 ISSN 3123-2795 (E)

EVALUASI POTENSI ANTIBIOFILM EKSTRAK BUNGA KECOMBRANG (ETLINGERA ELATIOR) TERHADAP ESCHERICHIA COLI BERDASARKAN VARIASI KONSENTRASI DAN LAMA WAKTU KONTAK

Esmerada Agustina Tanggarofa[1)]

[1)]Pendidikan Biologi, Fakultas Keguruan dan Ilmu Pendidikan, Universitas Papua, Papua, Indonesia
Email: esmeradaagustina@gmail.com

Abstract

Torch ginger (Etlingera elatior) contains diverse secondary metabolites and has been investigated for antimicrobial properties. However, antibacterial inhibition of planktonic Escherichia coli does not necessarily indicate activity against surface-attached biofilms. This article critically evaluates the potential of torch ginger flower extract as an antibiofilm candidate against E. coli, emphasizing concentration and contact-time effects. A focused narrative review of relevant botanical, phytochemical, antimicrobial, and biofilm-methodology publications was undertaken. Published evidence confirms that extract composition and antimicrobial responses differ by plant part, extraction system, and bacterial species. An Indonesian study found antibacterial activity against E. coli in the fruit extract under its experimental conditions but did not establish a comparable effect for its flower extract. Other studies reported antibacterial effects of flower-derived preparations, while antibiofilm results for E. elatior were mainly demonstrated against Staphylococcus aureus or other organisms. Consequently, a specific concentration-by-time antibiofilm efficacy against E. coli cannot yet be inferred from the reviewed evidence. This article proposes an integrated evaluation framework distinguishing attached biomass, cell viability, extract interference, and untreated controls. Future laboratory work is needed before effect estimates, optimal concentrations, or contact times can be stated. The review offers an evidence-based direction for research into Indonesian botanical resources without presenting uncollected primary data as experimental findings.

Keywords: Etlingera elatior, antibiofilm, Escherichia coli, flower extract, contact time.

Abstrak

Bunga kecombrang (Etlingera elatior) mengandung beragam metabolit sekunder dan telah diteliti sifat antimikrobanya. Namun, penghambatan pertumbuhan Escherichia coli dalam keadaan planktonik tidak otomatis membuktikan kemampuan menghambat biofilm yang melekat pada permukaan. Artikel ini mengevaluasi secara kritis potensi ekstrak bunga kecombrang sebagai kandidat antibiofilm terhadap E. coli dengan perhatian khusus pada variasi konsentrasi dan lama waktu kontak. Metode yang digunakan ialah kajian pustaka naratif terarah terhadap publikasi botani, fitokimia, antibakteri, serta metode penilaian biofilm. Hasil sintesis memperlihatkan bahwa komposisi ekstrak dan respons antimikroba berbeda menurut organ tanaman, pelarut, serta spesies bakteri. Penelitian di Indonesia menunjukkan aktivitas antibakteri terhadap E. coli pada ekstrak buah, sedangkan aktivitas ekstrak bunga dalam penelitian yang sama belum dapat dipastikan. Penelitian lain melaporkan aktivitas antibakteri sediaan berbahan bunga, sementara bukti antibiofilm E. elatior lebih banyak berasal dari pengujian terhadap Staphylococcus aureus atau organisme lain. Dengan demikian, efektivitas antibiofilm terhadap E. coli berdasarkan kombinasi konsentrasi dan waktu belum dapat disimpulkan dari literatur yang dikaji. Artikel ini mengajukan kerangka evaluasi terintegrasi yang memisahkan biomassa biofilm, viabilitas sel, interferensi ekstrak, dan kontrol. Penelitian laboratorium lanjutan diperlukan sebelum menentukan besaran efek serta kondisi perlakuan yang paling efektif. Kajian ini tidak menyajikan data primer atau hasil pengujian yang belum dilaksanakan.

Kata Kunci: kecombrang, antibiofilm, Escherichia coli, ekstrak bunga, waktu kontak.

 ISSN 3123-2795 (E)

PENDAHULUAN

Keanekaragaman hayati tropis Indonesia menyediakan berbagai tumbuhan yang digunakan secara tradisional sebagai pangan, bumbu, maupun bahan yang diduga memiliki aktivitas biologis. Kecombrang (Etlingera elatior (Jack) R.M.Sm.) termasuk famili Zingiberaceae dan memiliki bagian bunga yang khas serta dimanfaatkan dalam kuliner berbagai daerah. Dari perspektif biologi terapan, pemanfaatan tumbuhan ini penting ditelaah berdasarkan identitas botani, komposisi kimia, dan pengujian aktivitas yang dapat direplikasi. Juwita et al. (2018) menguraikan bahwa beragam bagian E. elatior menyimpan kelompok metabolit sekunder dengan potensi farmakologis yang berbeda.

Senyawa alami asal tumbuhan menarik perhatian peneliti karena memiliki struktur kimia yang beragam. Walaupun banyak studi skrining melaporkan aktivitas antibakteri, istilah "antibakteri" dan "antibiofilm" sebenarnya tidak setara. Aktivitas antibakteri lazimnya merujuk pada penekanan pertumbuhan atau kelangsungan hidup sel dalam sistem uji tertentu. Sebaliknya, penilaian antibiofilm mensyaratkan pengukuran karakter komunitas mikroba yang melekat pada permukaan, beserta matriks yang membungkusnya. Perbedaan sasaran inilah yang menjadi dasar perlunya penilaian khusus sebelum suatu ekstrak disebut sebagai bahan antibiofilm.

Biofilm merupakan komunitas mikroorganisme yang terorganisasi dan sering diselubungi matriks ekstraseluler. Pada kondisi berbiofilm, mikroorganisme dapat menunjukkan respons yang tidak sama dengan sel planktonik terhadap tekanan lingkungan. Flemming et al. (2016) menjelaskan bahwa matriks biofilm mendukung struktur komunitas, retensi bahan, serta perlindungan relatif terhadap berbagai gangguan. Oleh sebab itu, zona hambat pada media agar tidak dapat diterjemahkan langsung menjadi persentase penurunan biomassa biofilm.

Escherichia coli dipilih sebagai organisme sasaran karena relevansinya dalam mikrobiologi lingkungan, pangan, dan kesehatan. Namun, E. coli bukan satu kesatuan karakter biologis: strain yang berbeda dapat memiliki kemampuan adhesi, pembentukan matriks, dan respons stres yang tidak seragam. Karena itu, hasil suatu penelitian tidak boleh digeneralisasi kepada seluruh E. coli tanpa penjelasan mengenai karakter strain yang diuji. Penggunaan strain referensi yang sesuai dan pelaksanaan oleh laboratorium berwenang menjadi prasyarat jika gagasan penelitian ini kelak diuji secara empiris.

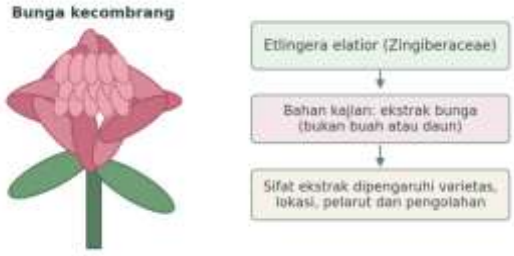
Bukti mengenai E. elatior menunjukkan variasi yang perlu dipahami secara kritis. Ernilasari et al. (2021) membandingkan ekstrak daun, bunga, dan buah tumbuhan yang dikumpulkan dari Nagan Raya, Aceh. Dalam kondisi uji tersebut, aktivitas antibakteri ekstrak buah terhadap E. coli dapat diamati, tetapi aktivitas pada bagian daun dan bunga belum dapat ditentukan. Temuan ini penting karena menunjukkan bahwa keberhasilan pada satu organ tanaman tidak otomatis berlaku pada bunga, walaupun semuanya berasal dari spesies yang sama.

Penelitian lain memberikan bukti yang berbeda. Maser et al. (2022) melaporkan profil metabolit ekstrak bunga kecombrang dan mengaitkannya dengan aktivitas antibakteri pada sistem uji yang mereka gunakan. Safrina et al. (2022) menunjukkan bahwa kandungan fenol dan flavonoid juga bervariasi di antara bunga, buah, dan daun. Perbedaan ekstraksi, asal bahan, serta indikator pengujian dapat menjelaskan mengapa laporan antimikroba tidak selalu memberikan hasil yang sejalan. Hal tersebut menegaskan perlunya pembandingan yang mempertahankan rincian desain studi, bukan sekadar mengelompokkan semua publikasi sebagai bukti keberhasilan.

Dalam konteks antibiofilm, Hamdan et al. (2024) meneliti ekstrak E. elatior terhadap biofilm Staphylococcus aureus, sedangkan Ferreira et al. (2025) menelaah minyak atsiri dan komponen utamanya pada beberapa mikroorganisme. Kedua sumber ini memperkuat alasan biologis untuk menguji potensi antibiofilm kecombrang. Namun, perbedaan organisme uji serta perbedaan bentuk sediaan membuat hasil tersebut tidak dapat dipindahkan langsung ke E. coli atau disamakan dengan ekstrak bunga yang disiapkan melalui sistem pelarut lain.

Selain spesies, konsentrasi ekstrak dan waktu kontak merupakan dua dimensi penting dalam kajian respons perlakuan. Secara konseptual, paparan berbeda dapat menghasilkan efek berbeda, tetapi arah hubungan tidak boleh diasumsikan selalu linier. Konsentrasi tinggi dapat pula memengaruhi pembacaan optik, dan waktu kontak dapat berinteraksi dengan perkembangan biofilm. Oleh sebab itu, penyusunan kajian yang memisahkan kualitas ekstrak, karakter uji, serta analisis konsentrasi-waktu menjadi mendesak.

Berdasarkan uraian tersebut, tujuan artikel ini adalah mengevaluasi kekuatan bukti mengenai potensi ekstrak bunga kecombrang sebagai antibiofilm terhadap E. coli; menjelaskan perbedaan aktivitas antibakteri dan antibiofilm; mengidentifikasi faktor konsentrasi dan waktu kontak yang relevan secara metodologis; serta menawarkan kerangka penelitian yang dapat diverifikasi pada penelitian mendatang. Kajian ini sengaja tidak menetapkan nilai efektivitas, konsentrasi optimum, maupun lama kontak optimum tanpa data primer yang memenuhi kendali mutu.



Gambar 1. Skema botani kecombrang dan faktor yang memengaruhi karakter ekstrak (ilustrasi penulis).

METODE PENELITIAN

3.1. Jenis dan Pendekatan Kajian

Penelitian ini menggunakan pendekatan studi pustaka naratif terarah dengan sintesis kritis. Pendekatan tersebut dipilih karena tujuan tulisan ialah menilai bukti yang telah tersedia dan mengidentifikasi celah penelitian tentang

 ISSN 3123-2795 (E)

ekstrak bunga E. elatior terhadap biofilm E. coli, bukan melaporkan uji laboratorium baru. Unit analisis adalah publikasi ilmiah yang berkaitan dengan identitas tanaman, fitokimia, aktivitas antimikroba, aktivitas antibiofilm, serta keandalan instrumen pengukuran biofilm.

Sumber ditelusuri menggunakan kombinasi istilah "Etlingera elatior", "torch ginger", "kecombrang", "Escherichia coli", "antibacterial", "antibiofilm", "biofilm", "concentration", dan "contact time". Basis penelusuran meliputi laman penerbit ilmiah, indeks artikel ilmiah, dan pangkalan literatur biomedis yang dapat diakses. Kajian dilakukan pada literatur yang tersedia sampai November 2026. Penelusuran bersifat terarah dan tidak dinyatakan sebagai systematic review ataupun meta-analisis karena tidak menerapkan registrasi protokol dan penghitungan hasil seleksi sistematis yang lengkap.

3.2. Kriteria Relevansi dan Ekstraksi Informasi

Sumber diprioritaskan ketika menyajikan data primer mengenai E. elatior, menyebut bagian tanaman yang digunakan, dan membedakan spesies bakteri sasaran. Artikel metodologi dipilih apabila menjelaskan keterbatasan pengukuran biomassa, viabilitas, dan karakter biofilm. Publikasi mengenai spesies lain dipakai sebagai bukti tidak langsung yang relevan terhadap mekanisme, tidak sebagai bukti langsung efektivitas terhadap E. coli. Tinjauan pustaka digunakan untuk menempatkan hasil tersebut dalam konteks biologis yang lebih luas.

Informasi yang dicatat mencakup nama penulis, tahun publikasi, bagian tanaman, tipe sediaan atau ekstrak, organisme uji, jenis indikator, hasil yang benar-benar dilaporkan, serta ruang lingkup kesimpulannya. Penafsiran difokuskan pada hubungan antara jenis bukti dan klaim yang diperbolehkan. Bila publikasi tidak mengukur biofilm, hasilnya dikelompokkan sebagai aktivitas antibakteri, meskipun efek ekstrak terlihat pada bakteri target.

Sintesis dilakukan dengan membandingkan kesesuaian endpoint, organisme, dan bahan antarpenelitian. Keterbatasan umum seperti perbedaan strain, bentuk sediaan, kondisi pertumbuhan, stabilitas senyawa, dan interferensi pembacaan dituliskan sebagai sumber heterogenitas. Kajian ini tidak menggabungkan angka zona hambat, konsentrasi penghambatan pertumbuhan, dan biomassa biofilm dalam satu peringkat efektivitas sebab besaran tersebut berasal dari konstruk biologis yang tidak sama.

Tabel 1. Peta sumber literatur utama yang menjadi dasar sintesis

Publikasi	Fokus studi	Relevansi terhadap judul
Juwita dkk. (2018)	Botani dan fitokimia	Dasar karakterisasi tanaman
Ghasemzadeh dkk. (2015)	Metabolit & antibakteri	Variasi asal dan komposisi
Ernilasari dkk. (2021)	E. coli; bagian tanaman	Bukti antibakteri, bukan biofilm
Maser dkk. (2022)	Profil ekstrak bunga	Bukti fitokimia dan antibakteri
Hamdan dkk. (2024)	Biofilm S. aureus	Bukti antibiofilm spesies lain
Ferreira dkk. (2025)	Minyak atsiri; antibiofilm	Bukti terkait bentuk sediaan lain
Azeredo dkk. (2017)	Metode pengukuran biofilm	Keterbatasan endpoint pengujian

3.3. Kerangka Variabel untuk Pengujian Lanjutan

Variabel bebas yang direncanakan adalah kategori konsentrasi relatif ekstrak serta kelompok lama waktu kontak. Pengujian empiris perlu memperlakukan kedua faktor secara terpisah dan mengevaluasi kemungkinan interaksi, bukan memilih hasil terbaik berdasarkan satu pengamatan. Variabel terikat utama yang relevan berupa ukuran biomassa yang melekat pada permukaan, sedangkan keluaran pendamping berupa ukuran viabilitas atau aktivitas sel serta informasi morfologi biofilm. Informasi pertumbuhan planktonik sebaiknya dicatat agar penghambatan pertumbuhan sel bebas tidak keliru disebut sebagai mekanisme spesifik antibiofilm.

Rancangan sebaiknya menetapkan karakter bahan secara konsisten: bagian bunga yang ditentukan, dokumentasi taksonomi, asal sampel, jenis sediaan, homogenitas batch, serta kendali ekstrak atau pelarut. Perbandingan antara studi hanya sahih bila identitas bahan dan satuan konsentrasi jelas. Satu "konsentrasi 100%" pada suatu studi belum tentu setara dengan satuan massa per volume dalam studi lain. Demikian pula, waktu kontak tidak dapat diinterpretasikan tanpa membedakan tahap terbentuknya biofilm dan sifat endpoint yang diukur.

Laboratorium yang melakukan pengujian perlu mengikuti ketentuan keselamatan hayati, persetujuan institusi, dan prosedur baku organisme yang digunakan. Artikel ini tidak menyediakan prosedur kultur operasional atau menyatakan adanya eksperimen yang sudah dilaksanakan. Fokus rancangan ialah logika pengukuran, kendali mutu, dan analisis statistik untuk mencegah generalisasi yang tidak didukung data.



Gambar 2. Tahap perkembangan biofilm secara konseptual; bukan gambar pengamatan E. coli dari penelitian ini.

3.4. Strategi Interpretasi Data

Apabila data primer dikumpulkan pada tahap berikutnya, analisis semestinya membandingkan semua kelompok dengan kontrol yang sesuai dan melaporkan

 ISSN 3123-2795 (E)

ulangan biologis, sebaran data, serta interval ketidakpastian. Untuk rancangan dua faktor, model yang memungkinkan interaksi konsentrasi dan waktu diperlukan bila asumsi statistik terpenuhi. Jika asumsi tidak terpenuhi, strategi analitik lain yang sesuai harus dijelaskan sejak awal. Nilai signifikansi hendaknya didampingi ukuran efek dan pemeriksaan apakah perubahan indikator bersifat biologis, bukan semata artefak instrumen.

Pengukuran memakai pewarna kristal violet sering digunakan untuk mengestimasi biomassa total yang melekat, tetapi tidak mampu membedakan jumlah sel hidup dan sel mati. Azeredo et al. (2017) serta kajian metodologi lainnya menegaskan perlunya endpoint pendamping untuk menguatkan klaim antimikroba terhadap biofilm. Karena ekstrak tumbuhan dapat memiliki warna dan sifat optik tersendiri, kontrol interferensi menjadi penting. Kontrol tersebut memungkinkan peneliti memisahkan sinyal yang berasal dari bahan tanaman dengan sinyal yang benar-benar mencerminkan biofilm.

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1. Komponen Bioaktif dan Keragaman Bahan Baku

Hasil sintesis menunjukkan bahwa E. elatior menyimpan komponen kimia yang layak menjadi dasar pertanyaan penelitian tentang modulasi pertumbuhan mikroba. Ghasemzadeh et al. (2015) melaporkan sejumlah asam fenolat dan flavonoid pada sampel bunga yang berasal dari lokasi berbeda di Malaysia. Studi itu juga menunjukkan perbedaan aktivitas antibakteri antarasal tanaman. Temuan tersebut mengingatkan bahwa nilai aktivitas yang diperoleh dari suatu wilayah tidak otomatis merupakan karakter tetap seluruh populasi kecombrang.

Safrina et al. (2022) membandingkan ekstrak bunga, buah, dan daun serta menemukan perbedaan kadar flavonoid, fenol total, dan aktivitas antioksidan. Penelitian ini memperlihatkan bahwa bunga tidak selalu menjadi bagian dengan kadar metabolit atau aktivitas tertinggi pada seluruh indikator. Lebih penting lagi, korelasi kandungan fenolik dengan kapasitas antioksidan tidak merupakan bukti langsung kemampuan menghambat biofilm bakteri. Pemisahan antara aktivitas kimia dan efek biologis ini diperlukan agar argumentasi mekanisme tidak berubah menjadi klaim yang melampaui data.

Maser et al. (2022) menggunakan profil metabolit berbasis GC–MS untuk mengevaluasi ekstrak bunga. Pendekatan tersebut memungkinkan peneliti membedakan komponen yang terdeteksi serta hubungan statistik dengan respons antimikroba pada kondisi studi. Walaupun metode analitik kimia meningkatkan keterlacakan bahan, komponen yang berasosiasi dengan aktivitas tidak selalu merupakan senyawa penyebab tunggal. Penentuan mekanisme menuntut validasi terpisah yang mempertimbangkan interaksi antarsenyawa dalam campuran ekstrak.

Untuk kajian konsentrasi, kadar senyawa kimia pada setiap batch bahan harus menjadi pertimbangan utama. Ketika dua ekstrak memiliki massa total sama tetapi komposisi berbeda, paparan molekul aktif dapat sangat berbeda. Oleh sebab itu, perbandingan konsentrasi tanpa karakterisasi bahan akan menghasilkan kesimpulan yang sulit direproduksi. Penelitian lanjutan perlu melaporkan keterangan sumber bahan, kualitas sediaan, dan karakter profil kimia yang tersedia sebelum menafsirkan besaran respons biofilm.

Tabel 2. Kelompok komponen yang dilaporkan dan batas kesimpulannya

Komponen	Bukti yang tersedia	Bukan bukti langsung
Fenolat	Teridentifikasi dalam ekstrak bunga	Penurunan biofilm E. coli
Flavonoid	Beragam menurut organ dan lokasi	Perubahan viabilitas biofilm
Metabolit volatil	Profil tergantung sediaan	Efek setara semua ekstrak
Minyak atsiri	Ada hasil antimikroba khusus	Kinerja ekstrak etanol
Campuran ekstrak	Memiliki potensi aktivitas bersama	Mekanisme spesifik tunggal

4.2. Bukti Aktivitas Antibakteri terhadap E. coli

Ernilasari et al. (2021) menyajikan data yang penting sebagai dasar kehati-hatian. Penelitian tersebut menggunakan organ daun, bunga, dan buah serta menilai penghambatan pertumbuhan E. coli dan S. aureus melalui indikator difusi. Pada kondisi yang mereka uji, ekstrak buah menunjukkan aktivitas yang dapat dilaporkan, sedangkan aktivitas bagian bunga dan daun belum dapat ditentukan. Dengan demikian, menyatakan bahwa penelitian itu membuktikan efek antibiofilm ekstrak bunga terhadap E. coli merupakan kesalahan penafsiran atas bahan dan endpoint penelitian.

Penelitian yang lebih baru mengenai ekstrak bunga juga telah melaporkan aktivitas terhadap E. coli melalui parameter pertumbuhan. Temuan semacam itu melengkapi bukti bahwa sediaan dari organ bunga berpotensi memengaruhi bakteri tertentu. Akan tetapi, uji pertumbuhan dan difusi memiliki sensitivitas terhadap kemampuan senyawa bergerak di media serta karakter Gram-negatif bakteri uji. Oleh karena itu, variasi hasil antarpenelitian tidak cukup ditafsirkan sebagai pertentangan, sebelum jenis pelarut, konsentrasi, sistem penilaian, dan identitas mikroorganisme dibandingkan secara setara.

Salah satu masalah umum adalah penggunaan istilah “efektif” tanpa menyebut hasil ukur yang dimaksud. Zona hambat menunjukkan wilayah terjadinya hambatan pertumbuhan pada kondisi difusi tertentu, bukan jumlah sel mati di dalam biofilm. Nilai penghambatan pertumbuhan yang diperoleh dari sistem cair juga tidak membuktikan hilangnya matriks atau melemahnya daya lekat pada permukaan. Artikel ini memisahkan tingkat bukti tersebut agar klaim yang dihasilkan tetap dapat diverifikasi.

 ISSN 3123-2795 (E)

4.3. Bukti Antibiofilm pada Mikroorganisme Pembanding

Hamdan et al. (2024) melaporkan aktivitas ekstrak E. elatior terhadap S. aureus dengan pembahasan pengaruh pada biofilm di sejumlah tahap perkembangannya. Publikasi tersebut memberikan dasar bahwa senyawa yang berasal dari kecombrang mungkin memengaruhi struktur biofilm dalam konteks organisme tertentu. Namun, membran sel, organisasi matriks, adhesin, dan respons fisiologis S. aureus berbeda dari E. coli. Dengan demikian, aktivitas yang dilaporkan harus dinilai sebagai bukti tidak langsung untuk topik artikel ini.

Ferreira et al. (2025) mempelajari minyak atsiri dari perbungaan E. elatior beserta dua komponen dominannya. Hasilnya memperlihatkan respons antimikroba dan antiadhesi yang bergantung organisme dan senyawa. Studi tersebut juga menunjukkan bahwa hasil positif pada spesies tertentu dapat berdampingan dengan respons yang lebih lemah pada spesies lain. Nilai konseptual penelitian itu ialah pentingnya spesifisitas organisme, bukan pembuktian terhadap biofilm E. coli yang tidak menjadi endpoint utama dalam sumber tersebut.

Kedua publikasi dapat digunakan untuk merumuskan alasan ilmiah bagi penelitian lanjutan tetapi tidak memenuhi syarat sebagai bukti langsung mengenai kombinasi konsentrasi dan lama waktu kontak yang optimal terhadap biofilm E. coli. Pernyataan ini sangat penting karena sebuah tinjauan pustaka harus memisahkan "potensi" dan "efikasi yang terukur". Potensi adalah hipotesis masuk akal yang berangkat dari struktur kimia atau bukti terkait; efikasi yang terukur membutuhkan hasil pada organisme dan endpoint yang sama.



Gambar 3. Tingkat bukti pada literatur terpilih; kotak terakhir menunjukkan celah pengujian, bukan hasil negatif.

Tabel 3. Perbedaan bukti antibakteri dan antibiofilm pada sumber utama

Sumber	Organisme/indikator	Interpretasi yang tepat
Ernilasari dkk. 2021	E. coli; difusi pertumbuhan	Antibakteri organ tertentu
Maser dkk. 2022	Ekstrak bunga; antibakteri	Bukti kimia dan pertumbuhan
Hamdan dkk. 2024	S. aureus; biofilm	Antibiofilm spesies lain
Ferreira dkk. 2025	Spesies lain; minyak atsiri	Respons dipengaruhi spesies
Kajian ini	E. coli; biofilm	Celah bukti, belum ada uji primer

4.4. Makna Variasi Konsentrasi

Konsentrasi pada penelitian antimikroba merupakan ukuran paparan yang harus dinyatakan bersama basis perhitungannya. Persentase ekstrak, jumlah ekstrak kering per volume, ataupun kandungan senyawa penanda adalah indikator yang tidak dapat disamakan tanpa informasi pendukung. Jika pelarut yang digunakan berbeda, kelarutan komponen serta kemampuan mencapai sel yang melekat dapat berbeda. Oleh karena itu, pengujian konsentrasi harus mempertahankan jenis ekstrak dan kondisi kontrol yang sebanding agar perubahan respons tidak terkonfounded oleh perubahan komposisi bahan.

Secara biologis, peningkatan konsentrasi tidak selalu mengubah semua endpoint dalam arah yang sama. Pengurangan biomassa melekat dapat berhubungan dengan gangguan perlekatan awal atau penurunan pertumbuhan; sebaliknya, biomassa dapat tetap terdeteksi meski viabilitas sejumlah sel menurun. Tanpa dua jenis informasi tersebut, peneliti berisiko menyebut berkurangnya serapan pewarna sebagai bukti pembunuhan sel atau menganggap tidak berubahnya biomassa sebagai tidak adanya efek biologis sama sekali.

Literatur yang tersedia belum memberikan dasar yang memadai untuk menetapkan konsentrasi bunga kecombrang yang paling efektif terhadap biofilm E. coli. Karena itu, naskah ini tidak memuat grafik batang persentase hambatan yang direkayasa dan tidak memberi ranking perlakuan. Kerangka yang paling tepat ialah memandang pengaruh konsentrasi sebagai hipotesis yang perlu diuji menggunakan sampel biologis independen dan pemeriksaan kesesuaian endpoint.

4.5. Makna Lama Waktu Kontak

Lama waktu kontak menyangkut durasi interaksi antara sediaan dan sistem biofilm yang dinilai. Namun, istilah tersebut hanya dapat dimaknai bila fase biofilm awal serta titik akhir pengukuran dijelaskan. Paparan pada tahap perlekatan awal tidak menguji pertanyaan yang sama dengan penilaian perubahan pada biofilm yang sudah terbentuk. Keduanya dapat menghasilkan respons yang berbeda tanpa saling meniadakan. Karena itu, kategori waktu penelitian lanjutan harus dibuat konsisten dengan tujuan biologis yang ditentukan sebelum pelaksanaan.

Waktu pajanan juga dapat berinteraksi dengan stabilitas senyawa serta kondisi permukaan. Apabila suatu ekstrak berubah sifat selama pengamatan, perbedaan respons antarwaktu belum tentu semata akibat lamanya interaksi dengan organisme. Perubahan kekentalan, warna, atau presipitasi dapat mengganggu pengukuran optik. Oleh sebab itu, pengendalian mutu ekstrak merupakan bagian dari penafsiran waktu, bukan isu tambahan yang boleh diabaikan.

Analisis faktor waktu seyogianya menghindari klaim hubungan sebab-akibat ketika penelitian hanya mengamati satu titik pengukuran per kelompok tanpa ulangan

 ISSN 3123-2795 (E)

memadai. Jika data kelak tersedia, pendekatan yang mengevaluasi efek utama konsentrasi, efek utama waktu, dan interaksinya akan lebih informatif. Interaksi berarti pengaruh perubahan konsentrasi bergantung pada kelompok waktu, atau sebaliknya; keberadaannya perlu dibuktikan melalui data dan tidak boleh diasumsikan sejak awal.

4.6. Memisahkan Biomassa, Viabilitas, dan Interferensi Pengukuran

Tantangan terbesar dalam penelitian antibiofilm adalah penentuan apa yang sebenarnya diukur. Pewarna kristal violet lazim dipakai untuk mengestimasi jumlah biomassa yang melekat, mencakup sel serta komponen matriks. Namun, perubahan intensitas pewarnaan tidak secara otomatis menunjukkan perubahan jumlah sel hidup. Azeredo et al. (2017) menerangkan bahwa teknik penilaian biofilm memiliki kelebihan dan keterbatasan berbeda, sehingga interpretasi harus mengikuti konstruk biologisnya.

Kajian perbandingan metode oleh peneliti lain juga menemukan bahwa pengukuran biomassa total dapat memberikan gambaran berbeda dibandingkan pengukuran sel hidup. Hal ini relevan bagi penelitian ekstrak tanaman karena campuran metabolit dapat memengaruhi sifat kimia maupun fisik sampel. Apabila ekstrak menyerap pada panjang gelombang tertentu atau meninggalkan residu, sinyal instrumen dapat berubah walaupun jumlah biofilm yang sebenarnya tidak berubah sebanding. Oleh sebab itu, kontrol tanpa mikroorganisme dan kontrol pelarut perlu dipertimbangkan dalam desain validasi pengukuran.

Penggunaan endpoint pendamping seperti indikator viabilitas dan dokumentasi struktur dapat meningkatkan keteguhan kesimpulan, sepanjang masing-masing metode divalidasi dan ditafsirkan sesuai batasnya. Penelitian lanjutan sebaiknya memilih indikator yang memadai untuk menjawab satu pertanyaan utama, lalu memperjelas apakah klaimnya penghambatan pembentukan biofilm, penurunan biomassa, perubahan kelangsungan hidup sel, atau perubahan perlekatan. Pemilihan kata hasil tidak boleh melampaui batas kemampuan alat ukur.

Tabel 4. Endpoint biofilm: informasi yang didapat dan yang tidak dapat disimpulkan

Indikator	Informasi utama	Batas interpretasi
Kristal violet	Biomassa total melekat	Tidak memisahkan sel hidup/mati
Viabilitas	Kondisi sel yang masih aktif	Bukan ukuran matriks total
Mikroskopi	Struktur & sebaran spasial	Sampel bidang pandang terbatas
Uji pertumbuhan	Hambatan sel bebas	Tidak identik dengan biofilm
Kimia ekstrak	Komposisi senyawa	Tidak membuktikan mekanisme sel

4.7. Kerangka Interpretasi Konsentrasi dan Waktu

Kerangka yang diajukan memposisikan ekstrak sebagai bahan uji yang terlebih dahulu harus dapat ditelusuri karakteristiknya. Setelah itu, faktor konsentrasi dan waktu diperlakukan sebagai dimensi pembanding yang saling berkaitan. Sinyal biomassa, viabilitas, serta pertumbuhan bebas dibandingkan menggunakan kontrol yang sesuai. Tahap akhir berupa sintesis berbasis ukuran efek dan ketidakpastian, bukan sekadar pemilihan nilai numerik paling tinggi. Alur ini ditunjukkan pada Gambar 4.

Analisis dapat memakai kerangka faktorial untuk memisahkan dampak konsentrasi dan durasi, dengan prasyarat kecukupan replikasi serta pemenuhan asumsi statistik. Hasil yang ditafsirkan sebagai interaksi harus memperlihatkan perbedaan arah atau besar respons lintas kombinasi faktor. Penyajian dalam tabel semestinya memuat nilai rerata, keragaman, satuan, jumlah ulangan, dan cara memperoleh nilai efek. Tidak ada angka respon yang dimasukkan pada artikel ini karena eksperimen utama belum dilaksanakan.

Jika salah satu indikator menunjukkan hasil yang berlawanan, peneliti tidak boleh menghapus indikator tersebut hanya demi memperkuat hipotesis. Sebaliknya, perbedaan hasil dapat menjadi petunjuk bahwa ekstrak memengaruhi kemampuan melekat, komposisi matriks, atau aktivitas sel melalui jalur yang tidak sama. Analisis alternatif juga perlu mempertimbangkan bahwa penurunan biomassa akibat hambatan pertumbuhan planktonik bukan bukti langsung mekanisme penghambatan pembentukan matriks.



Gambar 4. Kerangka evaluasi integratif yang diusulkan; tidak memuat perlakuan atau hasil laboratorium nyata.

Tabel 5. Matriks pelaporan untuk penelitian verifikasi mendatang

Komponen	Hal yang dilaporkan	Tujuan
Bahan	Asal bunga, profil ekstrak	Keterulangan bahan
Faktor	Konsentrasi dan kelompok waktu	Uji interaksi perlakuan
Kontrol	Ekstrak, pelarut, baseline	Memisahkan interferensi
Biomassa	Nilai, variasi, ulangan	Ukuran biofilm melekat
Pendamping	Viabilitas atau citra	Menegaskan interpretasi
Statistik	Efek, interval, asumsi	Keandalan kesimpulan

 ISSN 3123-2795 (E)

4.8. Implikasi untuk Pengembangan Biologi Terapan

Kecombrang merupakan sumber daya tumbuhan tropis yang menarik untuk ditelaah lebih jauh karena penggunaannya sudah dikenal luas dan kajian kimianya terus bertambah. Namun, penggunaan tradisional bukan bukti otomatis keamanan dan efektivitas suatu sediaan untuk semua aplikasi. Pemanfaatan ekstrak tumbuhan sebagai bahan antibiofilm harus mempertimbangkan target biologis, kemungkinan toksisitas, stabilitas bahan, serta penerapan pada konteks nyata. Seluruh klaim aplikasi memerlukan tahapan verifikasi lebih jauh yang terpisah dari pengujian laboratorium awal.

Dari sisi pendidikan IPA, materi ini juga relevan untuk menekankan literasi metode ilmiah. Mahasiswa dapat belajar membedakan jenis bukti, mengidentifikasi variabel bebas dan terikat, menentukan arti kontrol, serta memahami keterbatasan interpretasi hasil. Contoh kecombrang menunjukkan bahwa penelitian ilmiah yang berkualitas bukan sekadar menghasilkan angka, melainkan menyusun pertanyaan yang tepat dan menempatkan kesimpulan sesuai kemampuan instrumen.

Bagi pengembangan penelitian lokal, prioritas pertama ialah inventarisasi dan validasi kualitas bahan yang konsisten. Prioritas berikutnya berupa pengujian langsung pada endpoint biofilm E. coli secara terkontrol dan kemudian pengulangan pada sampel atau sistem yang berbeda. Bila aktivitas dapat dibuktikan secara konsisten, studi mekanisme dapat dipertimbangkan dalam tahap terpisah. Tahap lanjutan hendaknya tidak menyatakan klaim antibiofilm secara luas hanya karena adanya aktivitas antibakteri dalam uji awal.

4.9. Keterbatasan Kajian dan Kebutuhan Penelitian

Kajian ini memiliki beberapa keterbatasan yang perlu diungkapkan secara eksplisit. Pertama, penelusuran dan seleksi literatur bersifat naratif terarah sehingga tidak memenuhi standar telaah sistematis dengan diagram alur PRISMA maupun penilaian risiko bias setiap artikel. Kedua, metode ekstraksi serta organisme uji dalam studi terpilih berbeda sehingga angka dari artikel yang satu tidak digabungkan secara kuantitatif dengan angka dari artikel lain. Ketiga, bukti antibiofilm langsung pada E. coli yang memenuhi kesetaraan bahan dan endpoint belum dapat ditetapkan dari kumpulan sumber yang dikaji.

Keempat, tidak ada pengambilan sampel tanaman, penentuan metabolit baru, pengukuran biofilm, ataupun analisis statistik data primer yang dilakukan untuk naskah ini. Seluruh gambar merupakan ilustrasi konseptual buatan penulis dan tidak merepresentasikan citra mikroskop atau percobaan nyata. Kelima, rancangan penelitian yang diajukan memerlukan penyesuaian oleh pembimbing serta institusi laboratorium yang memiliki kompetensi keselamatan hayati. Oleh karena itu, kesimpulan tulisan dibatasi pada sintesis bukti dan usulan verifikasi.

Dengan mempertahankan batasan tersebut, artikel tetap memberikan kontribusi berupa pemetaan perbedaan endpoint, kritik terhadap generalisasi lintasorganisme, serta penekanan perlunya analisis faktor konsentrasi dan waktu secara bersama. Peneliti berikutnya dapat menggunakan kerangka ini untuk menyusun hipotesis dan rencana analisis yang transparan, kemudian memublikasikan data mentah dan prosedur mutu sesuai persyaratan jurnal apabila pengujian benar-benar dilaksanakan.

KESIMPULAN

Berdasarkan sintesis pustaka, kecombrang (Etlingera elatior) memiliki keragaman metabolit sekunder dan sejumlah laporan aktivitas antimikroba yang mendukung kelayakannya untuk diteliti lebih lanjut. Akan tetapi, bukti antibakteri terhadap E. coli tidak sama dengan bukti penghambatan biofilm E. coli. Penelitian mengenai aktivitas antibiofilm E. elatior yang teridentifikasi dalam kajian ini terutama melibatkan S. aureus atau organisme lain, sehingga tidak dapat digunakan untuk menetapkan efektivitas langsung ekstrak bunga terhadap biofilm E. coli.

Konsentrasi ekstrak dan lama waktu kontak merupakan faktor yang relevan tetapi belum memiliki nilai optimum yang terbukti untuk kombinasi ekstrak–organisme–endpoint dalam judul ini. Kajian merekomendasikan karakterisasi ekstrak yang transparan, pemisahan pengukuran biomassa dan viabilitas, penggunaan kontrol interferensi, serta analisis interaksi dua faktor ketika data primer telah dikumpulkan. Perbedaan bentuk sediaan, bagian tanaman, dan spesies uji harus selalu dijelaskan dalam interpretasi.

Artikel ini merupakan kajian literatur dan kerangka penelitian, bukan laporan eksperimen yang sudah dilakukan. Temuan utamanya adalah identifikasi peluang penelitian yang disertai batas klaim ilmiah secara jelas. Pengujian laboratorium yang sahih dan terdokumentasi diperlukan sebelum dapat dilaporkan persentase hambatan biofilm, hubungan dosis-respons, ataupun durasi kontak paling efektif.

DAFTAR PUSTAKA

Azeredo, J., Azevedo, N. F., Briandet, R., Cerca, N., Coenye, T., Costa, A. R., Desvaux, M., Di Bonaventura, G., Hébraud, M., Jaglic, Z., Kačániová, M., Knøchel, S., Lourenço, A., Mergulhão, F., Meyer, R. L., Nychas, G., Simões, M., Tresse, O., & Sternberg, C. (2017). Critical review on biofilm methods. Critical Reviews in Microbiology, 43(3), 313–351. https://doi.org/10.1080/1040841X.2016.1208146

Ernilasari, E., Walil, K., Fitmawati, F., Roslim, D. I., Zumaidar, Z., Saudah, S., & Rayhannisa, R. (2021). Antibacterial activity of leaves, flowers, and fruits extract of Etlingera elatior from Nagan Raya District, Indonesia against Escherichia coli and Staphylococcus aureus. Biodiversitas, 22(10), 4457–4464. https://doi.org/10.13057/biodiv/d221039

Ferreira, F. S., Silva, A. C., Aguiar, J. C. R. O. F., et al. (2025). Antimicrobial and antibiofilm activities of the essential oil from the inflorescence of Etlingera elatior (Zingiberaceae) and its main constituents (dodecanal and 1-dodecanol). Journal of the Brazilian Chemical Society, 36(4), e-20240215. https://doi.org/10.21577/0103-5053.20240215

Flemming, H.-C., Wingender, J., Szewzyk, U., Steinberg,

P., Rice, S. A., & Kjelleberg, S. (2016). Biofilms: An emergent form of bacterial life. Nature Reviews Microbiology, 14, 563–575. https://doi.org/10.1038/nrmicro.2016.94

Ghasemzadeh, A., Jaafar, H. Z. E., Rahmat, A., & Ashkani, S. (2015). Secondary metabolites constituents and antioxidant, anticancer and antibacterial activities of Etlingera elatior (Jack) R.M.Sm grown in different locations of Malaysia. BMC Complementary and Alternative Medicine, 15, 335. https://doi.org/10.1186/s12906-015-0838-6

Hamdan, H. F., Ross, E. E. R., Jalil, M. T. M., Hashim, M. A., & Raja Yahya, M. F. Z. (2024). Antibiofilm efficacy and mode of action of Etlingera elatior extracts against Staphylococcus aureus. Malaysian Applied Biology, 53(1), 27–34. https://doi.org/10.55230/mabjournal.v53i1.2808

Juwita, T., Puspitasari, I. M., & Levita, J. (2018). Torch ginger (Etlingera elatior): A review on its botanical aspects, phytoconstituents and pharmacological activities. Pakistan Journal of Biological Sciences, 21(4), 151–165. https://doi.org/10.3923/pjbs.2018.151.165

Magana, M., Sereti, C., Ioannidis, A., Mitchell, C. A., Ball, A. R., Magiorkinis, E., Chatzipanagiotou, S., Hamblin, M. R., Hadjifrangiskou, M., & Tegos, G. P. (2018). Options and limitations in clinical investigation of bacterial biofilms. Clinical Microbiology Reviews, 31(3), e00084-16. https://doi.org/10.1128/CMR.00084-16

Maser, W. H., Purwoko, A., Yuliana, N. D., Lubis, L. M., & Khatib, A. (2022). GC-MS based metabolite profiling and antibacterial activity of torch ginger (Etlingera elatior) flowers extract. Indonesian Journal of Chemistry, 22(4), 1014–1024. https://doi.org/10.22146/ijc.72583

Safrina, U., Wardiyah, W., & Cartika, H. (2022). Evaluation of total flavonoid, total phenolic, and antioxidant activity of Etlingera elatior (Jack) R.M.Sm flower, fruit, and leaf. Traditional Medicine Journal, 27(1). https://doi.org/10.22146/mot.72210