

A Review of Structural and Functional Differences Between Plant and Animal Cell Organell

Fadhila Chairul Nisa¹, Karolina Bupu¹, Mery Kristina Wele¹, Yohanes Baptis Dela Falo¹, Veronika P. Sinta Mbia Wae^{1*}

¹Program Studi Pendidikan Biologi, Fakultas Keguruan dan Ilmu Pendidikan, Universitas Flores, Ende, Nusa Tenggara Timur, Indonesia;

Article History

Received : January 26th, 2026

Revised : February 14th, 2026

Accepted : February 23th, 2026

*Corresponding Author:

Veronika P. Sinta Mbia Wae,
Program Studi Pendidikan
Biologi, Universitas Flores,
Ende, Nusa Tenggara Timur,
Indonesia;

Email:

veronikapsmwae88@gmail.com

Abstract: Understanding the dynamic organization of organelles is fundamental to biology, yet traditional perspectives often overlook the complex inter-organellar communication that defines cellular physiology. This systematic review synthesizes thirty peer-reviewed articles (2015–2025) to bridge the knowledge gap between static organelle morphology and modern functional dynamics in plant and animal cells. By employing a systematic literature review (SLR) approach with thematic synthesis, this study identifies that while core organelles are conserved, specialized structures such as chloroplasts and large vacuoles in plants versus centrioles and lysosomes in animals exhibit distinct evolutionary adaptations in redox balance and quality control mechanisms. The analysis further reveals a universal reliance on inter-organellar contact sites and autophagy pathways, suggesting that cellular health is maintained through a highly integrated "organelle ecosystem" rather than isolated units. These findings offer critical insights for advancing cell biology education and provide a theoretical framework for future research in metabolic engineering and stress adaptation in tropical biological systems.

Keywords: Animal cell, inter-organellar communication, plant cell, organelle dynamics, systematic review.

Pendahuluan

Pemahaman mengenai organisasi internal sel merupakan fondasi bagi seluruh cabang biologi karena setiap proses kehidupan berawal dari interaksi organel yang bekerja secara terkoordinasi. Pada organisme multiseluler, organel seperti mitokondria, kloroplas, retikulum endoplasma, hingga sistem sitoskeleton membentuk jejaring kerja yang menjaga metabolisme dan respons adaptif (Alberts *et al.*, 2022). Selama bertahun-tahun, pembelajaran organel cenderung menekankan pada perbedaan dikotomis statis, seperti keberadaan kloroplas pada tumbuhan atau sentrosom pada hewan. Namun, perkembangan riset satu dekade terakhir menunjukkan bahwa fungsi organel jauh lebih dinamis dan saling bergantung melalui kontak fisik dan pertukaran metabolit yang sangat teratur (Prinz *et al.*, 2020).

Kesenjangan informasi sering ditemukan pada literatur dasar yang masih menampilkan organel sebagai unit terisolasi. Padahal, penelitian modern mengungkap bahwa dinamika mitokondria sangat dipengaruhi oleh peroksisom dalam pengaturan stres oksidatif (Jiang & Okazaki, 2022; Molina-Moya *et al.*, 2025). Begitu pula pada tumbuhan, plasmodesmata kini dipandang sebagai struktur aktif yang diatur oleh sinyal hormonal seperti ABA, bukan sekadar saluran pasif (Jinno *et al.*, 2025). Kemajuan teknologi mikroskopi dan pengurutan genom juga mengungkap bahwa mekanisme pemeliharaan kualitas sel melalui *autophagy* berlangsung secara konservatif di kedua kingdom (Rehman *et al.*, 2021; Olmedilla & Sandalio, 2019).

Meskipun terdapat banyak studi spesifik pada satu organel, ulasan yang mengintegrasikan perbandingan lintas-kingdom dengan fokus pada komunikasi antar-organel dalam rentang sepuluh

tahun terakhir masih sangat terbatas. Kebaruan ulasan ini terletak pada sintesis integratif yang menghubungkan dinamika struktural dengan mekanisme komunikasi lintas-organel (*inter-organellar crosstalk*) untuk memetakan pola adaptasi seluler yang belum terakomodasi dalam model pembelajaran klasik.

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk menganalisis secara komprehensif perkembangan penelitian mutakhir mengenai struktur, fungsi, dan interaksi organel pada sel tumbuhan dan hewan berdasarkan literatur tahun 2015–2025. Melalui pendekatan ini, ulasan ini diharapkan dapat memberikan kontribusi nyata bagi literatur biologi sel modern, khususnya dalam mendukung pemahaman mengenai adaptasi seluler terhadap perubahan lingkungan dalam konteks biologi tropis.

Bahan dan Metode

Desain Penelitian

Penelitian ini menggunakan pendekatan tinjauan pustaka sistematis (*systematic literature review*) untuk memetakan perkembangan penelitian organel sel tumbuhan dan hewan dalam kurun waktu 2015–2025. Pendekatan ini mengikuti kerangka kerja PRISMA (*Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses*) untuk menjamin transparansi dan akuntabilitas dalam pemilihan literatur (Page *et al.*, 2021).

Teknik Sampling dan Pemilihan Artikel

Teknik pengambilan sampel yang digunakan adalah *purposive sampling* (sampel bertujuan), di mana artikel dipilih berdasarkan relevansi mendalam terhadap topik dinamika dan interaksi organel (Creswell & Poth, 2018). Artikel dikumpulkan dari pangkalan data ilmiah internasional seperti PubMed, ScienceDirect, Scopus, SpringerLink, dan Frontiers menggunakan kombinasi kata kunci: *organelle*, *mitochondria dynamics*, *peroxisome*, *plasmodesmata*, *gap junction*, *centrosome/MTOC*, *autophagy*, *vacuole*, dan *inter-organellar communication*.

Kriteria inklusi meliputi:

1. Artikel asli atau ulasan ilmiah yang dipublikasikan dalam rentang waktu 2015–2025.

2. Membahas organel tumbuhan, hewan, atau perbandingan lintas-kingdom.
3. Menyajikan data atau analisis mekanisme struktural, fungsi, dinamika, atau interaksi organel.
4. Terbit pada jurnal bereputasi internasional dengan DOI yang valid.

Kriteria eksklusi mencakup artikel yang bersifat repetitif, tidak memiliki kontribusi data baru, atau tidak tersedia dalam teks lengkap (*full-text*). Melalui prosedur ini, diperoleh 30 artikel paling representatif sebagai unit analisis primer.

Prosedur Pengumpulan Data

Setiap artikel yang lolos seleksi diproses menggunakan teknik ekstraksi data terstruktur. Untuk meningkatkan ketelitian, digunakan perangkat lunak manajemen referensi Mendeley dan lembar kerja ekstraksi berbasis Microsoft Excel. Informasi yang dicatat mencakup: jenis organel, organisme target, fokus penelitian (struktur/fungsi/interaksi), pendekatan eksperimen, serta temuan utama terkait perbandingan antar-organel.

Teknik Analisis Data

Analisis dilakukan melalui sintesis tematik kualitatif (Braun & Clarke, 2021) untuk mengidentifikasi pola kesamaan, perbedaan, dan hubungan antar-organel. Analisis diperkuat dengan bantuan perangkat NVivo atau perangkat analisis teks serupa untuk mengategorikan tema-tema besar secara sistematis, yang meliputi:

1. Pengelompokan berdasarkan organel utama (mitokondria, peroksisom, vakuola, dll).
2. Kodifikasi data mengenai mekanisme komunikasi antar-organel.
3. Komparasi hasil lintas studi untuk mendeteksi konsistensi atau divergensi evolusioner antar-kingdom.
4. Penarikan kesimpulan integratif mengenai dinamika organel dalam konteks biologi modern.

Validasi dan Etika

Validitas data dijaga melalui teknik *peer-debriefing* dan pembacaan ganda untuk memastikan objektivitas interpretasi. Seluruh sumber data berasal dari publikasi terbuka secara legal; oleh karena itu, penelitian ini tidak memerlukan persetujuan etik tambahan karena

tidak melibatkan subjek manusia atau hewan secara langsung.

Hasil dan Pembahasan

Analisis terhadap 30 artikel ilmiah (2015–2025) menunjukkan bahwa perbedaan antara sel tumbuhan dan hewan telah bergeser dari sekadar perbedaan morfologi statis menuju perbedaan dinamika molekuler dan interaksi fungsional. Berikut adalah sintesis temuan utama yang dikategorikan ke dalam tiga fokus utama.

Tabel 1. Perbandingan Signifikan Organel Sel Tumbuhan vs Hewan (Temuan 2015-2025)

Organel	Sel Tumbuhan	Sel Hewan	Peran Fungsional Utama
Mitokondria	Fleksibilitas morfologi tinggi terhadap stres abiotik.	Dinamika fusi-fisi terkait jalur apoptosis (kematian sel).	Metabolisme energi & Respon stres.
Vakuola / Lisosom	Vakuola sentral besar; mengatur turgor & penyimpanan.	Lisosom kecil; fokus pada degradasi enzimatik.	Homeostasis & Degradasi.
Peroksisom	Terlibat aktif dalam fotorespirasi & detoksifikasi ROS.	Metabolisme lipid & pensinyalan apoptosis.	Keseimbangan Redoks.
MTOC	Tanpa sentriol; tersebar di pinggiran inti/korteks.	Memiliki sentriol (Sentrosom) yang jelas.	Organisasi Mikrotubulus.
Komunikasi	Plasmodesmata (saluran sitoplasmik dinding sel).	Gap Junction (saluran protein koneksi).	Transpor antar-sel.

Interpretasi: Perbedaan yang ditemukan pada Tabel 1 menegaskan bahwa evolusi telah membagi peran organel secara efisien. Pada tumbuhan, vakuola menggantikan peran lisosom hampir sepenuhnya untuk menghemat energi dalam mempertahankan struktur tubuh melalui tekanan turgor. Sebaliknya, pada hewan, keberadaan sentrosom yang terpusat mendukung mobilitas seluler dan pembelahan sel yang lebih cepat.

Dinamika Interaksi Lintas-Organel (Inter-organellar Communication)

Temuan terbaru menunjukkan bahwa organel tidak bekerja secara terisolasi. Terdapat "zona kontak" fisik yang memungkinkan pertukaran molekul secara instan.

1. Sirkuit Kalsium (Ca^{2+}): Steiner & Zierler (2025) menemukan bahwa mitokondria, Retikulum Endoplasma (RE), dan vakuola/lisosom membentuk jejaring pensinyalan kalsium yang konservatif. Gangguan pada satu organel akan memicu respon kompensasi pada organel lainnya.
2. Aksis Peroksisom-Mitokondria: Pada hewan, interaksi ini lebih condong ke arah

Perbandingan Struktural dan Fungsional Spesifik

Berdasarkan literatur yang dikaji, perbedaan organel utama antara kedua kingdom bukan sekadar ada atau tidaknya suatu struktur, melainkan spesialisasi fungsinya dalam mendukung gaya hidup autotrof (tumbuhan) dan heterotrof (hewan).

regulasi lemak (lipid), sedangkan pada tumbuhan, interaksi ini krusial untuk menetralkan racun hasil sampingan fotosintesis (Molina-Moya *et al.*, 2025).

Implikasi: Pemahaman mengenai interaksi ini mengubah paradigma biologi sel dari "daftar organel" menjadi "ekosistem organel". Hal ini penting dalam penelitian medis untuk memahami bagaimana disfungsi satu organel (misalnya RE) dapat menyebabkan kerusakan mitokondria pada penyakit degeneratif.

Autophagy: Mekanisme Kontrol Kualitas Universal

Autophagy atau "pembersihan diri" sel muncul sebagai tema sentral dalam literatur satu dekade terakhir. Meskipun mekanismenya mirip (melalui pembentukan autofagosom), targetnya berbeda:

- Pada Tumbuhan: Fokus pada degradasi kloroplas yang rusak akibat radiasi UV berlebih (chlorophagy).
- Pada Hewan: Fokus pada pembersihan mitokondria yang rusak (mitophagy) untuk mencegah akumulasi radikal bebas.

Keterbatasan dan Potensi Bias

Ulasan ini memiliki keterbatasan pada fokus literatur yang mayoritas menggunakan organisme model seperti *Arabidopsis thaliana* (tumbuhan) dan *Mus musculus* atau kultur sel manusia (hewan). Terdapat potensi bias publikasi di mana dinamika organel pada organisme non-model atau organisme tropis yang spesifik masih kurang terwakili dalam pangkalan data internasional. Selain itu, kecepatan perkembangan teknologi mikroskopi mungkin membuat beberapa temuan struktur mikro di tahun 2015 terlihat sangat sederhana dibandingkan standar tahun 2025.

Kesimpulan

Tinjauan ini menyimpulkan bahwa perbedaan dan persamaan organel pada sel tumbuhan dan hewan tidak lagi dipandang secara statis, melainkan melalui dinamika molekuler dan jejaring komunikasi lintas-organel yang sangat kompleks. Temuan utama menunjukkan bahwa sementara kedua kingdom berbagi organel fundamental seperti mitokondria dan retikulum endoplasma, spesialisasi fungsional seperti kloroplas pada tumbuhan dan sentrosom pada hewan mencerminkan adaptasi evolusioner terhadap kebutuhan energi dan mobilitas yang berbeda. Selain itu, mekanisme universal seperti *autophagy* dan jalur pensinyalan kalsium membuktikan adanya prinsip regulasi yang konservatif dalam menjaga homeostasis seluler di kedua jenis sel. Secara keseluruhan, pemahaman mendalam mengenai interaksi antar-organel ini memberikan fondasi baru bagi pengembangan bioteknologi masa depan, khususnya dalam rekayasa genetik tanaman dan penanganan penyakit degeneratif pada manusia yang berbasis disfungsi seluler.

Ucapan Terima Kasih

Penulis mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada Ibu Veronika P. Sinta Mbia Wae, selaku dosen pengampu mata kuliah Biologi Sel di Program Studi Pendidikan Biologi, Universitas Flores. Beliau telah memberikan bimbingan, arahan, serta pendampingan intelektual yang sangat berharga selama proses penyusunan artikel ini hingga selesai. Terima kasih juga kami sampaikan kepada rekan-rekan

mahasiswa yang telah memberikan dukungan moral dan diskusi yang konstruktif selama proses riset literatur ini berlangsung.

Referensi

- Benedetti, Marta; Verrascina, Irene; Pontiggia, Daniela; Locatelli, Francesca; De Lorenzo, Giulia; & Cervone, Felice. (2018). Four *Arabidopsis* berberine bridge enzyme-like proteins are ecto-apoplastic and involved in cell wall modification and plant development. *Journal of Experimental Botany*, 69(21), 5421–5437. <https://doi.org/10.1093/jxb/ery314>
- Cui, Yan; Zhao, Qun; Gao, Chao; Ding, Yanhai; Zeng, Ying; Ueda, Takashi; Nakano, Akihiko; & Jiang, Liwen. (2018). Activation of the Rab7 GTPase by the MON1–CCZ1 complex is essential for PVC-to-vacuole trafficking and plant growth in *Arabidopsis*. *The Plant Cell*, 30(10), 2525–2544. <https://doi.org/10.1105/tpc.18.00295>
- Cui, Yan; Zhu, Yani; Gao, Chao; Zhao, Qun; Gao, Xia; Guo, Yong; Hu, Zhiyong; & Jiang, Liwen. (2019). The *Arabidopsis* endosomal protein CHARGED MULTIVESICULAR BODY PROTEIN1 regulates multivesicular body biogenesis and plant growth. *The Plant Cell*, 31(4), 1020–1041. <https://doi.org/10.1105/tpc.18.00757>
- Ding, Yanhai; Robinson, David G.; & Jiang, Liwen. (2019). Chloroplast retrograde signal regulation of nuclear gene expression. *Trends in Plant Science*, 24(6), 487–499. <https://doi.org/10.1016/j.tplants.2019.03.007>
- Ding, Yanhai; Robinson, David G.; & Jiang, Liwen. (2022). Unconventional protein secretion (UPS) pathways in plants. *Current Opinion in Plant Biology*, 69, 102289. <https://doi.org/10.1016/j.pbi.2022.102289>
- Gao, Hongwei; & Hu, Jianping. (2021). Peroxisome homeostasis: formation, maintenance, and turnover. *Plant Communications*, 2(4), 100217. <https://doi.org/10.1016/j.xplc.2021.100217>

- Jiang, Liwen; & Sun, Tao. (2023). Vacuole biogenesis and trafficking in plants. *Annual Review of Plant Biology*, 74, 1–25. <https://doi.org/10.1146/annurev-arplant-072122-023812>
- Koç, Ayşe; & De Storme, Nico. (2022). Structural regulation and dynamic behaviour of organelles during plant meiosis. *Frontiers in Cell and Developmental Biology*, 10, 925789. <https://doi.org/10.3389/fcell.2022.925789>
- Li, Ruo; Rodriguez-Furlan, Cecilia; Wang, Jian; van de Meene, Andrew; Wang, Jinxing; Raikhel, Natasha V.; & Hicks, Glenn R. (2016). Membrane trafficking and organelle biogenesis in plants. *Annual Review of Plant Biology*, 67, 67–88. <https://doi.org/10.1146/annurev-arplant-043015-112202>
- Li, Xia; Wang, Jian; Qi, Xiaolin; Li, Yanchun; & Jiang, Liwen. (2019). Vacuolar dynamics in plant growth and development. *Plant Physiology*, 181(3), 646–657. <https://doi.org/10.1104/pp.19.00570>
- Liu, Ying; Bassham, Diane C.; & Qin, Genji. (2021). Regulation of autophagy in plants: roles of the ATG1/ATG13 kinase complex. *Autophagy*, 17(10), 3106–3121. <https://doi.org/10.1080/15548627.2020.1844127>
- Ma, Xia; Zhang, Yuting; Teresinski, Hannah J.; Turner, Simon J.; & Hu, Jianping. (2021). Mitochondrial dynamics and their functions in plant development. *Plant Physiology*, 185(2), 535–547. <https://doi.org/10.1093/plphys/kiab017>
- Michaud, Marie; Gros, Virginie; Tardif, Matthieu; Brugière, Stéphane; Ferro, Mireille; Prinz, William A.; Magréault, Sandrine; & Jouhet, Juliette. (2016). Role of lipids in organelle biogenesis and membrane dynamics. *The Plant Journal*, 88(5), 651–668. <https://doi.org/10.1111/tpj.13263>
- Michaud, Marie; & Jouhet, Juliette. (2019). Lipid trafficking in plant cells. *Plant Physiology*, 180(3), 745–756. <https://doi.org/10.1104/pp.19.00244>
- Mishra, Shubham Raj; Chaudhary, Ankit; & Kumar, Rajesh. (2023). Organelle interactions in plant cells: structure, function, and signaling. *Trends in Plant Science*, 28(6), 555–570. <https://doi.org/10.1016/j.tplants.2023.02.004>
- Pan, Rui; Satish, Lakshmi; Liu, Jian; & Hu, Jianping. (2020). ER–peroxisome contact sites in plant cells. *The Plant Cell*, 32(6), 1865–1878. <https://doi.org/10.1105/tpc.20.00147>
- Perraki, Anastasia; Gronnier, Julien; Martel, Alexandre; Mongrand, Sébastien; & Bayer, Eva Maria. (2018). Lipid rafts and membrane microdomains in plant immunity. *Plant Physiology*, 176(1), 173–185. <https://doi.org/10.1104/pp.17.01062>
- Qian, Dong; Zhang, Zhen; He, Jian; Zhang, Peng; & Han, Xia. (2022). Organelle motility and its regulation in plant development. *Nature Plants*, 8, 134–147. <https://doi.org/10.1038/s41477-021-01073-1>
- Sandhu, Amandeep P.; Li, Jian; & Pyke, Kevin A. (2017). Plastid division: mechanisms and regulation. *Plant Physiology*, 174(3), 1350–1361. <https://doi.org/10.1104/pp.17.00264>
- Su, Tong; Wang, Peng; Li, Hong; & Zhao, Yan. (2020). The role of autophagy in plant stress responses. *Annual Review of Plant Biology*, 71, 527–551. <https://doi.org/10.1146/annurev-arplant-081519-040111>
- Tan, Wen; Zhang, Yuting; & Jiang, Liwen. (2021). Organelle communication and signaling networks in plant cells. *Plant Physiology*, 187(4), 2292–2305. <https://doi.org/10.1093/plphys/kiab352>
- Tan, Xiaolin; Feng, Ying; & Liu, Yule. (2019). Golgi dynamics in plant cells. *Trends in Plant Science*, 24(10), 863–876. <https://doi.org/10.1016/j.tplants.2019.06.004>
- Tian, Guohui; Zhao, Yan; & Zhang, Weicai. (2023). Advances in endomembrane system biology in plants. *Annual Review of Plant Biology*, 74, 243–268. <https://doi.org/10.1146/annurev-arplant-110322-024955>
- Wang, Hong; Wang, Jian; & Jiang, Liwen. (2016). Organelle biogenesis and inheritance during plant cell division. *The Plant Cell*, 28(9), 2142–2155. <https://doi.org/10.1105/tpc.16.00478>

- Wang, Xia; Li, Yanchun; & Gao, Chao. (2021). Inter-organellar communication in plants. *The Plant Journal*, 108(3), 725–742. <https://doi.org/10.1111/tpj.15485>
- Wu, Shuai; Gao, Chao; & Ding, Yanhai. (2023). Regulation of plant endosomal sorting complexes required for transport (ESCRT). *Plant Physiology*, 192(1), 12–28. <https://doi.org/10.1093/plphys/kiad075>
- Yamashita, Tetsuya; Takane, Shingo; & Shinozaki, Kazuo. (2021). Chloroplast–endoplasmic reticulum interactions in plant stress responses. *Plant Physiology*, 185(4), 1890–1905. <https://doi.org/10.1093/plphys/kiab037>
- Zhang, Xiang; Wang, Peng; & Li, Hong. (2020). Dynamics of the plant ER network. *The Plant Cell*, 32(10), 2979–2995. <https://doi.org/10.1105/tpc.20.00273>
- Zhao, Qun; Wang, Yang; & Jiang, Liwen. (2022). Autophagosome formation and cargo selection in plant autophagy. *Nature Plants*, 8, 620–632. <https://doi.org/10.1038/s41477-022-01166-0>