



# MODUL AJAR EVOLUSI

Dr. Rizkia Suciati, M.Pd.

PROGRAM STUDI PENDIDIKAN BIOLOGI  
FAKULTAS KEGURUAN DAN ILMU PENDIDIKAN  
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH PROF. DR. HAMKA  
2024/2025

## **KATA PENGANTAR**

Modul Ajar EVOLUSI ini disusun untuk melengkapi muatan teori dari mata kuliah Evolusi. Dalam modul ini memuat materi pokok yang khusus untuk didiskusikan lebih mendalam saat perkuliahan evolusi berlangsung.

Dalam modul ajar ini terdiri dari empat pokok bahasan yang akan didiskusikan, yaitu Seleksi Alam dan Teori Kepunahan, Bukti Evolusi, Konsep Spesies dan Spesiasi, serta Evolusi Modern dan Biodiversitas. Selain untuk memfasilitasi belajar mandiri mahasiswa, modul ini dapat menjadi sarana diskusi dan melatih keterampilan berpikir kritis dan argumentatif terhadap perkembangan teori evolusi. Harapannya, modul ini dapat membantu mahasiswa memahami Teori Evolusi agar ke depannya tidak lagi menjadi hal yang miskonsepsi dalam pembelajaran biologi di sekolah.

Jakarta, September 2024

Penulis

## DAFTAR ISI

<b>Kata Pengantar .....</b>	<b>i</b>
<b>Daftar Isi .....</b>	<b>ii</b>
Seleksi Alam dan Teori Kepunahan .....	1
Bukti Evolusi .....	5
Konsep Spesies dan Spesiasi .....	9
Evolusi Modern dan Biodiversitas .....	13

# SELEKSI ALAM DAN TEORI KEPUNAHAN

## Pengantar

Evolusi (dalam kajian biologi) berarti perubahan pada sifat-sifat terwariskan suatu populasi organisme dari satu generasi ke generasi berikutnya. Evolusi didorong oleh dua mekanisme utama, yaitu seleksi alam dan hanyutan genetik. Seleksi alam merupakan sebuah proses yang menyebabkan sifat terwaris yang berguna untuk keberlangsungan hidup dan reproduksi organisme menjadi lebih umum dalam suatu populasi dan sebaliknya, sifat yang merugikan menjadi lebih berkurang. Hal ini terjadi karena individu dengan sifat-sifat yang menguntungkan lebih berpeluang besar bereproduksi, sehingga lebih banyak individu pada generasi selanjutnya yang mewarisi sifat-sifat yang menguntungkan ini.

## Pengertian Seleksi Alam

Seleksi alam merupakan proses yang terus berlangsung karena lingkungan terus berubah. Kepunahan dapat terjadi bila proses adaptasi tidak sejalan dengan perubahan lingkungan. Pandangan Darwin mengenai kehidupan memiliki perbedaan yang sangat tajam dengan paradigma konvensional yang mengatakan bumi baru berumur beberapa ribu tahun saja, dihuni oleh bentuk-bentuk kehidupan yang tidak berubah dan telah diciptakan satu per satu selama seminggu penuh di mana Sang Pencipta membentuk keseluruhan jagad raya sehingga Darwin perlu berhati-hati dalam menyampaikan gagasannya (Campbell, 2003).

Seleksi alam menjelaskan bagaimana organisme dalam suatu populasi mengembangkan sifat-sifat yang memungkinkan mereka untuk bertahan hidup dan bereproduksi. Seleksi alam berarti bahwa sifat-sifat yang menawarkan keuntungan kemungkinan besar akan diteruskan kepada keturunannya. Evolusi terjadi melalui seleksi alam (Sridianti, 2020).

## Bentuk-bentuk Seleksi Alam

### 1. Seleksi Terarah

Suatu populasi mungkin dapat berada dalam keadaan dimana individu-individu yang menempati satu ekstrim dari kisaran fenotip lebih disukai daripada yang lain-lain. Hal ini terjadi akibat perubahan pada lingkungan fisiknya. Polusi udara yang disebabkan oleh revolusi industri di Britania Raya berakibat evolusi populasi berwarna lebih gelap pada banyak sekali spesies ngengat-melanisme industri. Pergeseran fenotip ini biasa disebut penggantian ciri. Ini adalah akibat dari seleksi berarah. Jadi seleksi berarah adalah kekuatan dinamis yang menyebabkan perubahan progressif dalam genotip dan oleh karena itu perubahan evolusioner (Hicha, 2018).

## **2. Seleksi Stabilisasi**

Seleksi ini terjadi pada semua populasi dan cenderung memperkecil keekstriman atau penonjolan didalam kelompok. Dalam hal ini, hal tersebut mengurangi kemampuan menghasilkan variasi dalam suatu populasi, dengan demikian mengurangi pula kesempatan mengalami perubahan evolusi (Aredyta, 2012). Seleksi alamiah sering bekerja untuk menyingkirkan individu dari kedua fenotip ekstrim tersebut, di samping meningkatkan keberhasilan reproduksi fenotip yang mendekati nilai rata-rata. Dalam hal yang demikian, seleksi alamiah merupakan kekuatan yang bekerja untuk memelihara suatu keadaan tetap pada saat tertentu. Misalnya, ekor panjang dan ekor pendek itu keduanya tidak menguntungkan bagi tikus. Faktor-faktor yang mungkin melibatkan seperti halnya daya tarik pada lawan jenis, kemudahan gerak, kerugian karena pemangsa. Pada manusia misalnya, insiden mortalitas bayi itu lebih tinggi baik pada bayi dengan bobot sangat berat maupun dengan bobot yang sangat ringan (Hicha, 2018).

## **3. Seleksi Distruktif**

Seleksi distruktif dapat terjadi jika factor-factor lingkungan mengambil sejumlah bentuk yang terpisah (Aredyta, 2012). Tampaknya ada keadaan tertentu dimana individu pada kedua ekstrim dari kisaran fenotipnya lebih sesuai dari pada yang terdapat di tengah-tengah. Hal ini dinamakan seleksi disruptif atau seleksi terganggu. Arti penting evolusionernya terdapat pada kenyataan bahwa seleksi disruptif itu dapat menimbulkan terpecahnya lungkang (pool) gen tunggal menjadi dua lungkang gen yang berbeda. Hal ini dapat merupakan suatu cara pembentukan spesies baru (Hicha, 2018).

## **Kepunahan**

Kepunahan merupakan hilangnya keberadaan dari sebuah spesies atau kelompok takson yang di tandai dengan matinya individu terakhir tersebut. Seleksi alam merupakan proses yang terus berlangsung karena lingkungan terus berubah. Kepunahan dapat terjadi bila proses adaptasi tidak sejalan dengan perubahan lingkungan. Seleksi alam berkaitan erat dengan teori evolusi, yakni makhluk hidup yang tidak mampu untuk beradaptasi dengan lingkungan maka akan punah.

Makhluk hidup yang menghuni bumi saat ini ialah makhluk hidup yang mampu beradaptasi dengan berbagai kondisi lingkungan sesuai habitatnya dan mampu bersaing serta mampu mempertahankan hidupnya. Organisme yang berhasil melalui proses filter alam hanyalah organisme yang mampu menyesuaikan diri terhadap lingkungan, proses atau mekanisme ini terjadi selama berjuta-juta tahun secara bertahap. Kepunahan spesies dapat diakibatkan oleh ketidakmampuan suatu individu dalam menyesuaikan diri terhadap lingkungan sekitar, baik akibat faktor alami maupun akibat ulah manusia seperti kegiatan perburuan dan alasan lainnya (Suwarjono *et al.*, 2019).

## **DISKUSI**

1. Bagaimanakah seleksi alam dapat terjadi?
2. Apakah kepunahan terjadi pada suatu spesies ataukah populasi?
3. Bagaimana Islam memandang konsep seleksi alam dan teori kepunahan?

## Referensi

- Aredyta. 2012. Macam-Macam Seleksi Alam Dan Evolusi. <https://aredyta.blospot.com/2012/05/macam-macam-seleksi-alam-dan-evolusi.html>
- Campbell, Neli A. 2003. Biologi Edisi Kelima Jilid 2 Jakarta : Erlangga
- Ferry, D. (2019). Peningkatan Hasil Belajar dan Keaktifan Mahasiswa Melalui Strategi Pembelajaran Peta Konsep Pada Mata Kuliah Evolusi. *Journal on Education*, 1(4), 809-816.
- Hicha, K.-C. C., Stavropoulos, P., Blobel, G., Hoelz, A., Sudha, G., Nussinov, R., Srinivasan, N., Taylor, P., Sawhney, B., Chopra, K., Saito, S., Yokokawa, T., Iizuka, G., Cigdem, S., Belgareh, N., Rabut, G., Baï, S. W., Van Overbeek, M., Beaudouin, J., ... Gupta, M. R. (2018). Kepunahan. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 3(1), 1–10.
- Sridianti. 2020. Pengertian dan Contoh Seleksi Alam. <https://www.sridianti.com/pengertian-dan-contoh-seleksi-alam.html>.
- Suwarjono, H., Rustaman, N. Y., Rustaman, N. Y., Sudargo, F., Sudargo, F., Hidayat, T., & Hidayat, T. (2019). Perspektif Ilmiah Dan Keyakinan Terhadap Evolusi Mahasiswa Biologi Di Universitas Berbasis Agama. *Jurnal Sosial Humaniora*, 10(2), 83. <https://doi.org/10.30997/jsh.v10i2.1874>

# BUKTI EVOLUSI

## Pengantar

Evolusi sampai saat ini masih menjadi perdebatan di berbagai kalangan. Pangkal teori evolusi adalah pengamatan fakta dan bukti berupa fosil yang umumnya tidak utuh dengan jumlah yang sangat sedikit yang kemudian direkonstruksi. Bukti-bukti yang menandakan adanya evolusi dapat dilihat dari berbagai sudut pandang. Pertama, dari adanya bukti paleontologi. Kedua adalah bukti taksonomi, dan ketiga adalah bukti embriologi.

## Bukti-Bukti Evolusi

### 1. Fosil

Fosil adalah sisa-sisa organisme dari manusia, hewan, maupun tumbuhan yang telah lama mati dan terawetkan di dalam batu (Bryan, Crofton, Gibbons, & Green, 2018). Proses pembentukan fosil (fosilisasi) membutuhkan waktu ratusan tahun. Bukti fosil memiliki peranan yang sangat penting, termasuk hubungannya dengan kelompok organisme yang disebut spesies transisi seperti *Tiktaalik sp* yang menyajikan bukti awal untuk mata rantai antara hewan air dan hewan darat (Sari, 2020).

Di antara banyak fosil yang ditemukan, fosil kuda memiliki formasi paling lengkap. *Hyracotherium* merupakan kuda yang paling awal hidup di hutan Amerika Utara (Bryan, Crofton, Gibbons, & Green, 2018). Hewan ini seukuran anjing dilengkapi 5 jari kaki pada masing-masing kaki. *Hyracotherium* diperkirakan hidup sekitar 55 juta tahun lalu. Seiring berkembangnya waktu, *Hyracotherium* berevolusi menjadi lebih besar dan 4 jari kakinya tereduksi (Anonim, 2020). Evolusi tersebut berujung pada kuda modern yang umum kita temui saat ini yang memiliki 1 kaki. Kuda modern telah berevolusi selama jutaan tahun dari hewan kecil menjadi hewan besar berlari cepat.

### 2. Anatomi dan Fisiologi Perbandingan

Anatomi merupakan kajian mengenai struktur suatu organisme. Teori evolusi memprediksi bahwa keterkaitan organisme ditunjukkan dengan adanya kesamaan organ yang berasal dari nenek moyang umum (*common ancestor*). Bagian tubuh dengan struktur dasar yang sama dikenal sebagai homologi. Struktur homolog ditemukan pada organisme-organisme yang berbeda tetapi memiliki common ancestor yang sama. Homologi dapat dijelaskan dengan membandingkan anatomi dari makhluk hidup yang berbeda, yang terlihat dari kesamaan dan perbedaan sel, mempelajari perkembangan embrio, dan mempelajari struktur-struktur sisa (*vestigial structures*) pada individu suatu organisme.

### 3. Embriologi Perbandingan

Embriologi adalah salah satu cabang ilmu yang mempelajari pembentukan, pertumbuhan, dan perkembangan embrio dalam kandungan. Organisme yang memiliki hubungan kekerabatan yang dekat akan mengalami tahapan yang sama



dalam perkembangan embrionya. Ontogeni adalah perkembangan individu suatu spesies mulai dari telur sampai dewasa. Filogeni adalah perkembangan spesies dalam proses evolusinya.

Pada tahap-tahap tertentu, embrio spesies mengulangi evolusi nenek moyangnya. Dengan kata lain, ontogeni merupakan rekapitulasi runtun peristiwa evolusi dalam filogeni. Sebagai contoh, adanya ekor pada tingkat awal embrio manusia menunjukkan adanya suatu pengulangan dari nenek moyangnya.

Organisme yang memiliki hubungan kekerabatan yang dekat akan mengalami tahapan yang sama dalam perkembangan embrionya. Sebagai contoh, semua embrio vertebrata akan mengalami suatu tahapan dimana mereka memiliki kantung insang pada bagian samping tenggorokannya. Pada tahapan perkembangan ini persamaan pada ikan, katak, burung, ular, manusia, dan semua vertebrata lain jauh lebih terlihat daripada perbedaannya. Selama perkembangan itu berlangsung, berbagai vertebrata menjadi semakin bervariasi dan akhirnya akan memiliki ciri khas pada kelasnya.

#### **4. Biogeografi**

Biogeografi merupakan disiplin ilmu yang mempelajari tentang penyebaran tumbuh-tumbuhan dan binatang secara geografis di muka bumi. Biogeografi juga sering dikaitkan dengan sejarah terbentuknya daratan dan Teori Pangea.

#### **5. Genetika Molekuler**

Ahli embriologi pada akhir abad ke-19 mengemukakan pandangan yang ekstrim "ontogeni merupakan ikhtisar filogeni". Pendapat ini menganggap bahwa perkembangan organisme individu, atau ontogeni, merupakan ulangan sejarah evolusioner spesies, atau filogeni.

Hubungan evolusi di antara spesies dicerminkan dalam DNA dan proteinnya (gen dan produk gen). Jika dua spesies memiliki pustaka gen dan protein dengan urutan monomer yang sangat bersesuaian, urutan itu disalin pasti dari nenek moyang yang sama.

Seiring dengan meningkatnya kemampuan untuk mengurutkan nukleotida yang menyusun DNA, gen juga dapat digunakan untuk merekonstruksi sejarah evolusi organisme. Karena mutasi, urutan nukleotida dalam suatu gen berubah secara bertahap seiring waktu. Semakin dekat kekerabatan suatu organisme, semakin kecil perbedaan DNA mereka. Gen berevolusi dengan kecepatan yang berbeda-beda karena, meskipun mutasi terjadi secara acak, beberapa protein jauh lebih toleran terhadap perubahan urutan asam aminonya dibandingkan protein lainnya.

**DISKUSI**

1. Bagaimana para ahli memastikan bahwa fosil yang ditemukan adalah fosil asli bukan tiruan?
2. Jelaskan mengenai asal usul kehidupan yang dikaitkan dengan Teori Pangea!
3. Bagaimana perkembangan bukti evolusi terkait penemuan-penemuan spesies baru secara molekuler?

## REFERENSI

- Anonim. (2020). Evolution of Horse. India: Indira Gandhi National Open University.
- Bryan, K., Crofton, I., Gibbons, W., & Green, J. (2018). Teori Evolusi. Bandung: PT Pakar Raya
- Ma, Liran, Jianbin Luo, Takuya Hiramoto, Yasushi Onumata, Yoshitaka Manabe, Hiromitsu Takaba, Energy Corporation, Adsorption Energy, P. J. Flory, Ì. Æ, Takahiro Sato, Riemannian Geometry, Geometric Analysis, M. Muraki, K. Nakamura, Riemannian Geometry, dan Geometric Analysis. 2019. "Bukti Terjadinya Evolusi." *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part J: Journal of Engineering Tribology*, 224(11):122–30.
- Sari, E. (2020). Diktat Teori Evolusi. Lampung: UIN Raden Inten.

# KONSEP SPESIES DAN SPESIASI

## PENGANTAR

Evolusi adalah perubahan secara bertahap dalam waktu yang lama akibat seleksi alam pada variasi gen dalam suatu individu spesies yang menghasilkan perkembangan spesies baru. Segala makhluk hidup yang sekarang ditemukan adalah hasil perkembangan berangsur-angsur pada masa silam. Di dunia ini banyak sekali ragam hewan dan tumbuh-tumbuhan yang diperkirakan ada dua juta spesies. Spesies dalam bahasa latin berarti “jenis” atau “penampakan”. Spesies merupakan unit dasar untuk memahami biodiversitas. Spesies adalah suatu kelompok organisme yang hidup bersama di alam bebas, dapat mengadakan perkawinan secara bebas, dan dapat menghasilkan anak yang fertil dan bervitalitas sama dengan induknya.

## Konsep Spesies

Spesies adalah sekelompok individu yang berpotensi untuk bereproduksi dalam satu kelompok dan tidak mampu bereproduksi dengan kelompok lain (definisi secara biologis). Definisi lain menurut Toha (2014) spesies adalah sekelompok individu yang mempunyai karakter morfologi, fisiologi atau biokimia berbeda dengan kelompok lain (definisi secara morfologis).

Munculnya keanekaragaman konsep spesies ini dilatarbelakangi oleh dua alasan mendasar. Alasan pertama adanya perbedaan pemahaman tentang spesiasi yang merupakan proses munculnya suatu spesies baru. Karena spesiasi bukan hanya menarik perhatian para ahli evolusi, tetapi juga telah memikat perhatian dari berbagai disiplin bidang biologi lainnya seperti morfologi, genetika, ekologi, fisiologi, paleontologi, biologi reproduksi, dan biologi tingkah laku. Alasan kedua adalah karena spesies merupakan hasil dari proses evolusi yang terus berjalan. Artinya bahwa konsep spesies yang dibuat berdasarkan proses spesiasi yang masih sebagian berjalan akan berbeda dengan konsep spesies yang dibuat ketika spesies itu benar-benar sudah sampai pada akhirnya.

## Konsep Spesiasi

Spesies baru muncul melalui proses yang disebut spesiasi. Dalam spesiasi, suatu spesies leluhur terpecah menjadi dua atau lebih spesies keturunan yang secara genetic berbeda satu sama lain dan tidak dapat lagi kawin silang. Spesiasi adalah proses terbentuknya spesies baru. Hal tersebut terjadi ketika kelompok-kelompok dalam suatu spesies menjadi terisolasi secara reproduktif dan menyimpang.

Spesiasi membahas tentang transisi mikroevolusi ke makroevolusi. Proses mikroevolusi yang terjadi pada populasi, yaitu seleksi alam, perubahan frekuensi gen, pemeliharaan variasi genetik, ekspresi khusus dari variasi gen, evolusi dari kelamin,

sejarah hidup dan alokasi seksual, seleksi seksual, dan konflik genetik. Jembatan antara mikro dan makroevolusi adalah spesiasi, yang bertanggung jawab terhadap keanekaragaman kehidupan (Stearns and Hoekstra, 2003). Spesiasi merupakan proses pembentukan spesies baru dan berbeda dari spesies sebelumnya melalui proses perkembangbiakan natural dalam kerangka evolusi.

## **Jenis Spesiasi**

### **1. Spesiasi Allopatrik**

Spesiasi alopatrik (dari bahasa Yunani Kuno, *allos* = lainnya dan *patrik* = tanah air) atau spesiasi geografis. Merupakan spesiasi yang berlangsung ketika populasi spesies yang sama terisolasi satu sama lain hingga tak terjadi pertukaran gen. Hal ini dapat diakibatkan oleh persebaran penduduk atau perubahan geografis seperti pembentukan pegunungan, pulau, atau kegiatan manusia berskala besar (seperti pengembangan agrikultur dan teknik sipil). Populasi yang terpisah tersebut kemudian saling menjauh secara genotip atau fenotip karena menghadapi tekanan seleksi yang berbeda, mengalami hanyutan genetik yang berbeda, dan kemunculan genetik yang berbeda di lingkungan gen masing-masing populasi. Seiring berjalannya waktu, populasi yang terpisah akan berevolusi dan mengembangkan karakter yang berbeda. Bila batas geografis nantinya hilang, anggota kedua populasi mungkin sudah tak mampu berkawin, sehingga keduanya telah menjadi spesies yang berbeda.

### **2. Spesiasi Simpatrik**

Spesiasi simpatrik (dari bahasa Yunani Kuno, *Sim* artinya “sama” dan *patrik* artinya “tanah air”). Spesiasi simpatrik adalah “sebuah proses yang jarang terjadi dimana populasi yang menghuni setidaknya wilayah geografis yang sama menjadi terisolasi secara reproduktif. Dalam spesiasi simpatrik, organisme dari spesies nenek moyang yang sama menjadi terisolasi secara reproduktif dan menyimpang tanpa pemisahan fisik. Pada awalnya, gagasan ini mungkin tampak aneh, terutama setelah memikirkan tentang spesiasi alopatrik.

Ada beberapa cara terjadinya spesiasi simpatrik. Namun, salah satu mekanisme yang cukup umum yaitu pada tumbuhan. Sebagian besar model spesiasi simpatrik masih dalam kontroversi, kecuali pada model spesiasi spontan dan spesiasi poliploid yang terjadi pada tanaman. Jika bastar antara dua spesies diploid membentuk tetraploid akan dapat memperbesar isolasi reproduktif dari tetua yang diploid. Keturunan triploid akibat backcross mempunyai proporsi aneuploid yang tinggi, karena gamet membawa cacat bawaan. Pembatasan interbreeding diantara bentuk diploid dan tetraploid dapat muncul, tetapi tidak pada poliploid.

## **DISKUSI**

1. Bagaimana spesies dari proses spesiasi allopatrik dan simpatrik terbentuk?
2. Bagaimana konsep spesiasi jika dilihat dari kajian biosistematik?
3. Apa saja contoh spesies dari proses spesiasi?

## REFERENSI

- Berkeleg Edu. (2023). *Evolution*. <https://ugc.berkeley.edu/background-content/evolution/>.
- Biolibretext. (2023). *Reproductive Isolation*. [https://bio.libretexts.org/Bookshelves/Introductory\\_and\\_General\\_Biology/Book%3A\\_General\\_Biology\\_\(Boundless\)/18%3A\\_Evolution\\_and\\_the\\_Origin\\_of\\_Species/18.02%3A\\_Formation\\_of\\_New\\_Species/18.2B%3A\\_Reproductive\\_Isolation](https://bio.libretexts.org/Bookshelves/Introductory_and_General_Biology/Book%3A_General_Biology_(Boundless)/18%3A_Evolution_and_the_Origin_of_Species/18.02%3A_Formation_of_New_Species/18.2B%3A_Reproductive_Isolation).
- Toha, A. H. A. (2014). Informasi Status, Kondisi dan Berita Biodiversitas Indonesia. *Buletin Konservasi Biodivesitas Raja Ampat, November 2014*, Vol.11 No. 3 Tahun 2014 1-8.
- Waluyo, L. 2005. *Evolusi Organik*. UMM Press.Malang.

# EVOLUSI MODERN DAN BIODIVERSITAS

## Pengantar

Metode penelitian evolusi yang berbasis pada genetika populasi dan biologi molekuler dikenal sebagai evolusi molekuler. Metode ini mengeksplorasi perubahan materi genetik (urutan DNA atau RNA) dan produknya (protein), serta sejarah evolusi organisme yang didukung oleh data molekuler. Salah satu bagian evolusi molekuler adalah perubahan evolusi berbasis urutan nukleotida. Ini terkait dengan peristiwa mutasi, insersi, delesi, dan inversi, yang dapat menyebabkan perubahan pada tingkat gen (nukleotida), di mana perubahan ini berfungsi sebagai penggerak untuk evolusi pada tingkat molekuler (mikroevolusi).

Ada banyak pendekatan yang digunakan untuk mengkaji evolusi biologi saat ini (masa evolusi modern), termasuk pendekatan genetika populasi, evolusi ekologi, evolusi molekuler, sistematik, dan paleontologi. Pendekatan evolusi molekuler (molecular evolution) adalah salah satu pendekatan yang paling banyak digunakan untuk mengkaji teori evolusi di era modern. Metode molekuler ini mempelajari dan melihat perkembangan dari rekaman urutan DNA, RNA dan protein sebagai produk.

## Evolusi Molekuler

Evolusi molekuler merupakan perubahan dinamis pada tingkat molekul dengan fokus pada sekuensi DNA atau RNA. Perubahan dalam sekuensi gen memiliki potensi untuk memicu evolusi molekuler, yang pada dasarnya mencerminkan perubahan genetik pada tingkat molekuler. Salah satu penyebab perubahan di tingkat genetik, seperti mutasi genetik, dapat dihubungkan dengan evolusi molekuler.

Metode penelitian evolusi yang berbasis pada genetika populasi dan biologi molekuler dikenal sebagai evolusi molekuler. Metode ini mengeksplorasi perubahan materi genetik (urutan DNA atau RNA) dan produknya (protein), serta sejarah evolusi organisme yang didukung oleh data molekuler. Salah satu bagian evolusi molekuler adalah perubahan evolusi berbasis urutan nukleotida. Ini terkait dengan peristiwa mutasi, insersi, delesi, dan inversi, yang dapat menyebabkan perubahan pada tingkat gen (nukleotida), di mana perubahan ini berfungsi sebagai penggerak untuk evolusi pada tingkat molekuler (mikroevolusi).

## Biosistematik

Biosistematik adalah suatu cabang biologi yang mempelajari keragaman hidup yang mencakup taksonomi dan terlibat dalam rekonstruksi sejarah filogenetik. Pada dasarnya, biosistematika bertujuan untuk memahami dan mendeskripsikan keanekaragaman suatu organisme, merekonstruksi hubungan kekerabatan antara organisme satu terhadap organisme lainnya, mendokumentasikan perubahan-



perubahan yang terjadi selama evolusinya dan merubahnya ke dalam sebuah sistem klasifikasi yang mencerminkan evolusinya tersebut. Terdapat dua cara dalam mengkaji hubungan kekerabatan suatu makhluk hidup yaitu metode fenetik yang dilanjutkan dengan pembuatan fenogram dan metode kladistik yang dilanjutkan dengan pembuatan kladogram. Kladistik dibuat berdasar kesamaan sifat-sifat apomorfi.

1. **Fenetik** adalah metode kuantitatif dalam sistem biologis yang berfokus pada kesamaan morfologi. Fenetik, disebut juga taksimetri, mengelompokkan spesies berdasarkan ciri-ciri anatominya tanpa membedakan homologi dan kemiripan. Spesies dengan morfologi serupa dikelompokkan bersama, dan spesies dengan morfologi berbeda dipisahkan menjadi kelompok terpisah. Fosil vertebrata dapat diklasifikasikan secara fenotip berdasarkan bentuk tulangnya, dan spesies yang masih ada dapat dibedakan berdasarkan ciri-ciri seperti pola sayap *Drosophila melanogaster*.
2. **Filogenetik**, disisi lain berkaitan dengan klasifikasi berbasis evolusi dan menggunakan analisis dalam kladistika pengelompokkan selalu diarahkan pada pembentukan clad yang tuntas (mencangkum semua komponen yang termasuk di dalamnya). Keluaran dari kladistika yang pokok dinamakan kladogram (cladistic dendogram), suatu percabangan yang dianggap mewakili hubungan kekerabatan di antara organisme/ komponen yang dikelompokkan berdasarkan garis leluhur yang sama. Kladogram biasa dianggap sebagai pohon evolusi. Kladogram di buat dengan memanfaatkan ratusan ribu hingga jutaan informasi genetik baik berupa penanda maupun sekuens DNA atau RNA.

## **DISKUSI**

1. Bagaimana temuan spesies baru dikaji secara molekuler?
2. Bagaimana kekerabatan menjawab kontradiksi konsep evolusi secara makro?
3. Bagaimana Islam melihat perkembangan evolusi dikaji melalui konsep molekuler dan biosistematik?

## REFERENSI

- Airlangga, P. U., Varietas, S. B., & Batu, K. (1994). 2.1.2. *Tinjauan biosistematika atau sistematik*. 8–23.
- Barton, N. H. (2010). Mutation and the evolution of recombination. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 365(1544), 1281–1294. <https://doi.org/10.1098/rstb.2009.0320>
- Aprilyanto, V., & Sembiring, L. (2016). *Filogenetik molekuler*. Yogyakarta: Innosain.
- Triesita, N. I. P., Masrurroh, I. H., Sulistiono, S., & Santoso, A. M. (2018, September). Hubungan Kekerabatan Rana Berdasarkan Gen cyt b Berbasis In Silico sebagai Bukti Adanya Evolusi Molekuler. In *Prosiding Seminar Nasional Hayati* (Vol. 6, pp. 224-229).
- Wulandary, D. T. (2005). Evolusi mitokondria dan pemanfaatannya dalam Penelusuran Kekerabatan dan Evolusi Organisme. *Isjd. pdii. lipi. go. id/admin/jurnal/ed50805255. pdf* (Diakses: 8 Januari 2019).