PENGARUH KONSENTRASI SARI DAUN PEPAYA GANTUNG SEBAGAI SUMBER ENZIM PAPAIN TERHADAP PROSES DEKAFEINASI KOPI LIBERIKA

Huliyatul Aqiyah[1)], Fahimatul Ulya[2)*]
[1)]Teknologi Hasil Pertanian, Universitas Nahdlatul Ulama Pasuruan, email : huliyatulaqiyah@gmail.com
[2)]*Teknologi Hasil Pertanian, Universitas Nahdlatul Ulama Pasuruan, email : fahim.ulya@gmail.com
*Penulis Korespondensi : E-mail : fahim.ulya@gmail.com

ABSTRAK

Kopi merupakan komoditas perkebunan bernilai ekonomi tinggi, namun konsumsi kafein yang berlebihan dapat menyebabkan gangguan kesehatan. Metode dekafeinasi konvensional umumnya menggunakan pelarut organik yang berpotensi meninggalkan residu berbahaya, sehingga diperlukan alternatif yang lebih alami. Penelitian ini bertujuan untuk mengkaji pengaruh konsentrasi sari daun pepaya gantung (*Carica papaya* var. *pendens*) sebagai sumber enzim papain terhadap proses dekafeinasi kopi Liberika (*Coffea liberica*). Metode yang digunakan adalah Rancangan Acak Lengkap (RAL) dengan satu faktor yaitu konsentrasi sari daun pepaya gantung (0%, 20%, 40%, 60%, dan 80%) dengan durasi fermentasi 36 jam dan tiga kali pengulangan. Hasil penelitian menunjukkan adanya korelasi positif antara konsentrasi sari daun pepaya gantung dengan penurunan kadar kafein. Penambahan sari daun pepaya gantung konsentrasi 20%, 40%, dan 60% mampu menurunkan kadar kafein masing-masing sebesar 10,04%, 38,50%, dan 49,19% dibandingkan sampel kontrol. Pada konsentrasi 80%, kadar kafein berada di bawah batas deteksi metode yang digunakan, mengindikasikan degradasi kafein hampir sempurna. Mekanisme degradasi kafein oleh enzim papain diduga melalui hidrolisis ikatan C-N pada struktur purin kafein, menghasilkan metabolit yang lebih sederhana. Hasil penelitian ini menunjukkan potensi sari daun pepaya gantung sebagai agen dekafeinasi alami yang lebih ramah lingkungan untuk menghasilkan kopi Liberika rendah kafein.

Kata kunci: *Dekafeinasi, Kopi Liberika, Enzim Papain.*

PENDAHULUAN

Kopi merupakan salah satu komoditas perkebunan yang memiliki nilai ekonomi tinggi dan berperan penting dalam perekonomian Indonesia sebagai penghasil devisa negara. Indonesia saat ini menempati posisi keempat sebagai negara produsen kopi terbesar di dunia setelah Brasil, Vietnam, dan Kolombia, dengan volume ekspor kopi mencapai 384.000 ton pada tahun 2023 (International Coffee Organization, 2023). Selain memiliki nilai ekonomi yang tinggi, kopi juga menjadi minuman yang dikonsumsi secara luas di seluruh dunia, dengan tren konsumsi yang terus meningkat setiap tahunnya. Di Indonesia sendiri, konsumsi kopi meningkat dari 0,9 kg per kapita pada tahun 2019 menjadi 1,2 kg per kapita pada tahun 2023, menunjukkan peningkatan minat masyarakat terhadap minuman kopi. Berbeda dari arabika dan robusta, kopi Liberika (*Coffea liberica*) memiliki kemampuan adaptasi yang luar biasa pada tanah gambut, karakteristiknya yang unik, meliputi aroma khas mirip buah nangka, ukuran biji yang lebih besar, dan tingkat kemanisan yang lebih tinggi dibandingkan varietas lainnya, membuat kopi ini memiliki keistimewaan tersendiri (Andiyono & Jagat, 2022) menjadikannya potensial untuk dikembangkan sebagai produk kopi spesial dengan nilai ekonomi tinggi.

Meskipun konsumsi kopi terus meningkat secara global, sebagian konsumen memiliki keterbatasan dalam mengonsumsi kafein karena alasan kesehatan. Kafein (1,3,7-trimetilxantin) merupakan senyawa alkaloid yang terkandung dalam biji kopi, kandungan dalam kopi berbeda-beda tergantung jenis kopi. Hasil literature review (Aryadi et al., 2022) mengungkapkan bahwa dari tiga jenis kopi utama di Indonesia, kopi Robusta memiliki kandungan kafein tertinggi (2,15%), diikuti oleh Arabika (1,77%), dan Liberika (1,32%) berdasarkan pengukuran spektrofotometri UV-Vis pada 1 gram sampel. Kafein dalam konsentrasi tertentu dapat meningkatkan berbagai risiko toksikologis farmakologis, termasuk gangguan kardiovaskular, metabolisme, interaksi obat berbahaya, dan dampak negatif pada kehamilan (McLellan, 2016)(Wikoff, 2017). Maka direkomendasikan pembatasan konsumsi kafein pada dosis moderat tidak melebihi 400mg/hari bagi orang dewasa atau setara dengan 4-5 cangkir kopi (Reddy et al., 2024). Kondisi tersebut mendorong pengembangan metode dekafeinasi yang efektif dan aman untuk menghasilkan kopi rendah kafein tanpa mengurangi kualitas sensorik kopi, sehingga dapat dinikmati oleh konsumen yang memiliki sensitivitas terhadap kafein.

Metode dekafeinasi konvensional yang umum digunakan dalam industri umumnya menggunakan pelarut organik seperti metilen klorida, etil asetat, atau karbon dioksida superkritis. Penggunaan pelarut kimia menimbulkan kekhawatiran akan dampak residu pelarut terhadap kesehatan dan lingkungan. Metilen klorida, meskipun efektif dalam mengekstraksi kafein, telah dikategorikan sebagai karsinogen potensial oleh beberapa badan pengawas keamanan pangan. Sementara itu, metode menggunakan karbon dioksida superkritis, meskipun lebih ramah lingkungan, memerlukan investasi peralatan yang mahal dan konsumsi energi yang tinggi (De Azevedo et al., 2008). Melihat keterbatasan metode konvensional tersebut, pengembangan metode dekafeinasi yang lebih ramah lingkungan dan menggunakan bahan-bahan alami menjadi fokus penelitian yang penting untuk menghasilkan kopi dekafeinasi yang lebih sehat dan berkelanjutan.

Enzim papain merupakan enzim proteolitik yang ditemukan dalam tanaman pepaya (*Carica papaya* L.), terutama pada getah, buah, batang, dan daunnya. Daun pepaya gantung (*Carica papaya* var. *pendens*) diketahui mengandung enzim papain yang memiliki aktivitas proteolitik tinggi (Pebiansyah et al., 2024)(Wati, 2022). Enzim papain memiliki kemampuan untuk menghidrolisis berbagai substrat protein dan senyawa nitrogen heterosiklik, termasuk potensinya untuk mendegradasi molekul kafein (Amri & Mamboya, 2012). Beberapa penelitian telah menunjukkan bahwa enzim proteolitik dapat berinteraksi dengan kompleks kafein-protein dalam biji kopi, sehingga berpotensi untuk dimanfaatkan dalam proses dekafeinasi. Enzim papain efektif dalam menurunkan kandungan kafein pada kopi Robusta, dengan konsentrasi 3 g/100 g menunjukkan efektivitas tertinggi dalam hal pengurangan kafein. Namun, konsentrasi yang lebih tinggi dapat meningkatkan atribut sensorik, mengindikasikan bahwa keseimbangan antara pengurangan kafein dan kualitas cita rasa merupakan faktor esensial dalam proses dekafeinasi (Maori et al., 2021). Pemanfaatan enzim papain dari daun pepaya gantung sebagai agen dekafeinasi alami menawarkan alternatif yang lebih ramah lingkungan dibandingkan dengan metode konvensional yang menggunakan pelarut organik. Selain itu, pendekatan ini juga sejalan dengan konsep bioproses dan green chemistry yang menekankan penggunaan bahan-bahan alami dan proses yang lebih berkelanjutan dalam industri pangan.

Sebagai salah satu jenis kopi yang mulai mendapat perhatian di Indonesia, kopi Liberika memiliki karakteristik yang berbeda dari kopi Arabika dan Robusta, termasuk ukuran biji yang lebih besar (Ismail, 2014), komposisi kimia (Saw, 2015)(Seow, 2021), dan struktur jaringan yang khas (Maxiselly, 2023). Perbedaan ini dapat mempengaruhi efektivitas proses dekafeinasi dan memerlukan pendekatan yang spesifik. Karakteristik biji kopi liberika, termasuk profil rasa uniknya, kandungan kafein awal yang lebih rendah, dan potensi tingkat antioksidan tinggi, dapat secara signifikan mempengaruhi efektivitas dan daya tarik proses dekafeinasi (Maori et al., 2021).

Berdasarkan uraian di atas, penelitian ini bertujuan untuk mengkaji pengaruh konsentrasi enzim papain dari sari daun pepaya gantung terhadap proses dekafeinasi kopi Liberika. Penelitian ini diharapkan dapat memberikan informasi ilmiah tentang potensi pemanfaatan enzim papain sebagai agen dekafeinasi alami serta mengoptimalkan konsentrasi enzim yang diperlukan untuk proses dekafeinasi yang efektif pada kopi Liberika. Hasil penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi signifikan dalam pengembangan metode dekafeinasi yang lebih ramah lingkungan dan berkelanjutan, serta mendukung peningkatan nilai tambah pada komoditas kopi Liberika dan daun pepaya gantung yang masih belum dimanfaatkan secara optimal. Selain itu, penelitian ini juga diharapkan dapat menjadi dasar untuk pengembangan produk kopi rendah kafein yang lebih sehat dan diminati oleh konsumen yang memiliki sensitivitas terhadap kafein, sekaligus mendukung diversifikasi produk kopi Indonesia di pasar global.

METODE PENELITIAN

Penelitian dilaksanakan di Laboratorium Biokimia dan Laboratorium Analisis Pangan Universitas Nahdlatul Ulama Pasuruan pada Maret-Juni 2024. Bahan utama yang digunakan adalah biji kopi Liberika (*Coffea liberica*) daun pepaya gantung

(*Carica papaya* var. *pendens*) dari Kabupaten Pasuruan, Jawa Timur. Bahan kimia yang digunakan meliputi aquades, buffer fosfat pH 7, standar kafein, reagen Folin-Ciocalteu, Na_2CO_3 20%, kloroform, dan etanol 96%.

Penelitian menggunakan Rancangan Acak Lengkap (RAL) dengan satu faktor yaitu konsentrasi sari daun pepaya gantung (0%, 20%, 40%, 60%, dan 80%) dengan duraasai fermentasi 36 jam, sebanyak tiga kali ulangan. Data dianalisis menggunakan ANOVA pada taraf 5% dan dilanjutkan dengan uji DMRT jika berpengaruh nyata.

Penentuan kadar kafein dalam sampel kopi dilakukan menggunakan metode ekstraksi pelarut dan spektrofotometri UV-Vis. Sebanyak 5 g sampel kopi dilarutkan dalam 100 mL akuades panas (±90°C) dalam gelas beaker dan diaduk hingga homogen. Larutan kemudian disaring menggunakan kertas saring halus untuk memisahkan filtrat dari ampas kopi. Filtrat yang diperoleh dipindahkan ke dalam corong pisah dan ditambahkan 1,5 g $CaCO_3$ untuk mengendapkan senyawa-senyawa polifenol yang dapat mengganggu analisis.

Proses ekstraksi kafein dilakukan dengan menambahkan 25 mL kloroform ke dalam corong pisah, dikocok perlahan, dan dibiarkan hingga terbentuk dua fase yang terpisah. Ekstraksi diulang sebanyak tiga kali untuk memastikan kafein terekstraksi secara optimal. Fase bawah (kloroform) yang mengandung kafein dikumpulkan dan diuapkan dalam lemari asam hingga seluruh kloroform menguap. Residu kafein hasil ekstraksi ditimbang dan dilarutkan kembali dalam akuades untuk analisis lebih lanjut menggunakan spektrofotometri UV-Vis pada panjang gelombang 273 nm. Kadar kafein dihitung berdasarkan kurva kalibrasi standar kafein yang telah dibuat sebelumnya.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Analisis Kadar Kafein Baku

Penentuan kadar kafein pada sampel kopi Liberika dilakukan menggunakan metode spektrofotometri UV-Vis dengan kurva kalibrasi standar kafein sebagai acuan. Gambar menunjukkan kurva standar kafein yang digunakan untuk menganalisis sampel kopi Liberika.

Berdasarkan kurva standar kafein yang ditampilkan, terdapat hubungan linear yang sangat baik antara konsentrasi kafein standar dengan nilai absorbansi yang dihasilkan. Persamaan regresi linear yang diperoleh adalah $y = 0{,}5311x + 0{,}1895$ dengan nilai koefisien determinasi (R^2) sebesar 0,9712. Nilai R^2 yang mendekati 1 ini mengindikasikan bahwa model regresi linear sangat baik dalam menjelaskan hubungan antara konsentrasi kafein standar dengan absorbansi. Pengukuran dilakukan pada beberapa konsentrasi standar kafein mulai dari 0,2 hingga 1,2 mg/mL, dengan interval pengukuran yang konsisten. Dari grafik terlihat bahwa peningkatan konsentrasi kafein standar berbanding lurus dengan peningkatan nilai absorbansi, yang menunjukkan kepatuhan terhadap Hukum Lambert-Beer pada rentang konsentrasi yang digunakan.

Dengan menggunakan persamaan regresi linear dari kurva standar, kadar kafein dalam sampel kopi Liberika dapat dihitung dengan memasukkan nilai absorbansi sampel ke dalam persamaan $y = 0{,}5311x + 0{,}1895$, dimana y adalah nilai absorbansi dan x adalah konsentrasi kafein yang dicari. Hasil perhitungan ini kemudian disesuaikan dengan faktor pengenceran yang digunakan selama preparasi sampel untuk mendapatkan kadar kafein yang sebenarnya dalam sampel kopi Liberika.

Validitas metode analisis ditunjukkan oleh nilai R^2 yang tinggi (0,9712), yang

mengindikasikan bahwa metode spektrofotometri UV-Vis dengan kurva kalibrasi standar kafein ini memiliki tingkat akurasi dan presisi yang baik untuk penentuan kadar kafein dalam sampel kopi Liberika.

Pengaruh Penambahan Sari Daun Pepaya Gantung terhadap Kadar Kafein

Penelitian ini mengkaji efektivitas sari daun pepaya gantung (*Carica* papaya L.) sebagai sumber enzim papain dalam menurunkan kadar kafein. Daun pepaya gantung digunakan sebagai sumber enzim papain yang diduga dapat mendegradasi kafein. Pengujian dilakukan dengan variasi konsentrasi sari daun pepaya gantung sebesar 0%, 20%, 40%, 60%, dan 80%. Pengukuran kadar kafein dilakukan menggunakan metode spektrofotometri UV-Vis dengan pengulangan sebanyak dua kali pada masing-masing konsentrasi. Hasil analisis kadar kafein pada berbagai konsentrasi sari daun pepaya gantung disajikan pada Tabel 1.

Tabel 1. Hasil Pengukuran Absorbansi dan Kadar Kafein pada Berbagai Konsentrasi Sari Daun Pepaya Gantung

% Sari Daun Pepaya Gantung	Absorbansi	[Kafein] (ppm)	Penurunan Kadar Kafein (%)
0%	0,344	0,2909	-
20%	0,3285	0,2617	10,04
40%	0,2845	0,1789	38,50
60%	0,268	0,1478	49,19
80%	0,1365	-0,0998	134,30*

*Nilai negatif menunjukkan bahwa kadar kafein tidak terdeteksi pada konsentrasi 80%.

Berdasarkan data pada Tabel 1, dapat diamati adanya penurunan nilai absorbansi secara konsisten seiring dengan peningkatan konsentrasi sari daun pepaya gantung. Nilai absorbansi rata-rata pada konsentrasi 0% sari daun pepaya gantung (kontrol) adalah 0,344, yang kemudian menurun menjadi 0,3285 pada konsentrasi 20%, 0,2845 pada konsentrasi 40%, 0,268 pada konsentrasi 60%, dan mencapai nilai terendah 0,1365 pada konsentrasi 80%.

Penurunan nilai absorbansi ini berkorelasi secara langsung dengan penurunan kadar kafein dalam sampel. Kadar kafein pada sampel kontrol (0% sari daun pepaya gantung) adalah 0,2909 ppm. Penambahan sari daun pepaya gantung dengan konsentrasi 20% menghasilkan penurunan kadar kafein menjadi 0,2617 ppm, setara dengan penurunan sebesar 10,04% dari nilai kontrol. Peningkatan konsentrasi sari daun pepaya gantung menjadi 40% dan 60% menunjukkan penurunan kadar kafein yang lebih signifikan, masing-masing sebesar 38,50% dan 49,19% dibandingkan dengan sampel kontrol.

Hasil penelitian menunjukkan adanya korelasi positif antara konsentrasi sari daun pepaya gantung dengan penurunan kadar kafein. Semakin tinggi konsentrasi sari daun pepaya gantung yang ditambahkan, semakin besar penurunan kadar kafein yang terjadi. Hal ini mengindikasikan bahwa enzim papain yang terkandung dalam sari daun pepaya gantung berperan aktif dalam mendegradasi molekul kafein.

Enzim papain merupakan enzim proteolitik yang ditemukan dalam getah tanaman pepaya (*Carica papaya* L.), termasuk pada daunnya (Amri & Mamboya, 2012) Meskipun papain secara umum dikenal sebagai enzim yang menghidrolisis ikatan peptida pada protein, beberapa penelitian menunjukkan bahwa enzim ini juga memiliki aktivitas katalitik terhadap senyawa lain, termasuk alkaloid seperti kafein (Mock & Summers, 2024)(Syafiq, 2022).

Mekanisme degradasi kafein oleh enzim papain diduga melalui hidrolisis ikatan C-N pada struktur purin kafein. Kafein (1,3,7-trimetilxantin) memiliki struktur yang terdiri dari cincin purin dengan tiga gugus metil pada posisi N-1, N-3, dan N-7 (Lin et al., 2023). Enzim papain berperan dalam memecah ikatan C-N pada struktur kafein, menghasilkan metabolit yang lebih sederhana seperti teobromin, teofilin, 7-metiluric acid, atau bahkan xantin.

Penurunan kadar kafein pada konsentrasi sari daun pepaya gantung 20% relatif kecil (10,04%) dibandingkan dengan konsentrasi yang lebih tinggi. Hal ini mungkin disebabkan oleh rendahnya konsentrasi enzim papain yang tersedia untuk mendegradasi kafein. Namun, pada konsentrasi sari daun pepaya gantung 40% dan 60%, terjadi peningkatan signifikan dalam penurunan kadar kafein masing-masing sebesar 38,50% dan 49,19%. Peningkatan aktivitas degradasi ini sejalan dengan meningkatnya konsentrasi enzim papain yang tersedia untuk bereaksi dengan kafein.

Fenomena menarik terjadi pada penambahan sari daun pepaya gantung 80%, di mana nilai konsentrasi kafein menunjukkan angka negatif (-0,0998 ppm) dengan persentase penurunan mencapai 134,30%. Nilai negatif ini mengindikasikan bahwa konsentrasi kafein telah berada di bawah batas deteksi metode yang digunakan, yang berarti hampir seluruh kafein telah terdegradasi. Persentase penurunan yang melebihi 100% mungkin disebabkan oleh adanya interaksi antara metabolit hasil degradasi kafein dengan reagen yang digunakan dalam pengukuran, atau karena keterbatasan sensitivitas metode analisis yang digunakan.

Aktivitas degradasi kafein oleh sari daun pepaya gantung yang diamati dalam penelitian ini sejalan dengan studi yang dilakukan beberapa peneliti sebelumnya yang menunjukkan bahwa enzim dari tanaman tertentu dapat mendegradasi kafein melalui proses hidrolisis dan demetilasi (Latief, 2022)(Saw, 2015)(Herawati, 2022)(Insanu, 2021). Dalam konteks sari daun pepaya gantung, enzim papain yang terkandung di dalamnya memainkan peran penting dalam mendegradasi kafein.

Hasil penelitian ini juga menunjukkan potensi aplikasi sari daun pepaya gantung sebagai agen alami untuk mengurangi kadar kafein dalam produk-produk yang mengandung kafein tinggi, seperti kopi dan teh. Beberapa penelitian telah menunjukkan bahwa konsumsi kafein yang berlebihan dapat menyebabkan efek samping seperti insomnia, kecemasan, dan peningkatan tekanan darah (Grgic, 2018)(Barcelos, 2020)(Pesta, 2013). Oleh karena itu, penggunaan sari daun pepaya gantung dapat menjadi alternatif untuk menghasilkan produk rendah kafein yang lebih alami tanpa menggunakan pelarut berbahaya seperti metilen klorida yang umum digunakan dalam proses dekafeinasi komersial (Zou et al., 2022).

Selain itu, pemanfaatan daun pepaya gantung sebagai sumber enzim papain untuk degradasi kafein juga sejalan dengan konsep green chemistry, yang menekankan penggunaan bahan-bahan alami yang lebih ramah lingkungan dalam proses kimia. Daun pepaya gantung merupakan bagian tanaman yang sering tidak dimanfaatkan secara optimal, sehingga penggunaannya sebagai sumber enzim untuk degradasi kafein dapat meningkatkan nilai tambah dari tanaman pepaya.

KESIMPULAN

Penambahan sari daun pepaya gantung (*Carica papaya* var. *pendens*) sebagai sumber enzim papain terbukti efektif dalam menurunkan kadar kafein pada kopi Liberika

(*Coffea liberica*). Terdapat korelasi positif antara konsentrasi sari daun pepaya gantung dengan persentase penurunan kadar kafein, di mana semakin tinggi konsentrasi sari daun pepaya gantung yang ditambahkan, semakin besar penurunan kadar kafein yang terjadi. Konsentrasi sari daun pepaya gantung 20%, 40%, dan 60% mampu menurunkan kadar kafein masing-masing sebesar 10,04%, 38,50%, dan 49,19% dibandingkan dengan sampel kontrol. Pada konsentrasi 80%, kadar kafein mencapai nilai di bawah batas deteksi metode yang digunakan, yang mengindikasikan degradasi kafein hampir sempurna.

Enzim papain yang terkandung dalam sari daun pepaya gantung berperan aktif dalam mendegradasi molekul kafein melalui mekanisme hidrolisis ikatan C-N pada struktur purin kafein. Hasil penelitian ini membuka peluang pemanfaatan sari daun pepaya gantung sebagai agen dekafeinasi alami yang lebih ramah lingkungan untuk menghasilkan kopi Liberika rendah kafein. Penggunaan metode ini dapat menjadi alternatif yang lebih aman dibandingkan dengan metode dekafeinasi konvensional yang menggunakan pelarut organik berbahaya. Selain itu, pemanfaatan daun pepaya gantung sebagai sumber enzim untuk degradasi kafein juga sejalan dengan konsep green chemistry dan dapat meningkatkan nilai tambah dari tanaman pepaya.

DAFTAR PUSTAKA

Amri, E., & Mamboya, F. (2012). Papain, a plant enzyme of biological importance: A review. *American Journal of Biochemistry and Biotechnology*, *8*(2), 99–104. https://doi.org/10.3844/ajbbsp.2012.99.104

Andiyono, A., & Jagat, L. (2022). Karakterisasi Mutu Fisik Produk Kopi Liberika Merk Liber.Co dan Kesesuaiannya dengan SNI Kopi Bubuk. *Jurnal Keteknikan Pertanian Tropis Dan Biosistem*, *10*(2), 162–169.

Aryadi, M. I., Arfi, F., & Harahap, M. R. (2022). Literature Review: Perbandingan Kadar Kafein Dalam Kopi Robusta (Coffea Canephora), Kopi Arabika (Coffea Arabica) Dan Kopi Liberika (Coffea Liberica) Dengan Metode Spektrofotometri UV-Vis. *Amina*, *2*(2), 64–70. https://doi.org/10.22373/amina.v2i2.700

Barcelos, R. P. (2020). Caffeine effects on systemic metabolism, oxidative-inflammatory pathways, and exercise performance. *Nutrition Research*, *80*, 1–17. https://doi.org/10.1016/j.nutres.2020.05.005

De Azevedo, A. B. A., Mazzafera, P., Mohamed, R. S., Vieira De Melo, S. A. B., & Kieckbusch, T. G. (2008). Extraction of caffeine, chlorogenic acids and lipids from green coffee beans using supercritical carbon dioxide and co-solvents. *Brazilian Journal of Chemical Engineering*, *25*(3), 543–552. https://doi.org/10.1590/s0104-66322008000300012

Grgic, J. (2018). Effects of caffeine intake on muscle strength and power: A systematic review and meta-analysis. *Journal of the International Society of Sports Nutrition*, *15*(1). https://doi.org/10.1186/s12970-018-0216-0

Herawati, D. (2022). Profile of Bioactive Compounds, Aromas, and Cup Quality of Excelsa Coffee (Coffea liberica var. dewevrei) Prepared from Diverse Postharvest Processes. *International Journal of Food Science*, *2022*.

https://doi.org/10.1155/2022/2365603

Insanu, M. (2021). Liberica coffee (Coffea liberica L.) from three different regions: In vitro antioxidant activities. *Biointerface Research in Applied Chemistry*, *11*(5), 13031–13041. https://doi.org/10.33263/BRIAC115.130 3113041

International Coffee Organization. (2023). Coffee Report and Outlook. *International Coffee Organization ICO*, *1*(1), 1–39. https://icocoffee.org/documents/cy2023-24/Coffee_Report_and_Outlook_Decem ber_2023_ICO.pdf

Ismail, I. (2014). Physical properties of liberica coffee (Coffea liberica) berries and beans. *Pertanika Journal of Science and Technology*, *22*(1), 65–79.

Latief, M. (2022). Determination Antioxidant Activity of Coffea Arabica, Coffea Canephora, Coffea Liberica and Sunscreens Cream Formulation for Sun Protection Factor (SPF). *Pharmacognosy Journal*, *14*(2), 335–342. https://doi.org/10.5530/pj.2022.14.43

Lin, Z., Wei, J., Hu, Y., Pi, D., Jiang, M., & Lang, T. (2023). Caffeine Synthesis and Its Mechanism and Application by Microbial Degradation, A Review. *Foods*, *12*(14). https://doi.org/10.3390/foods12142721

Maori, E., Pignocchi, C., Agnieszka, S., Galanty, Y., Knevitt, D., Garcia, A. C., & Ofir, M. (2021). *Compositions and methods for reducing caffeine content in coffee beans*. https://www.freepatentsonline.com/y202 1/0238618.html

Maxiselly, Y. (2023). Morphological trait variation of the immature liberica coffee (Coffea liberica) from West Java, Indonesia applied difference of coffee husk compost and biofertilizer. *Biodiversitas*, *24*(11), 5988–5994. https://doi.org/10.13057/biodiv/d241118

McLellan, T. M. (2016). A review of caffeine's effects on cognitive, physical and occupational performance. *Neuroscience and Biobehavioral Reviews*, *71*, 294–312. https://doi.org/10.1016/j.neubiorev.2016 .09.001

Mock, M. B., & Summers, R. M. (2024). Microbial metabolism of caffeine and potential applications in bioremediation. *Journal of Applied Microbiology*, *135*(4). https://doi.org/10.1093/jambio/lxae080

Pebiansyah, A., Zain, D. N., & Nurfadhilah, D. K. (2024). Formulasi Sediaan Granul Instan Ekstrak Etanol Akar Pepaya Gantung (Carica papaya L .) dan Aktivitasnya sebagai Diuretik pada Tikus Putih Jantan (Rattus Norvegicus). *Diseminasi Farmasi*, *4*, 125–131.

Pesta, D. (2013). The effects of caffeine, nicotine, ethanol, and tetrahydrocannabinol on exercise performance. *Nutrition and Metabolism*, *10*(1). https://doi.org/10.1186/1743-7075-10-71

Reddy, V. S., Shiva, S., Manikantan, S., & Ramakrishna, S. (2024). Pharmacology of caffeine and its effects on the human body. *European Journal of Medicinal Chemistry Reports*, *10*(February), 100138. https://doi.org/10.1016/j.ejmcr.2024.100 138

Saw, A. (2015). A Comparative study of the volatile constituents of southeast asian Coffea arabica, Coffea liberica and Coffea robusta green beans and their antioxidant activities. *Journal of Essential Oil-Bearing Plants*, *18*(1), 64–73.

https://doi.org/10.1080/0972060X.2014.977580

Seow, L. J. (2021). Influence of roasting degrees on the antioxidant and anti-angiogenic effects of Coffea liberica. *Journal of Food Measurement and Characterization*, *15*(5), 4030–4036. https://doi.org/10.1007/s11694-021-00987-7

Syafiq, A. F. (2022). Aktivitas Antioksidan In Vitro Infusa Bunga Pepaya Gantung *(Carica papaya L.)* dengan Metode Dpph *(2, 2-diphenyl-1 picrylhidrazil)*. Universitas dr. Soebandi.

Wati, D. R. (2022). Uji Aktivitas Antioksidan Ekstrak Etanol Bunga Pepaya Gantung *(Carica papaya L.)* dengan Metode Dpph *(2, 2-difenil-1 pikrilhidrazil)*. Universitas dr. SOEBANDI.

Wikoff, D. (2017). Systematic review of the potential adverse effects of caffeine consumption in healthy adults, pregnant women, adolescents, and children. *Food and Chemical Toxicology*, *109*, 585–648. https://doi.org/10.1016/j.fct.2017.04.002

Zou, Y., Gaida, M., Franchina, F. A., Stefanuto, P. H., & Focant, J. F. (2022). Distinguishing between Decaffeinated and Regular Coffee by HS-SPME-GC×GC-TOFMS, Chemometrics, and Machine Learning. *Molecules*, *27*(6). https://doi.org/10.3390/molecules27061806