyawa-senyawa toksik dan mediator peradangan tersebut pada permukaan karbon aktif, kaskade inflamasi lokal dapat diredam secara signifikan tanpa memicu kerusakan seluler, sehingga bahan alam ini memiliki potensi biologis yang kuat untuk dikembangkan sebagai alternatif pengganti obat antiinflamasi standar.¹⁵

Salah satu cara untuk menguji biokompatibilitas suatu bahan adalah dengan melakukan uji toksisitas. Dalam uji ini, salah satu metode yang digunakan adalah Methylthiazolyldiphenyl tetrazolium Assay (MTT Assay). Metode MTT Assay adalah teknik *in vitro* yang sering digunakan untuk mengukur seberapa hidup sel berdasarkan aktivitas enzim mitokondria yang mengubah MTT menjadi formazan.¹⁶ Metode ini juga dapat menilai pengaruh karbon aktif terhadap sel fibroblas gingiva, yang penting untuk jaringan mulut. Metode ini fokus pada mengukur viabilitas sel dengan melihat aktivitas enzim mitokondria, seperti suksinat dehidrogenase, yang menunjukkan fungsi mitokondria sel.¹⁷

Dalam penelitian, hewan model yang sering digunakan adalah tikus strain Wistar (*Rattus novogicus*), suatu jenis tikus albino. Alasan utama penggunaannya adalah kesamaan genetiknya dengan manusia, di mana sekitar 90% gen tikus identik dengan gen manusia, sehingga memungkinkan para peneliti untuk mempelajari berbagai penyakit manusia dan mengembangkan obat-obatan baru.⁸

Gap penelitian ini belum tersedianya bukti ilmiah tentang tingkat toksisitas karbon aktif tempurung kelapa (*Cocos nucifera*) sebagai agen antiinflamasi alternatif yang aman pada jaringan gingiva dengan aplikasi perawatan ortodonti. Kebaruan dari penelitian ini yaitu pemanfaatan karbon aktif tempurung kelapa (*Cocos nucifera* L) sebagai agen antiinflamasi alami alternatif pada inflamasi gingiva akibat perawatan ortodonti. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis tingkat toksisitas karbon aktif dari *Cocos nucifera* L. terhadap jaringan gingiva *Rattus novogicus* pada aplikasi ortodonti dengan metode MTT Assay.

METODE

Penelitian ini merupakan penelitian *in vivo* eksperimental laboratorium dengan rancangan *post-test only control group*. Subjek penelitian berupa 30 ekor *Rattus novogicus* jantan (berat badan $\pm$ 200–250 gram) yang dibagi menjadi 6 kelompok perlakuan. Pengambilan sampel dilakukan menggunakan teknik *simple random sampling* dari populasi

hewan coba yang memenuhi kriteria inklusi dan eksklusi. Jumlah sampel ditentukan berdasarkan Rumus Federer ($t-1$) ($n-1$) ≥ 15 untuk memenuhi batas minimal derajat bebas galat yang valid.

Penelitian ini menggunakan tikus sebanyak 30 ekor *Rattus novogicus* Jantan yang berat badannya ± 200 -250 gram. Pada penelitian ini terdapat 6 kelompok perlakuan yang terdiri dari 5 ekor tikus dengan pembagian sub-kelompok berdasarkan waktu dekapitasi/terminasi perlakuan pada hari ke-7, 14, 21, dan 30. Teknik pengambilan sampel menggunakan random sampling. Sampel diambil secara acak pada populasi hewan coba. Seluruh hewan coba terlebih dahulu diseleksi berdasarkan kriteria inklusi dan eksklusi.

Kriteria Inklusi yaitu *Rattus novogicus* jantan, berusia 8–10 minggu, berat badan ± 200 –250 gram, dan tidak pernah digunakan dalam penelitian sebelumnya. Kriteria Eksklusi yaitu Tikus yang mengalami sakit selama masa adaptasi atau tikus yang mati sebelum seluruh periode waktu penelitian selesai. Pembuatan gel karbon aktif (*Cocos nucifera* L.) akan dilaksanakan di Lab. Oral Biologi Fakultas Kedokteran Gigi, Universitas Syiah Kuala menggunakan bahan dasar tempurung kelapa yang dikeringkan pada suhu ± 105 °C, melalui karbonisasi dalam *furnace* (400–500 °C), diaktivasi kimia menggunakan larutan aktivator basa NaOH 0,5–1 M selama 12–24 jam, dilanjutkan aktivasi termal (600–800 °C), digiling hingga <100 mesh, disterilisasi, lalu dicampur ke dalam basis gel Carbopol dengan penyesuaian pH meter ke rentang fisiologis mukosa 6,8–7,4.

Detail Perlakuan Model Ortodonti: Tikus dianestesi terlebih dahulu, kemudian dipasang piranti cekat berupa *Closed Coil NiTi spring* di antara gigi insisivus atas tikus yang dikalibrasi menggunakan *Force Gauge* untuk menyalurkan tekanan mekanis konstan. Metode Pengaplikasian Bahan: Sediaan gel diaplikasikan secara topikal intraoral pada area mukosa gingiva sekitar gigi yang mengalami tekanan ortodonti dengan volume presisi 30 μ L menggunakan microbrush, berfrekuensi 2 kali sehari pada hari ke 1–7 dan diturunkan menjadi 1 kali sehari pada hari ke 8–14.

Penelitian uji toksisitas metode MTT Assay dilakukan di laboratorium Hewan, Fakultas Kedokteran Hewan, Universitas Syiah Kuala. Diawali isolasi jaringan gingiva area pergerakan gigi untuk kultur sel fibroblas gingiva primer, diinkubasi dalam *96-well plate* selama 24 jam, ditambahkan larutan MTT 5 mg/mL, diinkubasi kembali selama 4 jam hingga membentuk kristal formazan ungu, dilarutkan dengan cairan Dimetil Sulfoksida (DMSO), dan dibaca nilai absorbansinya. Analisis statistik *one way Anova* dan *post-hoc Tukey* ($p < 0,05$); kriteria viabilitas: $>80\%$ (aman), 60-80% (toksik ringan-moderat), $<60\%$ (toksik) serta uji korelasi *Pearson* untuk melihat hubungan antar-variabel waktu pengamatan.

HASIL

Tabel 1. Viabilitas jaringan gingiva tikus ortodonti pada tiap kelompok perlakuan
Viabilitas Jaringan Gingiva

Kelompok Perlakuan	N	Hari ke-7 (Mean $\pm$ SD)	Hari ke-14 (Mean $\pm$ SD)	Hari ke-21 (Mean $\pm$ SD)	Hari ke-30 (Mean $\pm$ SD)	p-value	Post Hoc vs K2 (p)
K1	5	100,00 $\pm$ 2,1	99,12 $\pm$ 1,8	98,76 $\pm$ 1,9	98,55 $\pm$ 2,0	0,216	0,08
K2	5	87,14 $\pm$ 1,7	82,36 $\pm$ 1,6	79,50 $\pm$ 1,4	76,33 $\pm$ 1,2	0,004	0,05
K3	5	97,86 $\pm$ 1,5	97,98 $\pm$ 1,4	98,10 $\pm$ 1,3	98,21 $\pm$ 1,5	0,155	0,002
K4	5	96,11 $\pm$ 1,8	97,44 $\pm$ 1,6	97,76 $\pm$ 1,7	97,83 $\pm$ 1,5	0,021	0,005
K5	5	94,42 $\pm$ 1,9	95,33 $\pm$ 1,8	96,00 $\pm$ 1,5	96,34 $\pm$ 1,6	0,039	0,032
K6	5	91,35 $\pm$ 2,2	93,10 $\pm$ 1,9	93,87 $\pm$ 2,0	94,12 $\pm$ 1,8	0,041	0,026
p-value		0,001	0,007	0,004	0,003		

Berdasarkan data pada Tabel 1, apabila dihitung secara akumulatif keseluruhan waktu pengamatan, rata-rata viabilitas seluler tertinggi ditemukan pada kelompok gel karbon aktif konsentrasi 3,33% (rasio 1:30) sebesar 91,2%, diikuti oleh kelompok konsentrasi 5% (rasio 1:20) sebesar 89,1%, dan kelompok konsentrasi 10% (rasio 1:10) sebesar 87,4%.

Tabel 2 menerangkan kelompok perlakuan K3 hingga K6 menunjukkan nilai viabilitas jaringan gingiva yang lebih baik dibandingkan kelompok K2. Kelompok K3 mampu mempertahankan viabilitas tinggi dan stabil ($>97\%$), sementara kelompok K4, K5, dan K6

memperlihatkan peningkatan viabilitas secara bertahap hingga hari ke-30. Secara keseluruhan, seluruh kelompok perlakuan (K3–K6) menunjukkan nilai viabilitas dalam kategori aman ($>80\%$) serta mampu menekan penurunan viabilitas jaringan gingiva akibat tekanan ortodonti dibandingkan dengan kelompok K2.

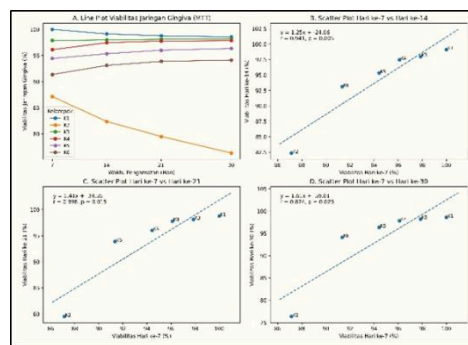
Tabel 2. Viabilitas jaringan gingiva

Kelompok	Hari 14 – Hari 7	Hari 21 – Hari 7	Hari 30 – Hari 7
K1	-0,04%	+0,04%	-0,02%
K2	-1,14%	-2,09%	-3,60%
K3	+1,47%	+2,26%	+2,91%
K4	+1,56%	+1,95%	+2,45%
K5	+0,79%	+1,62%	+1,89%
K6	+0,78%	+1,16%	+1,64%

Kelompok tanpa ortodonti (K1) memperlihatkan perubahan viabilitas yang sangat minimal, menandakan jaringan gingiva dalam kondisi stabil. Sebaliknya, kelompok ortodonti tanpa intervensi (K2) menunjukkan penurunan viabilitas jaringan yang berlangsung secara bertahap, mengindikasikan bahwa paparan gaya ortodonti yang berkelanjutan dapat menurunkan viabilitas jaringan gingiva apabila tidak disertai intervensi protektif.

Kelompok K3 (triamcinolone) mengalami peningkatan viabilitas jaringan gingiva secara konsisten selama periode pengamatan. Kelompok yang mendapatkan perlakuan karbon aktif (K4, K5, K6) juga menunjukkan kecenderungan peningkatan viabilitas jaringan secara bertahap, di mana konsentrasi yang lebih tinggi memberikan efek peningkatan viabilitas jaringan yang lebih besar.

Secara keseluruhan, perlakuan triamcinolone maupun karbon aktif bersifat aman (non-toksik) serta mampu menghambat penurunan viabilitas jaringan akibat tekanan ortodonti. Temuan ini mendukung potensi perlakuan tersebut sebagai agen protektif dan pro-regeneratif pada jaringan gingiva tikus ortodonti.



Gambar 1. Line plot perubahan viabilitas dan korelasi pearson.

Panel (A) menggambarkan perubahan viabilitas jaringan gingiva tikus wistar berdasarkan hasil uji MTT Assay. Kelompok tanpa ortodonti (K1) menunjukkan nilai viabilitas yang tetap tinggi, sedangkan kelompok ortodonti tanpa intervensi (K2) mengalami penurunan viabilitas hingga hari ke-30, yang mencerminkan dampak negatif tekanan ortodontik yang berkelanjutan. Kelompok K3 (triamcinolone) mampu mempertahankan viabilitas jaringan pada tingkat tinggi, sementara kelompok karbon aktif (K4, K5, K6) menunjukkan peningkatan viabilitas jaringan secara bertahap seiring waktu.

Panel (B), (C), dan (D) melalui scatter plot korelasi Pearson menunjukkan hubungan linear positif yang kuat antara viabilitas jaringan pada fase awal (hari ke-7) dengan kondisi pada hari ke-14, 21, dan 30. Temuan ini mengindikasikan bahwa kondisi viabilitas jaringan pada awal pengamatan berkaitan erat dengan kondisi jaringan pada waktu pengamatan selanjutnya dan dapat digunakan sebagai prediktor terhadap kondisi jaringan pada akhir periode observasi.

Secara keseluruhan, pemberian triamcinolone dan karbon aktif tempurung kelapa bersifat tidak toksik serta memiliki efek protektif terhadap jaringan gingiva tikus yang menjalani perawatan ortodonti. Perlakuan tersebut terbukti mampu menekan efek negatif tekanan ortodontik serta mendukung stabilitas dan peningkatan viabilitas jaringan secara berkelanjutan (Gambar 1).

Tabel 3. Uji korelasi pearson antara viabilitas jaringan gingiva hari ke-7 dengan hari ke-14, 21, dan 30

Variabel X (Hari ke-7)	Variabel Y	N	Koefisien Korelasi (r)	Sig. (2-tailed)	Interpretasi
Viabilitas Hari ke-7	Viabilitas Hari ke-14	6	0,941	0,005	Korelasi positif sangat kuat dan bermakna
Viabilitas Hari ke-7	Viabilitas Hari ke-21	6	0,898	0,015	Korelasi positif sangat kuat dan bermakna
Viabilitas Hari ke-7	Viabilitas Hari ke-30	6	0,874	0,023	Korelasi positif kuat dan bermakna

Hasil analisis menunjukkan adanya hubungan positif yang kuat hingga sangat kuat dan bermakna secara statistik antara viabilitas jaringan gingiva pada hari ke-7 dengan seluruh waktu pengamatan selanjutnya ($p < 0,05$). Nilai koefisien korelasi tertinggi diperoleh pada hubungan antara viabilitas hari ke-7 dan hari ke-14 ($r = 0,941$), diikuti oleh korelasi antara hari ke-7 dan hari ke-21 ($r = 0,898$), serta antara hari ke-7 dan hari ke-30 ($r = 0,874$). Secara biologis, hasil tersebut mengindikasikan bahwa respons jaringan gingiva terhadap tekanan ortodontik dan perlakuan yang diberikan berlangsung secara konsisten dan berkelanjutan. Viabilitas jaringan gingiva pada hari ke-7 berpotensi berperan sebagai indikator awal yang dapat memprediksi viabilitas jaringan pada hari ke-14, 21 dan 30.

PEMBAHASAN

Berdasarkan hasil penelitian pada Tabel 1, karbon aktif yang berasal dari *Cocos nucifera L.* tidak menunjukkan efek toksik terhadap jaringan gingiva *Rattus novogicus*. Hal ini ditunjukkan oleh peningkatan nilai viabilitas sel fibroblas gingiva pada kelompok perlakuan K3, K4, K5, dan K6, serta kelompok kontrol normal (K1) yang meskipun mengalami sedikit penurunan tetap berada pada nilai viabilitas di atas batas aman ($> 80\%$) (Tabel 1 dan Tabel 2). Sebaliknya, kelompok ortodonti tanpa perlakuan (K2) menunjukkan penurunan viabilitas sel yang diduga berkaitan dengan peningkatan stres oksidatif akibat gaya ortodonti yang berkelanjutan, di mana ketidakseimbangan antara produksi reactive oxygen species (ROS) dan kapasitas antioksidan jaringan dapat mengganggu fungsi metabolik serta viabilitas sel fibroblas gingiva. Hasil tersebut sejalan dengan jurnal Inchingolo *et al.*^{15,18} yang menyatakan bahwa stres oksidatif berperan penting dalam kerusakan sel dan penurunan viabilitas jaringan apabila tidak diimbangi oleh mekanisme proteksi antioksidan. Berdasarkan standar ISO 10993-5, persentase viabilitas sel di atas 80% dianggap tidak sitotoksik; antara 80%–60% sitotoksik lemah; 60%–40% sitotoksik sedang dan di bawah 40% sitotoksik kuat.

Hasil penelitian ini sejalan dengan temuan Nurmalasari *et al.*,¹² yang melaporkan bahwa bahan berbasis kelapa tidak menimbulkan efek sitotoksik terhadap sel fibroblas gingiva pada berbagai konsentrasi, serta didukung oleh penelitian Cevanti *et al.*,¹⁹ yang menyatakan bahwa bahan alami umumnya memiliki tingkat toksisitas yang rendah dan menunjukkan biokompatibilitas yang baik terhadap jaringan oral.

Aspek non-toksikitas karbon aktif dari *Cocos nucifera L.* pada penelitian ini diduga berkaitan dengan kemampuannya dalam menekan efek stres oksidatif yang timbul akibat aplikasi gaya ortodonti. Pemberian karbon aktif pada kelompok perlakuan (K4–K6) menunjukkan viabilitas sel fibroblas gingiva yang lebih baik dibandingkan kelompok ortodonti tanpa perlakuan (K2), yang mengindikasikan adanya efek protektif terhadap sel (Tabel 1 dan Gambar 1A). Efek tersebut dapat dikaitkan dengan keberadaan senyawa bioaktif yang bersifat antioksidan, yang berperan dalam menetralkan radikal bebas dan menjaga keseimbangan redoks jaringan gingiva. Penelitian Alamsyah *et al.*,²¹ melaporkan bahwa senyawa mangiferin memiliki kemampuan tinggi dalam mengkelat ion besi dan menghambat pembentukan radikal bebas akibat potensi antioksidannya.

Mekanisme non-toksisitas karbon aktif dari *Cocos nucifera L.* juga dapat dijelaskan melalui proses aktivasi dan pemurnian material. Proses pencucian hingga mencapai pH netral serta sterilisasi yang dilakukan bertujuan untuk menghilangkan residu aktivator kimia seperti NaOH atau ZnCl_2 yang berpotensi menimbulkan efek sitotoksik terhadap sel.²¹ Dengan berkurangnya residu bahan kimia tersebut, karbon aktif menjadi lebih inert dan aman saat berinteraksi dengan jaringan biologis. Karbon aktif dari tempurung kelapa memiliki struktur pori mikro dan luas permukaan yang tinggi, sehingga lebih berfungsi sebagai adsorben fisik dibandingkan sebagai agen kimia reaktif.

Menurut Bakti *et al.*,²² sifat fisik tersebut menyebabkan karbon aktif cenderung tidak bereaksi secara langsung dengan sel atau jaringan, melainkan hanya berperan dalam proses adsorpsi. Kondisi ini menjadikan karbon aktif relatif aman selama tidak terhirup atau tertelan dalam jumlah besar, serta mendukung hasil penelitian ini yang menunjukkan tidak adanya efek toksik pada jaringan gingiva.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa karbon aktif yang berasal dari tempurung kelapa (*Cocos nucifera L.*) tidak bersifat toksik terhadap jaringan gingiva *Rattus novogicus* yang diberi perlakuan perawatan ortodonti (Tabel 1). Temuan ini sejalan dengan penelitian terdahulu oleh Nurmallasari *et al.*,¹² serta Cevanti *et al.*,¹⁹ yang melaporkan bahwa bahan berbasis kelapa maupun ekstrak alami bersifat biokompatibel serta tidak menimbulkan efek sitotoksik signifikan terhadap sel fibroblas gingiva. Hal ini dibuktikan dengan nilai viabilitas sel fibroblas yang tetap tinggi pada K1, K2, K3, K4, K5, K6 berdasarkan uji MTT Assay (Tabel 1). Nilai absorbansi pada kelompok yang diberi karbon aktif tidak berbeda signifikan dibandingkan kelompok kontrol, yang menandakan bahwa bahan tersebut tidak mengganggu aktivitas metabolik sel. Hasil tersebut dapat dijelaskan melalui prinsip dasar uji MTT Assay yang digunakan untuk menilai aktivitas mitokondria sel melalui kemampuan enzim suksinat dehidrogenase dalam mereduksi MTT menjadi kristal formazan.²³

Absorbansi yang tinggi mencerminkan aktivitas metabolik yang baik dan viabilitas sel yang optimal.²³ Tidak ditemukannya penurunan nilai absorbansi pada penelitian ini menunjukkan bahwa karbon aktif tidak mengganggu respirasi sel maupun integritas membran mitokondria, sehingga memiliki tingkat biokompatibilitas yang tinggi terhadap sel fibroblas gingiva.²⁴

Tingginya viabilitas sel fibroblas pada kelompok perlakuan juga diduga berkaitan dengan sifat fisik dan kimia karbon aktif dari tempurung kelapa. Karbon aktif berbahan dasar alami diketahui memiliki struktur berpori dengan luas permukaan yang besar namun bersifat tidak mengganggu aktivitas metabolik sel dan stabil secara kimia.²⁵ Kandungan pada karbon aktif yaitu lignoselulosa berperan dalam meningkatkan stabilitas material serta mendukung aktivitas antioksidan yang berkontribusi terhadap perlindungan sel. Tempurung kelapa diketahui tersusun atas sekitar 62% selulosa dan hemiselulosa serta mengandung sekitar 35% lignin.²⁴

Hasil penelitian ini memperkuat penelitian Nurmallasari *et al.*,¹² yang melaporkan bahwa bahan berbasis kelapa tidak bersifat toksik terhadap sel fibroblas gingiva bahkan pada konsentrasi tinggi. Penelitian tersebut menunjukkan persentase kematian sel yang masih berada di bawah 10%, yang berdasarkan pedoman Sjögren dikategorikan sebagai tidak toksik, penelitian ini mendukung hasil penelitian saat ini yang menunjukkan bahwa karbon aktif dari *Cocos nucifera L.* aman digunakan pada jaringan gingiva. Batdjedelik & Sumardiyono dkk.,²⁶ melaporkan bahwa karbon aktif dari bahan lignoselulosa memiliki kemampuan menyerap radikal bebas dan melindungi sel dari stres oksidatif akibat paparan bahan kimia reaktif. Efek protektif ini memungkinkan sel fibroblas gingiva mempertahankan viabilitasnya meskipun berada dalam kondisi stres biologis akibat perawatan ortodonti.

Berdasarkan hasil uji toksisitas dan viabilitas sel pada Tabel 1, Tabel 2, dan Gambar 1A, karbon aktif dari *Cocos nucifera L.* dinyatakan tidak bersifat toksik dan memiliki biokompatibilitas yang baik terhadap jaringan gingiva *Rattus novogicus*. Data ini mendukung hasil analisis sebelumnya bahwa perubahan viabilitas jaringan gingiva bersifat progresif dan mencerminkan efek kumulatif dari tekanan ortodontik serta intervensi perlakuan selama periode pengamatan (Tabel 3). Hal ini ditunjukkan oleh nilai viabilitas sel fibroblas gingiva pada seluruh kelompok perlakuan yang berada di atas 70%, sehingga

memenuhi kriteria non-toksik sesuai standar ISO 10993-5.²⁷ Tidak adanya penurunan signifikan nilai absorbansi pada uji MTT Assay menunjukkan bahwa karbon aktif tidak mengganggu aktivitas metabolik sel fibroblas. Hasil ini sejalan dengan penelitian sebelumnya yang melaporkan bahwa bahan berbasis tempurung kelapa bersifat tidak mengganggu aktivitas metabolik sel, tidak sitotoksik, serta aman digunakan pada jaringan oral.¹² Sehingga, Karbon aktif (*Cocos nucifera* L.) memiliki potensi besar untuk dikembangkan sebagai bahan herbal Phytodentistry tambahan pada perawatan ortodonti.

Keterbatasan utama riset ini terletak pada metode uji MTT Assay. Metode uji MTT Assay yang dilakukan secara *in vitro* menggunakan sediaan kultur sel, sehingga belum mampu menduplikasi dinamika kompleks rongga mulut tikus secara utuh, seperti fluktuasi derajat keasaman (pH) dan efek bilasan saliva.

SIMPULAN

Tidak terdapat toksisitas karbon aktif dari *Cocos nucifera* L. terhadap jaringan gingiva *Rattus novogicus* pada perawatan ortodonti. Karbon aktif juga dapat digunakan sebagai alternatif anti inflamasi namun dalam penggunaannya masih perlu penelitian lebih lanjut. Tingkat viabilitas sel fibroblas gingiva *Rattus novogicus* tidak mengalami penurunan setelah paparan karbon aktif dari *Cocos nucifera* L. Di sisi lain, penelitian ini memberikan implikasi praktis yang signifikan bagi dunia kedokteran gigi karena membuktikan bahwa gel karbon aktif *Cocos nucifera* L. bersifat non-toksik dengan nilai viabilitas seluler yang konsisten di atas 80%. Implikasi dari penelitian ini membuka peluang besar bagi pemanfaatan bahan alam lokal sebagai alternatif sediaan topikal atau obat herbal yang aman, ekonomis, dan minim efek samping dibandingkan penggunaan kortikosteroid standar dalam mereduksi trauma jaringan akibat tekanan mekanis ortodonti.

Ucapan Terimakasih: Penulis mengucapkan terima kasih kepada institusi, seluruh responden, serta pihak-pihak yang telah memberikan izin, bantuan, dan dukungan selama pelaksanaan penelitian hingga penyusunan artikel ini. Apresiasi juga disampaikan kepada semua pihak yang telah berkontribusi dalam penyelesaian penelitian ini.

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

Pendanaan: Penelitian ini didanai secara mandiri oleh tim penulis tanpa melibatkan bantuan finansial dari pihak eksternal manapun.

Persetujuan Etik: Pelaksanaan penelitian ini telah memperoleh persetujuan dan kelayakan etik dari Komite Etik Penelitian Kesehatan FKG Universitas Baiturrahmah dengan Nomor Surat No.A. 045/KEPKFKGUNBRAH/XI/2025.

Pernyataan Persetujuan Data: Seluruh data pendukung hasil penelitian dapat diakses atas izin tertulis dari penulis korespondensi dengan mempertimbangkan kaidah dan etika publikasi ilmiah yang berlaku.

Pernyataan Ketersediaan Data: Dataset yang dihasilkan dan dianalisis selama penelitian ini tersedia dari penulis yang bersangkutan berdasarkan permintaan yang beralasan.

Konflik Kepentingan: Para penulis menyatakan tidak memiliki benturan kepentingan baik secara finansial maupun personal yang dapat memengaruhi hasil penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

- Balansa DM, Wowor VNS, Gosal SM. Pengaruh kebiasaan bernapas melalui mulut terhadap terjadinya maloklusi. e-GiGi. 2023;11(2):170-5. <https://doi.org/10.35790/eg.v11i2.45034>
- Lombardo G, Vena F, Negri P, Pagano S, Barilotti C, Paglia L, et al. Worldwide prevalence of malocclusion in the different stages of dentition: a systematic review and meta-analysis. Eur J Paediatr Dent. 2020;21(2):10-4. <https://doi.org/10.23804/ejpd.2019.20.01.02>
- Novawaty E, Puspitasari Y, Bachtar WN. Hubungan tingkat keparahan maloklusi dengan kualitas hidup mahasiswa Fakultas Kedokteran Gigi. e-GiGi. 2024;12(1):55-9. <https://doi.org/10.35790/eg.v12i1.48373>
- Saputra ZRP, Laviana A, Sunaryo IR. Gambaran indeks sefalik berdasarkan klasifikasi maloklusi Angle pada etnik Deutro-Melayu. Indones J Orthod. 2024;1(1):20-9.
- Silviana NM, Roeswahjuni N, Damaryanti E, Komaruzzaman AR. Meningkatkan pengetahuan siswa terhadap perawatan ortodonti melalui edukasi dan pemeriksaan maloklusi gigi. J Inov Hasil Pengabdian Masy. 2024;7(3):656-68. <https://doi.org/10.33474/jipemas.v7i3.21186>
- Ilmianti, Novawaty E, Sumardi M. Hubungan kebutuhan perawatan ortodonti dan minat dalam perawatan piranti ortodonti cekat pada mahasiswa FKG-UMI. Indones J Public Health. 2024;2(1):41-7.
- Pertiwi SPM, Nofrizal R. Gambaran tingkat keberhasilan perawatan ortodonti di Klinik Ortodonti RSGM-P FK Usakti berdasarkan indeks PAR. J Kedokt Gigi Terpadu. 2022;4(2):92-4. <https://doi.org/10.25105/jkgt.v4i2.15622>
- Rahmawati D, Ridwan RD. Cytokines and chemokines in the gingival crevicular fluid during orthodontic tooth movement: a review. Biochem Cell Arch. 2020;20(Suppl 1):2903-6. <https://doi.org/10.35124/bca.2020.20.S1.2903>

9. Groeger S, Meyle J. Oral mucosal epithelial cells. *Front Immunol*. 2019;10:208. <https://doi.org/10.3389/fimmu.2019.00208>
10. Ulliana, Fathiah, Haryani N, Afdilla N, Femala HD, Zainal NAP, et al. Kesehatan gigi dan mulut. Purbalingga: Eureka Media Aksara; 2023.
11. Hernawati S, Zikra YA, Fatmawati DW. The effects of topical application of red pomegranate (*Punica granatum* Linn) extract gel on the healing process of traumatic ulcers in Wistar rats. *Dent J (Maj Ked Gigi)*. 2019;52(2):90-4. <https://doi.org/10.20473/j.djmg.v52.i2.p90-94>
12. Nurmalasari A, Pangabdian F, Cevanti TA, Wijaya YH, Soesilo D. Toksisitas sabut kelapa (*Cocos nucifera* L.) terhadap sel fibroblas sebagai bahan penguat resin komposit. *J Wiyata*. 2023;10(1):73-80. <https://doi.org/10.56710/wiyata.v10i1.715>
13. Suryono CA, Irwani, Suryono, Susilo ES, Subagiyo, Widada S. Karbon aktif tempurung kelapa untuk peningkatan kualitas air tambak. *J Kelaut Trop*. 2018;21(1):71-4. <https://doi.org/10.14710/jkt.v21i1.2375>
14. Supanchaiyamat N, Jetsrisuparb K, Knijnenburg JTN, Tsang DCW, Hunt AJ. Lignin materials for adsorption: Current trend, perspectives and opportunities. *Bioresour Technol*. 2019;272:570-581. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2018.09.139>
15. Bolognesi M, et al. Activated Carbon for Sepsis Prevention and Intervention: A Modern Way of Utilizing Old Therapies. *C*. 2023;9(3):72. <https://doi.org/10.3390/c9030072>
16. Beltrami R, Colombo M, Rizzo K, Di Cristofaro A, Poggio C, Pietrocola G. Cytotoxicity of different composite resins on human gingival fibroblast cell lines. *Biomimetics (Basel)*. 2021;6(2):26. <https://doi.org/10.3390/biomimetics6020026>
17. Kalangit RB, Octarina. Metode uji sitotoksitas biomaterial dengan bentuk scaffold padatan dan berpori spons. *J Kedokt Gigi Terpadu*. 2024;6(1):50-2. <https://doi.org/10.25105/jkat.v6i1.20886>
18. López-García J, Lehocý M, Humpolíček P, Sába P. HaCaT keratinocytes response on antimicrobial atelocollagen substrates: extent of cytotoxicity, cell viability and proliferation. *J Funct Biomater*. 2014;5(2):43-57. <https://doi.org/10.3390/jfb5020043>
19. Cevanti TA, Soesilo D, Pangabdian F, Wijaya YH, Puspita S, Hollanda GH. Sitotoksitas komposit serat selulosa sabut kelapa sebagai kandidat novelty basis pada material kedokteran gigi: studi eksperimental. *Padjadjaran J Dent Res Stud*. 2023;7(2):198-205. <https://doi.org/10.24198/pjdrs.v7i2.46092>
20. Alamsyah Y, Nazruddin, Ilyas S, Putra DP. The mangiferin (*Mangifera indica* Linn) effect against calcium degradation, bone resorption and ossification of *Rattus norvegicus* of post-orthodontic treatment. *J Int Dent Med Res*. 2020;13(2):430-5.
21. Sari SP, Husnah M, Sirait R. Preparasi karbon aktif dari *Cocos nucifera* L. menggunakan gabungan aktivasi kimia dan fisika. *CHEDS J Chem Educ Sci*. 2023;7(2):142-8.
22. Bakti AI, Lumembang MM, Jumriadi. Karakterisasi karbon aktif yang terbuat dari tempurung kelapa menggunakan teknik pirolisis dengan aktivasi fisika dan kimia. *J MIPA*. 2023;12(2):56-60. <https://doi.org/10.35799/jm.v12i2.46160>
23. Beltrami R, Colombo M, Rizzo K, Di Cristofaro A, Poggio C, Pietrocola G. Cytotoxicity of different composite resins on human gingival fibroblast cell lines. *Biomimetics (Basel)*. 2021;6(2):26. <https://doi.org/10.3390/biomimetics6020026>
24. Handika G, Maulina S, Mentari VA. Karakteristik karbon aktif dari pemanfaatan limbah tanaman kelapa sawit dengan penambahan aktivator natrium karbonat (Na_2CO_3) dan natrium klorida (NaCl). *J Tek Kim USU*. 2017;6(4):41-4. <https://doi.org/10.32734/jtk.v6i4.1597>
25. Firman, Mohd-Setapar SH, Sahraeni S, Oko S, Suhud KMS, Taufik M, et al. Pengaruh laju alir udara terhadap yield, kadar abu dan daya serap terhadap iod pada pembuatan arang aktif berbahan tempurung kelapa dengan metode oksidasi parsial. In: *Prosiding 7th Seminar Nasional Penelitian & Pengabdian Kepada Masyarakat*; 2024; Samarinda, Indonesia.
26. Batdjedelik AN, Sumardiyono. Karbon aktif dari tempurung kelapa sebagai adsorben pemurnian minyak jelantah. *J Kim Reka*. 2024;4(2):65-70.
27. Jhamb SK, Goyal A, Pandey A, Bhowmik A. A review of cytotoxicity testing methods and in vitro study of biodegradable Mg-1%Sn-2%HA composite by elution method. *J Mater Sci Mater Med*. 2025;36(1):92. <https://doi.org/10.1007/s10856-025-06951-x>