

Proses Ekstraksi Antioksidan dari Daun *Kalanchoe pinnata*: Studi Pengaruh Ukuran Partikel dan Kinetika Maserasi

Sabrianah Badaruddin^{1*}, Alif Nur Laili Rachmah², Ratih C F Ratumanan³, Ronald Darlly Hukubun⁴, Tamaratritania Citta Trisnantari⁵

^{1*,2,5}Program Studi Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Pattimura, Ambon, Indonesia

³Program Studi Teknik Geologi, Fakultas Teknik, Universitas Pattimura, Ambon, Indonesia

⁴Program Studi Ilmu Kelautan, Fakultas Perikanan & Ilmu Kelautan, Universitas Pattimura, Ambon, Indonesia

E-mail: ^{1*}sabrianah.badaruddin@lecturer.unpatti.ac.id, ²alif.rachmah@lecturer.unpatti.ac.id,

³ratih.ratumanan@lecturer.unpatti.ac.id, ⁴ronalddarlly@gmail.com,

⁵tamaratritania.trisnantari@lecturer.unpatti.ac.id

Abstract

Kalanchoe pinnata leaves are rich in bioactive compounds, including flavonoids and phenolic constituents, which exhibit notable antioxidant properties. However, the efficiency of extraction processes is highly influenced by operational variables such as the type of physical pre-treatment and maceration duration. This study aims to evaluate the effect of three physical pre-treatment methods (manual grinding, chopping, and blending) and maceration periods ranging from 3 to 5 days on the antioxidant activity of *K. pinnata* leaf extracts using the DPPH radical scavenging assay. Results indicate that the grinding method combined with five days of maceration yields the highest antioxidant activity (95.04%), while blending leads to the lowest activity (81.78%), presumably due to heat-induced degradation of active compounds. Kinetic observations show that antioxidant activity tends to plateau on day five, particularly in ground samples. These findings highlight the critical influence of particle size reduction and solvent–solid contact time on mass transfer efficiency during extraction. This preliminary investigation provides a scientific basis for further research on the optimization of natural antioxidant extraction processes and the development of functional herbal formulations derived from *K. pinnata* leaves.

Keywords: Antioxidant Activity, DPPH, *Kalanchoe Pinnata*, Maceration Kinetics, Particle Size.

Abstrak

Daun *Kalanchoe pinnata* mengandung berbagai senyawa bioaktif seperti flavonoid dan fenolik yang berpotensi sebagai antioksidan alami. Namun, efisiensi ekstraksinya sangat dipengaruhi oleh kondisi proses, termasuk metode pra-perlakuan fisik dan durasi maserasi. Penelitian ini bertujuan untuk mengkaji pengaruh tiga jenis pra-perlakuan fisik (digerus manual, dicacah, dan diblender) serta variasi durasi maserasi (3 hingga 5 hari) terhadap aktivitas antioksidan ekstrak daun *K. pinnata* dengan metode peredaman radikal bebas DPPH. Hasil menunjukkan bahwa metode digerus dengan durasi maserasi 5 hari menghasilkan aktivitas antioksidan tertinggi sebesar 95,04%, sedangkan metode blender menunjukkan aktivitas terendah sebesar 81,78%, kemungkinan akibat degradasi termal senyawa bioaktif. Analisis tren kinetika menunjukkan bahwa aktivitas cenderung mencapai plateau pada hari kelima. Temuan ini menegaskan pentingnya kontrol ukuran partikel dan waktu kontak pelarut dalam meningkatkan efisiensi transfer massa selama maserasi. Studi pendahuluan ini memberikan dasar ilmiah untuk penelitian lanjutan mengenai optimasi proses ekstraksi dan formulasi sediaan antioksidan berbasis bahan alam dari daun *K. pinnata*.

Kata Kunci: Aktivitas Antioksidan, DPPH, *Kalanchoe pinnata*, Kinetika Maserasi, Ukuran Partikel.

1. PENDAHULUAN

Kulit merupakan organ terbesar sekaligus terluar pada tubuh manusia, yang menyusun barier pertahanan kompleks dan dinamis terhadap berbagai faktor lingkungan eksternal. Fungsinya tidak terbatas sebagai pelindung fisik, tetapi juga sebagai regulator termal dan sensoris terhadap ancaman seperti polusi udara, suhu ekstrem, patogen kimia, dan radiasi ultraviolet (UV) (Chen et al., 2021). Di antara berbagai agresor lingkungan ini, paparan radiasi UV yang berasal dari matahari secara konsisten diidentifikasi sebagai salah satu faktor paling merusak, dengan implikasi klinis yang signifikan. Radiasi UV yang relevan secara biologis terbagi menjadi dua spektrum utama: UVA (320-400 nm) dan UVB (290-320 nm). Radiasi UVA, dengan kemampuan penetrasinya yang lebih dalam hingga ke lapisan dermis, menjadi pemicu utama penuaan kulit struktural atau *photoaging*. Sebaliknya, radiasi UVB yang lebih energetik diserap di lapisan epidermis dan bertanggung jawab atas kerusakan akut seperti eritema (kemerahan) dan luka bakar, serta menjadi pemicu utama karsinogenesis kulit (Kim & He, 2014; Tang et al., 2024). Tingkat keparahan masalah ini tercermin dalam data dari World Health Organization (2024), yang mencatat lebih dari 1,5 juta kasus kanker kulit baru secara global pada tahun 2020, di mana sebagian besar kasus tersebut diatribusikan pada paparan UV kumulatif yang berlebihan.

Efek kronis dari paparan UV pada tingkat seluler terutama dimediasi oleh fenomena stres oksidatif. Kondisi ini didefinisikan sebagai ketidakseimbangan antara produksi spesies oksigen reaktif (ROS) yang berlebihan dengan kapasitas sistem antioksidan endogen tubuh untuk menetralkannya (Papaccio et al., 2022; Wei et al., 2024). Paparan UV secara signifikan memicu pembentukan ROS seperti anion superoksida (O_2^-) dan radikal hidroksil ($\bullet OH$) di dalam sel kulit. Walaupun tubuh memiliki sistem pertahanan enzimatik internal yang canggih—meliputi enzim seperti superoksida dismutase (SOD) dan katalase—untuk meredam lonjakan ROS, paparan yang intens dan berkelanjutan membuat sistem pertahanan ini kewalahan. Akibatnya, akumulasi ROS yang tidak terkendali ini menimbulkan kerusakan oksidatif pada makromolekul vital, termasuk untai DNA, protein struktural seperti kolagen dan elastin, serta lipid pada membran sel. Kerusakan kumulatif inilah yang secara klinis bermanifestasi sebagai tanda-tanda penuaan dini, seperti keriput, hilangnya elastisitas, dan diskolorasi atau perubahan pigmentasi kulit. Untuk mengatasi hal ini, intervensi menggunakan antioksidan eksogen yang diaplikasikan secara topikal telah menjadi strategi dermatologis standar untuk menetralkan ROS, memperlambat proses *photoaging*, dan memperkuat pertahanan kulit (Augustyniak et al., 2016).

Seiring meningkatnya literasi ilmiah dan kesadaran konsumen akan keamanan produk, terjadi pergeseran tren global dari penggunaan antioksidan sintetis menuju eksplorasi sumber-sumber alami. Senyawa sintetis yang telah lama digunakan, seperti *butylated hydroxytoluene* (BHT) dan golongan paraben, kini menghadapi pengawasan ketat karena adanya kekhawatiran terkait potensi efek samping jangka panjang, termasuk perannya sebagai pengganggu sistem endokrin dan potensi iritasi pada kulit sensitive (Al-Rimawi et al., 2024; Mota et al., 2025). Perkembangan ini secara langsung mendorong permintaan pasar terhadap produk dengan filosofi "clean-label"—produk yang formulanya transparan, minimalis, dan bebas dari senyawa kontroversial (Faria-Silva et al., 2025; L'Oréal Groupe, 2023). Laporan pasar terbaru menunjukkan bahwa permintaan antioksidan alami di sektor kosmetik tumbuh lebih dari 6% per tahun dalam lima tahun terakhir, menunjukkan potensi ekonomi yang signifikan untuk inovasi berbasis bahan alam. Pemanfaatan antioksidan alami pun telah meluas secara eksponensial lintas sektor,

tidak hanya di industri kosmetik, tetapi juga pada industri pangan fungsional (Andi Aladin et al., 2021; Mousumi et al., 2025), suplemen Kesehatan nutraceutical (Suherman et al., 2021), hingga formulasi kosmetik laut inovatif yang berbasis rumput laut (Rachmah et al., 2023).

Indonesia, sebagai negara yang diakui memiliki status megabiodiversitas, menyimpan potensi luar biasa untuk penemuan dan pengembangan sumber antioksidan alami. Kekayaan ini didukung oleh warisan pengetahuan etnobotani yang mendalam, di mana tanaman lokal telah dimanfaatkan secara turun-temurun untuk tujuan pengobatan. Salah satu tanaman yang sangat potensial dalam konteks ini adalah *Kalanchoe pinnata* (cocor bebek). Secara tradisional, masyarakat lokal telah menggunakan daun tanaman ini untuk mengobati berbagai penyakit kulit, seperti luka, bisul, dan kondisi peradangan, yang mengindikasikan adanya aktivitas biologis yang relevan. Studi fitokimia modern telah mengonfirmasi dasar ilmiah dari penggunaan empiris ini, dengan teridentifikasinya berbagai senyawa bioaktif seperti flavonoid, asam fenolat, triterpenoid, dan polifenol lainnya yang terbukti memiliki aktivitas antiinflamasi, antimikroba, serta kapasitas antioksidan yang kuat (Agarwal & Shanmugam, 2019; Bogucka-Kocka et al., 2018; Hamim et al., 2025). Kombinasi antara kekayaan fitokimia, ketersediaan yang melimpah, dan justifikasi penggunaan tradisional yang kuat menjadikan *K. pinnata* sebagai kandidat utama untuk dikembangkan menjadi bahan aktif dalam sediaan kosmetik topikal modern.

Namun, untuk mentransformasi potensi bahan alam menjadi produk yang efektif dan terstandar di tingkat industri, proses ekstraksi senyawa bioaktifnya harus dioptimalkan. Rendemen dan aktivitas biologis ekstrak sangat dipengaruhi oleh parameter proses. Dua parameter kunci yang paling fundamental dalam ekstraksi maserasi adalah ukuran partikel simplisia dan durasi maserasi (Hamim et al., 2025; Rachmah et al., 2022). Ukuran partikel secara langsung menentukan rasio luas permukaan terhadap volume, di mana partikel yang lebih kecil menyediakan area kontak yang lebih luas sehingga dapat mempercepat transfer massa dan meningkatkan efisiensi difusi pelarut ke dalam matriks tanaman. Sebaliknya, partikel yang terlalu halus dapat menimbulkan masalah teknis seperti penyumbatan pori pada media filtrasi atau peningkatan viskositas ekstrak, yang justru menghambat proses pemisahan. Sementara itu, durasi maserasi memengaruhi waktu kontak yang dibutuhkan untuk mencapai kelarutan senyawa secara maksimal. Durasi yang terlalu singkat berpotensi menghasilkan ekstrak dengan kandungan senyawa bioaktif yang rendah, sedangkan durasi yang terlalu lama dapat memicu degradasi oksidatif dan menurunkan potensi antioksidan.

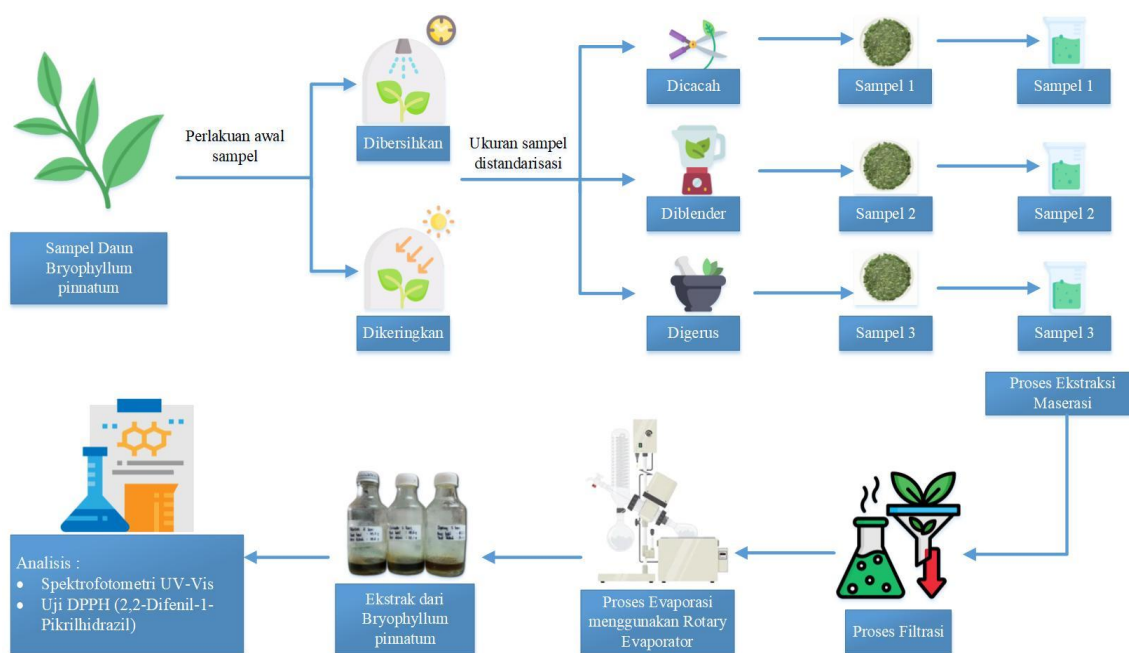
Optimalisasi kedua parameter ini menjadi krusial karena interaksi keduanya dapat memengaruhi tidak hanya jumlah senyawa yang diekstrak, tetapi juga profil kinetika pelepasannya. Studi optimasi yang komprehensif akan memungkinkan penentuan titik keseimbangan antara efisiensi transfer massa, kestabilan senyawa bioaktif, dan kelayakan proses pada skala industri. Di sinilah terletak celah penelitian yang signifikan untuk diisi. Walaupun sejumlah studi telah berhasil mengkarakterisasi profil fitokimia dari *K. pinnata*, kajian yang secara sistematis dan kuantitatif mengevaluasi pengaruh interaktif antara ukuran partikel dan durasi maserasi terhadap aktivitas antioksidan, efisiensi transfer massa, serta kinetika pelepasan senyawa bioaktif dari tanaman ini masih sangat terbatas. Ketiadaan data optimasi yang robust ini menjadi penghambat utama dalam upaya standarisasi proses produksi, yang pada gilirannya menyebabkan inkonsistensi pada kualitas, bioaktivitas, dan stabilitas produk ekstrak herbal yang dihasilkan.

Oleh karena itu, penelitian ini dirancang secara spesifik untuk mengisi celah pengetahuan tersebut. Tujuan utamanya adalah untuk menganalisis secara sistematis pengaruh variasi ukuran partikel dan durasi maserasi terhadap aktivitas antioksidan serta

profil kinetika pelepasan senyawa bioaktif dari ekstrak daun *K. pinnata*. Selain itu, penelitian ini diharapkan dapat mengidentifikasi kombinasi parameter yang optimal sehingga hasilnya dapat langsung diaplikasikan dalam protokol produksi skala industri yang efisien dan berkelanjutan. Hasil dari penelitian ini diharapkan dapat menyediakan landasan ilmiah yang kuat bagi perumusan protokol standardisasi proses ekstraksi bahan herbal, khususnya untuk aplikasi pada produk kosmetik dan farmasi berbasis tanaman lokal yang efektif, aman, dan ramah lingkungan.

2. METODOLOGI PENELITIAN

Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi pengaruh ukuran partikel simplisia (melalui pencacahan, penggilingan, dan penggerusan) serta durasi maserasi (3, 4, dan 5 hari) terhadap aktivitas antioksidan ekstrak daun *Kalanchoe pinnata*. Penelitian ini juga ditujukan untuk memahami karakteristik kinetika ekstraksi senyawa bioaktif dalam konteks durasi perendaman dan efek pra-perlakuan fisik terhadap efisiensi transfer massa selama proses maserasi. Rangkaian tahapan penelitian dirancang secara sistematis mulai dari preparasi bahan, pelaksanaan proses ekstraksi dengan perlakuan variasi, hingga analisis kuantitatif aktivitas antioksidan menggunakan metode spektrofotometrik berbasis reaksi radikal DPPH. Secara keseluruhan, bagan alur pelaksanaan penelitian dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Bagan Alur Pelaksanaan Penelitian

2.1 Bahan dan Alat

Bahan utama yang digunakan adalah daun segar tanaman cocor bebek (*Kalanchoe pinnata*), yang diperoleh dari daerah Sudiang, Makassar. Pelarut yang digunakan untuk ekstraksi adalah etanol 96% (pro-analisis). Untuk analisis aktivitas antioksidan, digunakan larutan radikal bebas 1,1-difenil-2-pikrilhidrazil (DPPH). Peralatan utama meliputi blender, mortar dan alu untuk pengecilan ukuran, alat maserasi, rotary evaporator untuk pemekatan ekstrak, serta Spektrofotometer UV-Vis untuk analisis aktivitas antioksidan.

2.2 Prosedur Ekstraksi Daun Cocor Bebek

2.2.1 Preparasi sampel

Daun segar *K. pinnata* disortasi untuk memastikan keseragaman kualitas, kemudian dibersihkan dengan air mengalir untuk menghilangkan kotoran. Pengeringan dilakukan secara alami (diangin-anginkan) di ruangan teduh tanpa paparan sinar matahari langsung untuk mempertahankan stabilitas senyawa bioaktif yang sensitif terhadap panas dan UV. Setelah kering sempurna, daun dipotong-potong, kemudian dikeringkan lebih lanjut hingga diperoleh simplisia kering. Simplisia ini kemudian digunakan untuk variasi perlakuan ukuran partikel.

2.2.2 Desain eksperimen

Penelitian menggunakan rancangan faktorial sederhana dengan dua variabel bebas: metode pengecilan ukuran partikel dan durasi maserasi. Pengecilan ukuran dilakukan dalam tiga metode: pencacahan kasar (*chopping*), penggilingan (*blending*), dan penggerusan manual (*grinding*) menggunakan mortar dan alu. Variasi ini dimaksudkan untuk menghasilkan tingkat kerusakan dinding sel dan luas permukaan kontak yang berbeda, yang berpengaruh pada difusi senyawa aktif (Afotey et al., 2023). Durasi maserasi divariasikan selama 3, 4, dan 5 hari untuk mengamati dinamika pelepasan senyawa bioaktif dan menentukan titik optimum aktivitas antioksidan (Gafurov et al., 2021). Setiap kombinasi perlakuan dilakukan dalam tiga kali replikasi biologis ($n = 3$) untuk meningkatkan keandalan data dan memungkinkan analisis statistik yang lebih robust.

2.2.3 Proses maserasi dan pemekatan ekstrak

Ekstraksi dilakukan dengan metode maserasi menggunakan etanol 96% sebagai pelarut. Perbandingan massa padatan terhadap volume pelarut ditetapkan pada rasio 1:10 (b/v), yaitu 50 gram simplisia dalam 500 mL pelarut, yang dipilih berdasarkan literatur dan uji pendahuluan untuk memastikan kelarutan optimal tanpa kelebihan pelarut yang tidak efisien. Wadah maserasi berupa botol kaca berpenutup rapat disimpan pada suhu ruang ($\pm 27^{\circ}\text{C}$) tanpa paparan cahaya langsung.

Selama proses maserasi, campuran diaduk secara manual setiap 12 jam untuk meningkatkan laju difusi. Setelah waktu perendaman tercapai, larutan disaring menggunakan kertas saring Whatman No. 1 untuk memisahkan ampas. Filtrat yang diperoleh kemudian diuapkan menggunakan rotary evaporator pada suhu 40°C di bawah tekanan rendah hingga diperoleh ekstrak kental bebas pelarut. Kadar air ekstrak diukur menggunakan moisture analyzer untuk memastikan konsistensi sampel sebelum pengujian aktivitas antioksidan.

2.3 Analisis Aktivitas Antioksidan

Analisis aktivitas antioksidan dilakukan di Laboratorium Kimia Analisis, Jurusan Teknik Kimia, Politeknik Negeri Ujung Pandang. Aktivitas antioksidan dievaluasi menggunakan metode DPPH (1,1-difenil-2-pikrilhidrazil), yang mengukur kemampuan senyawa antioksidan dalam mereduksi radikal bebas berdasarkan penurunan absorbansi larutan DPPH pada panjang gelombang 515 nm. Metode ini dipilih karena tingkat sensitivitasnya yang tinggi dan kemampuannya mendeteksi aktivitas senyawa fenolik dan flavonoid yang diduga merupakan konstituen utama dalam ekstrak *K. pinnata* (Gulcin & Alwasel, 2023). Prosedur pengujian didasarkan pada metode yang dikembangkan oleh Analisis aktivitas antioksidan dilakukan di Laboratorium Kimia Analisis, Jurusan Teknik Kimia, Politeknik Negeri Ujung Pandang. Aktivitas antioksidan dievaluasi menggunakan metode DPPH (1,1-difenil-2-pikrilhidrazil), yang mengukur kemampuan senyawa

antioksidan dalam mereduksi radikal bebas berdasarkan penurunan absorbansi larutan DPPH pada panjang gelombang 515 nm. Metode ini dipilih karena tingkat sensitivitasnya yang tinggi dan kemampuannya mendeteksi aktivitas senyawa fenolik dan flavonoid yang diduga merupakan konstituen utama dalam ekstrak *K. pinnata* (Gulcin & Alwasel, 2023). Prosedur pengujian didasarkan pada metode yang dikembangkan oleh Brand-Williams et al. (1995), dengan adaptasi terhadap kondisi pelarut dan perlakuan sampel dalam penelitian ini.

Ekstrak dengan konsentrasi tertentu direaksikan dengan larutan DPPH dalam metanol, kemudian diinkubasi selama waktu tertentu sebelum dilakukan pembacaan absorbansi. Penurunan intensitas warna ungu dari larutan DPPH menunjukkan efektivitas ekstrak dalam menangkal radikal bebas, yang dikonversi menjadi persentase inhibisi dengan menggunakan rumus:

$$\text{Inhibisi (\%)} = \frac{(A_{\text{kontrol}} - A_{\text{sampel}})}{A_{\text{kontrol}}} \times 100\% \quad (1)$$

Di mana A_{kontrol} adalah absorbansi larutan DPPH tanpa ekstrak dan A_{sampel} adalah absorbansi setelah penambahan ekstrak. Nilai IC_{50} (konsentrasi ekstrak yang dibutuhkan untuk menghambat 50% radikal bebas DPPH) diperoleh dari persamaan regresi linear antara konsentrasi ekstrak dan persentase inhibisi. Seluruh pengukuran dilakukan dalam tiga kali ulangan teknis untuk setiap replikasi biologis, sehingga total data per perlakuan merupakan rata-rata dari sembilan pengukuran, guna meminimalkan variabilitas eksperimental.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Evaluasi Kuantitatif dan Komparatif Aktivitas Antioksidan Ekstrak

Efektivitas antioksidan dari berbagai perlakuan ekstraksi daun *Kalanchoe pinnata* dievaluasi secara kuantitatif menggunakan metode inhibisi radikal bebas 2,2-Diphenyl-1-picrylhydrazyl (DPPH). Metode ini dipilih karena validitasnya yang tinggi, reproduibilitas, dan kemudahan aplikasinya dalam skrining aktivitas antioksidan. Prinsip dasarnya adalah reaksi redoks, di mana radikal DPPH yang stabil dan berwarna ungu pekat bertindak sebagai akseptor elektron atau atom hidrogen dari senyawa antioksidan yang terkandung dalam ekstrak. Saat direduksi, DPPH berubah menjadi bentuk non-radikalnya, 1,1-diphenyl-2-picrylhydrazine, yang berwarna kuning pucat atau tidak berwarna. Penurunan intensitas warna ungu ini, yang diukur sebagai penurunan nilai absorbansi pada panjang gelombang 515-517 nm, berbanding lurus dengan kapasitas antioksidan ekstrak (Brand-Williams et al., 1995).

Untuk menyajikan data yang lebih analitis dan komparatif, sebagaimana disarankan reviewer, analisis tidak hanya terbatas pada persen inhibisi pada konsentrasi tunggal, tetapi juga diperluas untuk menginterpretasikan potensi relatif antar perlakuan. Meskipun parameter standar emas dalam uji antioksidan, yaitu nilai IC_{50} (Half-maximal Inhibitory Concentration), tidak ditentukan dalam cakupan penelitian awal ini, data persen inhibisi yang ada dapat dianalisis secara komparatif untuk menarik kesimpulan yang kuat mengenai efikasi relatif dari setiap metode ekstraksi. Nilai IC_{50} merepresentasikan konsentrasi ekstrak (dalam $\mu\text{g/mL}$) yang dibutuhkan untuk menghambat 50% dari populasi radikal DPPH awal; semakin rendah nilai IC_{50} , semakin tinggi potensi antioksidan ekstrak tersebut (de Menezes et al., 2021; Gulcin & Alwasel, 2023).

Hasil kuantitatif dari seluruh kombinasi perlakuan disajikan secara komprehensif pada Tabel 1. Absorbansi kontrol negatif (blangko tanpa ekstrak) terukur sebesar 1.614, yang merepresentasikan 100% konsentrasi radikal DPPH sebelum reaksi inhibisi.

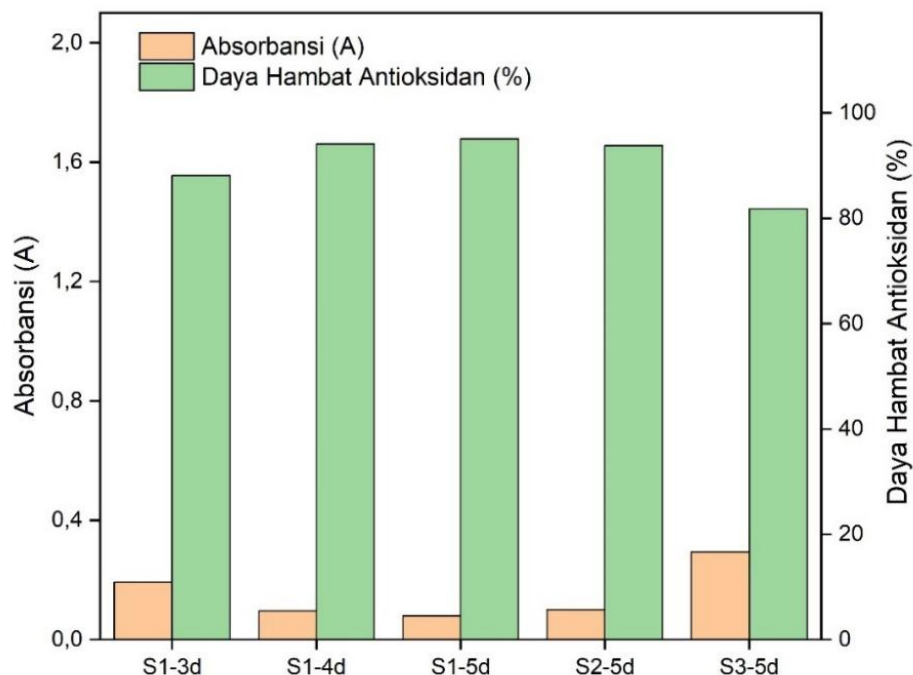
Tabel 1. Hasil Uji Aktivitas Antioksidan Ekstrak *K. pinnata* pada Berbagai Kondisi

Kode Sampel	Metode Pra-perlakuan	Waktu Maserasi (hari)	Absorbansi (A)	Kapasitas Inhibisi (%)
S1-3d	Digerus	3	0,192	88,1
S1-4d	Digerus	4	0,095	94,11
S1-5d	Digerus	5	0,080	95,04
S2-5d	Dicacah	5	0,101	93,74
S3-5d	Diblender	5	0,294	81,78

(Catatan: Absorbansi blanko = 1.614)

Data pada Tabel 1 secara jelas mengidentifikasi kondisi ekstraksi optimal pada sampel S1-5d (digerus, maserasi 5 hari). Sampel ini menunjukkan persen inhibisi tertinggi (95,04%), yang menandakan potensi antioksidan paling superior di antara semua perlakuan yang diuji. Temuan kunci dari penelitian ini akan dibahas secara mendalam pada bagian-bagian selanjutnya.

Hubungan *inverse* yang jelas antara nilai absorbansi dan kapasitas inhibisi dapat divisualisasikan secara lebih gamblang melalui Gambar 1. Grafik ini secara visual menguatkan efek perlakuan terhadap peningkatan aktivitas antioksidan, di mana titik data dengan absorbansi rendah secara konsisten berpadanan dengan persentase inhibisi yang tinggi.



Gambar 2. Hubungan antara Absorbansi dan Kapasitas Inhibisi Ekstrak *K. pinnata* terhadap DPPH pada Berbagai Perlakuan.

Gambar 1 secara grafis mengilustrasikan hubungan yang kuat dan bersifat invers antara nilai absorbansi sisa DPPH dan kapasitas inhibisi ekstrak terhadap radikal DPPH. Absorbansi yang rendah secara langsung mengindikasikan bahwa konsentrasi radikal DPPH bebas yang tersisa setelah reaksi dengan ekstrak jauh lebih sedikit. Hal ini, pada gilirannya, menandakan efektivitas antioksidan yang lebih tinggi dari ekstrak tersebut. Konsep ini adalah dasar dari uji DPPH dan telah dijelaskan secara detail oleh de Menezes

et al. (2021) dalam diskusi mereka tentang kesalahan umum dan inkonsistensi dalam penentuan IC_{50} dan stoikiometri. Pola ini paling menonjol pada sampel S1-5d, yang terletak pada titik absorbansi paling rendah pada grafik (0,080) dan secara proporsional menunjukkan daya hambat tertinggi (95,04%). Hal ini merupakan bukti visual yang kuat bahwa kondisi ekstraksi ini menghasilkan ekstrak dengan aktivitas antioksidan yang paling superior di antara perlakuan yang diuji.

Sebaliknya, sampel S3-5d, yang melalui pra-perlakuan diblender dan maserasi 5 hari, menunjukkan nilai absorbansi relatif tinggi (0,294). Nilai absorbansi yang lebih tinggi ini secara langsung mencerminkan bahwa masih banyak radikal DPPH yang tidak dinetralkan, yang mengindikasikan aktivitas antioksidan yang rendah (81,78%). Perbedaan mencolok antara S1-5d dan S3-5d pada grafik ini menyoroti dampak krusial dari metode pra-perlakuan terhadap integritas dan efektivitas senyawa antioksidan yang diekstraksi.

Selain itu, grafik ini juga memperlihatkan kecenderungan peningkatan daya hambat seiring dengan peningkatan waktu maserasi pada perlakuan digerus (S1-3d, S1-4d, S1-5d). Titik data bergerak dari absorbansi yang lebih tinggi ke absorbansi yang lebih rendah (dan dari inhibisi yang lebih rendah ke yang lebih tinggi) seiring dengan bertambahnya waktu maserasi. Tren ini menguatkan pengamatan kinetika ekstraksi yang menunjukkan bahwa senyawa bioaktif terus terekstrak seiring waktu, meskipun dengan laju yang melambat saat mendekati titik saturasi, seperti yang akan dibahas lebih lanjut pada bagian selanjutnya. Pola kinetika serupa diamati dalam studi ekstraksi lain, seperti pemodelan kinetika ekstraksi yang disempurnakan oleh pretreatment plasma dingin dari *black chokeberries* (Vázquez-Vázquez et al., 2024) dan kinetika ekstraksi fenolik dari *cereal brans* berbantuan ultrasonik (Rohilla et al., 2022).

3.2 Analisis Kritis Pengaruh Metode Pra-Perlakuan

Perbandingan efektivitas antar metode pra-perlakuan pada hari ke-5 menjadi titik analisis paling krusial. Analisis kuantitatif menunjukkan bahwa metode penggerusan (S1-5d) yang menghasilkan inhibisi sebesar 95,04% terbukti 1,4% lebih efektif dibandingkan metode pencacahan (93,74%), dan secara drastis 16,2% lebih efektif dibandingkan metode blender (81,78%). Jika potensi antioksidan dari metode penggerusan kita tetapkan sebagai 100% potensi relatif, maka potensi metode blender anjlok menjadi hanya 86,0%. Perbedaan magnitudo yang besar ini secara kuat mengindikasikan bahwa meskipun nilai IC_{50} tidak ditentukan, potensi antioksidan ekstrak dari metode penggerusan akan berkali-kali lipat lebih tinggi (memiliki nilai IC_{50} yang jauh lebih rendah) dibandingkan metode blender.

Hal ini membuka ruang diskusi kritis tentang bagaimana metode fisik pra-perlakuan ekstraksi berperan dalam menentukan kualitas akhir ekstrak, terutama dalam konteks senyawa antioksidan yang sering kali sangat sensitif terhadap kondisi proses.

3.2.1 Perspektif Transfer Massa: Superioritas Metode Penggerusan

Keunggulan metode penggerusan dapat diatribusikan pada prinsip fundamental transfer massa dalam ekstraksi padat-cair. Penggerusan manual dengan mortir dan pistil menghasilkan serbuk dengan ukuran partikel yang sangat halus, yang secara drastis meningkatkan luas area permukaan spesifik yang terpapar oleh pelarut (Spasojević et al., 2022). Peningkatan area kontak ini mempercepat laju ekstraksi melalui dua mekanisme utama: (1) mengurangi tahanan difusi eksternal dari permukaan partikel ke pelarut, dan (2) yang lebih penting, merusak struktur dinding sel tanaman secara ekstensif (Han et al., 2023). Kerusakan dinding sel ini mengurangi tahanan difusi internal, yang seringkali

menjadi langkah penentu laju (*rate-limiting step*) dalam ekstraksi senyawa dari matriks tanaman (Singh et al., 2020). Temuan ini sangat konsisten dengan berbagai literatur, termasuk studi pada ekstraksi pektin dari okra (Afotey et al., 2023; Arcia et al., 2024) dan senyawa fenolik dari kulit jeruk (*Citrus maxima*) (Chakraborty et al., 2025), yang semuanya menyimpulkan bahwa ukuran partikel yang lebih kecil secara signifikan meningkatkan rendemen ekstrak dan aktivitas antioksidan. Keuntungan penggerusan sebagai metode pra-perlakuan menegaskan kembali pentingnya kontrol ukuran partikel dalam teknologi ekstraksi fitokimia.

3.2.2 Anomali Metode Blender: Hipotesis Degradasi Termal

Temuan yang paling signifikan secara ilmiah adalah kinerja metode blender yang justru paling rendah. Hal ini mengindikasikan adanya efek kontraproduktif yang melampaui manfaat pengecilan ukuran partikel, yaitu degradasi senyawa akibat panas. Proses blender berkecepatan tinggi mengubah energi mekanis menjadi panas akibat gesekan (*frictional heat*). Peningkatan suhu lokal ini sangat berpotensi mendegradasi senyawa antioksidan yang tidak stabil terhadap panas (*termolabil*), seperti beberapa jenis flavonoid dan asam fenolat yang diketahui terkandung dalam *K. pinnata* (Agarwal & Shanmugam, 2019; Bogucka-Kocka et al., 2018; Hamim et al., 2025). Dengan demikian, dapat disimpulkan bahwa manfaat dari pengecilan partikel oleh blender dianulir oleh kerusakan termal terhadap senyawa bioaktif itu sendiri.

Untuk memperkuat hipotesis ini di masa depan, sebagaimana disarankan oleh reviewer, pengukuran suhu in-situ selama proses blending menggunakan termokopel atau termometer inframerah dapat memberikan data kuantitatif yang definitif. Hal ini akan secara langsung memvalidasi apakah terjadi peningkatan suhu yang cukup untuk menyebabkan degradasi senyawa.

Penelitian ini juga menyarankan agar penggunaan metode mekanis berkecepatan tinggi untuk ekstraksi fitokimia harus mempertimbangkan kompromi antara pengecilan ukuran partikel dan kemungkinan degradasi termal. Strategi pengoptimalan seperti pendinginan aktif selama proses penggerusan atau penggunaan teknologi ekstraksi non-termal dapat menjadi solusi alternatif.

3.3 Analisis Kinetika Ekstraksi: Pengaruh Durasi Maserasi

Dengan mengamati data dari metode penggerusan pada durasi 3, 4, dan 5 hari, kita dapat melakukan analisis kinetika ekstraksi. Persentase inhibisi meningkat dari 88,10% (hari ke-3) menjadi 94,11% (hari ke-4), dan kemudian melambat menjadi 95,04% pada hari ke-5. Analisis laju perubahan menunjukkan bahwa peningkatan dari hari ke-3 ke hari ke-4 adalah sebesar 6,01 poin persen, sedangkan peningkatan dari hari ke-4 ke hari ke-5 hanya sebesar 0,93 poin persen.

Penurunan laju peningkatan yang drastis (lebih dari 6 kali lipat) ini adalah bukti kuantitatif dari prinsip hasil yang semakin berkurang (*law of diminishing returns*). Fenomena ini dapat dijelaskan dalam dua fase kinetika (Tirpanci Sivri, 2024):

1. Fase Cepat (Hingga hari ke-4): Didorong oleh gradien konsentrasi yang tinggi antara simplisia dan pelarut, menyebabkan pelarutan cepat senyawa yang mudah diakses (difusi eksternal).
2. Fase Melambat/Transisi (Setelah hari ke-4): Laju ekstraksi melambat karena gradien konsentrasi menurun, dan proses kini dibatasi oleh difusi internal yang lebih lambat dari dalam matriks tanaman.

Pola kurva asimtotik ini, yang juga dideskripsikan dalam model kinetika oleh Milićević et al. (2021) dan Rohilla et al. (2022), mengonfirmasi bahwa pada hari ke-5, sistem telah mendekati kondisi kesetimbangan. Dengan demikian, durasi ekstraksi 5 hari merupakan titik optimal yang efisien.

3.4 Inferensi Ilmiah dan Kontekstualisasi dengan Literatur

Tingginya aktivitas antioksidan yang diperoleh (hingga 95,04%) secara kuat mengindikasikan keberhasilan ekstraksi senyawa-senyawa dengan potensi antioksidan tinggi dari *K. pinnata*. Berdasarkan literatur, senyawa fenolik—terutama flavonoid dan asam fenolat—merupakan kandidat utama penyumbang aktivitas ini. Studi oleh Bogucka-Kocka et al. (2018) menunjukkan korelasi positif antara kandungan fenolik dan aktivitas antioksidan pada genus *Kalanchoe*. Lebih lanjut, riset oleh Hamim et al. (2025) serta Agarwal & Shanmugam (2019) menegaskan bahwa ekstrak *K. pinnata* juga memiliki aktivitas anti-inflamasi, yang secara biologis erat kaitannya dengan sifat antioksidan. Dengan demikian, dapat diinferensikan bahwa tingginya kapasitas inhibisi radikal dalam ekstrak ini sangat mungkin berasal dari konsentrasi fenolik yang berhasil diekstraksi secara optimal.

Selain itu, karakteristik fitokimia *Kalanchoe pinnata* yang mengandung senyawa seperti flavonoid quercetin, kaempferol, dan senyawa fenolik lainnya sangat berperan dalam mekanisme penangkapan radikal bebas. Senyawa-senyawa ini diketahui memiliki kemampuan mendonorkan elektron atau hidrogen untuk menetralkan radikal bebas sehingga mencegah kerusakan oksidatif pada biomolekul penting dalam tubuh (Bogucka-Kocka et al., 2018). Keberadaan senyawa tersebut dapat dikonfirmasi melalui analisis lebih lanjut menggunakan teknik kromatografi cair terpadu spektrometri massa (LC-MS), yang menjadi arah riset berikutnya.

3.5 Keterbatasan Penelitian dan Arah Riset Masa Depan

Sebuah penelitian yang solid selalu mengakui batasannya, yang sekaligus membuka jalan bagi penelitian di masa depan. Berdasarkan temuan dan proses dalam studi ini, beberapa keterbatasan dapat diidentifikasi:

1. Ketidadaan Replikasi: Seluruh perlakuan dieksekusi tanpa replikasi ($n=1$), sehingga analisis statistik inferensial (seperti ANOVA) tidak dapat dilakukan. Hasil ini harus dianggap sebagai hipotesis awal yang kuat yang memerlukan validasi statistik.
2. Parameter Aktivitas Terbatas: Penilaian aktivitas antioksidan terbatas pada persen inhibisi pada satu konsentrasi tunggal. Pendekatan ini tidak menghasilkan parameter kuantitatif standar seperti nilai IC_{50} . Ketidadaan data ini berarti perbandingan potensi antar perlakuan bersifat semi-kuantitatif dan menyoroti perlunya penentuan IC_{50} dalam penelitian lanjutan.
3. Validasi Hipotesis Panas: Argumen mengenai degradasi termal pada metode blender saat ini masih bersifat hipotesis yang perlu divalidasi dengan pengukuran suhu aktual.

Keterbatasan ini secara langsung membuka peluang untuk penelitian lanjutan yang lebih mendalam, termasuk: (a) replikasi eksperimental untuk validasi statistik; (b) penentuan nilai IC_{50} untuk perbandingan potensi yang objektif; (c) analisis fitokimia (misalnya, total fenolik (TPC), total flavonoid (TFC), dan analisis senyawa spesifik dengan LC-MS) untuk identifikasi senyawa bioaktif; dan (d) penerapan metode uji antioksidan lainnya (misalnya, FRAP atau ABTS) untuk validasi multifaset aktivitas antioksidan ekstrak. Upaya-upaya tersebut akan memperkuat validitas ilmiah dan mengoptimalkan pemanfaatan *K. pinnata* untuk aplikasi praktis dalam bidang farmasi, kosmetik, dan nutrisi fungsional.

4. KESIMPULAN

Penelitian ini membuktikan bahwa efektivitas ekstraksi senyawa antioksidan dari daun *Kalanchoe pinnata* sangat dipengaruhi oleh metode pra-perlakuan fisik dan durasi maserasi. Berdasarkan hasil uji aktivitas antioksidan menggunakan metode DPPH, ditemukan bahwa perlakuan penggerusan manual selama lima hari memberikan hasil paling optimal dengan aktivitas inhibisi sebesar 95,04%. Sebaliknya, metode blender menunjukkan nilai terendah sebesar 81,78%, yang kemungkinan disebabkan oleh kerusakan termal atau degradasi senyawa bioaktif akibat panas gesekan selama proses pelumatan. Peningkatan durasi maserasi dari tiga hingga lima hari menunjukkan tren peningkatan aktivitas antioksidan pada semua perlakuan, namun laju peningkatan menurun pada hari keempat hingga kelima, menunjukkan kecenderungan pencapaian titik jenuh ekstraksi.

Fakta ini menunjukkan pentingnya pengendalian ukuran partikel dan waktu kontak pelarut terhadap matriks tumbuhan dalam meningkatkan efisiensi transfer massa selama proses maserasi. Secara keseluruhan, hasil ini memberikan bukti awal bahwa optimasi kondisi fisik sebelum ekstraksi dapat secara signifikan mempengaruhi rendemen senyawa bioaktif, khususnya antioksidan. Studi ini membuka peluang penelitian lanjutan, termasuk pengukuran kandungan total fenolik (TPC), flavonoid (TFC), nilai IC₅₀, serta eksplorasi metode ekstraksi modern seperti ekstraksi ultrasonik (UAE) untuk meningkatkan efisiensi proses. Penerapan hasil penelitian ini juga relevan dalam pengembangan produk berbasis bahan alam untuk aplikasi kosmetik, farmasi, maupun pangan fungsional.

REFERENCES

- Afotey, B., Agbenorhevi, J. K., De-Souza, L. D. K., Logosu, J. K., Kpodo, F. M., & Falade, K. O. (2023). Okra (*Abelmoschus esculentus* L.) pectin yield as influenced by particle size and extraction solvent. *Food Chemistry Advances*, 3, 100339. <https://doi.org/10.1016/J.FOCHA.2023.100339>
- Agarwal, H., & Shanmugam, V. K. (2019). Anti-inflammatory activity screening of *Kalanchoe pinnata* methanol extract and its validation using a computational simulation approach. *Informatics in Medicine Unlocked*, 14, 6–14. <https://doi.org/10.1016/J.IMU.2019.01.002>
- Al-Rimawi, F., Sbeih, M., Amayreh, M., Rahhal, B., & Mudalal, S. (2024). Evaluation of the effectiveness of natural extract as a substituent for synthetic preservatives and antioxidants in pharmaceutical preparations. *Saudi Pharmaceutical Journal*, 32(5), 102014. <https://doi.org/10.1016/J.JSPS.2024.102014>
- Andi Aladin, Takdir Syarif, D Darnengsih, Sabrianah Badaruddin, & Nurafni Ridwan. (2021). Pengaruh Waktu Perendaman Terhadap Daya Awet Ikan Katombong Dalam Larutan Asap Cair Tongkol Jagung Grade 1 Hasil Pirolisis. *Journal of Chemical Process Engineering*, 6(2), 118–123.
- Augustyniak, A. M., Rotsztejn, H., Bartnicka, E., & Budzisz, E. (2016). Effects of reactive oxygen species on skin photoaging. *Dermatology Review*, 3, 233–239. <https://doi.org/10.5114/dr.2016.60630>
- Bogucka-Kocka, A., Zidorn, C., Kasprzycka, M., Szymczak, G., & Szewczyk, K. (2018). Phenolic acid content, antioxidant and cytotoxic activities of four *Kalanchoë* species. *Saudi Journal of Biological Sciences*, 25(4), 622–630. <https://doi.org/10.1016/J.SJBS.2016.01.037>
- Brand-Williams, W., Cuvelier, M. E., & Berset, C. (1995). Use of a free radical method to evaluate antioxidant activity. *LWT - Food Science and Technology*, 28(1), 25–30. [https://doi.org/10.1016/S0023-6438\(95\)80008-5](https://doi.org/10.1016/S0023-6438(95)80008-5)

- Chakraborty, S., Deka, G., & Dutta, H. (2025). Effect of particle size, probe type, position and glassware geometry on laboratory-scale ultrasonic extraction of Citrus maxima flavedo. *Food Physics*, 2, 100040. <https://doi.org/10.1016/J.FOODP.2024.100040>
- Chen, J., Liu, Y., Zhao, Z., & Qiu, J. (2021). Oxidative stress in the skin: Impact and related protection. *International Journal of Cosmetic Science*, 43(5), 495–509. <https://doi.org/10.1111/ics.12728>
- de Menezes, B. B., Frescura, L. M., Duarte, R., Villetti, M. A., & da Rosa, M. B. (2021). A critical examination of the DPPH method: Mistakes and inconsistencies in stoichiometry and IC50 determination by UV–Vis spectroscopy. *Analytica Chimica Acta*, 1157, 338398. <https://doi.org/10.1016/J.ACA.2021.338398>
- Faria-Silva, C., Scavone, D., Marto, J., Carvalheiro, M., & Simões, S. (2025). Topical foams containing natural saponins: a world of opportunities in pharmaceutical and cosmetic sciences. *Journal of Drug Delivery Science and Technology*, 109, 106988. <https://doi.org/10.1016/J.JDDST.2025.106988>
- Gafurov, K., Muslimov, B., Saidmuratov, U., Kuldosheva, F., Ibragimov, R., & Rakhmatov, U. (2021). Kinetic dependences for the extraction of apricot pits kernels with ethanol-water solvent. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 848(1), 012018. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/848/1/012018>
- Gulcin, İ., & Alwasel, S. H. (2023). DPPH Radical Scavenging Assay. *Processes*, 11(8), 2248. <https://doi.org/10.3390/pr11082248>
- Hamim, S. M. I., Roney, M., Uddin, Md. N., Issahaku, A. R., Chhando, K. S., Aluwi, M. F. F. M., & Omar, N. A. M. (2025). Investigating the potential compounds of Kalanchoe pinnata plant for the treatment of inflammation utilizing molecular docking and molecular dynamic simulation approach. *In Silico Research in Biomedicine*, 1, 100007. <https://doi.org/10.1016/J.INSI.2025.100007>
- Han, H., Dye, L., & Mackie, A. (2023). The impact of processing on the release and antioxidant capacity of ferulic acid from wheat: A systematic review. *Food Research International*, 164, 112371. <https://doi.org/10.1016/J.FOODRES.2022.112371>
- Kim, I. Y., & He, Y. Y. (2014). Ultraviolet radiation-induced non-melanoma skin cancer: Regulation of DNA damage repair and inflammation. *Genes & Diseases*, 1(2), 188–198. <https://doi.org/10.1016/J.GENDIS.2014.08.005>
- L'Oréal Groupe. (2023, July 4). *L'Oréal Groupe at World Congress Of Dermatology 2023, Unveils New Research and Innovations For The Future of Skin and Hair Care, and Reinforces Its Commitment to Inclusive and Sustainable Beauty*. L'Oréal. <https://www.loreal.com/en/press-release/research-and-innovation/l-oreal-groupe-at-world-congress-of-dermatology/>
- Milićević, N., Kojić, P., Sakač, M., Mišan, A., Kojić, J., Perussello, C., Banjac, V., Pojić, M., & Tiwari, B. (2021). Kinetic modelling of ultrasound-assisted extraction of phenolics from cereal brans. *Ultrasonics Sonochemistry*, 79, 105761. <https://doi.org/10.1016/J.ULTSONCH.2021.105761>
- Mota, S., Sousa, E., Cruz, M. T., & Martins de Almeida, I. (2025). Occurrence and ecotoxicity of cosmetic ingredients in aquatic ecosystems: A narrative review. *Emerging Contaminants*, 11(3), 100512. <https://doi.org/10.1016/J.EMCON.2025.100512>
- Mousumi, A., Nowasad, A. K. M. A., Hossain, M. I., & Shahriar, A. (2025). Comparative study on the use of antioxidants rich vegetables and first evidence of carotenoids and phenolic compounds from fresh carrot as natural antioxidants to stabilize lipid in highly fatty hilsa shad (Tenulosa ilisha). *Applied Food Research*, 5(1), 100979. <https://doi.org/10.1016/J.AFRES.2025.100979>
- Papaccio, F., D'Arino, A., Caputo, S., & Bellei, B. (2022). Focus on the Contribution of Oxidative Stress in Skin Aging. *Antioxidants*, 11(6), 1121. <https://doi.org/10.3390/antiox11061121>
- Rachmah, A. N. L., Fatmawati, A., & Widjaja, A. (2022). Impact of surfactant-aided subcritical water pretreatment process conditions on the reducing sugar production from oil palm empty fruit bunch. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 963(1), 012005. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/963/1/012005>

- Rachmah, A. N. L., Sekaringgalih, R., Ruliana, B., & Ansori. (2023). Bioetanol dari Limbah Keju (Whey) menggunakan *Kluyveromyces Marxianus*. *Jurnal Inovasi Pendidikan Dan Sains*, 4(3), 167–171.
- Rohilla, S., Chutia, H., Marboh, V., & Mahanta, C. L. (2022). Ultrasound and supercritical fluid extraction of phytochemicals from purple tamarillo: Optimization, comparison, kinetics, and thermodynamics studies. *Applied Food Research*, 2(2), 100210. <https://doi.org/10.1016/J.AFRES.2022.100210>
- Singh, S., Kumar Sharma, S., & Kumar Kansal, S. (2020). Dataset on aqueous solid-liquid extraction of gossypol from defatted cottonseed in acidic medium using green solvent, its kinetics and thermodynamics study and mass transfer effects. *Data in Brief*, 31, 105620. <https://doi.org/10.1016/J.DIB.2020.105620>
- Suherman, Kumoro, A. C., Anam, K., Susanto, E. E., & Badaruddin, S. (2021). Development of Effervescent Tablets Based on Red Ginger (*Zingiber Officinale* Rosc. Var. Rubrum) and Rosella Flower (*Hibiscus Sabdariffa* L.). *International Journal of Advanced Research*, 9(09), 720–727. <https://doi.org/10.21474/IJAR01/13473>
- Tang, X., Yang, T., Yu, D., Xiong, H., & Zhang, S. (2024). Current insights and future perspectives of ultraviolet radiation (UV) exposure: Friends and foes to the skin and beyond the skin. *Environment International*, 185, 108535. <https://doi.org/10.1016/J.ENVINT.2024.108535>
- Tirpanci Sivri, G. (2024). Mathematical modeling of extraction kinetics from black chokeberries enhanced by cold plasma pretreatment. *LWT*, 202, 116297. <https://doi.org/10.1016/J.LWT.2024.116297>
- Vázquez-Vázquez, J., Barajas-Salazar, M., Casas-Godoy, L., Alcázar-Valle, M., Arellano-García, L., & Barrera-Martínez, I. (2024). Enhanced extraction of antioxidant phenolics: Quercetin, Kaempferol, Gallic Acid, Syringic Acid, and Epicatechin from fresh berries and their waste using Ultra-Turrax and Ultrasonication. *Applied Food Research*, 4(2), 100539. <https://doi.org/10.1016/J.AFRES.2024.100539>
- Wei, M., He, X., Liu, N., & Deng, H. (2024). Role of reactive oxygen species in ultraviolet-induced photodamage of the skin. *Cell Division*, 19(1), 1. <https://doi.org/10.1186/s13008-024-00107-z>
- World Health Organization. (2024, July 5). *Ultraviolet radiation*. World Health Organization. <https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/ultraviolet-radiation>