

Urgensi Mempelajari Ontogeni dan Filogeni dalam Pembelajaran Biologi di SMA

Anggia Fitri Damayanti¹, Ridwan², Topik Hidayat^{3*}

^{1,2,3} Program Studi Magister Pendidikan Biologi, Universitas Pendidikan Indonesia

Received 02 Juni 2024

Revised 11 Desember 2024

Accepted 21 Desember 2024

Published 31 Desember 2024

Corresponding Author

Topik Hidayat,

Email: topikhidayat@upi.edu

Distributed under



ABSTRAK

Ontogeni merupakan proses perkembangan individu dari embrio hingga dewasa, sedangkan filogeni merupakan analisis hubungan evolusi antarspesies. Ontogeni dan filogeni menjadi dasar pemahaman perkembangan organisme dan sejarah evolusi, serta kajian lanjutan di bidang biologi. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis urgensi mempelajari ontogeni dan filogeni dalam pembelajaran biologi di SMA. Penelitian dilakukan dengan metode studi literatur terhadap artikel dan referensi yang relevan dengan topik. Analisis studi literatur menunjukkan adanya urgensi mempelajari ontogeni dan filogeni dalam pembelajaran biologi SMA. Dengan didukung pendekatan dan model pembelajaran yang tepat, pengetahuan terkait ontogeni dan filogeni perlu diajarkan kepada siswa SMA untuk meningkatkan pemahaman siswa terhadap konsep biologi yang lebih kompleks.

Kata Kunci: ontogeni; filogeni; urgensi pengajaran; pembelajaran biologi

CC BY-SA 4.0

1 PENDAHULUAN

Pembelajaran biologi memegang peranan penting dalam membentuk pemahaman siswa tentang kehidupan dan keragaman makhluk hidup. Untuk mendukung hal tersebut, mempelajari ontogeni dan filogeni merupakan hal yang sangat penting, terutama dalam memahami evolusi dan proses perkembangan makhluk hidup (Ferry, 2022). Dengan mempelajari ontogeni dan filogeni, siswa dapat memahami perkembangan individu dari embrio hingga dewasa serta hubungan evolusi antarspesies. Hal ini akan memberikan pemahaman yang lebih dalam mengenai hubungan antar makhluk hidup dan proses evolusinya. Dalam pembelajaran biologi di SMA, khususnya materi evolusi, penekanan terhadap pemahaman ontogeni dan filogeni sangatlah penting (Rizki & Nuranti, 2022). Dengan mempelajari ontogeni, siswa dapat memahami terjadinya perkembangan individu mulai dari fase embrio hingga menjadi individu dewasa, serta proses-proses yang terjadi dalam perkembangan tersebut. Sementara itu, melalui filogeni, siswa dapat memahami hubungan evolusi suatu spesies yang berkembang dari waktu ke waktu (Arnegard et al., 2014).

Pemahaman yang mendalam mengenai ontogeni dan filogeni akan memberikan landasan yang kuat dalam memahami berbagai konsep biologi lebih lanjut, seperti klasifikasi makhluk hidup, proses adaptasi, dan hubungan antarspesies (Candramila et al., 2016). Pembelajaran ontogeni dan filogeni di SMA akan memberikan pondasi yang kokoh bagi pemahaman siswa tentang kehidupan dan keragaman makhluk hidup, serta mempersiapkan siswa untuk memahami konsep-konsep biologi yang lebih kompleks di tingkat pendidikan yang lebih tinggi. Setelah mempelajari ontogeni dan filogeni, siswa diharapkan dapat

197 | How to cite this article (APA): Damayanti, AF., Ridwan, & Hidayat, T. (2024). Urgensi Mempelajari Ontogeni dan Filogeni dalam Pembelajaran Biologi di SMA. BIO-EDU: Jurnal Pendidikan Biologi, 9(3), 197-210. doi: <https://doi.org/10.32938/jbe.v9i3.7040>

mengaitkan konsep-konsep biologi yang mereka pelajari dengan contoh konkret dari kehidupan sehari-hari. Siswa juga diharapkan dapat memahami mekanisme evolusi yang telah membentuk beragam spesies, mekanisme adaptasi yang membantu spesies bertahan hidup, serta keanekaragaman hayati (Chamany et al., 2008).

Sayangnya, konsep ontogeni dan filogeni belum terlalu dalam diajarkan pada siswa SMA. Hal ini dapat dilihat dari tuntutan kurikulum di sekolah. Kompetensi Dasar (KD) pada Kurikulum 2013 maupun Capaian Pembelajaran (CP) pada Kurikulum Merdeka, keduanya masih terbatas pada konsep dasar evolusi, belum spesifik pada ontogeni dan filogeni. Keterbatasan ini harus menjadi perhatian para guru dalam mengajar biologi. Mempelajari ontogeni dan filogeni bukan hanya sekadar memahami evolusi dan perkembangan makhluk hidup, tetapi juga merupakan kunci untuk membuka pintu ke dalam dunia biologi yang lebih luas dan kompleks (Nurdiansyah et al., 2022).

Dalam konteks pembelajaran ontogeni dan filogeni, guru berperan sebagai fasilitator yang mampu membimbing siswa dalam memahami konsep-konsep tersebut, baik melalui pemaparan materi maupun dengan memberikan pertanyaan-pertanyaan yang mendorong siswa untuk berpikir kritis. Ontogeni dan filogeni belum terlalu dalam diajarkan pada siswa SMA karena para guru belum mengetahui urgensi mempelajari ontogeni dan filogeni dalam pembelajaran biologi. Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk menganalisis urgensi mempelajari ontogeni dan filogeni dalam pembelajaran biologi di SMA.

2 METODE

Penelitian yang dilakukan merupakan penelitian kualitatif dengan metode studi literatur. Metode studi literatur merupakan ringkasan tertulis yang mencakup artikel dari jurnal, buku, dan referensi lainnya, yang menjelaskan teori dan informasi dari masa lalu maupun masa kini, serta mengorganisasikan sumber-sumber tersebut ke dalam topik yang relevan (Creswell, 2019). Penelitian ini mengkaji sejumlah teori dan informasi terkait ontologi dan filogeni. Terdapat 30 sumber referensi yang digunakan untuk menganalisis ontologi filogeni dan urgensinya untuk dipelajari di Sekolah Menengah Atas (SMA). Oleh karena itu, tujuan penelitian ini adalah untuk menganalisis urgensi mempelajari ontogeni dan filogeni dalam pembelajaran biologi di jenjang SMA.

3 HASIL DAN PEMBAHASAN

Berdasarkan rumusan masalah dan pertanyaan penelitian yang telah dijelaskan, hasil dan pembahasan penelitian ini meliputi ruang lingkup materi ontogeni dan filogeni serta urgensi mempelajari ontogeni dan filogeni dalam pembelajaran biologi di SMA.

1. Ruang Lingkup Materi Ontogeni dan Filogeni

a) Pengertian Ontogeni

Ontogeni adalah proses perkembangan individu suatu organisme dari fertilisasi hingga dewasa dan mencakup semua perubahan yang dialami selama siklus hidup mereka. Ontogeni merujuk pada serangkaian perubahan yang terjadi pada individu dari awal pembentukan zigot hingga menjadi organisme dewasa (Atchley, 1987). Proses ontogeni meliputi berbagai tahapan perkembangan seperti embrio, bayi, anak-anak, remaja, hingga dewasa. Perubahan-perubahan dalam ontogeni melibatkan pertumbuhan fisik, perkembangan organ dan sistem dalam tubuh, serta perubahan perilaku yang terjadi seiring dengan bertambahnya usia (Ali & Meiri, 2023).

Ontogeni dipengaruhi oleh faktor-faktor genetik yang diwariskan dari orangtua, lingkungan tempat individu tumbuh dan berkembang, serta interaksi dengan organisme lain dalam lingkungan. Proses ontogeni juga dapat dipengaruhi oleh faktor eksternal seperti kondisi lingkungan yang ekstrim atau adanya tekanan seleksi alam (Webster & Zelditch, 2005). Dengan memahami ontogeni, kita dapat lebih memahami bagaimana proses evolusi spesies dapat memengaruhi perkembangan individu dalam suatu populasi. Pemahaman akan ontogeni juga memainkan peran penting dalam penelitian biologi evolusioner, yaitu dapat memperoleh wawasan yang lebih dalam tentang bagaimana evolusi berperan dalam membentuk berbagai karakteristik organisme (Bateson, 2016). Ontogeni menggabungkan proses pertumbuhan dan diferensiasi sel yang mengarah pada maturasi struktur dan fungsi organisme. Setiap spesies memiliki pola ontogeni yang unik (Wiśniewiecka-Kowalnik & Nowakowska, 2019).

b) Faktor yang Mempengaruhi Ontogeni

Faktor-faktor yang mempengaruhi ontogeni meliputi genetik, metabolisme, lingkungan, interaksi sosial dan ekologi, seleksi alam, serta kondisi ekstrem. Kode genetik yang diwariskan dari kedua orang tua dapat mempengaruhi ontogeni, didukung oleh proses kimia dalam tubuh dan faktor lingkungan seperti suhu, kelembapan, nutrisi yang tersedia, dan bahan kimia atau polutan di lingkungan (Ali & Meiri, 2023). Interaksi dengan organisme lain dan seleksi alam ikut membantu dalam membentuk perkembangan individu dengan memilih sifat tertentu yang lebih memungkinkan bertahan hidup dan reproduksi. Terakhir, faktor eksternal seperti cuaca yang ekstrem atau bencana alam mempengaruhi fisik dan psikologis pada organisme (Permana et al., 2024).

c) Contoh Ontogeni pada Berbagai Spesies

Perbandingan embrio vertebrata akan mengalami suatu tahapan, yaitu memiliki kantung pada bagian samping tenggorokan dan rongga tulang belakang. Dalam embriologi perbandingan, para ilmuwan membandingkan struktur dan perkembangan embrio dari berbagai spesies untuk memahami perbedaan dan kesamaan dalam evolusi organisme tersebut. Berdasarkan hasil studi komparatif, ditemukan bahwa semua anggota vertebrata memiliki kesamaan struktur dalam masa embrio. Namun, seiring perkembangan embrio membentuk suatu individu, ternyata mereka membentuk organ-organ yang berbeda (Ali & Meiri, 2023). Perbandingan embriologi pada vertebrata memberikan bukti kuat untuk evolusi karena menunjukkan kesamaan dalam tahap-tahap awal perkembangan embrio di antara spesies yang berbeda seperti yang terlihat pada gambar.



Gambar 1. Embriologi perbandingan

Sumber: Laubichler (2003)

Contoh konkret yang menarik adalah perbandingan antara manusia dan kera. Pada tahap awal perkembangan embrio, manusia dan kera memiliki embrio yang sangat mirip. Namun, kemudian mereka mengalami perkembangan yang berbeda karena faktor-faktor genetik dan lingkungan yang berbeda. Hal ini menunjukkan bahwa manusia dan kera memiliki nenek moyang yang sama dan mereka berevolusi dari satu nenek moyang yang sama (Kharlamova et al., 2023).

Dalam konteks yang lebih spesifik, kantung pada bagian samping tenggorokan dan rongga tulang belakang adalah bagian-bagian yang relevan dalam perbandingan embriologi vertebrata. Meskipun spesies-spesies vertebrata memiliki perbedaan dalam bentuk dan fungsi organ-organ ini, kesamaan dalam tahap-tahap awal perkembangan embrio menunjukkan hubungan kekerabatan dan evolusi yang saling terkait (Seehausen et al., 2014). Ontogeni dalam konteks embriologi perbandingan dan evolusi merujuk pada studi tentang pengembangan embrio pada berbagai organisme untuk memahami bagaimana perkembangan biologis terkait dengan evolusi spesies. Konsep ini mengeksplorasi bagaimana proses perkembangan (ontogeni) berbagai spesies dapat memberikan wawasan tentang hubungan filogenetik dan peristiwa evolusioner yang telah berlangsung (Kharlamova et al., 2023).

Fase ini bisa bervariasi cukup signifikan antara spesies. Misalnya, ikan laut memiliki fase larva planktonik yang dapat menyebar jauh dari tempat induknya bertelur, sementara ikan yang bertelur di dasar perairan tawar seringkali memiliki perkembangan yang lebih terlokalisir. Ontogeni juga tergantung pada kondisi lingkungan seperti suhu, salinitas, tersedianya makanan, dan predasi. Secara tradisional, embriologi perbandingan membandingkan embrio spesies yang berbeda pada tahap tertentu untuk mengidentifikasi kemiripan dan perbedaan. Hasilnya dapat mengungkap pola evolusi dan menunjukkan mekanisme bagaimana perubahan ontogenetik berkontribusi pada diversifikasi spesies (Martynov et al., 2022).

Setiap spesies memiliki pola ontogeni yang unik dengan berbagai tahapan dan mekanisme adaptasi yang memungkinkan mereka untuk bertahan hidup dan berkembang di lingkungan mereka masing-masing. Berikut beberapa pola ontogeni makhluk hidup.

1. **Kupu-kupu:** Ontogeni kupu-kupu melibatkan empat tahap yang berbeda: telur, larva atau ulat, pupa atau kepompong, dan akhirnya menjadi kupu-kupu dewasa. Setiap tahap memiliki perubahan morfologi dan fisiologis yang signifikan.
2. **Katak:** Ontogeni katak dimulai dengan telur yang menetas menjadi berudu. Berudu ini kemudian mengalami metamorfosis, mengembangkan anggota badan dan paru-paru, kehilangan ekor, dan berubah menjadi katak dewasa.
3. **Manusia:** Ontogeni manusia diawali dari pembuahan, berkembang menjadi embrio, lalu janin, dan dilahirkan sebagai bayi. Setelah itu, manusia melalui tahap bayi, anak-anak, remaja, dan menjadi dewasa, dengan perubahan besar dalam ukuran tubuh, kemampuan kognitif, dan maturasi sistem reproduksi (Kharlamova et al., 2023).
4. **Unggas:** Pada unggas seperti ayam, ontogeni dimulai dari telur yang dibuahi dan diinkubasi. Setelah menetas, anak ayam akan mengalami pertumbuhan cepat hingga mengembangkan bulu penutup dan akhirnya menjadi ayam dewasa yang siap untuk bereproduksi.
5. **Tumbuhan:** Ontogeni tumbuhan biasanya dimulai dari biji, yang berkecambah menjadi bakal tumbuhan atau kecambah. Kecambah tumbuh menjadi tanaman muda dengan daun

sejati, yang lalu berkembang menjadi tanaman dewasa dengan kemampuan bereproduksi melalui bunga, buah, dan biji baru.

Studi ontogeni dalam konteks embriologi perbandingan dan evolusi memberikan wawasan bagaimana evolusi tercipta dan diwariskan. Dengan demikian, manusia dapat lebih memahami keanekaragaman kehidupan dan asal-usul spesies makhluk hidup. Perbedaan ontogeni pada berbagai spesies menjelaskan bagaimana mekanisme evolusi tingkat molekuler dan seluler membentuk diversitas fenotipik yang ada saat ini (Kharlamova et al., 2023).

d) Kendala Perkembangan

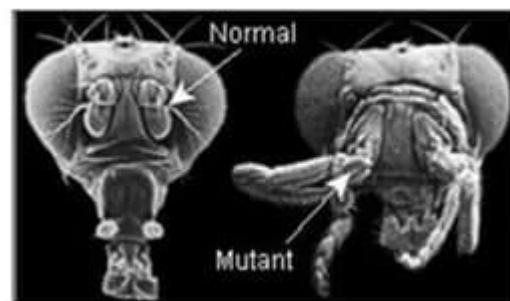
Setiap spesies memiliki pola ontogeni yang unik dengan berbagai tahapan dan mekanisme adaptasi yang memungkinkan mereka untuk bertahan hidup dan berkembang di lingkungan mereka masing-masing. Kendala perkembangan dalam konteks ontogeni mengacu pada keterbatasan yang mempengaruhi organisme untuk berevolusi atau berubah sepanjang perkembangan individunya. Berbagai faktor dapat membatasi jalur yang tersedia untuk ontogeni dan perubahan evolusioner, yaitu genetik, konservasi evolusioner, pleiotropi (munculnya dua atau lebih karakter berbeda yang dikendalikan oleh satu gen), regulasi epigenetik, pengaruh faktor lingkungan, polifenisme (kemampuan spesies menghasilkan lebih dari satu fenotip), dan ketidakmampuan spesies untuk bertahan dari gangguan. Kendala perkembangan ontogeni merupakan area aktif dalam penelitian biologi evolusioner yang terus dipelajari dan diperlukan seiring lingkungan yang terus berubah (Mackay & Anholt, 2024).

e) Proses Perkembangan Mempengaruhi Morfologi

Perubahan gen yang mengendalikan perkembangan dapat memiliki efek besar pada morfologi organisme. Contoh proses perkembangan yang mempengaruhi morfologi organisme dapat dilihat pada Gambar 2 dan Gambar 3.



Gambar 2. Mutasi pada gen yang mengendalikan perkembangan lalat buah dapat menyebabkan perubahan morfologi yang besar, misalnya lalat buah di sebelah kiri memiliki dua pasang sayap, bukan satu.

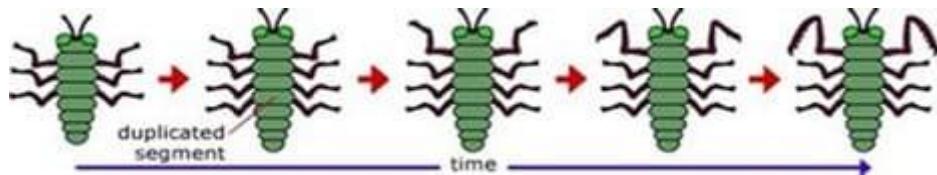


Gambar 3. Mutasi gen perkembangan lainnya dapat menyebabkan lalat buah mempunyai kaki yang sama dengan antena biasanya, seperti yang ditunjukkan pada lalat di sebelah kanan.

Sumber: evolution.berkeley.edu

Adapun jenis proses perkembangan yang dapat memengaruhi morfologi dapat dibedakan sebagai berikut:

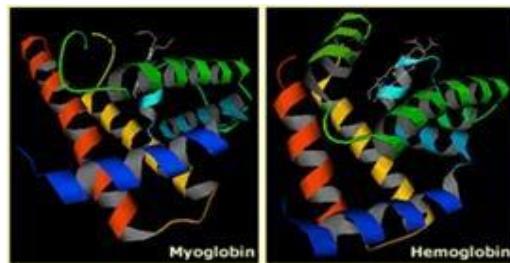
1. Duplikasi dan adaptasi



Gambar 4. Duplikasi dan kehilangan segmen tubuh Arthropoda

Sumber: <https://evolution.berkeley.edu/evo-devo/explaining-major-evolutionary-change/>

Duplikasi dan kehilangan segmen tubuh arthropoda adalah perubahan perkembangan yang mungkin terjadi berkali-kali dalam evolusi. Seiring perjalanan waktu sepasang kaki arthropoda yang paling depan dapat termodifikasi sebagai alat indra untuk mencari makanan yang kita kenal dengan nama pedipalpus.



Gambar 5. Mioglobin dan hemoglobin serupa

Sumber: evolution.berkeley.edu

Duplikasi dan adaptasi juga terjadi pada mioglobin dan hemoglobin. Duplikasi dan adaptasi secara molekuler pada protein globin menghasilkan berbagai protein globin dengan peran yang berbeda-beda, sehingga hemoglobin dan mioglobin memiliki fungsi yang tidak sama. Hemoglobin membawa oksigen ke jaringan tubuh, sedangkan mioglobin menyimpan cadangan oksigen untuk digunakan sel otot.

2. Individualisasi

Individualisasi adalah modifikasi dari bagian tubuh tertentu untuk melakukan fungsi khusus. Contohnya, sepasang kaki paling depan pada kalajengking berevolusi menjadi penjepit, sementara sepasang kaki pada laba-laba berevolusi menjadi "pompom" berwarna-warni yang digunakan dalam ritual perkawinan.



Gambar 6. Kalajengking telah berevolusi menjadi penjepit

Sumber: evolution.berkeley.edu

3. Heterochrony

Heterochrony adalah perubahan dalam waktu kejadian perkembangan. Perubahan waktu mungkin memperlambat perkembangan tubuh, tetapi tidak mengubah pematangan sistem reproduksi (Wakahara, 1996).



Gambar 7. Salamander
Sumber: evolution.berkeley.edu

Salamander melewati tahap larva dimana mereka memiliki insang eksternal yang berbulu (kiri). Kebanyakan salamander kehilangan insang ini ketika mereka bermetamorfosis menjadi salamander dewasa (tengah). Karena heterochrony, axolotl yang ada saat ini tetap mempertahankan insang eksternalnya hingga dewasa (kanan).

4. Pertumbuhan Alometrik

Pertumbuhan alometrik adalah perubahan laju pertumbuhan suatu bagian tubuh terhadap bagian tubuh lainnya (Pepe-Victoriano et al., 2021).



Gambar 8. Sayap kelelawar
Sumber: evolution.berkeley.edu

Sayap kelelawar pada dasarnya adalah cakar dengan jari yang sangat panjang dan kulit yang membentang di antaranya. Agar sayap-sayap ini dapat berevolusi, laju pertumbuhan tulang jari harus meningkat dibandingkan dengan pertumbuhan seluruh tubuh kelelawar atau mungkin laju pertumbuhan seluruh tubuh menurun dibandingkan dengan jari.

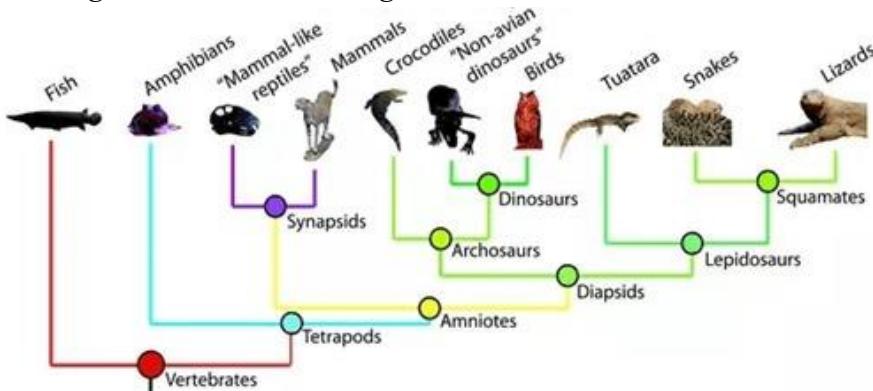
f) Pengertian Filogeni

Filogeni merupakan analisis yang mengacu pada sejarah evolusi dan hubungan kekerabatan antara berbagai spesies. Filogeni dibangun berdasarkan data morfologi, perilaku, genetik, dan ekologi untuk memberikan wawasan tentang cara spesies atau kelompok yang telah bercabang dari nenek moyang umum mereka (Lee et al., 2023). Filogeni menjadi hal penting dan mendasar dalam studi evolusi. Hal ini dimulai dari pengamatan Charles Darwin terhadap variasi fenotipik burung Finch di Kepulauan Galapagos. Pengamatan tersebut menunjukkan bahwa fenotip suatu organisme merupakan ekspresi informasi genetik yang dimiliki dan diwariskan ke generasi berikutnya, serta hasil interaksi dengan faktor lingkungan. Untuk mempelajari faktor-faktor yang mempengaruhi evolusi pada organisme, filogeni penting untuk dipelajari.

g) Konsep Pohon Filogenetik

Pohon filogenetik adalah diagram yang menunjukkan hubungan evolusi antara berbagai taksa. Pohon filogenetik merupakan alat penting yang digunakan oleh para ahli untuk mencatat dan mengintegrasikan informasi, menjelaskan fenomena, dan memprediksi hubungan antara

organisme (Kapli et al., 2020). Kemampuan untuk memahami pohon filogenetik disebut dengan *tree thinking* atau *cladistic thinking*.



Gambar 9. Pohon Filogenetik

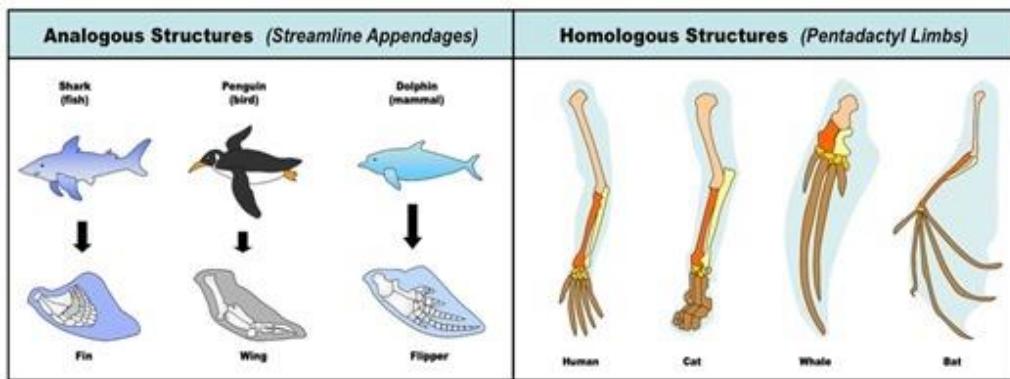
Sumber: biosci.gatech.edu

Dalam membuat atau menyusun pohon filogenetik, terdapat beberapa istilah yang harus dipahami, yaitu:

1. *Ingroup*, adalah takson atau kelompok utama organisme yang sedang dipelajari dan dibandingkan dalam analisis filogenetik.
2. *Outgroup*, adalah takson atau kelompok organisme yang diketahui berada di luar kelompok utama (*ingroup*) yang sedang dipelajari.
3. Karakter apomorf, adalah karakteristik atau fitur yang muncul sebagai inovasi evolusi baru yang tidak ada pada nenek moyang tetapi ada pada keturunannya.

h) Anatomi Komparatif

Di dalam analisis filogenetik, terdapat anatomi komparatif untuk membandingkan struktur anatomi dari berbagai organisme (Vogt, 2017). Anatomi komparatif melibatkan analisis bentuk dan fungsi bagian tubuh yang berbeda dari berbagai spesies untuk mengidentifikasi kesamaan dan perbedaan, sehingga dapat menjelaskan sejarah evolusi (Saiful et al., 2021). Terdapat beberapa hal yang perlu diperhatikan dalam anatomi komparatif, yaitu homologi, analogi, dan *vestigial structure*. Homologi merupakan bagian tubuh yang memiliki asal usul evolusi yang sama tetapi mungkin telah berubah fungsi dan/atau bentuknya. Analogi adalah bagian tubuh yang memiliki fungsi yang sama tetapi tidak berasal dari asal usul evolusi yang sama. Adapun *vestigial structure* atau struktur vestigial merupakan bagian tubuh yang telah kehilangan sebagian atau seluruh fungsi asalnya melalui evolusi (Rayner et al., 2022). Dengan melakukan anatomi komparatif, para ilmuwan dapat memperkirakan kapan dan bagaimana berbagai struktur anatomi berevolusi.



Gambar 10. Analogi dan Homologi

Sumber: biosci.gatech.edu

i) Filogenetik Molekuler

Filogenetik molekuler merupakan cabang dari filogeni yang menganalisis perbedaan molekul genetik yang dapat diturunkan, terutama dalam urutan DNA, untuk mendapatkan informasi tentang hubungan evolusi organisme (Horiike, 2016). Di dalam analisis filogenetik molekuler, ketika sekuen nukleotida atau protein dari dua organisme yang berbeda memiliki kemiripan, maka mereka diduga diturunkan dari sekuen nenek moyang yang sama (Uncu et al., 2015). Berbeda dengan filogenetik tradisional yang cenderung lambat dalam mendeteksi perubahan evolusi, filogenetik molekuler dapat mendeteksi perubahan evolusi dengan cepat dan memberikan wawasan tentang evolusi molekuler yang lebih detail karena menggunakan data molekuler seperti urutan DNA, RNA, dan protein.

j) Peran Fosil dalam Menerapkan Hubungan Filogenetik

Fosil memainkan peran krusial dalam menentukan hubungan filogenetik karena menyediakan bukti langsung tentang bentuk dan struktur nenek moyang organisme yang masih hidup (De Baets & Littlewood, 2015). Dengan menganalisis fosil, ilmuwan dapat mengidentifikasi karakteristik morfologis yang telah diwariskan dan berubah seiring waktu, sehingga membantu menyusun pohon filogenetik yang lebih akurat. Fosil juga memberikan gambaran tentang urutan dan periode kemunculan berbagai spesies dan kelompok taksonomi (Hunt & Rabosky, 2014). Selain itu, fosil dapat mengungkapkan organisme peralihan yang menunjukkan tahap-tahap evolusi antara kelompok utama.

2. Hubungan Antara Ontogeni dan Filogeni

Hubungan antara ontogeni dan filogeni saling terkait erat, dimana ontogeni mengacu pada perkembangan suatu organisme individu dari embrio hingga dewasa, dan filogeni menunjukkan sejarah evolusi dan hubungan antarspesies. Hukum Biogenetika yang dicetuskan Ernst Haeckel, dikenal sebagai "ontogeni mencerminkan filogeni", menyatakan bahwa perkembangan embrio suatu organisme mencerminkan tahapan evolusi nenek moyangnya (Levit et al., 2022). Meskipun gagasan ini memiliki beberapa kelemahan, para ahli perkembangan evolusioner modern (evo-devo) mengakui bahwa tahapan embrionik dapat mencerminkan proses evolusi dan mengungkapkan perubahan genetik pada sifat-sifat baru (Niklas & Kutschera, 2017). Oleh karena itu, ontogeni dan filogeni tidak dapat dipisahkan.

3. Urgensi Mempelajari Ontogeni dan Filogeni dalam Pembelajaran Biologi di SMA

Mempelajari ontogeni dan filogeni dalam pendidikan biologi di tingkat SMA memiliki sejumlah urgensi yang penting untuk diketahui oleh guru dan siswa. Pertama, kedua konsep ini

merupakan dasar dalam memahami bagaimana organisme berkembang dan spesies berubah sepanjang waktu, yang menjembatani berbagai disiplin ilmu biologi, seperti embriologi, genetika, dan teori evolusi Laubichler & Maienschein (2003). Konsep ini juga sangat terkait dengan kurikulum yang ada, termasuk topik pewarisan sifat, adaptasi, dan seleksi alam, sehingga membantu siswa memahami konsep-konsep yang lebih kompleks. Selain itu, mempelajari ontogeni dan filogeni melatih kemampuan berpikir kritis dan analitis siswa melalui studi kasus, yang berpengaruh pada pengambilan keputusan dalam kehidupan nyata.

Pemahaman tentang adaptasi dan perkembangan spesies juga memberikan siswa wawasan tentang pentingnya menjaga keanekaragaman hayati dan ekosistem, serta membangun perspektif evolusioner mengenai bagaimana karakteristik spesies mendukung kelangsungan hidupnya Cole & Currie (2007). Tidak hanya itu, konsep-konsep ini juga memiliki penerapan yang luas dalam bidang kedokteran, konservasi, dan bioteknologi, yang menunjukkan relevansi ontogeni dan filogeni dalam ilmu pengetahuan terapan. Dengan mengenal lebih dalam konsep-konsep ini, siswa akan meningkatkan literasi sains mereka, memahami terminologi ilmiah, dan siap untuk melanjutkan studi di bidang sains dan teknologi.

Selain itu, ontogeni dan filogeni memperkenalkan koneksi interdisipliner antara biologi, paleontologi, ekologi, dan genetika, yang memperkaya pengetahuan siswa tentang bagaimana berbagai disiplin ilmu bekerja bersama untuk menjawab pertanyaan besar tentang kehidupan Karni (2024). Proses pembelajaran ini juga bisa membangkitkan rasa ingin tahu siswa terhadap keragaman kehidupan di bumi, yang memotivasi mereka untuk mengeksplorasi lebih jauh topik-topik tersebut. Dalam konteks yang lebih luas, pemahaman tentang ontogeni dan filogeni juga memberikan bekal kepada siswa untuk berpikir tentang implikasi sosial dan etis dari penelitian biologi, serta lebih siap untuk terlibat dalam diskusi publik mengenai isu-isu ilmiah.

Kurikulum yang berkembang kini menekankan pembelajaran berbasis STEM yang terintegrasi, dan ontogeni serta filogeni merupakan aplikasi nyata dari prinsip-prinsip sains ini. Oleh karena itu, pendidikan biologi di tingkat SMA harus dapat mencerminkan kemajuan ilmiah terkini, sehingga siswa siap menghadapi tantangan di bidang biologi molekular, bioteknologi, dan sains lainnya. Selain itu, pemahaman terhadap konsep-konsep ini juga membantu siswa mempersiapkan diri untuk studi lanjutan di bidang ilmu hayati dan medis Mahfut, M. (2020). Di tingkat global, mempelajari filogeni memberikan pemahaman mengenai keragaman kehidupan dan evolusi pada berbagai ekosistem serta kebudayaan, yang turut membentuk siswa menjadi warga dunia yang lebih sadar dan bertanggung jawab. Terakhir, pemahaman tentang ontogeni dan filogeni juga relevan dengan kehidupan sehari-hari, memberikan wawasan tentang pertumbuhan dan perkembangan individu serta peran genetika dan lingkungan dalam membentuk karakter dan kepribadian seseorang.

Melalui pembelajaran ontogeni dan filogeni, siswa di SMA tidak hanya meningkatkan pengetahuan biologi mereka tetapi juga mengembangkan pemahaman yang lebih dalam tentang dunia alam (*nature world*) dan interaksi kompleks yang menentukan struktur dan fungsi organisme. Hal ini memungkinkan mereka untuk menghargai warisan biologis dan menempatkan pengetahuan mereka dalam konteks historis dan evolusioner yang lebih luas. Mempelajari ontogeni dan filogeni membuat siswa terlatih untuk berpikir kritis, menganalisis informasi, dan mengaitkan konsep-konsep teori dengan situasi nyata (Santosa et al., 2021).

Metode pembelajaran yang menarik dan inovatif dapat dilakukan guru untuk mengajarkan ontogeni dan filogeni di SMA (Candramila et al., 2016). Berbagai metode dapat

diterapkan dalam mengajarkan konsep ontogeni, tetapi metode yang paling baik adalah metode yang melibatkan teknologi dalam pembelajaran, seperti penggunaan perangkat lunak untuk memvisualisasikan proses ontogeni dari embrio hingga dewasa (Santosa et al., 2021). Bantuan teknologi dalam metode pembelajaran membuat siswa dapat melihat secara langsung perkembangan individu dan perubahan yang terjadi pada setiap tahap perkembangan.

Adapun untuk mempelajari filogeni, guru dapat menggunakan pendekatan kontekstual atau dengan metode pembelajaran berbasis proyek, dimana siswa diberi tugas untuk menyelidiki hubungan evolusioner antar spesies melalui studi kasus dan analisis data genetik. Dengan memanfaatkan pendekatan dan metode tersebut, siswa akan terlibat aktif dalam memahami konsep filogeni dan dapat melihat secara langsung bagaimana bukti-bukti evolusi ditemukan dan dianalisis dalam konteks ilmiah (Adrianto et al., 2017). Selain metode yang mengutamakan teknologi dan berbasis proyek, pembelajaran kolaboratif juga dapat menjadi salah satu metode efektif dalam mempelajari ontogeni dan filogeni. Dalam pembelajaran kolaboratif, siswa diajak untuk bekerja sama dalam kelompok untuk memecahkan masalah terkait ontogeni dan filogeni. Dengan cara ini, siswa tidak hanya akan belajar dari guru, tetapi juga dari interaksi dengan teman sekelas, sehingga mereka akan lebih terlibat dan termotivasi dalam memahami konsep-konsep tersebut. Guru juga perlu memberikan dukungan dan penghargaan terhadap usaha siswa dalam memahami ontogeni dan filogeni, sehingga siswa merasa termotivasi dan percaya diri dalam proses pembelajaran.

Dengan mengetahui urgensi mempelajari ontogeni dan filogeni, serta didukung oleh pendekatan dan penerapan metode pembelajaran yang inovatif, diharapkan guru dapat mengajarkan ontogeni dan filogeni lebih dalam pada pembelajaran biologi. Dengan demikian, pemahaman siswa tentang ontogeni dan filogeni akan meningkat secara signifikan. Siswa diharapkan dapat melihat relevansi konsep-konsep ontogeni dan filogeni dalam kehidupan sehari-hari agar memiliki landasan yang kuat dalam memahami konsep-konsep biologi yang lebih kompleks di masa mendatang (Liu et al., 2024).

4 KESIMPULAN

Ontogeni dan filogeni memiliki berbagai urgensi untuk dipelajari dalam pembelajaran biologi di SMA. Urgensi tersebut diantaranya dapat mengembangkan pemahaman siswa terkait perkembangan makhluk hidup, mengenal sejarah evolusioner antarspesies, mengembangkan kemampuan berpikir kritis siswa, dan mempersiapkan pemahaman siswa untuk mempelajari konsep biologi lebih lanjut. Dengan didukung oleh pendekatan dan model pembelajaran yang sesuai, pengetahuan terkait ontogeni dan filogeni pada siswa SMA perlu diajarkan untuk meningkatkan pemahaman siswa terkait konsep biologi yang lebih kompleks.

DAFTAR RUJUKAN

- Adrianto, O. M., Candramila, W., & Ariyati, E. (2017). Analisis konsepsi dan miskonsepsi siswa kelas xii ipa sma don boso sanggau pada materi evolusi. *Jurnal Pendidikan Biologi UNTAN*, 3(1), 1–9. <http://jurnal.untan.ac.id/index.php/jpdpb/article/view/19732>
- Ali, J. R., & Meiri, S. (2023). Ontogeny of islands associated with mantle-plume hotspots and its implications for biogeographical models. *Evolving Earth*, 1(August), 100007. <https://doi.org/10.1016/j.eve.2023.100007>

- Arnegard, M. E., McGee, M. D., Matthews, B., Marchinko, K. B., Conte, G. L., Kabir, S., Bedford, N., Bergek, S., Chan, Y. F., Jones, F. C., Kingsley, D. M., Peichel, C. L., & Schluter, D. (2014). Genetics of ecological divergence during speciation. *Nature*, 511(7509), 307–311. <https://doi.org/10.1038/nature13301>
- Atchley, W. R. (1987). Developmental Quantitative Genetics and the Evolution of Ontogenies. *Evolution*, 41(2), 316. <https://doi.org/10.2307/2409141>
- Bateson, M. C. (2016). The Myths of Independence and Competition. *Systems Research and Behavioral Science*, 33(5), 674–677. <https://doi.org/10.1002/sres.2424>
- Candramila, W., Adrianto, O. M., & Ariyati, E. (2016). Pemahaman konsep evolusi di Perguruan Tinggi. *Seminar Nasional Pendidikan Dan Saintek 2016, May 2016*, 878–886. <https://publikasiilmiah.ums.ac.id/handle/11617/8026>
- Chamany, K., Allen, D., & Tanner, K. (2008). Making biology learning relevant to students: Integrating people, history, and context into college biology teaching. *CBE Life Sciences Education*, 7(3), 267–278. <https://doi.org/10.1187/cbe.08-06-0029>
- Cole, N. J. and Currie, P. D. (2007). Insights from sharks: evolutionary and developmental models of fin development. *Developmental Dynamics*, 236(9), 2421-2431. <https://doi.org/10.1002/dvdy.21268>
- Creswell, J. W. (2019). *Research Design Qualitative, Quantitative, and Mixed Method Approaches*. Sage Publication.
- De Baets, K., & Littlewood, D. T. J. (2015). The Importance of Fossils in Understanding the Evolution of Parasites and Their Vectors. In *Advances in Parasitology* (Vol. 90). Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/bs.apar.2015.07.001>
- Ferry, D. (2022). Peningkatan Hasil Belajar dan Keaktifan Mahasiswa Melalui Strategi Pembelajaran Peta Konsep Pada Mata Kuliah Evolusi. *Journal on Education*, 5(1), 39–46. <https://doi.org/10.31004/joe.v5i1.555>
- Horiike, T. (2016). an Introduction To Molecular Phylogenetic Analysis. *Reviews in Agricultural Science*, 4(0), 36–45. <https://doi.org/10.7831/ras.4.36>
- Hunt, G., & Rabosky, D. L. (2014). Phenotypic evolution in fossil species: Pattern and process. *Annual Review of Earth and Planetary Sciences*, 42, 421–441. <https://doi.org/10.1146/annurev-earth-040809-152524>
- Kapli, P., Yang, Z., & Telford, M. J. (2020). Phylogenetic tree building in the genomic age. *Nature Reviews Genetics*, 21(7), 428–444. <https://doi.org/10.1038/s41576-020-0233-0>
- Karni, I., Nalurita, I., Gemma Pravitri, K., Naufali, M. N., & Meikapasa, N. W. P. (2024). Analisis struktur genetik dan filogenetik bakteri lactobacillus plantarum yang diisolasi dari produk pangan. *Food Scientia: Journal of Food Science and Technology*, 4(1), 72-86. <https://doi.org/10.33830/fsj.v4i1.6488.2024>
- Kharlamova, A. S., Godovalova, O. S., Otylyga, E. G., & Proshchina, A. E. (2023). Primary and secondary olfactory centres in human ontogeny. *Neuroscience Research*, 190(November 2022), 1–16. <https://doi.org/10.1016/j.neures.2022.12.005>
- Laubichler, M. D. and Maienschein, J. (2003). Ontogeny, anatomy, and the problem of

- homology: carl gegenbaur and the american tradition of cell lineage studies. *Theory in Biosciences*, 122(2-3), 194-203. <https://doi.org/10.1007/s12064-003-0053-8>
- Lee, H., Jeong, D., & Lee, J.-D. (2023). Drivers of institutional evolution: phylogenetic inertia and ecological pressure. *Journal of Evolutionary Economics*, 33(2), 279–308. <https://doi.org/10.1007/s00191-023-00813-x>
- Levit, G. S., Hoßfeld, U., Naumann, B., Lukas, P., & Olsson, L. (2022). The biogenetic law and the Gastraea theory: From Ernst Haeckel's discoveries to contemporary views. *Journal of Experimental Zoology Part B: Molecular and Developmental Evolution*, 338(1–2), 13–27. <https://doi.org/10.1002/jez.b.23039>
- Liu, B. W., Guo, H. Y., Liu, B. S., Zhang, N., Zhu, K. C., Yan, K. Q., Sun, J. H., & Zhang, D. C. (2024). Early development and allometric growth patterns of Larimichthys crocea (Richardson, 1846). *Aquaculture*, 584(November 2023), 740642. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2024.740642>
- Mackay, T. F. C., & Anholt, R. R. H. (2024). Pleiotropy, epistasis and the genetic architecture of quantitative traits. *Nature Reviews Genetics*. <https://doi.org/10.1038/s41576-024-00711-3>
- Mahfut, M. (2020). Aplikasi filogenetik di dunia biologi kesehatan: melacak pandemi patogen. *Teknosains: Media Informasi Sains Dan Teknologi*, 14(2). <https://doi.org/10.24252/teknosains.v14i2.15406>
- Martynov, A., Lundin, K., & Korshunova, T. (2022). Ontogeny, Phylotypic Periods, Paedomorphosis, and Ontogenetic Systematics. *Frontiers in Ecology and Evolution*, 10(May), 1–23. <https://doi.org/10.3389/fevo.2022.806414>
- Niklas, K. J., & Kutschera, U. (2017). From Goethe's plant archetype via Haeckel's biogenetic law to plant evo-devo 2016. *Theory in Biosciences*, 136(1–2), 49–57. <https://doi.org/10.1007/s12064-016-0237-7>
- Nurdiansyah, I., Hartati, S., & Paujiah, E. (2022). Analisis Miskonsepsi Siswa Pada Materi Getaran, Gelombang, Dan Bunyi. *Jurnal Literasi Pendidikan Dasar*, 3(2), 132–139.
- Pepe-Victoriano, R., Miranda, L., Ortega, A., & Merino, G. E. (2021). Descriptive morphology and allometric growth of the larval development of Sarda chiliensis chiliensis (Cuvier, 1832) in a hatchery in northern Chile. *Aquaculture Reports*, 19(October 2020), 0–11. <https://doi.org/10.1016/j.aqrep.2020.100576>
- Permana, A. L., Permana, J. J., Nellissen, L., Prasetyo, D., Wich, S. A., van Schaik, C. P., & Schuppli, C. (2024). The ontogeny of nest-building behaviour in Sumatran orang-utans, *Pongo abelii*. *Animal Behaviour*, 211, 53–67. <https://doi.org/10.1016/j.anbehav.2024.02.018>
- Rayner, J. G., Sturiale, S. L., & Bailey, N. W. (2022). The persistence and evolutionary consequences of vestigial behaviours. *Biological Reviews*, 97(4), 1389–1407. <https://doi.org/10.1111/brv.12847>
- Rizki, I. M., & Nuranti, G. (2022). Profil Kemampuan Literasi Numerasi Peserta Didik SMA Pada Pembelajaran Biologi Kelas XII Pada Materi Evolusi. *BIODIK: Jurnal Ilmiah Pendidikan Biologi*, 8(3), 36–42. <https://online-journal.unja.ac.id/biodik>

- Saiful, M., Febrina, H. S., Fauzan, M., Maisa, D. R. V., Maolani, A., Suryanda, A., & Dewahrani, Y. R. (2021). Studi Literatur Perbandingan Keanekaragaman Kelelawar di Pulau Kalimantan dan Jawa. *BIO-EDU: Jurnal Pendidikan Biologi*, 12(3), 146–157. <https://doi.org/https://doi.org/10.32938/jbe.v6i3.1338>
- Santosa, T. A., Sepriyani, E. M., Lufri, L., Razak, A., Chatri, M., & Violita, V. (2021). Analisis E-Learning Dalam Pembelajaran Evolusi Mahasiswa Pendidikan Biologi Selama Pandemi Covid-19. *Edumaspul: Jurnal Pendidikan*, 5(1), 66–70. <https://doi.org/10.33487/edumaspul.v5i1.1027>
- Seehausen, O., Butlin, R. K., Keller, I., Wagner, C. E., Boughman, J. W., Hohenlohe, P. A., Peichel, C. L., Saetre, G. P., Bank, C., Brännström, Å., Brelsford, A., Clarkson, C. S., Eroukhmanoff, F., Feder, J. L., Fischer, M. C., Foote, A. D., Foote, A. D., Franchini, P., Jiggins, C. D., ... Widmer, A. (2014). Genomics and the origin of species. *Nature Reviews Genetics*, 15(3), 176–192. <https://doi.org/10.1038/nrg3644>
- Uncu, A. O., Uncu, A. T., Celik, I., Doganlar, S., & Frary, A. (2015). A Primer to Molecular Phylogenetic Analysis in Plants. *Critical Reviews in Plant Sciences*, 34(4), 454–468. <https://doi.org/10.1080/07352689.2015.1047712>
- Vogt, L. (2017). Assessing similarity: on homology, characters and the need for a semantic approach to non-evolutionary comparative homology. *Cladistics*, 33(5), 513–539. <https://doi.org/10.1111/cla.12179>
- Wakahara, M. (1996). Heterochrony and neotenic salamanders: Possible clues for understanding the animal development and evolution. *Zoological Science*, 13(6), 765–776. <https://doi.org/10.2108/zsj.13.765>
- Webster, M., & Zelditch, M. L. (2005). Evolutionary modifications of ontogeny: heterochrony and beyond. *Paleobiology*, 31(3), 354–372. [https://doi.org/10.1666/0094-8373\(2005\)031\[0354:emooha\]2.0.co;2](https://doi.org/10.1666/0094-8373(2005)031[0354:emooha]2.0.co;2)
- Wiśniowiecka-Kowalnik, B., & Nowakowska, B. A. (2019). Genetics and epigenetics of autism spectrum disorder—current evidence in the field. *Journal of Applied Genetics*, 60(1), 37–47. <https://doi.org/10.1007/s13353-018-00480-w>