



Biodik: Jurnal Ilmiah Pendidikan Biologi
ISSN 2580-0922 (online), ISSN 2460-2612 (print)
Volume 10, Nomor 03, Tahun 2024, Hal. 321-335
Available online at:
<https://online-journal.unja.ac.id/biodik>



Research Article



Pentingnya Memahami Partenogenesis dan Evolusi pada Pembelajaran Biologi dalam Konteks Kurikulum Merdeka

(The Importance of Understanding Parthenogenesis and Evolution in Biology Learning in the Context of the Independent Curriculum)

Dini Nurani Rahmawati, Kartika Nahdiyati, Topik Hidayat*

Magister Pendidikan Biologi, Universitas Pendidikan Indonesia

Jl. Dr. Setiabudi No. 229, Isola, Kec. Sukasari, Kota Bandung, Jawa Barat 40154

*Corresponding Author: topikhidayat@upi.edu

Informasi Artikel	ABSTRACT
Submit: 31 – 05 – 2024 Diterima: 19 – 08 – 2024 Dipublikasikan: 05 – 09 – 2024	<p><i>Understanding parthenogenesis is understanding an alternative way animals reproduce asexually where females produce eggs that develop without fertilization. Parthenogenesis is evidence of a form of reproductive adaptation when the environment does not allow sexual reproduction. The understanding of parthenogenesis, which initially existed in the 2013 curriculum, became absent in the independent curriculum. This research aims to review the importance of understanding parthenogenesis and its relation to evolution in biology learning. This research uses a literature study method based on journals, books, and other relevant sources. Understanding parthenogenesis and evolution is needed and supports in understanding some advanced biology materials, especially for practical applications in modern biotechnology. Therefore, having an understanding of parthenogenesis and evolution is very necessary for students in learning biology. Inquiry learning is considered suitable for teaching this material. With the flexibility in the independent curriculum, it is necessary for students to understand this parthenogenesis material more deeply.</i></p> <p>Key words: <i>parthenogenesis, evolution, biology learning</i></p>
Penerbit	ABSTRAK
Program Studi Pendidikan Biologi FKIP Universitas Jambi, Jambi- Indonesia	<p>Memahami partenogenesis adalah memahami cara alternatif hewan bereproduksi secara aseksual dimana betina menghasilkan telur yang berkembang tanpa fertilisasi. Partenogenesis merupakan bukti bentuk adaptasi reproduktif saat lingkungan tidak memungkinkan terjadinya reproduksi secara seksual. Pemahaman mengenai partenogenesis yang mulanya ada pada kurikulum 2013 menjadi tidak ada dalam kurikulum merdeka. Penelitian ini bertujuan untuk meninjau seberapa pentingnya pemahaman partenogenesis dan kaitannya dengan evolusi dalam pembelajaran biologi. Penelitian ini menggunakan metode studi literatur berdasarkan jurnal, buku, dan sumber yang relevan lainnya. Pemahaman partenogenesis dan evolusi sangat dibutuhkan dan menunjang dalam memahami beberapa materi biologi lanjutan terutama untuk aplikasi praktis pada bioteknologi modern. Oleh karena itu, memiliki pemahaman partenogenesis dan evolusi sangat perlu dimiliki oleh siswa dalam pembelajaran biologi. Pembelajaran inkuiri dipandang cocok untuk membelajarkan materi ini. Dengan adanya fleksibilitas pada kurikulum merdeka, maka dipandang perlu siswa memahami materi partenogenesis ini dengan lebih mendalam.</p> <p>Kata kunci: partenogenesis, evolusi, pembelajaran biologi.</p>



This Biodik : Jurnal Ilmiah Pendidikan Biologi is licensed under a [CC BY-NC-SA \(Creative Commons Attribution-ShareAlike 4.0 International License\)](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

PENDAHULUAN

Dunia hewan menunjukkan keragaman yang besar dalam cara reproduksi. Reproduksi seksual, merupakan proses reproduksi yang melibatkan peleburan gamet dari individu yang berbeda. Dengan demikian, reproduksi seksual adalah mekanisme seluler yang mendasar. Memahami asal-usul serta evolusi reproduksi seksual terus menjadi tujuan utama dalam biologi (Maynard-Smith J, 1978). Selain reproduksi seksual yang terkenal dan tersebar luas, spesies dapat bereproduksi secara aseksual, melalui partenogenesis. Dalam partenogenesis, jantan tidak ditemukan dalam spesies atau populasi. Bertentangan dengan pentingnya reproduksi seksual bagi kelangsungan suatu organisme, beberapa wawasan mengenai pemahaman tentang seks dipahami dari kajian evolusi populasi aseksual. Keanekaragaman sistem reproduksi yang dipertahankan hingga sekarang masih menjadi pertanyaan besar dalam biologi evolusi (Kooi et al., 2017). Berbagai penelitian teoritis dan empiris telah membahas keuntungan evolusioner jangka panjang dari reproduksi seksual dibandingkan dengan reproduksi aseksual (Otto, 2009). Akan tetapi, pada artikel ini akan dibahas bagaimana reproduksi aseksual dapat memberikan keuntungan pada populasi secara jangka panjang.

Partenogenesis adalah reproduksi aseksual tanpa partisipasi jantan, yang merupakan model nol untuk reproduksi seksual. Kita dapat memperluas pemahaman kita tentang evolusi dan ekologi seks dengan menyelidiki konsekuensi partenogenesis (Fujita et al., 2020). Dengan kemajuan dalam metode komputasi dan teknologi genom, para peneliti dapat membuat kemajuan pesat dan signifikan dalam mempelajari asal-usul evolusi partenogenesis pada vertebrata, sehingga memberikan pandangan penting dalam memahami pola keanekaragaman hayati pada populasi aseksual dan seksual. Salah satu hipotesis yang dapat menjelaskan variasi luas dalam frekuensi partenogenesis di antara taksa adalah bahwa kendala perkembangan dan faktor genetik mengurangi transisi dari reproduksi seksual ke partenogenesis dalam beberapa kasus (Engelstaedter, 2008).

Berdasarkan penelitian yang dilakukan di India, masih terjadi miskonsepsi mengenai pembelahan sel dan reproduksi, salah satunya tentang pemahaman bahwa fertilisasi terjadi pada partenogenesis (Rafat & Ali, 2023). Lebih lanjut dijelaskan bahwa materi pembelahan dan reproduksi sel merupakan konsep dasar pada pembelajaran biologi sel pada tingkat sekolah menengah dan sekolah tingkat tinggi. Jika mahasiswa tidak memiliki pemahaman konsep yang benar, maka mereka tidak akan mampu memahami konsep-konsep kompleks dalam biologi sel. Manajemen sekolah dan guru harus berupaya menemukan dan memperbaiki kesalahpahaman di kalangan siswa.

Materi partenogenesis dan evolusi terdapat baik pada jenjang SMP maupun jenjang SMA. Akan tetapi, terdapat perbedaan materi esensial pada kurikulum 2013 dan kurikulum merdeka. Perbandingan materi esensial pada kurikulum 2013 dan kurikulum merdeka terdapat pada Tabel 1. Pada kurikulum 2013 jenjang smp, materi partenogenesis termasuk ke dalam reproduksi hewan dan tumbuhan, dan secara khusus menjadi subbab tersendiri. Sedangkan pada kurikulum merdeka, materi mengenai partenogenesis tidak secara spesifik terdapat pada capaian pembelajaran. Sedangkan pada jenjang SMA, materi reproduksi terdapat baik dalam kurikulum 2013 dan kurikulum merdeka. Pada kurikulum merdeka juga terdapat materi evolusi yang bisa dikaitkan dengan materi partenogenesis.

Tabel 1. Perbandingan Kurikulum 2013 dan Kurikulum Merdeka

Jenjang	Kompetensi Dasar pada Kurikulum 2013	Capaian Pembelajaran pada Kurikulum Merdeka
SMP	3.2 Menganalisis sistem perkembangbiakan pada tumbuhan dan hewan serta penerapan teknologi pada sistem reproduksi tumbuhan dan hewan. 4.2 Menyajikan karya hasil perkembangbiakan pada tumbuhan	Peserta didik memahami proses identifikasi makhluk hidup sesuai dengan karakteristiknya; sifat dan karakteristik zat, perubahan fisika dan kimia, serta pemisahan campuran sederhana; sistem organisasi kehidupan, fungsi, serta kelainan atau gangguan yang muncul pada sistem organ;
SMA	3.9 Mengelompokkan hewan ke dalam filum berdasarkan lapisan tubuh, rongga tubuh, simetri tubuh, reproduksi. 4.9 Menyajikan laporan perbandingan kompleksitas lapisan penyusun tubuh hewan (diploblastik dan triploblastik), simetri tubuh, rongga tubuh, dan reproduksinya	Pemahaman tentang fakta, konsep, prinsip, hukum, teori, dan model pada materi sel dan bioproses yang terjadi di dalamnya, sistem organ, evolusi, pewarisan sifat, pertumbuhan dan perkembangan.

Berdasarkan paparan tersebut maka dapat diketahui bahwa pemahaman mengenai partenogenesis memiliki peran penting dalam pembelajaran biologi. Materi partenogenesis dan evolusi masih relevan dan dapat dikembangkan dalam pembelajaran kurikulum merdeka. Dengan demikian, penulis berupaya untuk menganalisis urgensi pemahaman partenogenesis pada pembelajaran biologi dalam sebuah kajian literatur yang diberi judul "Pentingnya Memahami Partenogenesis dalam Pembelajaran Biologi pada Kurikulum Merdeka".

METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan metode kajian pustaka atau *systematic literature review*. Kajian pustaka adalah penelusuran dan analisis berbagai sumber pustaka seperti buku, jurnal, dan publikasi lain yang berkaitan dengan topik penelitian untuk menghasilkan tulisan tentang isu tertentu (Marzali, 2017). Pengumpulan data dilakukan melalui kajian pustaka dari sumber yang relevan, yang kemudian dianalisis dan diklasifikasi. Sumber rujukan penelitian mencakup buku, jurnal nasional, dan jurnal internasional yang relevan dengan fokus penelitian. Proses kajian literatur melalui tahapan pada gambar 1.



Gambar 1. Tahap Kajian Literasi (Asbar & Witarsa, 2020)

Dalam melakukan reduksi artikel, peneliti menetapkan beberapa kriteria, diantaranya menggunakan kata kunci partenogenesis, evolusi, serta pembelajaran pada kurikulum merdeka. Data atau informasi yang telah diperoleh kemudian disusun berdasarkan hasil studi literatur yang tepat dan dapat dipertanggungjawabkan. Reduksi data memudahkan penulis memilih data dari literatur secara valid sekaligus menyajikan data dalam bentuk naratif (Jumriani et al., 2021). Hasil pembahasan dan kesimpulan dalam artikel ini merupakan hasil analisis berbagai sumber ilmiah yang relevan untuk membahas pentingnya memahami partenogenesis dan evolusi pada pembelajaran biologi. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk memahami pentingnya partenogenesis dan evolusi dalam pembelajaran biologi.

HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

1. Ruang lingkup Partenogenesis

Parthenogenesis berasal dari Bahasa Yunani yaitu *Parthenos* yang berarti “Perawan” dan *Genesis* yang berarti “Penciptaan”. Partenogenesis adalah proses dimana sel telur dapat berkembang menjadi individu tanpa partisipasi dari keberadaan jantan. Partenogenesis ini mungkin terjadi pada invertebrata dan vertebrata seperti burung, ikan, dan reptil. Meskipun mamalia dapat memulai proses partenogenesis, mereka biasanya tidak melahirkan keturunan partenogenetik (Ngwu et al., 2024). Dalam memahami partenogenesis, perlu dipahami mengenai sejarah partenogenesis, macam-macam partenogenesis, asal-usul partenogenesis dan faktor-faktor yang memengaruhi partenogenesis.

Partenogenesis adalah perkembangan sel telur yang tidak dibuahi menjadi individu baru. Diciptakan oleh Carl Theodor Ernst von Siebold (lahir 1804–meninggal 1885) pada tahun 1871. Arti harfiah partenogenesis adalah “reproduksi perawan”—dimana reproduksi terjadi tanpa adanya pejantan. Secara historis, partenogenesis telah digunakan untuk merujuk pada berbagai bentuk reproduksi perawan oleh betina, termasuk kasus sistem penentuan jenis kelamin haplodiploid di mana telur haploid yang tidak dibuahi berkembang menjadi jantan dan betina berkembang dari telur yang dibuahi (diploid). Saat ini, partenogenesis pada hewan sebagian besar mengacu pada produksi anak perempuan tanpa kontribusi genetik dari pejantan (Schwander, 2014). Charles Bonnet adalah seorang naturalis dan filsuf abad kedelapan belas. Kontribusinya yang paling signifikan terhadap embriologi adalah penemuan partenogenesis pada kutu daun, yang menunjukkan bahwa keturunan dapat dihasilkan tanpa jantan (Lawrence, 2009).

2. Macam-macam Partenogenesis

Ada banyak cara partenogenesis yang berhubungan dengan beragam mekanisme sitologi. Dalam artikel ini, akan dibahas lima macam partenogenesis: fakultatif partenogenesis, apomiksis, automiksis, ginogenesis, dan hibridogenesis (Simon et al., 2003).

a. Fakultatif partenogenesis

Tychoparthenogenesis (atau parthenogenesis fakultatif) mengacu pada kejadian sesekali, dimana secara spontan telur berkembang tanpa pembuahan pada hewan. Partenogenesis fakultatif ditemukan pada setidaknya sepuluh ordo serangga dan terjadi dengan partenogenesis obligat pada genera dalam setidaknya enam ordo. Mekanisme sitologi yang terkait dengan tychoparthenogenesis beragam, mencakup apomiksis dan automiksis. Ada kemungkinan bahwa beberapa spesies partenogenetik obligat telah berevolusi dari spesies tychoparthenogenetic.

b. Apomiksis Partenogenesis

Partenogenesis apomiksis adalah proses di mana sel telur betina mengalami mitosis (replikasi sel) dan menghasilkan dua sel diploid tanpa meiosis. Sel-sel ini memiliki kromosom (materi genetik) lengkap dan berkembang secara langsung menjadi embrio yang merupakan klon persis dari induknya. Apomiksis umumnya ditemukan pada invertebrata seperti rotifera dan semua kelompok utama arthropoda (kutu daun).

c. Automiksis Partenogenesis

Pada partenogenesis automiksis, gamet mengalami meiosis tapi tidak mengalami fusi gamet. Secara umum, proses ini dengan cepat mengarah pada homozigositas penuh. Akan tetapi, satu bentuk ditemukan pada kadal berkelamin tunggal dan belalang Australia, yang dikenal sebagai penggandaan endomeiotik yang melibatkan replikasi kromosom sebelum meiosis normal, yang mengembalikan diploiditas dalam telur yang dihasilkan. Karena kromosom yang direplikasi berpasangan sebelum meiosis I, keturunannya secara genetik identik dengan induknya dan heterozigositas dipertahankan.

d. Ginogenesis

Keturunan yang dihasilkan dengan mekanisme ginogenesis sama halnya seperti yang terjadi pada partenogenesis secara umum, tetapi dengan ketentuan sel telur harus distimulasi dengan keberadaan sperma sehingga dapat berkembang. Sperma hanya berperan sebagai stimulus dan tidak memberikan kontribusi material genetik apapun kepada hasil keturunan.

e. Hibridogenesis

Hibridogenesis adalah reproduksi yang tidak benar-benar aseksual, melainkan hemiklonal. Reproduksi terjadi di mana separuh dari genom ditransmisikan secara seksual sedangkan separuh lainnya ditransmisikan secara klonal. Inti sperma dan sel telur menyatu dan gen ayah diekspresikan pada keturunannya, tetapi hanya gen ibu yang ditransmisikan ke generasi berikutnya. Contoh hewan yang bereproduksi secara ginogenesis dan hibridogenesis adalah spesies ikan berkelamin tunggal dalam genus *Poeciliopsis*.

Simon et al (2003) lebih lanjut menjelaskan bahwa ada beberapa cara munculnya garis keturunan partenogenetik. Sebagaimana telah diuraikan sebelumnya, bergantung pada mekanisme yang menyebabkan hilangnya jenis kelamin, garis keturunan berkelamin tunggal yang baru muncul mungkin sangat berbeda dalam atribut genotipe dan fenotipnya dibandingkan dengan keturunan biseksual.

3. Asal-Usul Partenogenesis

Terdapat empat asal usul garis keturunan hewan partenogenetik : *Hybrids origin*, *spontaneous origin*, *contagious origin* dan *infectious origin*.

a. Hybrids Origin

Hibridisasi adalah jalur utama menuju partenogenesis pada hewan, dan hampir sebagian besar vertebrata berkelamin tunggal mempunyai asal usul hibrida. Hibrida partenogenetik hasil persilangan dua spesies biseksual memiliki heterozigositas dan alel yang tinggi yang khas dari kedua spesies induknya. Arsitektur genotipe ini berguna tidak hanya untuk mendeteksi asal usul hibrid dari garis keturunan partenogenetik, namun juga untuk mengidentifikasi spesies induk (ketika mereka belum punah) dan arah persilangan dengan menggabungkan penanda inti dan penanda yang diwariskan dari pihak ibu. Hibridisasi yang terjadi secara interspesifik dapat mengganggu meiosis dan menciptakan peluang seleksi proses sitologi, sehingga menghasilkan keturunan dengan heterozigositas tinggi. Asal-usul hibrida telah dibuktikan pada siput, krustasea, dan banyak serangga seperti kumbang penggerek, serangga batang, dan belalang

b. Spontaneous Origin

Hilangnya jenis kelamin secara spontan dapat terjadi melalui mutasi pada gen yang terlibat dalam produksi bentuk seksual dan keberhasilan meiosis. Permasalahan yang penting adalah sejauh mana garis keturunan partenogenetik yang dihasilkan akan diisolasi secara reproduktif dari nenek moyang seksualnya. Pada satu sisi ekstrim, mutasi mungkin terjadi yang mengubah satu genotipe menjadi garis

keturunan partenogenesis. Alternatifnya, mutasi juga dapat menginisiasi garis keturunan yang menghasilkan campuran keturunan seksual dan partenogenetik, atau garis keturunan yang menghasilkan jantan dan betina partenogenetik (Simon, Rispe & Sunnucks, dalam Simon et al, 2003). Pada banyak spesies hewan, sebagian kecil telur yang tidak dibuahi berkembang secara spontan menjadi zigot (*tychoparthenogenesis*), sehingga memberikan peluang untuk menyeleksi partenogenesis di laboratorium dan di alam (Kramer & Templeton, 2001).

c. *Contagious Origin*

Garis keturunan partenogenetik dapat muncul secara sekunder dari garis keturunan partenogenetik yang sudah ada sebelumnya sebagai akibat dari isolasi reproduksi yang tidak sempurna antara hewan seksual dan partenogen. Memang benar, hibridisasi antara betina parthenogenetik dan jantan dari spesies yang sama atau berkerabat dekat dianggap sebagai jalur utama menuju poliploid pada hewan berkelamin tunggal. Selain itu, seperti disebutkan sebelumnya, banyak garis keturunan partenogenetik yang masih mampu menghasilkan pejantan, sementara beberapa garis keturunan lainnya dapat menghasilkan campuran betina seksual dan partenogenetik. Adanya aliran gen antara garis keturunan seksual dan partenogenetik ini memungkinkan penyebaran gen berkelamin tunggal yang dapat dengan cepat mengubah garis keturunan seksual menjadi garis keturunan partenogenetik. Selain itu, pertukaran gen sesekali dengan garis keturunan seksual mungkin penting untuk keberlangsungan garis keturunan partenogenetik. Dalam peristiwa seperti itu, genotipe genetik partenogenetik dihasilkan melalui rekombinasi, memperlambat akumulasi mutasi yang merusak dan meningkatkan keragaman genetik dalam populasi partenogenetik. Meskipun mekanisme penularan ini berpotensi besar menghasilkan garis keturunan partenogenetik, keberhasilan munculnya garis partenogenetik dibatasi oleh setidaknya tiga faktor: jantan yang dihasilkan secara partenogenetik harus berfungsi, jantan yang diproduksi secara partenogenetik harus berhasil kawin dengan betina yang sejenis, dan jantan yang diproduksi secara partenogenetik harus mewariskan gen partenogenetiknya kepada keturunannya untuk menghasilkan garis keturunan partenogenetik yang baru.

d. *Infectious Origin*

Kemungkinan lain asal usul garis keturunan partenogenetik adalah melalui infeksi oleh mikroorganisme yang diturunkan secara vertikal. Temuan baru-baru ini menunjukkan bahwa induksi partenogenesis mungkin merupakan peristiwa yang relatif sering terjadi, meskipun sejauh ini hanya ditemukan pada organisme haplodiploid. Telur terinfeksi yang tidak dibuahi, yang biasanya berkembang sebagai jantan haploid, berkembang menjadi betina diploid. Diploidi dipulihkan baik melalui duplikasi gamet, yang menghasilkan homozigositas lengkap, atau melalui mekanisme sitogenetik yang tidak diketahui yang mempertahankan heterozigositas. Induksi partenogenesis terutama dilakukan oleh *Wolbachia*, anggota *Proteobacteria*.

Meskipun pada paparan di atas telah dijelaskan asal-usul terbentuknya garis keturunan partenogenesis, garis keturunan partenogenetik spesies lain dapat muncul melalui beberapa mekanisme. Contohnya adalah kasus kutu daun *R. padi*; telah terbukti secara biologis dan filogenetik bahwa garis keturunan partenogenetik dapat muncul dari tiga asal usul yang berbeda: spontan, hibrida, atau infeksius (Delmotte et al., 2001). Ini adalah contoh ekstrem, namun menunjukkan bahwa reproduksi seksual adalah sistem genetika yang agak labil yang dapat menyebabkan banyak situasi di mana populasi seksual hidup berdampingan dengan kumpulan garis keturunan partenogenetik yang polifiletik dan beragam.

Terjadinya partenogenesis pada suatu spesies atau populasi dipengaruhi oleh beberapa faktor, diantaranya kepadatan populasi, keanekaragaman komunitas, dan ketinggian tempat. Hasil penelitian yang dilakukan pada lalat capung menunjukkan bahwa kepadatan populasi yang rendah merupakan pendorong utama variasi cara reproduksi partenogenetik fakultatif, dengan sedikit atau tanpa dampak dari faktor lain, seperti kompleksitas komunitas, faktor abiotik dan biotik yang berkorelasi dengan ketinggian. Kepadatan populasi yang rendah dapat menimbulkan situasi pembatasan pasangan bagi perempuan atau berkurangnya biaya yang terkait dengan kawin dengan jantannya (Liegeois et al., 2023).

4. Kaitan Partenogenesis dengan Evolusi

Reproduksi seksual, dimana keturunan dihasilkan dari peleburan inti sel sperma dan sel telur dianggap sebagai suatu mekanisme yang sukses meskipun memerlukan upaya yang menghabiskan lebih banyak energi. Darwin pada tahun 1862 menulis, "Kita bahkan tidak mengetahui penyebab akhir dari seksualitas; mengapa makhluk-makhluk baru harus dihasilkan melalui penyatuan dua unsur seksual, dan bukan melalui proses partenogenesis?" Pertanyaan lama ini telah menghasilkan usulan lebih dari 20 hipotesis yang menjelaskan keuntungan jangka pendek dan jangka panjang dari reproduksi seksual dibandingkan reproduksi aseksual (Meirmans & Strand, 2010). Manfaat reproduksi seksual dan aseksual pada skala jangka pendek dan jangka panjang secara teoritis berlaku untuk semua organisme. Reproduksi seksual memberikan manfaat langsung bagi suatu populasi karena adanya variasi genetik, yang merupakan kontributor penting dalam adaptasi terhadap lingkungan yang berubah dengan cepat, seperti keterlibatan seleksi yang bergantung pada frekuensi dalam hubungan inang-parasit (Fujita et al., 2020). Misalnya, variasi genetik yang lebih besar pada populasi seksual dapat memberikan resistensi terhadap parasit, seperti tungau, sedangkan populasi aseksual tidak memiliki keragaman yang cukup untuk memberikan perlindungan terhadap parasit. Manfaat jangka panjang dari reproduksi seksual berpusat pada kemandirian seleksi alam, yang memungkinkan populasi seksual membersihkan mutasi yang merusak.

Reproduksi aseksual memiliki keuntungan demografis langsung, karena populasinya dapat berlipat ganda pada setiap generasi. Namun, reproduksi aseksual hanya mempunyai sedikit keuntungan dalam jangka panjang, dan populasi ini pada akhirnya akan punah. Pada populasi partenogenetik, seluruh genom dihubungkan satu sama lain; dengan demikian, penyimpangan genetik sangat mempengaruhi lintasan mutasi baru, sehingga memungkinkan varian-varian berbahaya mencapai fiksasi karena berkurangnya kemandirian seleksi pemurnian. Mutasi terakumulasi secara permanen dari generasi ke generasi, mengurangi kebugaran individu dan pada akhirnya menyebabkan kepunahan suatu populasi (akumulasi mutasi yang tidak dapat diubah dalam populasi aseksual dikenal sebagai Muller's ratchet). Sebaliknya, reproduksi seksual mengurangi disequilibrium keterkaitan, yang meningkatkan ukuran populasi efektif dari gen-gen yang terkait, dan dengan demikian memungkinkan seleksi untuk menghilangkan mutasi yang merugikan secara lebih efektif, dan menghindari ratchet Muller.

Menghilangkan mutasi yang merugikan mungkin merupakan keuntungan jangka panjang dari seks, namun hal ini tidak akan melebihi keuntungan dua kali lipat demografis dari reproduksi aseksual. Agar hal ini benar, mutasi harus muncul begitu cepat sehingga kebugaran populasi aseksual—dan dengan demikian hasil reproduksi—turun secara signifikan, sehingga mencegah mereka untuk bersaing dengan nenek moyang seksual mereka. Teknologi pengurutan genom kini memberikan kemampuan untuk mengukur tingkat mutasi pada populasi aseksual dan seksual pada skala keseluruhan genom, yang

memungkinkan para peneliti untuk (a) mengatasi apakah terdapat perbedaan tingkat mutasi antara populasi seksual dan aseksual dan (b) memodelkan kesesuaiannya. penurunan populasi aseksual akibat akumulasi mutasi (Fujita et al., 2020).

Dalam kaitannya dengan spesies dan spesiasi, yang menjadi perhatian adalah apakah sifat organisme berkelamin tunggal ini melakukan diversifikasi menjadi spesies karena kurangnya perkawinan silang? Teori populasi dan genetika evolusioner menunjukkan bahwa mereka dapat mengalami spesiasi untuk membentuk populasi inklusif yang berevolusi secara independen satu sama lain; dengan kata lain, spesies evolusi (Birky Jr & Barraclough, 2009). Setiap individu akan bersifat monofiletik dan terisolasi secara reproduktif. Jika faktor-faktor lain sama pentingnya atau lebih penting daripada aliran gen dalam menjaga kohesi, maka taksa berkelamin tunggal mungkin akan terdiversifikasi dengan cara yang mirip dengan garis keturunan yang bereproduksi secara seksual. Titik awal yang baik untuk terjadinya proses ini adalah ketika anggota spesies partenogenetik secara fisik terisolasi satu sama lain untuk waktu yang lama atau menjalani seleksi yang berbeda untuk beradaptasi pada relung yang berbeda (Fontaneto et al., 2007)

Partenogen sering kali memiliki distribusi geografis yang berbeda dari garis keturunan seksual yang berkerabat dekat (walaupun berpotensi tumpang tindih), juga dikenal sebagai 'partenogenesis geografis', sebuah istilah yang sebelumnya digunakan untuk menggambarkan bahwa jantan dari beberapa spesies menjadi lebih langka di wilayah lintang yang lebih tinggi (Tilquin & Kokko, 2016). Secara umum, partenogen menempati wilayah dengan keanekaragaman biotik yang lebih rendah dan bergantung pada faktor abiotik musiman yang lebih besar, terutama suhu, yang memungkinkan distribusinya lebih luas dan toleransi ekologis yang lebih besar dibandingkan bentuk seksual nenek moyang mereka. Pendekatan teoretis lainnya mempertimbangkan interaksi antara bentuk partenogenetik dan seksual dalam populasi campuran di bawah kondisi ekologi tertentu seperti garis lintang dan ketinggian yang lebih tinggi, di pulau-pulau, dan di habitat yang terganggu sebagai penyebab utama partenogenesis geografis.

5. Pentingnya Memahami Partenogenesis

Banyak partenogen dipteran merupakan spesies yang penting secara medis, ekonomi, dan ekologi, dan oleh karena itu memahami bagaimana dan mengapa partenogenesis terjadi dalam urutan ini adalah kunci untuk memahami bagaimana hewan-hewan ini bereproduksi. Pemahaman partenogenesis di masa depan memerlukan fokus pada penyebab genetiknya untuk menentukan apakah gen yang ditemukan menyebabkan partenogenesis mungkin terlibat dalam evolusi partenogenesis pada spesies dipteran lainnya. Hanya ketika penyebab genetik telah diidentifikasi maka mekanisme yang mendasarinya dapat mulai dijelaskan dan kita kemudian dapat mulai memahami bagaimana dan mengapa partenogenesis berulang kali berevolusi dari reproduksi seksual. Partenogenesis adalah fenomena biologis mendasar yang terjadi di hampir setiap filum hewan dan menuntut pemahaman kita, jika bukan hanya karena rasa ingin tahu tentang kehidupan itu sendiri, kemudian untuk menentukan apakah aktivitas manusia dapat berdampak pada evolusi hewan partenogenetik (Sperling & Glover, 2023).

Mempelajari materi tentang partenogenesis dalam pembelajaran biologi sangat penting karena partenogenesis merupakan suatu cara reproduksi aseksual yang dapat dilakukan oleh hewan dimana betina memproduksi sel telur yang berkembang tanpa melalui proses fertilisasi. Partenogenesis sebagai bentuk adaptasi reproduktif saat lingkungan tidak memungkinkan terjadinya reproduksi secara seksual. Pemahaman tentang partenogenesis memberikan dasar yang kuat dalam memahami materi sistem reproduksi pada hewan, pertumbuhan dan perkembangan pada hewan, dan keterkaitan antara

partenogenesis dengan evolusi, serta aplikasi praktis dalam bioteknologi (Bhutia, 2016). Pentingnya mempelajari partenogenesis pada pembelajaran biologi dijelaskan pada beberapa hal sebagai berikut:

- 1) Memahami keragaman mekanisme reproduksi
 - a. Partenogenesis menunjukkan adanya variasi reproduksi.
Partenogenesis memperluas pemahaman siswa tentang keragaman cara organisme bereproduksi. Tidak semua organisme menggunakan reproduksi seksual, namun ada beberapa organisme yang mampu menggunakan cara reproduksi aseksual sebagai cara alternatif untuk tetap dapat menghasilkan keturunan seperti partenogenesis.
 - b. Partenogenesis merupakan bentuk adaptasi evolusioner
Partenogenesis menunjukkan bagaimana organisme beradaptasi untuk memastikan kelangsungan hidup dalam kondisi yang berbeda, misalnya ketika pasangan seksual sulit ditemukan.
- 2) Mempelajari tentang konservasi spesies langka
Dalam konservasi spesies yang terancam punah atau memiliki populasi yang sangat kecil seperti komodo, partenogenesis dapat digunakan untuk meningkatkan jumlah individu tanpa memerlukan pasangan seksual, membantu meningkatkan populasi dan menjaga keragaman genetik. Partenogenesis komodo dapat dipelajari siswa karena komodo merupakan hewan endemik Indonesia yang sudah terancam punah tapi dapat bertahan hidup dengan melakukan partenogenesis sehingga komodo disebut sebagai salah satu fosil hidup yang mampu mempertahankan diri dari kepunahan.
- 3) Mempelajari dalam penelitian genetika dan bioteknologi
 - a. Organisme seperti *Drosophila melanogaster* yang mampu melakukan partenogenesis digunakan sebagai model untuk mempelajari genetika, mutasi, dan pewarisan sifat tanpa perlu proses kawin yang kompleks.
 - b. Pengetahuan tentang partenogenesis memberikan wawasan penting dalam pengembangan teknik kloning dan rekayasa genetika yang memungkinkan pengembangan teknologi reproduksi yang lebih maju seperti menghasilkan klon dari satu sel tunggal tanpa perlu fertilisasi.
- 4) Mempelajari aplikasi dalam pertanian dan peternakan
 - a. Melalui pemanfaatan pemahaman tentang partenogenesis, serangga hama yang dihasilkan secara aseksual dapat digunakan dalam teknik pengendalian biologis seperti teknik serangga steril untuk mengurangi populasi hama secara efektif tanpa menggunakan pestisida kimia.
 - b. Dalam peternakan, pemahaman tentang mekanisme partenogenesis bisa membantu dalam teknik kloning dan produksi ternak yang efisien, terutama dalam situasi dimana genetik tertentu diinginkan tanpa perlu reproduksi seksual.
- 5) Menambah wawasan tentang kesehatan dan kedokteran
 - a. Studi tentang organisme yang mampu melakukan partenogenesis seperti Axolotl yang juga dikenal karena kemampuannya dalam regenerasi, membantu memahami proses regenerasi sel dan organ dengan aplikasi potensial dalam kedokteran regeneratif.
 - b. Hewan yang dapat mengalami partenogenesis seperti beberapa jenis unggas, dapat digunakan untuk menghasilkan protein terapeutik atau antibodi yang penting untuk pengobatan berbagai penyakit.
- 6) Memperkaya kurikulum biologi

Dengan memasukan materi tentang partenogenesis dalam kurikulum biologi baik pada kurikulum 2013 maupun pada kurikulum merdeka dapat membantu siswa memahami berbagai mekanisme biologis dan cara reproduksi alternatif organisme sebagai bentuk plastisitas reproduktif yang memungkinkan organisme tetap mampu berkembang biak dalam berbagai kondisi dan menunjukkan fleksibilitas yang luar biasa dalam strategi reproduksi untuk dapat beradaptasi dengan lingkungan dan memastikan kelangsungan hidupnya. Namun, pada faktanya materi partenogenesis ini kurang mendapatkan perhatian lebih dan dianggap sebagai materi yang kurang penting bahkan tidak dipelajari secara mendalam. Oleh karena itu, para guru perlu memberikan perhatian lebih untuk membelajarkan materi partenogenesis ini kepada siswa dalam pembelajaran biologi.

Pemahaman tentang partenogenesis tidak hanya diperuntukkan bagi para peneliti saja, namun juga penting dipelajari dan dipahami oleh siswa dalam pembelajaran biologi. Dengan pemahaman ini, siswa memiliki bekal untuk memahami konsep-konsep biologi yang bersifat aplikatif yang dapat dijadikan solusi dari permasalahan yang ditemukan dalam kehidupan sehari-hari.

6. Partenogenesis dan Evolusi dalam Pembelajaran Biologi

Untuk dapat mengimplementasikan materi partenogenesis dan keterkaitannya dengan evolusi perlu dipelajari karakteristik yang mencakup tingkat kompleksitas atau kesulitan dari materi tersebut dan tingkat keabstrakannya. Sehingga strategi yang akan digunakan dalam membelajarkan materi partenogenesis dan evolusi kepada siswa tepat. Selain itu, perlu dilakukan pemetaan materi partenogenesis dan evolusi dengan tujuan pembelajaran baik pada kurikulum merdeka maupun pada kurikulum 2013 yang ingin dicapai. Dengan mengetahui karakteristik materi dan disesuaikan dengan capaian pembelajaran yang ingin dicapai pada kurikulum serta pemilihan strategi pembelajaran yang tepat maka siswa akan mendapatkan pemahaman materi dengan baik.

a. Karakteristik Materi Partenogenesis dan Evolusi

Pada konsep dasar, tingkat kompleksitas atau kesulitan pada materi partenogenesis masih relatif rendah, karena konsep dasar dari partenogenesis itu adalah reproduksi tanpa fertilisasi sehingga relatif mudah dipahami oleh siswa. Hal ini melibatkan pengetahuan dasar tentang reproduksi dan siklus hidup organisme. Namun kesulitan semakin meningkat pada tingkat menengah jika siswa akan memahami mekanisme seluler dan molekuler dibalik partenogenesis seperti proses pembelahan mitosis atau meiosis tanpa fertilisasi yang memerlukan pengetahuan yang lebih dalam tentang biologi sel dan genetika. Terlebih, pada saat menjelaskan keanekaragaman spesies yang menggunakan konsep partenogenesis dan bagaimana organisme partenogenesis beradaptasi dengan lingkungannya, ini menambah tingkat kesulitan siswa karena siswa perlu mengerti terlebih dahulu konsep adaptasi evolusioner dan variasi spesies. Tingkat kesulitan yang paling tinggi adalah pada saat siswa mendiskusikan mengenai implikasi genetik dari partenogenesis seperti kurangnya variasi genetik dan potensi risiko terhadap penyakit, memerlukan pemahaman mendalam tentang genetika populasi dan teori evolusi. Ini dapat menjadi semakin kompleks dan abstrak. Tingkat keabstrakan pada materi partenogenesis bahwa konsep organisme dapat berkembang tanpa pembuahan adalah dasar yang relatif konkret dan mudah dipahami. Namun, jika sudah masuk ke dalam konsep mekanisme molekuler, keberagaman organisme dan konsep

homozigositas tingkat keabstrakannya semakin meningkat. Hal ini disebabkan adanya keterkaitan disiplin ilmu antara partenogenesis dengan evolusi.

Pada materi evolusi memiliki materi yang bersifat abstrak dan kompleks sehingga banyak ditemukan miskonsepsi. Tingkat kesulitan dalam mempelajari materi evolusi cenderung lebih tinggi karena melibatkan konsep-konsep yang luas, lintas disiplin ilmu, bukti-bukti empiris yang kompleks dan konsep-konsep yang abstrak seperti seleksi alam, spesiasi dan model evolusi. Begitu juga tingkat keabstrakan pada materi evolusi secara keseluruhan memiliki tingkat keabstrakan yang lebih tinggi karena melibatkan pemahaman tentang proses perubahan jangka panjang, bukti-bukti yang tersebar di berbagai disiplin ilmu, dan model teoretis yang menjelaskan mekanisme evolusi (Adrianto, 2017). Namun, pada pembahasan artikel ini lebih berfokus pada pemahaman materi partenogenesis pada pembelajaran biologi di sekolah sedangkan materi evolusi tidak dibahas secara detail tapi hanya dibahas tentang keterkaitan antara partenogenesis dengan evolusi.

b. Keterkaitan antara Materi Partenogenesis dengan Kurikulum

Materi partenogenesis pada kurikulum 2013 dipelajari pada Bab 2 tentang sistem perkembangbiakan tumbuhan dan hewan pada mata pelajaran Ilmu Pengetahuan Alam (IPA) jenjang Sekolah Menengah Pertama (SMP) kelas 9 semester ganjil (Zubaidah et al., 2018). Pada bab ini dipelajari materi tentang cara reproduksi seksual dan aseksual pada tumbuhan dan hewan. Partenogenesis dibahas pada subbab cara reproduksi secara aseksual pada hewan selain metamorfosis dan regenerasi pada *Planaria sp.* Berikut adalah pemetaan materi partenogenesis pada jenjang SMP kurikulum 2013.

Tabel 2. Pemetaan Materi Partenogenesis pada Jenjang SMP Kurikulum 2013

Kompetensi Dasar	Tujuan Pembelajaran	Pemahaman Materi Esensial
3.2 Menganalisis sistem perkembangbiakan pada tumbuhan dan hewan serta penerapan teknologi pada sistem reproduksi tumbuhan dan hewan.	a. Siswa dapat menjelaskan macam-macam perkembangbiakan aseksual pada hewan dengan tepat.	a. Hewan dapat melakukan perkembangbiakan vegetatif melalui tunas, fragmentasi, dan partenogenesis.
4.2 Menyajikan karya hasil perkembangbiakan pada tumbuhan	b. Siswa dapat memahami perkembangbiakan aseksual secara partenogenesis	b. Partenogenesis merupakan cara reproduksi aseksual dimana sel telur berkembang tanpa dibuahi.

Implementasi pembelajaran pada materi partenogenesis pada jenjang SMP di kurikulum 2013 nampaknya tidak dilakukan begitu mendalam, hal ini dikarenakan ada batasan cakupan materi yang harus dibelajarkan kepada siswa SMP hanya pada konsep dasar partenogenesis sebagai salah satu cara reproduksi vegetatif. Jadi materi yang diajarkan tidak begitu sulit dan kompleks, serta belum dikaitkan dengan variasi genetik pada evolusi. Mengingat proses berpikir siswa SMP masih ada dalam tahap konkrit menuju abstrak. Pemahaman yang lebih mendalam untuk materi partenogenesis bisa didapatkan siswa pada jenjang lebih tinggi seperti pada jenjang Sekolah Menengah Atas (SMA).

Pada jenjang SMA di kurikulum 2013 materi partenogenesis dipelajari pada bab kingdom animalia pada mata pelajaran biologi kelas 10 semester genap. Pada bab ini dipelajari cara reproduksi seksual dan aseksual pada hewan invertebrata dan vertebrata. Partenogenesis disisipkan pada bagian cara reproduksi aseksual sebagai contoh khusus pada hewan-hewan tertentu seperti serangga dan dalam beberapa kasus vertebrata seperti komodo dan ikan (Imaningtyas, 2016). Berikut adalah pemetaan materi partenogenesis pada jenjang SMA kurikulum 2013.

Tabel 3. Pemetaan Materi Partenogenesis pada Jenjang SMA Kurikulum 2013

Kompetensi Dasar	Tujuan Pembelajaran	Pemahaman Materi Esensial
3.9 Mengelompokkan hewan ke dalam filum berdasarkan lapisan tubuh, rongga tubuh, simetri tubuh, reproduksi. 4.9 Menyajikan laporan perbandingan kompleksitas lapisan penyusun tubuh hewan (diploblastik dan triploblastik), simetri tubuh, rongga tubuh, dan reproduksinya	a. Siswa dapat menjelaskan habitat, cara hidup, ciri-ciri tubuh, cara reproduksi dan peranannya bagi kehidupan berbagai hewan invertebrata. b. Siswa dapat menjelaskan habitat, cara hidup, ciri-ciri tubuh, cara reproduksi dan peranannya bagi kehidupan berbagai hewan invertebrata.	a. Dalam hal cara reproduksinya, baik pada filum invertebrata maupun pada filum vertebrata memiliki dua cara reproduksi yaitu secara seksual (generatif) dan aseksual (vegetatif). b. Partenogenesis merupakan salah satu cara reproduksi yang dilakukan secara aseksual dimana sel telur berkembang tanpa adanya fertilisasi yang dapat terjadi pada beberapa hewan invertebrata dan vertebrata tertentu.

Sama halnya pada jenjang SMP, pada jenjang SMA pun materi partenogenesis ini tidak dibahas begitu detail dan mendalam. Padahal melihat dari urgensitas dan kompleksitas materinya sangat perlu dan penting diberikan kepada siswa. Siswa seharusnya sudah mampu belajar dengan berpikir kompleks dengan materi yang lebih abstrak. Seharusnya pada bab ini siswa harus diberi pemahaman yang lebih detail tentang mekanisme partenogenesis seperti bagaimana dan mengapa partenogenesis terjadi. Mengingat pentingnya materi partenogenesis ini harus dipelajari dan dipahami siswa, guru dapat mengaitkannya pada bab evolusi dan bioteknologi di kelas 12. Pada bab evolusi, materi partenogenesis dapat dikaitkan dengan variasi reproduksi, adaptasi evolusioner, genetika populasi, konservasi spesies langka yang terancam punah. Sedangkan pada materi bioteknologi dapat dikaitkan dengan pemanfaatan hewan yang mampu melakukan partenogenesis untuk menghasilkan produk-produk bioteknologi modern.

Pada kurikulum merdeka, konten yang diberikan kepada siswa lebih disederhanakan dan fokus pada materi esensial, pembelajaran kolaboratif berbasis proyek, serta adanya fleksibilitas untuk merancang kurikulum operasional dan pembelajaran sesuai dengan tingkat kemampuan siswa (Satria et al., 2022). Kurikulum Merdeka adalah suatu pendekatan kurikulum yang diterapkan dengan landasan pengembangan profil peserta didik agar mereka dapat menjalani kehidupan sesuai dengan nilai-nilai yang terkandung dalam sila-sila Pancasila (Khatimah dalam Pangsuma, 2023). Menurut Khatimah (dalam Pangsuma, 2023) pada kurikulum merdeka, terdapat dorongan bagi guru dan peserta didik untuk secara bebas mengeksplorasi pengetahuan, sikap, dan keterampilan dari lingkungan sekitar, sekaligus membantu dalam pengembangan karakter mandiri. Kurikulum Merdeka merupakan suatu perubahan dalam pendekatan pembelajaran, di mana tanggung jawab penuh terletak pada guru dan peserta didik (Pangsuma, 2023). Hasanah, Nopiyanti, & Jayati, (2023) menambahkan bahwa kurikulum sebagai acuan dalam membentuk program penyampaian materi pelajaran biologi.

Pada kurikulum merdeka baik pada jenjang SMP maupun SMA, materi partenogenesis tidak ditemukan secara eksplisit baik pada capaian pembelajaran Fase D, E maupun fase F juga dalam bahan ajar siswa. Adanya penyederhanaan materi pada kurikulum merdeka, materi partenogenesis tidak dianggap sebagai materi esensial padahal memiliki konsep yang penting dan harus dipahami oleh siswa. Mengingat pada kurikulum merdeka guru diberikan keleluasaan untuk memilih dan mengeksplorasi materi apa saja yang akan diajarkan kepada siswa, maka dianggap perlu materi partenogenesis ini tetap diajarkan kepada siswa. Materi ini bukan hanya mempelajari konseptual semata namun juga membekali siswa dalam memahami dampak nyata terhadap konservasi hewan langka yang hampir punah seperti komodo yang memiliki kemampuan melakukan reproduksi aseksual secara partenogenesis saat kondisi

lingkungan tidak memungkinkan untuk menemukan pasangan kawinnya. Selain itu, dengan memahami konsep partenogenesis, dapat membekali siswa pada aplikasi praktis pada bioteknologi modern yang menghasilkan produk dari pemanfaatan hewan yang mampu melakukan partenogenesis seperti produk serangga steril pengendali hama, kloning hewan dan rekayasa genetika.

c. Strategi Membelajarkan Materi Partenogenesis

Strategi dalam membantu membelajarkan siswa pada materi partenogenesis dan evolusi dapat digunakan berbagai metode, pendekatan, model dan media pembelajaran yang tepat. Penelitian tentang implementasi pembelajaran biologi pada materi partenogenesis dengan menggunakan TPACK (*Technological Pedagogical and Content Knowledge*) masih sangat minim. Padahal konten pada materi partenogenesis ini sangat menarik dan kontekstual. Indonesia memiliki hewan langka seperti komodo yang terancam punah, namun sampai saat ini masih bisa bertahan hidup karena kemampuannya melakukan partenogenesis yaitu menghasilkan keturunan tanpa memerlukan pasangan kawinnya.

Menurut Larson (2018) salah satu cara atau strategi membelajarkan siswa pada materi partenogenesis yaitu dengan menggunakan model pembelajarannya inkuiri dengan media pembelajaran *CourseSource*. Media pembelajaran *CourseSource* adalah sebuah platform sumber daya pendidikan yang berfokus pada penyediaan materi pengajaran berkualitas untuk bidang biologi dan pendidikan biologi di tingkat perguruan tinggi. Situs ini dirancang untuk mendukung pengajar dengan menyediakan kumpulan artikel yang berisi aktivitas pengajaran, laboratorium, dan strategi pembelajaran yang telah ditinjau oleh rekan sejawat (*peer-reviewed*). Siswa diajak untuk berinkuri, dengan mengidentifikasi masalah yang ada pada kehidupan nyata seperti "Mengapa meiosis itu penting: Kasus Ular Yatim Piatu" dimana seekor ular betina yang hidup sendirian di dalam kandang selama 14 tahun dapat melahirkan seekor ular jantan tanpa ular jantan melalui *CourseSource*, kemudian siswa diajak untuk mengembangkan hipotesis dan menguji apakah hipotesis mereka benar atau salah. Disini siswa dilatih untuk mengembangkan keterampilan proses ilmiah dan pembelajaran dengan menggunakan *CourseSource* ini sangat cocok karena dapat memberikan hasil pembelajaran yang lebih luas. Larson (2018) mengajak siswanya untuk membaca artikel-artikel ilmiah terkait partenogenesis dan melakukan studi literatur, kemudian mempresentasikan hasil kajiannya di dalam kelas yang diikuti dengan kegiatan diskusi tentang mengapa partenogenesis terjadi, mengapa tidak semua organisme bisa melakukan partenogenesis, dan mengapa bentuk reproduksi ini mungkin memiliki konsekuensi konservasi yang negatif. Dari hasil penelitian yang dilakukan oleh Larson (2018) dapat dikatakan bahwa strategi yang dapat digunakan untuk membelajarkan materi partenogenesis dapat menggunakan model pembelajaran *Inquiry Based Learning* (IBL), *Problem Based Learning* (PBL), atau *Discovery Learning* (DL) dengan menggunakan pendekatan saintifik dan metode diskusi dan metode lainnya yang tepat serta diintegrasikan dengan media pembelajaran yang memanfaatkan teknologi.

SIMPULAN

Berdasarkan pemaparan di atas dapat disimpulkan bahwa pemahaman tentang partenogenesis dan evolusi sangat perlu dimiliki oleh siswa dalam pembelajaran biologi. Pemahaman materi ini menjadi sangat penting untuk dimiliki siswa karena sebagai pemahaman dasar untuk memahami materi biologi pada tingkat berikutnya. Strategi pembelajaran yang dipandang cocok untuk membelajarkan siswa dalam memahami materi tentang partenogenesis dan evolusi diantaranya dapat menggunakan model

Commented [MM1]: Simpulan sudah mencakup poin-poin utama dari penelitian namun sebaiknya lebih ringkas dan fokus pada implikasi praktis dari penelitian. Tambahkan rekomendasi untuk pengajaran materi partenogenesis di sekolah berdasarkan temuan penelitian.

pembelajaran inkuiri, pembelajaran berbasis masalah, atau dengan menggunakan pembelajaran penemuan disertai dengan menggunakan media pembelajaran yang memanfaatkan teknologi. Untuk itu sangat perlu membelajarkan pemahaman mengenai materi partenogenesis beserta ruang lingkupnya dengan lebih mendalam pada pembelajaran biologi dimana materi ini hanya dipelajari dengan sekilas pada kurikulum 2013 bahkan ditiadakan pada kurikulum merdeka. Namun, dengan adanya fleksibilitas pada kurikulum merdeka, maka dipandang perlu dipelajari materi partenogenesis ini kepada siswa.

RUJUKAN

- Adrianto, O. M., Candramila, W., Ariyati, E. (2017). Analisis Konsepsi Dan Miskonsepsi Siswa Kelas Xii Ipa Sma Don Bosco Sanggau Pada Materi Evolusi. *Jurnal Pendidikan dan Pembelajaran Khatulistiwa*, Vol. 6, No. 4. <https://dx.doi.org/10.26418/jppk.v6i4.19732>
- Asbar, R. F., & Witarsa, R. (2020). KAJIAN LITERATUR TENTANG PENERAPAN PEMBELAJARAN TERPADU DI SEKOLAH DASAR. *Jurnal Review Pendidikan dan Pengajaran*, 3(2), 225–236. <https://doi.org/10.31004/jrpp.v3i2.1220>
- Bhutia, Thinley Kalsang. (2016). National Center for Biotechnology Information - PubMed Central - Apomixis in plant reproduction: a novel perspective on an old dilemma. *Britanica: University of Ferrara*.
- Birky Jr, C. W., & Barraclough, T. G. (2009). Asexual speciation. *Lost Sex*, 201–216.
- Booth, W., Schuett, G.W., Ridgway, A. Buxton, D.W., Castle, T.A., Bastone, G., Bennett, C., McMahan, Wm. New Insights on Facultative Parthenogenesis in Pythons. *Biological Journal of Linnean Society*, 112, 461-468. 2014
- Bull J J. (1980). Sex determination in reptiles. *Q. Rev. Biol*;55:3–21
- Campbell. (2010). *Biologi edisi Kedelapan Jilid 3*. Jakarta:Penerbit Erlangga.
- Coe W R. (1936). Sexual phases in Crepidula. *J. Exp. Zool*;72:455–477
- Delmotte, F., Leterme, N., Bonhomme, J., Rispe, C., & Simon, J.-C. (2001). Multiple routes to asexuality in an aphid species. *Proceedings of the Royal Society of London. Series B: Biological Sciences*, 268(1483), 2291–2299.
- Engelstaedter, J. 2008. Constraints on the evolution of asexual reproduction. *BioEssays*, 30:1138–1150.
- Fontaneto, D., Herniou, E. A., Boschetti, C., Caprioli, M., Melone, G., Ricci, C., & Barraclough, T. G. (2007). Independently evolving species in asexual bdelloid rotifers. *PLoS Biology*, 5(4), e87.
- Fujita, M. K., Singhal, S., Brunes, T. O., & Maldonado, J. A. (2020). Evolutionary Dynamics and Consequences of Parthenogenesis in Vertebrates. <https://doi.org/10.1146/annurev-ecolsys-011720>
- Fujita, Matthew K., et. al. (2020). Evolutionary Dynamics and Consequences of Parthenogenesis in Vertebrates. *Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics*. 51:191–214
- Hasanah, U., Nopiyanti, N., & Jayati, R. D. (2023). Pengembangan Flipbook Berbasis QR Code Hasil Identifikasi Tumbuhan Obat Berdasarkan Kearifan Lokal di Kecamatan Karang Jaya Kabupaten Musi Rawas Utara: (Development of Flipbook Based on QR Code Identification of Medicinal Plants Based on Local Wisdom in Karang Jaya District North Musi Rawas Regency). *BIODIK*, 9(3), 113-126.
- Imanigtyas. (2016). *Biologi untuk SMA/MA Kelas X Kelompok Peminatan dan Matematika dan Ilmu-Ilmu Alam*. Jakarta: Erlangga.
- J.-C. SIMON1, et.al. (2003). Phylogenetic Relationships between Parthenogens and Their Sexual Relatives: the Possible Routes to Parthenogenesis in Animals. *Biological Journal of the Linnean Society*.79. 151–163.
- Jumriani, Mutiani, Putra, M. A. H., Syaharuddin, & Abbas, E. W. (2021). The Urgency of Local Wisdom Content in Social Studies Learning: Literature Review. *The Innovation of Social Studies Journal*, 2(2), 2723–1119. <https://doi.org/10.20527/Available>

- Kooi, Casper J., Matthey-Doret, C. & Schwander, Tanja. (2017). Evolution and Comparative Ecology of Parthenogenesis in Haplodiploid Arthropods. *Evolution Letters*, 1(6), 304–316. <https://doi.org/10.1002/evl3.30>
- Kramer, M. G., & Templeton, A. R. (2001). Life-history changes that accompany the transition from sexual to parthenogenetic reproduction in *Drosophila mercatorum*. *Evolution*, 55(4), 748–761.
- Larson, E. (2018). Teaching about fatherless snakes in a prison classroom. *CourseSource*, 5. <https://doi.org/10.24918/cs.2018.3>
- Lawrence, C. R. (2009). Charles Bonnet (1720-1793). In *Embryo Project Encyclopedia*. Arizona State University. School of Life Sciences. Center for Biology and Society. Embryo Project Encyclopedia.
- Liegeois, M., Sartori, M., & Schwander, T. (2023). What Ecological Factors Favor Parthenogenesis over Sexual Reproduction? A Study on the Facultatively Parthenogenetic Mayfly *Alainites muticus* in Natural Populations. *The American Naturalist*, 201(2), 229–240. <https://doi.org/10.1086/722515>
- Loeb, Jacques. (1913). *Artificial Parthenogenesis and Fertilization*. Chicago: University of Chicago Press.
- Marzali, A.-. (2017). Menulis Kajian Literatur. *ETNOSIA: Jurnal Etnografi Indonesia*, 1(2), 27. <https://doi.org/10.31947/etnosia.v1i2.1613>
- Maynard-Smith J. (1978). *The Evolution of Sex*. Cambridge Univ. Press.
- Meirmans, S., & Strand, R. (2010). Why are there so many theories for sex, and what do we do with them? *Journal of Heredity*, 101(suppl_1), S3–S12.
- Ngwu, D. C., Kerna, N. A., Pruitt, K. D., Carsrud, N. D. V., Holets, H. M., Chawla, S., Flores, J. V., & Anderson, I. I. (2024). J, Taha WTM. "Parthenogenesis: A Contemporary Review and Synopsis of the Medical Perspective of 'Immaculate' Conceptions." *EC Gynaecology*, 13, 1–8.
- Otto, S. P. (2009). The evolutionary enigma of sex. *American Naturalist*, 174(SUPPL. 1). <https://doi.org/10.1086/599084>
- Rafat, F., & Ali, M. (2023). A Study on Misconceptions in Cell Division and Reproduction among Secondary School Students in Relation to Their Preferred Teaching Styles. *International Journal of Applied Social Science*, 10(5–6), 335–340.
- Satria, R., Adiprim, P., Wulan, K. S., & Harjatanaya, T.Y. (2022). *Panduan Pengembangan Proyek Penguatan Profil Pelajar Pancasila. Badan Standar Kurikulum dan Asesmen Pendidikan Kementerian Pendidikan, Kebudayaan, Riset, dan Teknologi Republik Indonesia*. Jakarta; BSKAP Kemdikbud.
- Schwander, T. (2014). Parthenogenesis. *Oxford Bibliographies in Evolutionary Biology*.
- Simon, J.-C., Delmotte, F., Rispe, C., & Crease, T. (2003). Phylogenetic relationships between parthenogens and their sexual relatives: the possible routes to parthenogenesis in animals. *Biological Journal of the Linnean Society*, 79(1), 151–163.
- Sperling, A. L., & Glover, D. M. (2023). Parthenogenesis in dipterans: a genetic perspective. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*, 290(1995). <https://doi.org/10.1098/rspb.2023.0261>
- Tilquin, A., & Kokko, H. (2016). What does the geography of parthenogenesis teach us about sex? *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 371(1706), 20150538.
- Watts, C. P., Buley, R. K., Sanderson, S., Boardman, W., Ciofi, C., and Gibson, R. (2006). Parthenogenesis in Komodo dragons, Should males and females be kept together to avoid triggering virgin birth in these endangered reptiles?. *NATURE* | Vol 444 | 21/28. doi:10.1038/nature4441021a
- Zubaidah et al. (2018). *Buku Ilmu Pengetahuan Alam (IPA) untuk SMP/MTs Kelas IX Kurikulum 2013*. Jakarta: Kementerian Pendidikan dan Kebudayaan.