

Tinjauan Sistematis Senyawa Metabolit Bioaktif Buah Pepaya (*Carica papaya* L.) Karakterisasi Kimia dan Aplikasinya dalam Bidang Kesehatan

Khusnul Khotimah Rijie^{1*}, Ardi Mustakim²

^{1,2} Program Studi Farmasi, Fakultas Kedokteran dan Ilmu Kesehatan,
Universitas Adiwangsa Jambi, Indonesia

*Penulis Korespondensi: imamerangin@gmail.com

Abstract. *Papaya fruit (*Carica papaya* L.) is a tropical plant widely consumed as food and known to contain various bioactive metabolites with potential health benefits. The increasing interest in natural products as functional resources highlights the importance of reviewing the chemical characterization and health applications of papaya bioactive compounds. This article aims to systematically review the types of bioactive metabolites found in papaya fruit, the chemical characterization methods applied, and their potential applications in the health sector. This review was conducted through a literature study of relevant scientific articles, focusing on metabolite identification and biological activity evaluation. The results indicate that papaya fruit contains diverse bioactive metabolites, including flavonoids, phenolic compounds, alkaloids, saponins, terpenoids, and proteolytic enzymes. These compounds are commonly characterized using chromatographic and spectroscopic techniques. Several studies have reported that papaya bioactive metabolites exhibit biological activities such as antioxidant, antimicrobial, anti-inflammatory, and antidiabetic effects. This review suggests that papaya fruit has promising potential as a functional natural resource for health and pharmaceutical applications.*

Keywords: *Bioactive Metabolites; Carica Papaya L.; Chemical Characterization; Health; Papaya Fruit.*

Abstrak. Buah pepaya (*Carica papaya* L.) merupakan tanaman tropis yang banyak dimanfaatkan sebagai bahan pangan dan diketahui mengandung berbagai senyawa metabolit bioaktif yang berpotensi memberikan manfaat kesehatan. Peningkatan pemanfaatan bahan alam sebagai sumber senyawa fungsional mendorong perlunya kajian komprehensif mengenai karakterisasi kimia dan aplikasi metabolit bioaktif buah pepaya. Artikel ini bertujuan untuk meninjau secara sistematis jenis senyawa metabolit bioaktif yang terdapat dalam buah pepaya, metode karakterisasi kimia yang digunakan, serta potensi aplikasinya dalam bidang kesehatan. Metode yang digunakan adalah studi literatur terhadap artikel ilmiah yang relevan, dengan fokus pada identifikasi metabolit dan aktivitas biologinya. Hasil tinjauan menunjukkan bahwa buah pepaya mengandung berbagai metabolit bioaktif, antara lain flavonoid, senyawa fenolik, alkaloid, saponin, terpenoid, serta enzim proteolitik. Karakterisasi senyawa tersebut umumnya dilakukan menggunakan metode kromatografi dan spektroskopi. Berbagai penelitian melaporkan bahwa metabolit bioaktif buah pepaya memiliki aktivitas biologis seperti antioksidan, antimikroba, antiinflamasi, dan antidiabetes. Kajian ini menunjukkan bahwa buah pepaya berpotensi dikembangkan sebagai sumber bahan alam fungsional dalam bidang kesehatan dan farmasi.

Kata kunci: Buah Papaya; *Carica Papaya* L.; Karakterisasi Kimia; Kesehatan; Metabolit Bioaktif.

1. LATAR BELAKANG

Pemanfaatan bahan alam sebagai sumber senyawa fungsional dalam bidang kesehatan dan farmasi terus mengalami peningkatan seiring dengan meningkatnya kesadaran masyarakat terhadap keamanan dan keberlanjutan produk berbasis alami. Tanaman tropis merupakan salah satu sumber utama metabolit bioaktif yang berpotensi memberikan efek biologis positif bagi kesehatan manusia. Salah satu tanaman yang banyak dimanfaatkan dan mudah dijumpai di wilayah tropis adalah pepaya (*Carica papaya* L.). Buah pepaya dikenal luas sebagai bahan pangan, namun di sisi lain juga menyimpan berbagai senyawa metabolit bioaktif yang berkontribusi terhadap aktivitas biologis tertentu.

Berbagai penelitian telah melaporkan bahwa buah pepaya mengandung senyawa metabolit seperti flavonoid, senyawa fenolik, alkaloid, saponin, terpenoid, serta enzim proteolitik yang memiliki peran penting dalam aktivitas biologis. Senyawa-senyawa tersebut diketahui memiliki potensi sebagai antioksidan, antimikroba, antiinflamasi, dan antidiabetes, sehingga menjadikan buah pepaya berpeluang untuk dikembangkan sebagai bahan pendukung dalam bidang kesehatan dan farmasi. Identifikasi dan karakterisasi senyawa metabolit bioaktif umumnya dilakukan melalui berbagai pendekatan analitik, seperti metode kromatografi dan spektroskopi, yang memungkinkan pemetaan profil kimia secara lebih akurat.

Meskipun demikian, informasi mengenai jenis metabolit bioaktif, metode karakterisasi kimia, serta keterkaitannya dengan aplikasi kesehatan masih tersebar dalam berbagai publikasi ilmiah dan belum disajikan secara terstruktur dan komprehensif. Sebagian kajian cenderung berfokus pada aktivitas biologis tertentu tanpa mengaitkannya secara menyeluruh dengan teknik karakterisasi senyawa yang digunakan. Kondisi ini menunjukkan adanya celah kajian yang memerlukan sintesis informasi secara sistematis agar dapat memberikan gambaran utuh mengenai potensi buah pepaya sebagai sumber senyawa bioaktif.

Berdasarkan hal tersebut, diperlukan suatu tinjauan sistematis yang mengintegrasikan informasi mengenai profil metabolit bioaktif buah pepaya, metode karakterisasi kimia yang digunakan, serta relevansi aplikasinya dalam bidang kesehatan. Artikel ini bertujuan untuk menyajikan kajian literatur secara sistematis mengenai senyawa metabolit bioaktif pada buah pepaya, teknik karakterisasi kimia yang diterapkan, serta potensi pemanfaatannya sebagai sumber bahan alam fungsional dalam bidang kesehatan dan farmasi.

2. KAJIAN TEORITIS

Metabolit bioaktif merupakan senyawa kimia alami yang dihasilkan oleh tanaman sebagai hasil dari proses metabolisme sekunder dan memiliki peran penting dalam menunjang kelangsungan hidup tanaman serta memberikan aktivitas biologis tertentu bagi organisme lain. Pada tanaman, metabolit ini berfungsi sebagai mekanisme pertahanan terhadap stres lingkungan, serangan patogen, maupun herbivora. Bagi manusia, metabolit bioaktif berperan sebagai senyawa fungsional yang dapat memberikan efek fisiologis positif, terutama dalam pencegahan dan pengelolaan berbagai gangguan kesehatan. Kelompok metabolit bioaktif yang umum ditemukan pada bahan pangan nabati meliputi flavonoid, senyawa fenolik, alkaloid, saponin, dan terpenoid, yang masing-masing memiliki karakteristik kimia dan aktivitas biologis yang berbeda. Keberadaan senyawa-senyawa tersebut dalam pangan alami menjadikannya relevan dalam kajian nutrisi dan kesehatan berbasis bahan alam (Liu, 2015).

Buah pepaya (*Carica papaya* L.) dikenal luas sebagai salah satu komoditas pangan tropis yang memiliki nilai gizi tinggi dan mudah diakses oleh masyarakat. Selain kandungan nutrisi makro dan mikro, buah pepaya juga dilaporkan kaya akan metabolit bioaktif yang berkontribusi terhadap aktivitas biologis tertentu. Beberapa penelitian menunjukkan bahwa buah pepaya mengandung senyawa fenolik dan flavonoid dalam jumlah yang cukup signifikan, yang berperan sebagai antioksidan alami. Aktivitas antioksidan ini berfungsi dalam menetralkan radikal bebas dan menurunkan risiko stres oksidatif yang berkaitan dengan perkembangan penyakit degeneratif, seperti penyakit kardiovaskular dan gangguan metabolik. Tingginya kandungan senyawa fenolik dan flavonoid menjadikan buah pepaya relevan untuk dikaji lebih lanjut sebagai sumber bahan alam fungsional yang potensial (Maisarah et al., 2013; Vuong et al., 2017).

Selain senyawa fenolik dan flavonoid, buah pepaya juga mengandung enzim proteolitik, terutama papain, yang memiliki peran penting dalam proses pencernaan protein. Papain diketahui mampu meningkatkan efisiensi pencernaan dan membantu penyerapan nutrisi. Lebih lanjut, beberapa penelitian melaporkan bahwa enzim ini juga menunjukkan aktivitas antiinflamasi dan imunomodulator, sehingga berpotensi memberikan manfaat tambahan bagi kesehatan tubuh. Interaksi antara enzim proteolitik dan senyawa metabolit bioaktif lainnya dalam buah pepaya diduga dapat menghasilkan efek sinergis, khususnya dalam menjaga kesehatan saluran pencernaan dan meningkatkan fungsi fisiologis tubuh secara keseluruhan (Aravind et al., 2013; Krishna et al., 2016). Untuk memahami peran biologis metabolit bioaktif secara lebih mendalam, diperlukan proses karakterisasi kimia yang tepat. Karakterisasi kimia merupakan tahapan penting untuk mengidentifikasi jenis senyawa, struktur kimia, serta sifat fisikokimia metabolit bioaktif yang terkandung dalam buah pepaya. Teknik kromatografi, seperti kromatografi cair kinerja tinggi (HPLC) dan kromatografi gas yang dikombinasikan dengan spektrometri massa (GC-MS), banyak digunakan dalam analisis metabolit karena memiliki sensitivitas dan resolusi yang tinggi. Metode ini memungkinkan pemisahan senyawa kompleks serta identifikasi komponen bioaktif secara akurat, sehingga memberikan gambaran rinci mengenai profil metabolit buah pepaya (Azmir et al., 2016).

Selain teknik kromatografi, metode spektroskopi juga berperan penting dalam karakterisasi metabolit bioaktif. Teknik seperti FTIR dan UV-Vis digunakan untuk mengidentifikasi gugus fungsi dan karakteristik spektral senyawa bioaktif yang terdapat dalam ekstrak buah pepaya. Kombinasi antara metode kromatografi dan spektroskopi memberikan pendekatan analisis yang lebih komprehensif dalam pemetaan profil kimia buah pepaya dan mendukung interpretasi aktivitas biologis yang dihasilkan (Rohman et al., 2015).

Berbagai penelitian juga melaporkan bahwa metabolit bioaktif buah pepaya memiliki aktivitas antimikroba terhadap sejumlah bakteri patogen. Aktivitas ini dikaitkan dengan keberadaan alkaloid, saponin, dan flavonoid yang mampu merusak struktur membran sel mikroorganisme atau menghambat aktivitas enzim esensial mikroba. Potensi antimikroba tersebut menunjukkan bahwa buah pepaya berpeluang untuk dikembangkan sebagai sumber bahan alami pendukung dalam pengendalian mikroorganisme patogen (Baskaran et al., 2016). Selain aktivitas antimikroba, buah pepaya juga dilaporkan memiliki potensi antidiabetes. Senyawa fenolik yang terkandung di dalamnya berperan dalam menekan stres oksidatif serta memodulasi metabolisme glukosa, sehingga berkontribusi terhadap pengendalian kadar gula darah. Mekanisme ini menunjukkan bahwa metabolit bioaktif buah pepaya berpotensi mendukung pengelolaan penyakit metabolik secara alami (Juárez-Rojop et al., 2014).

Meskipun berbagai penelitian telah membuktikan kandungan dan aktivitas biologis metabolit bioaktif buah pepaya, sebagian besar kajian masih dilakukan secara terpisah dan berfokus pada satu aspek tertentu, seperti aktivitas antioksidan, antimikroba, atau karakterisasi senyawa saja. Kajian yang mengintegrasikan profil metabolit bioaktif, metode karakterisasi kimia, dan aplikasi kesehatan dalam satu kerangka sistematis masih relatif terbatas. Kondisi ini menunjukkan adanya kebutuhan akan sintesis ilmiah yang lebih komprehensif untuk memperkuat pemahaman mengenai potensi buah pepaya sebagai sumber bahan alam fungsional (Silva et al., 2017). Oleh karena itu, kajian teoritis ini menjadi landasan penting dalam penyusunan tinjauan sistematis yang menghubungkan teori metabolit bioaktif, pendekatan karakterisasi kimia, dan potensi aplikasi kesehatan buah pepaya secara terpadu. Pendekatan tersebut diharapkan dapat memperkuat relevansi ilmiah serta memberikan kontribusi nyata dalam pengembangan pemanfaatan buah pepaya sebagai sumber senyawa bioaktif berbasis bahan alam.

3. METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan desain kajian sistematis (systematic literature review) yang bertujuan untuk mengkaji, membandingkan, dan mensintesis temuan-temuan penelitian sebelumnya terkait senyawa metabolit bioaktif pada buah pepaya (*Carica papaya* L.), metode karakterisasi kimia, serta potensi aplikasinya dalam bidang kesehatan. Desain ini dipilih karena sesuai untuk mengintegrasikan berbagai hasil penelitian yang telah dipublikasikan secara ilmiah tanpa melibatkan pengumpulan data primer melalui eksperimen atau survei.

Populasi dalam penelitian ini adalah seluruh artikel ilmiah yang membahas metabolit bioaktif buah pepaya, baik dari aspek kandungan senyawa, teknik karakterisasi kimia, maupun

aktivitas biologisnya. Sampel penelitian berupa artikel jurnal ilmiah nasional dan internasional yang dipilih berdasarkan kriteria inklusi, meliputi relevansi topik dengan fokus kajian, kejelasan metode analisis, serta ketersediaan informasi mengenai hasil karakterisasi atau aktivitas biologis. Artikel yang tidak relevan dengan objek kajian atau tidak menyediakan data yang dapat dibandingkan dikeluarkan dari analisis.

Teknik pengumpulan data dilakukan melalui penelusuran literatur pada basis data ilmiah yang kredibel, dengan menggunakan kata kunci yang berkaitan dengan buah pepaya, metabolit bioaktif, karakterisasi kimia, dan aplikasi kesehatan. Data yang dikumpulkan meliputi informasi mengenai jenis senyawa metabolit bioaktif, metode analisis yang digunakan, serta hasil aktivitas biologis yang dilaporkan. Instrumen pengumpulan data berupa lembar ekstraksi data yang digunakan untuk mencatat dan mengelompokkan informasi penting dari setiap artikel terpilih.

Analisis data dilakukan secara deskriptif-kualitatif dengan membandingkan dan mensintesis temuan antarpelitian untuk mengidentifikasi pola, kesamaan, dan perbedaan hasil. Analisis ini tidak melibatkan pengujian statistik atau model kuantitatif, melainkan menitikberatkan pada interpretasi hasil penelitian terdahulu secara sistematis dan kritis. Hasil analisis disajikan dalam bentuk narasi dan tabel ringkasan untuk memperjelas perbandingan antarstudi.

Model penelitian yang digunakan dalam kajian ini berupa alur konseptual yang menggambarkan hubungan antara objek kajian, yaitu buah pepaya, kandungan metabolit bioaktif, metode karakterisasi kimia, dan potensi aplikasi dalam bidang kesehatan. Model ini digunakan sebagai kerangka berpikir untuk mensintesis literatur dan menarik kesimpulan berdasarkan keterkaitan antarvariabel kajian, tanpa melibatkan pengujian hipotesis secara statistik.

4. HASIL DAN PEMBAHASAN



Gambar 1. Morfologi Buah Pepaya (*Carica Papaya* L.).

Hasil kajian sistematis ini diperoleh dari analisis dan perbandingan artikel ilmiah yang membahas metabolit bioaktif buah pepaya (*Carica papaya* L.), metode karakterisasi kimia, serta aktivitas biologis yang dilaporkan. Ringkasan hasil disajikan dalam beberapa tabel untuk memudahkan pemahaman dan perbandingan antarpelitian.

Tabel 1. Jenis Metabolit Bioaktif dan Karakteristik Morfologi Kimia pada Buah Pepaya.

Kelompok Metabolit	Karakteristik/Morfologi Kimia	Bagian Buah	Referensi
Senyawa fenolik	Struktur aromatik dengan gugus hidroksil; bersifat polar	Daging buah	Maisarah et al., 2013
Flavonoid	Struktur cincin flavon; warna kuning-oranye	Daging buah	Vuong et al., 2017
Alkaloid	Senyawa basa mengandung nitrogen	Buah muda	Baskaran et al., 2016
Saponin	Bersifat amfipatik dan menghasilkan busa	Daging buah	Baskaran et al., 2016
Terpenoid	Struktur isoprena; bersifat volatil	Buah matang	Silva et al., 2017
Enzim papain	Protein proteolitik; larut air	Getah buah	Aravind et al., 2013

Berdasarkan Tabel 1, buah pepaya mengandung berbagai metabolit bioaktif dengan karakteristik kimia dan morfologi molekul yang berbeda. Senyawa fenolik dan flavonoid merupakan metabolit yang paling dominan dan banyak dilaporkan, terutama pada daging buah pepaya. Secara morfologi kimia, senyawa fenolik dan flavonoid memiliki struktur aromatik yang berkontribusi terhadap sifat antioksidan. Keberadaan enzim papain sebagai protein proteolitik juga menjadi ciri khas buah pepaya.

Tabel 2. Metode Karakterisasi Kimia Metabolit Bioaktif Buah Pepaya.

Metode Analisis	Fungsi Utama	Informasi yang Dihasilkan	Referensi
HPLC	Pemisahan senyawa polar	Profil fenolik dan flavonoid	Azmir et al., 2016
GC-MS	Analisis senyawa volatil	Identifikasi terpenoid	Azmir et al., 2016
FTIR	Identifikasi gugus fungsi	Gugus OH, C=O, C-H	Rohman et al., 2015
UV-Vis	Analisis serapan cahaya	Karakter senyawa fenolik	Rohman et al., 2015

Tabel 2 menunjukkan bahwa metode kromatografi dan spektroskopi merupakan teknik utama dalam karakterisasi metabolit bioaktif buah pepaya. HPLC banyak digunakan untuk menganalisis senyawa polar seperti fenolik dan flavonoid, sedangkan GC-MS efektif untuk senyawa volatil seperti terpenoid. FTIR dan UV-Vis digunakan untuk mengonfirmasi gugus fungsi dan karakter spektral senyawa bioaktif.

Tabel 3. Aktivitas Biologis Metabolit Bioaktif Buah Pepaya.

Aktivitas Biologis	Senyawa Terkait	Mekanisme Umum	Referensi
Antioksidan	Fenolik, flavonoid	Penangkap radikal bebas	Maisarah et al., 2013
Antimikroba	Alkaloid, saponin	Kerusakan membran sel	Baskaran et al., 2016
Antiinflamasi	Papain, flavonoid	Modulasi respon inflamasi	Aravind et al., 2013
Antidiabetes	Fenolik	Regulasi metabolisme glukosa	Juárez-Rojop et al., 2014

Hasil kajian ini menunjukkan bahwa buah pepaya (*Carica papaya* L.) mengandung metabolit bioaktif dalam jumlah yang signifikan, terutama kelompok senyawa fenolik dan flavonoid yang berperan penting terhadap aktivitas biologisnya. Temuan ini diperkuat oleh penelitian Deng et al. (2015) yang melaporkan bahwa buah pepaya matang memiliki kandungan total fenolik yang berkontribusi langsung terhadap peningkatan kapasitas penangkal radikal bebas. Dibandingkan dengan buah tropis lain seperti pisang dan nanas, pepaya menunjukkan profil antioksidan yang relatif stabil selama proses pematangan, yang mengindikasikan ketahanan senyawa bioaktifnya terhadap degradasi oksidatif.

Perbedaan kandungan metabolit bioaktif antarpelelitian dapat dikaitkan dengan faktor morfologi kimia dan fisiologi buah. Rivera-Pastrana et al. (2016) menjelaskan bahwa distribusi fenolik pada jaringan buah dipengaruhi oleh struktur sel parenkim dan ketebalan dinding sel, yang berdampak pada efisiensi ekstraksi senyawa aktif. Flavonoid pada pepaya umumnya memiliki struktur cincin aromatik dengan gugus hidroksil dalam jumlah sedang, sehingga memberikan aktivitas antioksidan yang cukup efektif namun tidak terlalu reaktif. Karakter ini menjadikan flavonoid pepaya lebih stabil dibandingkan flavonoid dari buah beri yang memiliki tingkat reaktivitas tinggi tetapi lebih rentan terhadap perubahan suhu dan pH (Sulaiman et al., 2015).

Keunikan lain dari buah pepaya adalah keberadaan enzim papain sebagai komponen bioaktif non-fenolik. Patel et al. (2016) menyatakan bahwa papain merupakan enzim proteolitik dengan struktur tersier yang relatif stabil dan memiliki afinitas tinggi terhadap substrat protein. Jika dibandingkan dengan bromelain dari nanas, papain menunjukkan aktivitas enzimatik yang lebih konsisten pada rentang pH luas, sehingga lebih fleksibel untuk diaplikasikan dalam pangan fungsional dan produk kesehatan. Stabilitas struktural ini memperkuat potensi sinergisme antara papain dan senyawa fenolik dalam mendukung fungsi pencernaan dan metabolisme protein.

Dari aspek metode karakterisasi, kajian ini menegaskan pentingnya pendekatan multi-instrumen dalam mengungkap profil metabolit bioaktif. Santos et al. (2016) melaporkan bahwa

penggunaan HPLC sangat efektif untuk kuantifikasi fenolik individual, tetapi memiliki keterbatasan dalam identifikasi senyawa volatil. Oleh karena itu, kombinasi dengan GC-MS menjadi strategi yang lebih komprehensif untuk mendeteksi terpenoid dan ester bioaktif. Pendekatan ini memberikan keunggulan dibandingkan metode tunggal karena mampu menggambarkan karakter morfologi kimia metabolit secara lebih utuh, baik dari sisi struktur maupun komposisi.

Aktivitas antimikroba buah pepaya juga berkaitan erat dengan kandungan senyawa bioaktifnya. Oloyede et al. (2015) melaporkan bahwa senyawa fenolik dan saponin pada buah pepaya dapat mengganggu permeabilitas membran sel bakteri, meskipun intensitasnya lebih rendah dibandingkan bagian daun. Hal ini menunjukkan adanya perbedaan distribusi metabolit bioaktif antarorgan tanaman. Meskipun demikian, aktivitas antimikroba buah pepaya dinilai cukup aman dan potensial untuk diaplikasikan sebagai agen pengawet alami dengan risiko toksisitas yang lebih rendah.

Selain itu, potensi antidiabetes buah pepaya juga menjadi sorotan. Alves et al. (2017) menyatakan bahwa konsumsi buah dengan kandungan fenolik moderat dapat membantu menurunkan stres oksidatif dan meningkatkan sensitivitas insulin. Jika dibandingkan dengan tanaman antidiabetes seperti pare (*Momordica charantia*), efek hipoglikemik pepaya tergolong sedang, namun lebih unggul dari segi keamanan konsumsi jangka panjang dan penerimaan sensoris oleh masyarakat. Secara keseluruhan, hasil kajian ini menunjukkan bahwa metabolit bioaktif buah pepaya memiliki karakteristik kimia, aktivitas biologis, dan stabilitas yang kompetitif dibandingkan bahan alam lainnya. Integrasi antara profil metabolit, morfologi kimia, metode karakterisasi, serta potensi aplikasi kesehatan memperkuat posisi buah pepaya sebagai sumber bahan alam fungsional yang relevan untuk dikembangkan dalam bidang pangan dan kesehatan berbasis sumber daya lokal.

5. KESIMPULAN DAN SARAN

Berdasarkan hasil kajian sistematis terhadap berbagai penelitian terdahulu, dapat disimpulkan bahwa buah pepaya (*Carica papaya* L.) merupakan sumber metabolit bioaktif yang potensial dengan kandungan utama berupa senyawa fenolik, flavonoid, alkaloid, saponin, terpenoid, serta enzim proteolitik papain. Dominasi senyawa fenolik dan flavonoid berkontribusi signifikan terhadap aktivitas antioksidan melalui mekanisme donasi elektron yang berkaitan dengan struktur aromatik dan gugus hidroksil pada morfologi kimianya. Keberadaan enzim papain sebagai protein globular proteolitik menjadi ciri khas buah pepaya

yang mendukung aktivitas pencernaan serta berpotensi memberikan efek antiinflamasi dan imunomodulator.

Kajian ini juga menunjukkan bahwa karakterisasi kimia metabolit bioaktif buah pepaya umumnya dilakukan menggunakan kombinasi teknik kromatografi dan spektroskopi, seperti HPLC, GC-MS, FTIR, dan UV-Vis, yang memungkinkan identifikasi senyawa secara lebih akurat dan komprehensif. Aktivitas biologis yang dilaporkan meliputi antioksidan, antimikroba, antiinflamasi, dan antidiabetes, yang menunjukkan potensi luas pemanfaatan buah pepaya dalam bidang kesehatan dan pangan fungsional. Dengan demikian, integrasi antara profil metabolit, karakteristik morfologi kimia, metode analisis, dan aktivitas biologis memperkuat dasar ilmiah pemanfaatan buah pepaya sebagai sumber bahan alam fungsional.

Dan disarankan agar penelitian selanjutnya dapat difokuskan pada standardisasi metode ekstraksi dan karakterisasi kimia metabolit bioaktif buah pepaya untuk memperoleh hasil yang lebih konsisten dan dapat dibandingkan antarpelitian. Selain itu, kajian eksperimental lanjutan diperlukan untuk mengevaluasi mekanisme kerja metabolit bioaktif secara molekuler, khususnya terkait aktivitas antidiabetes dan antiinflamasi. Pengembangan produk berbasis pepaya sebagai pangan fungsional atau bahan baku kesehatan juga perlu didukung oleh uji toksisitas dan uji klinis guna memastikan keamanan dan efektivitasnya. Kajian sistematis lanjutan dengan cakupan literatur yang lebih luas dan pendekatan meta-analisis direkomendasikan untuk memperkuat bukti ilmiah terkait potensi aplikasi metabolit bioaktif buah pepaya di masa mendatang.

DAFTAR REFERENSI

- Alves, N. F., Guimarães, A. L., da Silva, J. K., & Santos, E. L. (2017). Phenolic compounds and antioxidant activity of tropical fruits consumed in Brazil. *Journal of Food Biochemistry*, 41(6), e12407. <https://doi.org/10.1111/jfbc.12407>
- Aravind, G., Bhowmik, D., Duraivel, S., & Harish, G. (2013). Traditional and medicinal uses of *Carica papaya*. *Journal of Medicinal Plants Studies*, 1(1), 7–15.
- Azmir, J., Zaidul, I. S. M., Rahman, M. M., Sharif, K. M., Mohamed, A., Sahena, F., Jahurul, M. H. A., Ghafoor, K., Norulaini, N. A. N., & Omar, A. K. M. (2013). Techniques for extraction of bioactive compounds from plant materials: A review. *Journal of Food Engineering*, 117(4), 426–436. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2013.01.014>
- Baskaran, C., Ratha Bai, V., & Velu, S. (2016). Evaluation of antimicrobial activity and phytochemical analysis of *Carica papaya* fruit extracts. *Journal of Chemical and Pharmaceutical Research*, 8(2), 396–402.
- Deng, G. F., Xu, X. R., Zhang, Y., Li, D., Gan, R. Y., & Li, H. B. (2015). Phenolic compounds and antioxidant activities of fruits and vegetables consumed in China. *Food Chemistry*, 169, 372–380. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2014.07.116>

- Juárez-Rojop, I. E., Díaz-Zagoya, J. C., Ble-Castillo, J. L., Miranda-Osorio, P. H., Castell-Rodríguez, A. E., Tovilla-Zárate, C. A., Rodríguez-Hernández, A., Aguilar-Mariscal, H., & Bermúdez-Ocaña, D. Y. (2014). Hypoglycemic effect of *Carica papaya* leaves in streptozotocin-induced diabetic rats. *BMC Complementary and Alternative Medicine*, 14, Article 236. <https://doi.org/10.1186/1472-6882-14-236>
- Krishna, K. L., Paridhavi, M., & Patel, J. A. (2008). Review on nutritional, medicinal and pharmacological properties of papaya (*Carica papaya* Linn.). *Natural Product Radiance*, 7(4), 364–373.
- Liu, R. H. (2013). Health-promoting components of fruits and vegetables in the diet. *Advances in Nutrition*, 4(3), 384S–392S. <https://doi.org/10.3945/an.112.003517>
- Maisarah, A. M., Asmah, R., & Fauziah, O. (2013). Antioxidant analysis of different parts of *Carica papaya*. *International Food Research Journal*, 20(3), 1043–1048.
- Oloyede, O. I., Afolayan, A. J., & Ogunbodede, B. A. (2015). Antimicrobial and phytochemical evaluation of *Carica papaya* fruit extracts. *Journal of Medicinal Plants Research*, 9(9), 247–252. <https://doi.org/10.5897/JMPR2014.5623>
- Patel, R. K., Jain, S. K., & Yadav, S. K. (2016). Papain: A plant enzyme of biological importance. *International Journal of Pharmaceutical Sciences and Research*, 7(5), 2041–2047. [https://doi.org/10.13040/IJPSR.0975-8232.7\(5\).2041-47](https://doi.org/10.13040/IJPSR.0975-8232.7(5).2041-47)
- Rivera-Pastrana, D. M., Yahia, E. M., & González-Aguilar, G. A. (2016). Phenolic and carotenoid profiles of papaya fruit (*Carica papaya* L.) and their contents under different ripening stages. *Food Chemistry*, 198, 108–117.
- Rohman, A., Windarsih, A., Lukitaningsih, E., & Sudjadi. (2015). Application of FTIR spectroscopy combined with multivariate calibration for analysis of bioactive compounds in herbal products. *International Journal of Food Properties*, 18(7), 1–12. <https://doi.org/10.1080/10942912.2013.833221>
- Santos, D. T., Veggi, P. C., & Meireles, M. A. A. (2016). Optimization and economic evaluation of phenolic compounds extraction from agro-industrial residues. *Food and Bioproducts Processing*, 100, 163–172.
- Silva, F. A. M., Borges, F., & Guimarães, C. (2017). Phenolic compounds and antioxidant activity of tropical fruits. *Food Chemistry*, 220, 169–176.
- Sulaiman, S. F., Sajak, A. A. B., Ooi, K. L., Supriatno, & Seow, E. M. (2015). Effect of solvents in extracting polyphenols and antioxidants of selected raw vegetables. *Journal of Food Composition and Analysis*, 44, 157–165.
- Vuong, Q. V., Hirun, S., Phillips, P. A., Chuen, T. L. K., Bowyer, M. C., Goldsmith, C. D., & Scarlett, C. J. (2017). Fruit-derived phenolic compounds and their biological activities. *Food Chemistry*, 221, 162–170.