

Japanese Papaya (*Cnidoscolus aconitifolius*): An Integrated Biological System with Mechanism-Based Utilization

Prapti Sedijani*, Mahrus, Dewa Ayu Citra Rasmi, Kusmiyati, Khaerudin

Program Studi Pendidikan Biologi, FKIP Universitas Mataram, Indonesia

Article History

Received : November 16th, 2025

Revised : November 23th, 2025

Accepted : December 17th, 2025

*Corresponding Author:

Prapti Sedijani

Pend. Biologi, FKIP, Unram,
mataram Indonesia

Email:

praptisedijani@unram.ac.id

Abstract: *Cnidoscolus aconitifolius* (Japanese papaya or chaya) is a tropical plant from the Euphorbiaceae family known for its high nutritional value and diverse biological activities. Several studies have reported antioxidant, antimicrobial, and other biological properties, suggesting the involvement of complex molecular systems. This article presents a conceptual literature review using a *systems biology* approach to understand Japanese papaya as an integrated biological system in which nutritional components, secondary metabolites, and enzymatic activities interact. By positioning hydrolytic enzyme systems as the central mechanism, this review discusses the potential utilization of Japanese papaya as a biological resource and as a basis for the development of functional derivative products, including biomolecular hydrolysates. Possible applications in mechanism-based bioconversion processes are also briefly addressed.

Keywords: *Cnidoscolus aconitifolius*, systems biology, Biological activities, plant enzyme, potential use

Pendahuluan

Artikel ini merupakan kajian konseptual yang disusun berdasarkan sintesis naratif literatur yang telah dipublikasikan dan tidak menyajikan data eksperimen asli. Pendekatan *systems biology* digunakan untuk memahami organisme sebagai sistem biologis terpadu yang tersusun atas komponen-komponen yang saling berinteraksi secara dinamis, bukan sebagai kumpulan elemen yang berdiri sendiri (Kitano, 2002; Kitano, 2007). Pendekatan ini telah banyak diterapkan untuk menjelaskan ketahanan biologis (*robustness*), regulasi metabolik, serta interaksi lintas jalur biokimia pada sistem hayati. Dalam konteks tanaman, *systems biology* memungkinkan integrasi antara komposisi nutrisi, metabolit sekunder, dan sistem enzimatik untuk menjelaskan aktivitas biologis dan potensi pemanfaatan secara lebih komprehensif (Agrawal et al., 2012). Komponen-komponen tersebut berfungsi sebagai suatu jaringan biologis, di mana perubahan pada satu elemen dapat mempengaruhi keseluruhan sistem.

Pepaya Jepang (*Cnidoscolus aconitifolius*), tanaman tropis dari famili Euphorbiaceae yang

berasal dari Amerika Tengah, telah lama dimanfaatkan sebagai bahan pangan tradisional dan sayuran daun (Ross-Ibarra et al., 2003). Tanaman ini dikenal memiliki kandungan protein relatif tinggi dibandingkan sayuran daun tropis lainnya serta nilai nutrisi yang baik (Kuti & Torres, 1996; Fasuyi, 2007). Selain nilai gizi, sejumlah penelitian juga melaporkan adanya aktivitas biologis seperti antioksidan dan antimikroba yang berkaitan dengan keberadaan metabolit sekunder dan sistem enzimatik tanaman (Adeyemi et al., 2010; Ibrahim et al., 2014). Meskipun demikian, sebagian besar kajian ilmiah terhadap *C. aconitifolius* masih membahas aspek nutrisi, fitokimia, atau aktivitas biologis secara terpisah. Pendekatan terpadu yang mengaitkan komposisi nutrisi, metabolit sekunder, dan sistem enzimatik sebagai satu kesatuan biologis masih relatif terbatas. Oleh karena itu, artikel ini bertujuan menyajikan tinjauan berbasis mekanisme menggunakan kerangka *systems biology* untuk memahami pepaya Jepang sebagai sistem biologis utuh serta menjajaki implikasi pemanfaatannya secara terarah dan berbasis proses.

Bahan dan Metode

Bahan

Bahan dalam artikel ini berupa sumber pustaka ilmiah yang relevan dengan *Cnidoscopus aconitifolius* dan pendekatan systems biology pada tanaman. Literatur yang digunakan meliputi: artikel jurnal internasional bereputasi, buku teks ilmiah, laporan etnobotani dan pangan, serta publikasi yang membahas enzim tanaman, metabolit sekunder, dan bioaktivitas protein/peptida. Topik utama literatur mencakup: (1) komposisi nutrisi dan fitokimia *C. aconitifolius*, (2) sistem enzimatik tanaman (khususnya enzim hidrolitik), (3) bioaktivitas senyawa turunan protein dan metabolit sekunder, serta (4) penerapan pendekatan systems biology pada sistem hayati dan pangan.

Metode

Artikel ini disusun menggunakan metode narrative literature review dengan pendekatan mekanistik dan systems biology. Penelusuran literatur dilakukan melalui basis data ilmiah seperti Scopus, PubMed, Google Scholar, dan ScienceDirect menggunakan kata kunci: *Cnidoscopus aconitifolius*, *chaya*, *plant protease*, *hydrolytic enzymes*, *bioactive peptides*, *secondary metabolites*, dan *systems biology*. Publikasi yang dipilih terutama berasal dari jurnal peer-review dan buku ilmiah dengan relevansi langsung terhadap topik. Informasi yang terkumpul kemudian dianalisis secara kualitatif dan disintesis untuk:

1. mengidentifikasi komponen biologis utama (nutrisi, metabolit sekunder, dan enzim),
2. memetakan interaksi antarkomponen dalam kerangka systems biology,
3. merumuskan implikasi mekanistik terhadap potensi pemanfaatan dan pengembangan produk turunan.

Pendekatan ini tidak bertujuan menghasilkan data eksperimental baru, melainkan membangun kerangka konseptual berbasis mekanisme sebagai dasar bagi penelitian lanjutan yang bersifat eksperimental dan aplikatif.

Hasil dan Pembahasan

Karakteristik Biologis dan Komposisi Nutrisi

Daun pepaya Jepang dilaporkan mengandung protein, serat, mineral, dan vitamin dalam jumlah yang relatif tinggi (Kuti & Torres, 1996). Kandungan protein ini menjadi karakteristik penting karena menyediakan substrat biologis yang dapat mengalami transformasi melalui proses enzimatik. Selain protein, pepaya Jepang juga mengandung lipid dalam jumlah terbatas, karbohidrat struktural, serta mikronutrien yang mendukung aktivitas metabolik tanaman (Ross-Ibarra et al., 2003). Dalam perspektif sistem biologis, komponen nutrisi tersebut tidak hanya berperan sebagai nilai gizi, tetapi juga sebagai matriks awal yang mempengaruhi jalannya reaksi biokimia dan pembentukan produk turunan.

Metabolit Sekunder dan Aktivitas Fitofarmakologis

Sejumlah penelitian melaporkan keberadaan senyawa fitokimia seperti fenolik dan flavonoid pada *C. aconitifolius*, yang berkaitan dengan aktivitas antioksidan dan antimikroba (Ibrahim et al., 2014; Adeyemi et al., 2010). Aktivitas ini umumnya dikaitkan dengan mekanisme pertahanan tanaman terhadap stres lingkungan dan patogen. Secara etnobotani, pepaya Jepang telah dimanfaatkan sebagai tanaman pangan dan tanaman fungsional di berbagai wilayah tropis, dengan catatan bahwa pengolahan yang tepat diperlukan untuk mengurangi sifat iritan alami tanaman (Ross-Ibarra et al., 2003). Beberapa laporan menyebutkan bahwa *Cnidoscopus aconitifolius* mengandung senyawa sianogenik dan komponen iritan alami yang dapat menimbulkan efek toksik ringan apabila dikonsumsi dalam keadaan mentah. Namun, pengolahan termal seperti perebusan dilaporkan secara signifikan menurunkan risiko tersebut, sehingga tanaman ini secara tradisional dikonsumsi setelah pengolahan yang memadai (Ross-Ibarra et al., 2003). Pemanfaatan tradisional ini mengindikasikan adanya tolerabilitas biologis serta potensi aplikasi berbasis komponen bioaktifnya, meskipun klaim terapeutik spesifik memerlukan kajian lebih lanjut. Pemahaman aspek toksisitas ini penting dalam pengembangan produk turunan, termasuk hidrolisat biomolekul, untuk memastikan keamanan dan kualitas produk akhir. Dalam kerangka *systems biology*, metabolit sekunder dipandang sebagai modulator

yang dapat mempengaruhi aktivitas enzimatik dan sifat biologis produk turunan, bahkan dalam konsentrasi relatif rendah (Cowan, 1999).

Sistem Enzimatik sebagai Mekanisme Sentral

Aktivitas biologis pepaya Jepang tidak terlepas dari keberadaan sistem enzimatik, terutama enzim hidrolitik. Beberapa laporan menunjukkan adanya aktivitas proteolitik pada ekstrak daun dan getah tanaman ini, yang mengindikasikan keberadaan protease tanaman aktif. Protease berperan penting dalam pertahanan tanaman, degradasi protein, serta regulasi fisiologis internal (Rawlings & Salvesen, 2013). Selain protease, aktivitas esterase atau lipase ringan juga terindikasi, meskipun intensitasnya lebih rendah. Enzim ini berkontribusi terhadap metabolisme lipid dan degradasi ester sederhana. Keberadaan enzim pendukung seperti peroksidase dan polifenol oksidase turut memperkuat sistem biologis ini melalui pengaturan keseimbangan redoks dan respons stres.

Dengan demikian, pepaya Jepang dapat dipahami sebagai sistem enzimatik multifungsi yang bekerja secara sinergis dengan komponen nutrisi dan metabolit sekunder.

Interaksi Sistem dan Implikasi terhadap Produk Turunan

Interaksi antara substrat nutrisi, sistem enzimatik, dan metabolit sekunder akan menentukan karakteristik produk turunan yang dihasilkan. Dalam banyak sistem pangan dan hayati, proses hidrolisis protein diketahui mampu menghasilkan peptida dengan aktivitas biologis yang meningkat, termasuk aktivitas antioksidan dan antimikroba (Korhonen & Pihlanto, 2006; Udenigwe & Aluko, 2012). Dalam konteks pepaya Jepang, keberadaan protein sebagai substrat, enzim hidrolitik alami sebagai mekanisme, serta senyawa fitokimia sebagai modulator berpotensi membentuk profil hidrolisat yang khas. Senyawa bioaktif dalam jumlah kecil dapat berperan dalam memodulasi stabilitas dan aktivitas biologis produk hidrolisis tanpa harus menjadi komponen dominan.

Potensi Pemanfaatan Berbasis Pemahaman Mekanistik

Berdasarkan pendekatan *systems biology*, pepaya Jepang memiliki potensi untuk

dikembangkan sebagai: sumber bahan biologis berbasis tanaman lokal, bahan baku pembentukan hidrolisat biomolekul dengan nilai fungsional, komponen pendukung dalam aplikasi biodegradasi dan teknologi ramah lingkungan. Pemahaman mekanistik ini memungkinkan pengembangan aplikasi yang lebih terarah dan berbasis proses, bukan semata-mata sifat empiris.

Pendekatan *systems biology* digunakan untuk memahami organisme sebagai sistem biologis terpadu yang tersusun atas komponen-komponen yang saling berinteraksi secara dinamis, bukan sebagai kumpulan elemen yang berdiri sendiri (Kitano, 2002; Kitano, 2007). Pendekatan ini telah banyak diterapkan untuk menjelaskan ketahanan biologis (*robustness*), regulasi metabolik, serta interaksi lintas jalur biokimia pada sistem hayati. Dalam konteks tanaman, *systems biology* memungkinkan integrasi antara komposisi nutrisi, metabolit sekunder, dan sistem enzimatik untuk menjelaskan aktivitas biologis dan potensi pemanfaatan secara lebih komprehensif (Agrawal et al., 2012). Komponen-komponen tersebut berfungsi sebagai suatu jaringan biologis, di mana perubahan pada satu elemen dapat mempengaruhi keseluruhan sistem.

Pepaya Jepang (*Cnidioscolus aconitifolius*), tanaman tropis dari famili Euphorbiaceae yang berasal dari Amerika Tengah, telah lama dimanfaatkan sebagai bahan pangan tradisional dan sayuran daun (Ross-Ibarra et al., 2003). Tanaman ini dikenal memiliki kandungan protein relatif tinggi dibandingkan sayuran daun tropis lainnya serta nilai nutrisi yang baik (Kuti & Torres, 1996; Fasuyi, 2007). Selain nilai gizi, sejumlah penelitian juga melaporkan adanya aktivitas biologis seperti antioksidan dan antimikroba yang berkaitan dengan keberadaan metabolit sekunder dan sistem enzimatik tanaman (Adeyemi et al., 2010; Ibrahim et al., 2014). Meskipun demikian, sebagian besar kajian ilmiah terhadap *C. aconitifolius* masih membahas aspek nutrisi, fitokimia, atau aktivitas biologis secara terpisah. Pendekatan terpadu yang mengaitkan komposisi nutrisi, metabolit sekunder, dan sistem enzimatik sebagai satu kesatuan biologis masih relatif terbatas. Oleh karena itu, artikel ini bertujuan menyajikan tinjauan berbasis mekanisme menggunakan kerangka *systems biology* untuk memahami

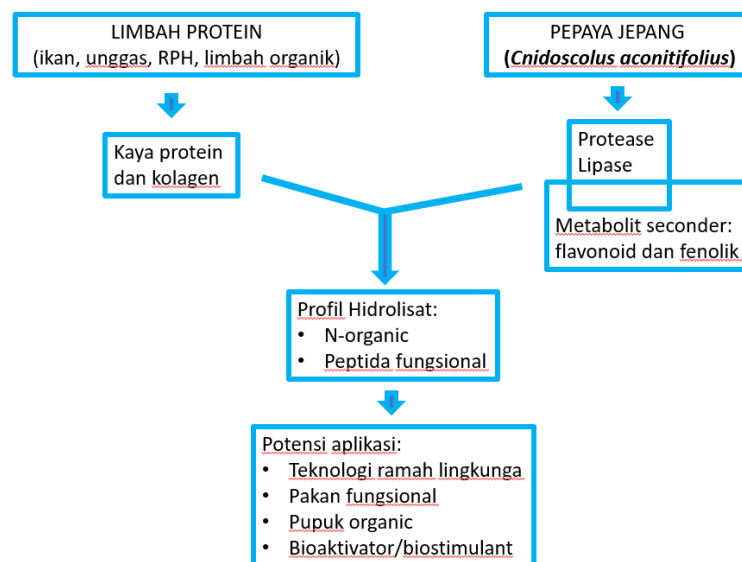
pepaya Jepang sebagai sistem biologis utuh serta menjajaki implikasi pemanfaatannya secara terarah dan berbasis proses.

Arah Potensi Penelitian Ke Depan

Berdasarkan kerangka *systems biology* yang disajikan dalam artikel ini, salah satu arah penelitian dan aplikasi yang paling menjanjikan adalah pemanfaatan *Cnidoscopus aconitifolius* dalam pengolahan dan biokonversi limbah kaya protein. Limbah dari industri perikanan, unggas, serta tempat pemotongan hewan umumnya mengandung protein dalam jumlah tinggi namun belum dimanfaatkan secara optimal dan berpotensi menimbulkan masalah lingkungan. Keberadaan sistem enzim hidrolitik, khususnya protease tanaman, pada *C. aconitifolius* membuka peluang pemanfaatannya sebagai sumber enzim atau aktivator biologis dalam proses hidrolisis protein limbah. Proses ini

berpotensi menghasilkan hidrolisat protein dan peptida bernilai tambah yang dapat dimanfaatkan sebagai bahan pakan, pupuk organik cair, atau komponen pendukung dalam teknologi ramah lingkungan. Pendekatan ini sejalan dengan prinsip biokonversi berkelanjutan dan ekonomi sirkular, di mana limbah organik diubah menjadi produk fungsional melalui mekanisme biologis yang terkendali.

Selain itu, interaksi antara protein limbah sebagai substrat, enzim hidrolitik dari *C. aconitifolius* sebagai mekanisme, serta metabolit sekunder sebagai modulator biologis berpotensi menghasilkan sistem biokonversi yang efisien tanpa ketergantungan tinggi pada enzim komersial. Penelitian lanjutan diperlukan untuk mengevaluasi efisiensi hidrolisis, profil peptida yang dihasilkan, serta aspek keamanan dan stabilitas produk, khususnya terkait senyawa iritan atau toksik yang mungkin ikut terekstraksi.



Gambar 1. Diagram: Kerangka Sistem Konseptual Potensi Pemanfaatan Hidrolisat melalui Aktivitas Enzimatis Pepaya Jepang (*Cnidoscopus aconitifolius*).

Diagram ini menggambarkan suatu sistem konseptual di mana enzim yang berasal dari pepaya Jepang berperan dalam mengonversi substrat limbah yang kaya protein menjadi hidrolisat bioaktif, dengan sifat fungsional yang berpotensi diperkaya lebih lanjut melalui interaksi sinergis dengan metabolit sekunder. Hasil aplikasi papaya jepang dat berfungsi sebagai bioktivator yang meningkatkan proses2

biologis dan atau sebagi biostimulan denang meningkatkan respon fisiologis organisme target.

Kesimpulan:

Pepaya Jepang (*Cnidoscopus aconitifolius*) merupakan sistem biologis terpadu yang tersusun atas komposisi nutrisi, metabolit sekunder, dan sistem enzimatik yang saling berinteraksi.

Pendekatan *systems biology* memberikan kerangka pemahaman yang lebih utuh terhadap aktivitas biologis tanaman ini serta membuka peluang pemanfaatan berbasis mekanisme, termasuk pengembangan produk turunan fungsional dengan ketersediaan nutrisi yang lebih baik. Dalam konteks pengembangan lebih lanjut, kajian keamanan seperti uji toksisitas tetap diperlukan untuk memastikan batas pemanfaatan yang aman. Secara konseptual, pemahaman sistemik ini dapat menjadi dasar bagi berbagai arah penelitian lanjutan yang lebih spesifik dan aplikatif, misalnya dalam proses biokonversi substrat organik atau limbah kaya protein, optimalisasi aktivitas enzimatis, maupun eksplorasi sinergi metabolit untuk aplikasi pangan, pakan, atau lingkungan. Dengan demikian, artikel ini diharapkan dapat berfungsi sebagai landasan ilmiah terbuka yang memberi ruang bagi peneliti lain untuk mengembangkan pendekatan dan aplikasi sesuai dengan konteks dan kebutuhan masing-masing.

Referensi

- Adeyemi, D. O., et al. (2010). Biological activities of Euphorbiaceae plants: a review. *African Journal of Biotechnology*, 9(38), 6226–6232.
- Agrawal, A. A., et al. (2012). Plant defense syndromes. *Trends in Ecology & Evolution*, 27(4), 206–215.
- Barrett, A. J., et al. (2012). Proteolytic enzymes: Nomenclature and classification. *Biochemical Journal*, 441, 1–16.
- Cowan, M. M. (1999). Plant products as antimicrobial agents. *Clinical Microbiology Reviews*, 12(4), 564–582.
- Daliri, E. B. M., et al. (2017). Bioactive peptides: A review on production and functionality. *Trends in Food Science & Technology*, 59, 1–15.
- Duarte, J., et al. (2004). Enzymatic hydrolysis of protein waste. *Bioresource Technology*, 91, 229–236.
- Ernesto, M., et al. (2002). Cyanogenic glycosides in plants. *Phytochemistry*, 60, 659–669.
- Fasuyi, A. O. (2007). Nutritional potentials of leaf protein concentrates. *African Journal of Biotechnology*, 6(20), 2293–2297.
- Fitzgerald, R. J., & Meisel, H. (2000). Milk protein-derived peptides. *British Journal of Nutrition*, 84(S1), S33–S37.
- Ghaly, A. E., et al. (2013). Fish processing wastes as a potential source of proteins. *American Journal of Environmental Sciences*, 9(1), 27–49.
- Hartmann, R., & Meisel, H. (2007). Food-derived peptides with biological activity. *Current Opinion in Biotechnology*, 18, 163–169.
- Ibrahim, M. A., et al. (2014). Phytochemical and biological studies of *Cnidoscolus* species. *Journal of Medicinal Plants Research*, 8(6), 281–287.
- Jørgensen, K., et al. (2005). Cyanogenic glucosides in plants. *Phytochemistry*, 66, 161–180.
- Kitano, H. (2002). Systems biology: A brief overview. *Science*, 295, 1662–1664.
- Kitano, H. (2007). Towards a theory of biological robustness. *Molecular Systems Biology*, 3, 137.
- Korhonen, H., & Pihlanto, A. (2006). Bioactive peptides: Production and functionality. *International Dairy Journal*, 16, 945–960.
- Kristinsson, H. G., & Rasco, B. A. (2000). Fish protein hydrolysates: Production, biochemical, and functional properties. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 40(1), 43–81.
- Kuti, J. O., & Torres, E. S. (1996). Nutritional and functional properties of tree spinach (*Cnidoscolus aconitifolius*). *Progress in New Crops*.
- López-García, B., et al. (2016). Antimicrobial peptides in plants. *Journal of Experimental Botany*, 67(11), 3211–3224.
- Martínez-Villaluenga, C., & Hernández-Ledesma, B. (2017). Bioactive peptides in food systems. *Food & Function*, 8, 244–256.
- Morone, P., & Gonella, F. (2019). Evolution of the circular economy concept. *Journal of Cleaner Production*, 229, 440–453.
- Oyeyemi, I. T., et al. (2018). Nutritional and safety evaluation of chaya leaves. *Journal of Food Safety*, 38, e12454.
- Rawlings, N. D., & Salvesen, G. (2013). *Handbook of Proteolytic Enzymes*. Academic Press.
- Ross-Ibarra, J., Molina-Cruz, A., & Sánchez-Vargas, I. (2003). Chaya (*Cnidoscolus aconitifolius*): A potential new crop for the

- tropics. *Economic Botany*, 57(4), 513–527.
- Ryan, C. A. (1990). Protease inhibitors in plants. *Annual Review of Phytopathology*, 28, 425–449.
- Udenigwe, C. C., & Aluko, R. E. (2012). Food protein-derived bioactive peptides. *Journal of Food Science*, 77(1), R11–R24.