



Urgensi Mempelajari Mutasi dan Variasi Genetik Berorientasi *Content Representation* Untuk Memahami Evolusi Organisme

Mahda Rizqina Maftuha¹, Najira¹, Topik Hidayat^{1*}

¹ Program Studi S-2 Pendidikan Biologi, Fakultas Pendidikan Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Pendidikan Indonesia, Bandung

*Email: topikhidayat@upi.edu

Info Artikel	Abstrak
Diterima: 07 Juni 2024 Direvisi: 08 Agustus 2024 Diterima untuk diterbitkan: 30 November 2024	Adanya miskonsepsi dan kesulitan siswa dalam pembelajaran materi mutasi menyebabkan pemahaman dan hasil belajar siswa mengalami penurunan. Peran guru sangat penting dalam memfasilitasi pembelajaran siswa. Guru seharusnya dapat merancang dan memanfaatkan model, metode, dan media yang tepat agar pembelajaran dapat berlangsung secara efektif. Seperti pada sifat materi yang abstrak atau tidak dapat diamati secara langsung, termasuk di dalamnya pada konsep materi mutasi dan evolusi. Tujuan pada penelitian ini untuk memetakan konsep-konsep penting pada pembelajaran mutasi dan variasi genetik berupa kompleksitas dan keabstrakan untuk memahami materi evolusi Organisme. Penelitian ini menggunakan metode studi literatur. Setelah dilakukan pengkajian pada berbagai literatur, didapatkan identifikasi dan analisis mengenai konsep mutasi dan variasi genetik. Sehingga, dapat digunakan oleh guru untuk referensi dalam merancang pembelajaran. Terdapat Ide besar diantaranya faktor penyebab mutasi, jenis mutasi, dampak mutasi dan hubungan antara variasi genetik, mutasi, spesiasi, dan biodiversitas yang muncul dalam CoRe menjadi beberapa pertimbangan yang penting dalam konseptualisasi suatu topik saat mengajarkan pada siswa dengan adanya kedalaman dan keluasan materi, guru masih dapat memangkas materi yang disesuaikan dengan kondisi lingkungan belajar siswa. Pembelajaran harus mempertimbangkan kondisi siswa dan guru sehingga penggunaan pendekatan, model, media, dan metode sangat menentukan keberhasilan dalam mengajarkan pelajaran evolusi organisme yang bersifat abstrak ini.
Keywords: Mutasi; variasi genetik; pembelajaran biologi; cores; evolusi organisme.	

© 2024 Mahda Rizqina Maftuha. This is an open-access article under the CC-BY license (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0>)

PENDAHULUAN

Biologi merupakan bidang ilmu yang mempelajari mengenai makhluk hidup, lingkungan, dan interaksi antar keduanya. Mengimplementasikan konten biologi ke dalam pembelajaran dapat dilakukan dengan mengaitkan permasalahan atau fenomena pada kehidupan sehari-hari siswa.



Sehingga, diharapkan pembelajaran dapat lebih bermakna dan siswa dapat memahami konsep materi secara komprehensif. Pembelajaran biologi idealnya memiliki relevansi dengan hakikatnya sebagai sains, yaitu terdiri dari suatu proses, produk, dan sikap (Sanjaya, 2009).

Mutasi merupakan salah satu materi biologi yang dipelajari pada tingkat SMA. Berdasarkan Capaian Pembelajaran pada kurikulum merdeka, materi mutasi diajarkan pada akhir fase F dimana tagihannya menuntut peserta didik memiliki kemampuan mengevaluasi gagasan baru mengenai evolusi dan inovasi teknologi biologi. Materi evolusi termasuk dalam materi yang abstrak yaitu tidak dapat diamati jika tidak menggunakan alat bantu. Pada proses pembelajaran mutasi, peserta didik diharapkan dapat memahami peristiwa mutasi dan adanya pergeseran fragmen DNA sebagai akibat dari adanya peristiwa mutasi (Mulyani, 2017). Konsep dasar pada materi mutasi diantaranya yaitu bahwa mutasi merupakan perubahan pada materi genetik baik pada tingkat gen maupun kromosom, syarat terjadinya mutasi yaitu adanya perubahan pada materi genetik yang hasilnya dapat diwariskan kepada keturunannya, dan terdapat beberapa macam mutasi berdasarkan faktor penyebabnya seperti adanya mutasi alami dan buatan, mutasi somatik dan generatif, dan mutasi gen atau mutasi kromosom (Safitri, 2016).

Mutasi dan variasi genetik merupakan sub materi dari konsep evolusi. Kajian evolusi memperkenalkan siswa pada konsep mutasi sebagai bagian dasar yang diperlukan dalam penguasaan evolusi (Hoefnagels, 2012; Carlin, 2011). Ditinjau dari evaluasi pembelajaran materi evolusi, dapat diketahui bahwa masih terdapat miskonsepsi yang dialami oleh siswa utamanya mengenai dampak dari mutasi gen dan kromosom (Maulidi, 2014). Selain itu, dapat diketahui juga bahwasanya guru juga masih mengalami miskonsepsi terkait dengan materi mutasi (Nurlaila et al., 2017; Etobro dan Banjoko, 2017). Untuk dapat menyelenggarakan pembelajaran yang efektif, maka kemampuan guru dalam mengelola pembelajaran dan penguasaan konten materi merupakan suatu hal yang penting.

TPACK (*Technological Pedagogical Content Knowledge*) merupakan kemampuan yang harus dimiliki oleh guru dalam melakukan integrasi mengenai konten, pedagogi, dan teknologi dalam rangka menghadapi pendidikan pada abad 21 (Putri, et al., 2019). Instrumen yang dapat digunakan untuk menganalisis kemampuan TPACK guru salah satunya dapat dilakukan dengan menggunakan CoRes (Rizki, et al., 2022). CoRes berisi uraian konsep-konsep atau materi yang penting dalam mengajarkan suatu topik tertentu untuk memetakan konsep belajar berdasarkan ide-ide besar (Loughran John, 2006). Ide besar yang ada dalam CoRes bertujuan untuk mengetahui konsep-konsep esensial dari suatu topik yang akan diajarkan (Elvianasti, 2019). Dengan menyusun CoRes, dapat diketahui kemampuan guru dalam memahami semua aspek dalam materi, mulai dari penentuan tujuan, kedalaman dan keluasan materi, serta bagaimana strategi untuk mengajarkan konsep tersebut (Rizki, et al., 2022). Berdasarkan paparan permasalahan di atas, Maka tujuan pada penelitian ini yaitu untuk memetakan konsep-konsep penting pada pembelajaran materi evolusi dengan sub materi mutasi dan variasi genetik sebagai alternatif referensi bagi guru dalam mengelola pembelajaran.

METODE

Metode yang digunakan dalam penelitian ini yaitu studi literatur. Studi literatur merupakan salah satu metode penelitian dengan pengumpulan data melalui pencarian dan pemahaman dengan mempelajari teori dari berbagai pustaka atau literatur yang berhubungan dengan pokok bahasan penelitian tersebut. Adapun tahapan dari studi literatur yaitu menyiapkan alat yang diperlukan, bibliografi kerja, mengatur waktu, serta membaca ataupun mencatat bahan penelitian (Zed, 2008). Artikel dihimpun dari portal jurnal seperti *publish or perish*, *google scholar*, *Crossref*, *Research gate*, dan *Springer*. Kemudian, dari artikel yang telah dikumpulkan, direduksi berdasarkan kriteria inklusi dan eksklusi hingga didapatkan artikel sesuai dengan topik bahasan. Adapun kriteria inklusi yang ditentukan terdiri dari topik penelitian pada pembelajaran biologi pada materi evolusi dan subjek penelitian pada jenjang SMA. Sedangkan, kriteria eksklusi terdiri dari artikel ilmiah dengan metode sistematik *literature review* atau berupa data sekunder, artikel yang tidak dapat

diakses secara keseluruhan, subjek penelitian pada jenjang SMP atau mahasiswa S1. Kata kunci yang dicari yaitu mengenai materi mutasi, variasi genetik, evolusi, pembelajaran inovatif, dan kurikulum merdeka.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Berdasarkan studi literatur yang dilakukan didapatkan hasil penelitian berupa pemetaan konsep-konsep penting untuk mempelajari mutasi dan variasi genetik pada materi evolusi Organisme berorientasi pada *Content Representation* maka hal yang perlu diperhatikan sebagai berikut:

Capaian Pembelajaran Materi Mutasi dan Variasi Genetik

Dalam kurikulum merdeka, materi mutasi termasuk dalam Fase F. Adapun Capaian Pembelajaran pada Fase F dari mata pelajaran biologi kurikulum merdeka yaitu peserta didik dapat menjelaskan peristiwa mutasi dan menganalisis sebab-sebab terjadinya mutasi dengan pengetahuan prasyarat peserta didik mempelajari materi genetik dan pembelahan sel pada sub bab sebelumnya. Sedangkan, variasi genetik tidak secara eksplisit masuk dalam bab atau sub bab materi pembelajaran biologi di SMA.

Definisi Konsep Mutasi, Variasi Genetik, dan Evolusi, serta Kedalaman dan Keluasan Materi

Evolusi dapat dipandang sebagai dua cara yang berbeda yaitu sebuah pola dan proses. Evolusi menunjukkan adanya proses dari pola perubahan dari fenomena yang dapat kita amati seiring dengan berjalannya waktu (Urry, *et al.*, 2021). Berdasarkan *Teori The Origin of Species* yang dikemukakan oleh Darwin, dapat diketahui bahwa keanekaragaman hayati merupakan produk dari evolusi (Urry, *et al.*, 2021). Selain itu, Darwin juga mengemukakan bahwa apabila makhluk hidup tinggal di berbagai habitat, maka akan menyesuaikan diri dengan modifikasi atau adaptasi agar dapat bertahan hidup.

Adanya keragaman genetik makhluk hidup hingga sampai saat ini merupakan hasil mutasi dan penyimpangan genetik yang terjadi di masa lalu (Ellegren dan Galtier., 2016). Tingkat mutasi yang tinggi menyebabkan keragaman genetik yang tinggi pula, kecuali pada fenomena tertentu (Sanjuan, *et al.*, 2010). Sedangkan, kemungkinan organisme mengalami perubahan informasi genetik disebut laju mutasi (Sanjuan, *et al.*, 2016). Tujuan dari terjadinya mutasi yaitu agar makhluk hidup dapat menghadapi perubahan alam yang bisa saja sewaktu-waktu dapat terjadi. Mutasi dapat terjadi melalui berbagai proses, seperti terjadi kesalahan pada saat replikasi atau rekombinasi DNA yang dapat menyebabkan terjadinya insersi, substitusi, atau delesi dari pasangan basa. Sehingga, pasangan basa pun akan berbeda dan mengkode polipeptida yang berbeda. Penyebab mutasi disebut dengan mutagen. Terdapat tiga mutagen yang diketahui yaitu mutagen fisika, kimia, dan biologi. Misal, penerapan mutagen fisika dengan menyinari sinar radiasi gamma C-060 yang digunakan untuk pemuliaan tanaman tomat dengan karakteristik unggul (Sutapa dan Kasmawan., 2016).

Mutasi dapat menyebabkan keanekaragaman pada spesies karena pada mutasi gen dapat menghasilkan variasi antar individu disebabkan munculnya alel-alel baru. Jika mutasi terjadi pada sel gamet, maka perubahan genetik tersebut dapat diwariskan kepada keturunannya. Sedangkan, mutasi yang terjadi pada sel tubuh selain pada sel-sel gamet disebut dengan mutasi somatik. karakteristik dari mutasi somatik yaitu tidak bisa diwariskan ke keturunannya (Dewi, *et al.*, 2022). Adanya keanekaragaman genetik dibutuhkan oleh tiap spesies untuk menjaga vitalitas reproduksi, kemampuan beradaptasi pada berbagai macam kondisi, dan pertahanan terhadap penyakit (Supriatna, 2018). Terkait dengan implementasi sub materi mutasi dan variasi genetik dalam pembelajaran siswa pada tingkat SMA, dapat diketahui keluasan dan kedalaman materi melalui tabel berikut.

Tabel 1.

Keluasan dan Kedalaman Materi Mutasi dan Variasi Genetik.

Keluasan Materi	Kedalaman Materi
Faktor Penyebab Mutasi	<ol style="list-style-type: none"> 1. Definisi mutasi 2. Mutagen Fisika 3. Mutagen Kimia 4. Mutagen Biologi
Jenis/macam mutasi	<ol style="list-style-type: none"> 1. Berdasarkan tingkatan 2. Berdasarkan kejadian (spontan dan induksi) 3. Berdasarkan jenis sel 4. Berdasarkan perubahan kode genetik 5. Mutasi kromosom
Dampak mutasi	<ol style="list-style-type: none"> 1. Dampak positif 2. Dampak negatif
Hubungan antara variasi genetik, mutasi, spesiasi, dan biodiversitas	<ol style="list-style-type: none"> 1. Hubungan antara mutasi dan variasi genetik 2. Hubungan antara mutasi, variasi genetik, dan spesiasi 3. Hubungan antara variasi genetik, mutasi, spesiasi, dan biodiversitas dan bagaimana berpengaruh terhadap konsep evolusi

Adapun, terkait dengan analisis karakteristik materi evolusi yaitu termasuk dalam materi yang dianggap sulit bagi siswa karena kompleksitas pemahaman, terlebih pembahasan mengenai mekanisme evolusi, baru dipelajari pada tingkat sekolah menengah, dan bersifat abstrak (Ariawati, 2020) Selain itu, materi evolusi seharusnya dapat disajikan secara utuh dan terdapat hubungan antar konsep yang disajikan secara jelas. Ketika materi dijelaskan secara terpisah-pisah, tidak dijelaskan dari yang umum menuju khusus sehingga konsep tidak tersusun secara sistematis, yang mengakibatkan kesulitan untuk memahami (Ferry, 2019). Sedangkan, dalam sub materi mutasi, terdapat kesulitan seperti proses mutasi kromosom dan mutasi gen sulit untuk diamati secara nyata, meskipun fenotipnya dapat terekspresikan (Hestari, *et al*, 2016). Hal ini sejalan dengan analisis hasil angket yang dilakukan oleh Hestari, *et al* (2016) bahwa sebanyak 63,3% siswa menganggap bahwa materi mutasi gen sulit untuk dipahami. Selain itu, metode ceramah yang digunakan guru dalam pembelajaran tanpa melibatkan peran siswa dapat menyebabkan motivasi siswa, tingkat penguasaan, dan keterampilan siswa menurun, yang pada akhirnya dapat berdampak pada menurunnya hasil belajar siswa (Pranoto, 2022).

Analisis Cores

Berdasarkan kajian mengenai kedalaman dan keluasan materi, pengumpulan informasi mengenai kajian pedagogi konsep dalam pembelajaran mutasi, maka berikut tersaji hasil identifikasi dan analisis *Content representation* (Cores) terkait dengan materi mutasi dan variasi genetik.

Tabel 2.Hasil Analisis *Cores* materi mutasi dan variasi genetik.

No	<i>Important/ Science Ideas/Concepts</i>	<i>Big Idea 1: Faktor penyebab mutasi</i>	<i>Big Idea 2: Jenis/macam mutasi</i>	<i>Big Idea 3: Dampak Mutasi</i>	<i>Big Idea 4: Hubungan antara variasi genetik, mutasi, spesiasi, dan biodiversitas</i>
1.	Untuk apa siswa mempelajari konsep ini?	Untuk memahami bahwa terdapat tiga mutagen yaitu fisika, biologi, dan kimia. dan bagaimana proses tersebut dapat mempengaruhi proses evolusi	Untuk memahami bahwa terdapat berbagai jenis/macam mutasi jika ditinjau dari tingkatan, kejadian, dan jenis sel. dan masing-masing dari jenis mutasi tersebut akan menimbulkan dampak yang berbeda pula	Untuk memahami bahwa terdapat dampak positif dan negatif dari peristiwa mutasi bagi makhluk hidup, serta bagaimana peristiwa mutasi dapat menjadi faktor pendorong terhadap proses evolusi	Untuk memahami bagaimana keterkaitan mutasi terhadap adanya variasi genetik, proses spesiasi, dan bagaimana pola biodiversitas yang menjadi faktor pendorong evolusi
2.	Mengapa konsep ini penting untuk dipelajari siswa?	Agar siswa mengerti bagaimana pengaruh mutagen tertentu pada proses mutasi yang menyebabkan perubahan morfologi atau fisiologi pada makhluk hidup yang dapat menyebabkan evolusi	Agar siswa memahami bahwa terdapat beberapa karakteristik mutasi berdasarkan jenisnya	Agar siswa mengetahui bagaimana dampak dari mutasi yang dapat berpengaruh terhadap keberlangsungan individu atau populasi makhluk hidup yang nantinya dapat juga menyebabkan evolusi	Agar siswa mengetahui bagaimana peran mutasi terhadap proses evolusi, spesiasi, dan membentuk keanekaragaman makhluk hidup di seluruh dunia dikaitkan dengan proses evolusi
3.	Terkait dengan konsep ini, konsep-konsep apa yang belum saatnya siswa pelajari?	Detail mekanisme penyebab mutasi secara molekuler.	Pemahaman tentang bagaimana mutasi mempengaruhi struktur dan fungsi protein secara mendalam, seperti perubahan konformasi protein dan efek pada jalur biokimia	Pengaruh dan mekanisme <i>gene-editing</i> dalam mempengaruhi dampak mutasi yang diinginkan	Pemanfaatan teknik <i>sequencing</i> lanjutan yang digunakan untuk mempelajari variasi genetik dan bagaimana pengaruh pada spesiasi atau biodiversitas; interaksi epigenetik dan mutasi

4.	Kesulitan apa yang mungkin ditemui dalam membelajarkan konsep ini?	Konsep yang abstrak dan kompleks, belum memahami mengenai konsep DNA seperti pada proses replikasi DNA dan fungsi gen	Proses dan mekanisme yang abstrak dan kompleks dan mekanisme terjadinya evolusi dari rentang waktu ke waktu	Proses dan mekanisme yang abstrak dan kompleks, serta kesulitan siswa dalam menghafal karakteristik penyakit tertentu akibat kekurangan atau kelebihan kromosom	Memahami konsep dasar dari mutasi, spesiasi, variasi genetik, dan biodiversitas; memahami bagaimana keterkaitannya serta pengaruhnya terhadap evolusi
5.	Pengetahuan tentang berpikir siswa apa yang akan berpengaruh ketika membelajarkan konsep ini?	Pengetahuan mengenai faktor penyebab mutasi dapat dimanipulasi oleh manusia untuk dapat menghasilkan produk hewan/tumbuhan/mikroorganisme yang memiliki manfaat dan nilai yang tinggi	Pengetahuan bahwa terdapat jenis mutasi yang tidak berdampak secara signifikan terhadap perubahan makhluk hidup	Pengetahuan mengenai berbagai dampak positif dan negatif dari adanya mutasi serta ada dampak mutasi yang negatif bagi hewan/tumbuhan, namun memberi dampak positif pada manusia	Pengetahuan mengenai bagaimana keterkaitan erat antara mutasi, variasi genetik, spesiasi, dan biodiversitas yang kompleks dan penting bagi konsep siswa untuk mempelajari teori evolusi nantinya
6.	Faktor-faktor lain yang berpengaruh ketika membelajarkan konsep ini	Faktor lain yang berpengaruh dalam memahami evolusi melalui faktor mutasi. Beberapa di antaranya termasuk seleksi alamiah, drift genetik, migrasi atau <i>gene flow</i> , dan rekombinasi genetik	Faktor lain membelajarkan konsep jenis mutasi agar siswa memahami bahwa terdapat mutagenesis proses mutasi terjadi secara spontan dan informasi genetik suatu organisme diubah secara stabil, sehingga terjadi mutasi.	Faktor lain dalam membelajarkan dampak mutasi untuk mengetahui sifat mutasi yang menguntungkan, merugikan, dan netral.	Faktor lain yang berpengaruh ketika mempelajari hubungan antara variasi genetik, mutasi, spesiasi, dan biodiversitas meliputi tingkat keanekaragaman genetik dalam populasi atau spesies tertentu, frekuensi mutasi yang terjadi dalam suatu populasi, proses spesiasi yang dapat menghasilkan keragaman hayati baru, serta dampak dari perubahan lingkungan terhadap biodiversitas.

7.	Prosedur pembelajaran konsep ini	Guru memberikan informasi kepada siswa untuk merangsang pengetahuan siswa, lalu guru menjelaskan materi yang dipelajari dengan menggunakan teknologi yang sesuai, memberikan contoh yang ada di kehidupan sehari-hari, dan melakukan diskusi serta tanya jawab.			
8.	Cara untuk meningkatkan pemahaman siswa atau mengatasi kebingungan siswa terhadap konsep	Dengan cara melakukan observasi partisipasi siswa dalam diskusi untuk mengevaluasi sejauh apa siswa telah memahami konsep faktor penyebab mutasi	Dengan cara melakukan metode tanya jawab pada siswa mengenai pemahamannya dari jenis mutasi	Dengan cara melakukan proyek kolaboratif dengan mencari informasi dampak mutasi dari lingkungan rumah dan mampu memaparkan dengan baik didepan kelas	Dengan cara melakukan diskusi mendalam untuk mengevaluasi sejauh apa siswa telah memahami konsep hubungan antara variasi genetik, mutasi, spesiasi, dan biodiversitas
9.	Teknologi yang dapat diterapkan dalam membelajarkan konsep ini	Teknologi AI seperti jenni.ai dapat membantu siswa untuk menjawab suatu peristiwa merupakan faktor penyebab mutasi	Media <i>Computer Assisted Instruction</i> (CAI) penggunaan media berbasis teknologi ini dapat mempermudah pemahaman peserta didik terhadap materi mutasi, dan mengasah daya ingat pada materi mutasi	dalam melihat dampak dari mutasi dapat menggunakan teknologi video berisikan isu ataupun kasus yang terjadi.	dalam mempelajari hubungan antara variasi genetik, mutasi, spesiasi, dan biodiversitas, kita dapat menggunakan <i>Phet Simulation</i> untuk belajar mengenai hubungan tersebut

Dalam penelitian ini, ditemukan bahwa dengan menganalisis *Content Representation* dari materi mutasi dan variasi genetik, guru dapat memetakan dan memahami konsep-konsep esensial seperti faktor penyebab mutasi, jenis/macam mutasi, dampak mutasi, serta hubungan antara variasi genetik, mutasi, spesiasi, dan biodiversitas, hal ini memungkinkan materi evolusi disampaikan dengan lebih efektif kepada siswa. Selain itu, guru juga dapat mengidentifikasi kesulitan siswa dalam memahami konsep-konsep tersebut, sehingga dapat mengarahkan intervensi pembelajaran yang lebih tepat. Temuan ini berkontribusi pada pemahaman yang lebih mendalam mengenai bagaimana konsep-konsep kompleksitas dalam evolusi dapat disajikan dengan cara yang lebih terstruktur dan mudah dipahami, yang pada akhirnya dapat meningkatkan efektivitas pengajaran di kelas dan mendukung pencapaian pembelajaran yang lebih baik di bidang biologi. Dalam mendalami *Content Representation* pada materi mutasi dan variasi genetik, ada beberapa teknik pembelajaran yang ditawarkan kepada guru seperti pendekatan dan metode pembelajaran serta penggunaan media pembelajaran. Pendekatan yang dapat digunakan oleh guru pada pembelajaran evolusi organisme salah satunya adalah pendekatan saintifik. Pendekatan ini memfasilitasi pemahaman evolusi organisme dengan mempelajari mutasi. Penggunaan pendekatan saintifik memberi pengaruh yang positif bagi pembelajaran dibuktikan dengan berbagai penelitian diantaranya membuktikan bahwa pendekatan saintifik mampu meningkatkan sikap, pengetahuan, dan keterampilan proses pada peserta didik (Qomariah et al., 2013), mampu meningkatkan hasil belajar biologi dan keterampilan proses pada peserta didik (Marjan et al., 2014), dan mampu

meningkatkan karakter rasa ingin tahu dan prestasi belajar pada peserta didik (Prahastiwi et al., 2014).

Metode pembelajaran yang paling relevan untuk memahami evolusi organisme, khususnya dalam topik mutasi dan variasi genetik, antara lain adalah metode *Discovery Learning*, metode debat dan komunikasi lisan, serta metode *blended learning*. Pemilihan metode pembelajaran bervariasi dan harus disesuaikan dengan kemampuan siswa serta guru. Penting untuk memilih dan menerapkan metode yang tepat agar pembelajaran dapat berjalan secara efektif. Selain itu, metode tersebut harus disesuaikan dengan kebutuhan siswa, mencakup aspek perkembangan psikologis, tingkat pendidikan, kondisi dan lingkungan sekolah, serta kemampuan pendidik dalam mengimplementasikannya (Aziz et al., 2019).

Media pembelajaran yang digunakan untuk memahami materi evolusi organisme melalui topik mutasi dan variasi genetik meliputi media berbasis web, *flash card*, *Web Based Training (WBT)*, serta *formulator tarsia* berbasis *scaffolding*. Di era globalisasi, hampir semua media yang digunakan telah beralih ke format digital untuk mengikuti perkembangan zaman. Penggunaan media digital memberikan peluang bagi guru untuk menciptakan pembelajaran yang lebih menarik. Salah satu contohnya adalah animasi digital, yang dapat meningkatkan efektivitas dan kecepatan pembelajaran siswa. Dengan animasi digital, siswa dapat memperoleh pengetahuan secara lebih interaktif dan menyenangkan. (Afriyadi et al., 2023).

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil dan pembahasan, beberapa ide besar seperti faktor penyebab mutasi, jenis-jenis mutasi, dampak mutasi, serta hubungan antara variasi genetik, mutasi, spesiasi, dan biodiversitas pada materi evolusi organisme yang disajikan melalui *Content Representation (CoRes)* terbukti efektif dalam memetakan dan menyederhanakan konsep-konsep yang kompleks. Dalam konteks pembelajaran biologi, khususnya evolusi organisme, guru disarankan untuk mempertimbangkan kedalaman dan keluasan materi yang disesuaikan dengan kemampuan siswa serta kondisi lingkungan belajar. Penerapan intervensi pedagogis yang didasarkan pada ide-ide besar ini, termasuk penggunaan teknologi dan metode pembelajaran yang berpusat pada siswa, diharapkan dapat meningkatkan efektivitas pembelajaran. Dengan pendekatan yang lebih sistematis dan terstruktur, konsep-konsep kunci dalam evolusi dapat diajarkan dengan lebih efektif, sehingga siswa dapat lebih mudah memahami materi yang abstrak dan kompleks. Hal ini pada akhirnya dapat meningkatkan pemahaman siswa terhadap konsep evolusi, mengurangi miskonsepsi, serta mendukung pencapaian hasil belajar yang lebih baik dalam pembelajaran biologi.

DAFTAR PUSTAKA

- Afriyadi, H., Hayati, N., Laila, S. N., Prakasa, Y. F., Hasibuan, R. P. A., & Asyhar, A. D. A. (2023). *Media Pembelajaran Berbasis Digital (Teori & Praktik)*. PT. Sonpedia Publishing Indonesia.
- Ariawati, R. (2020). Peningkatan Materi Evolusi Melalui Model Pembelajaran Kolaborasi pada Siswa kelas XII IPA di MAN 2 Aceh Tengah Kabupaten Aceh Tengah. *Serambi Konstruktivis*
- Aziz, A., & Shaleh, M. (2019). Variasi metode pembelajaran dan peningkatan motivasi belajar siswa. *Edupedia: Jurnal Studi Pendidikan dan Pedagogi Islam*, 4(1), 87-94.
- Capaian Pembelajaran Mata Pelajaran Biologi Fase E-Fase F untuk SMA/MA/Program Paket C. (2022). Badan Standar, Kurikulum, Dan Asesmen Pendidikan Kementerian Pendidikan, Kebudayaan, Riset, Dan Teknologi Republik Indonesia.
- Carlin, J. L. (2011) Mutations Are the Raw Materials of Evolution. *Nature Education Knowledge* 3(10):10
- Dawson, S. & Schibeci, R. (2003). Western Australian School Students Understanding of Biotechnology. *International Journal of Science Education*. 25 (1): 57-69.



- Depdiknas .2003. *Undang-undang RI No.20 tahun 2003.tentang sistem pendidikan nasional*.
- Dewi, S., Shari, A., Purba, R.E., et al.2022. *Biologi untuk SMA/MA Kelas XII*. Jakarta: Kementerian Pendidikan, Kebudayaan, Riset, dan Teknologi
- Dikmenli, M. (2010). Misconceptions Cell Division Held by Student Teachers in Biology: a Drawing Analysis. *Scientific Research and Essay*. 5 (2): 235-247.
- Elvianasti, M. (2019). Content Representation (Core) Calon Guru Biologi Pada Konsep Genetika. *Bioeduscience*, 03(01): 33-40.
- Etobro, B. A. & Banjoko, S. O. (2017). Misconceptions of Genetics Concepts among Pre-service Teachers. *Global Journal of Educational Research*. 16, 2017: 121-128.
- Ferry, Dharma. 2019. Peningkatan Hasil Belajar dan Keaktifan Mahasiswa melalui Strategi Pembelajaran Peta Konsep pada Mata Kuliah Evolusi. *Journal of Education*, 1(4)
- Ginting, C. W., & Sinaga, D. P. (2021). Perbandingan hasil belajar siswa dengan menggunakan model pembelajaran Group Investigation (GI) Dan Think Talk Write (TTW) Pada Materi Evolusi: Comparison of student learning outcomes using the learning model Group Investigation (GI) And Think Talk Write (TTW) on Evolutionary Materials. *Jurnal Metabio*, 3(1), 54-60.
- Hestari, S., Susantini, E., Lisdiana, L. 2016. Validitas, Kepraktisan, dan Efektivitas Media Pembelajaran Papan Magnetik Pada Materi Mutasi Gen.Bioedu: *Berkah Ilmiah Pendidikan Biologi*
- Hoefnagels, M. (2017). *Biology Concepts and Investigations*. Fourth Edition. New York: McGraw-Hill.
- Lanie, A. D., Jayaratne, T. E., Sheldon, J. P., Kardia, Sharon L. R., Anderson, E. S., Feldbaum, M. & Petty, E. M. (2013). Exploring the Public Understanding of Basic Genetic Concepts. *Journal Genetics Council*. 13 (4): 305-320.
- Loughran John, A. B. and P. M. (2006). *Understanding and Developing Science Teachers' Pedagogical Content Knowledge*. Rotterdam: Sense.
- Marjan, J. Arnyana, I.B. Putu. & Setiawan, I.G.A. Nyoman. 2014. Pengaruh Pembelajaran Pendekatan Saintifik Terhadap Hasil Belajar Biologi dan Keterampilan Proses Sains Siswa MA Mu'allimat NW Pancor Selong Kabupaten Lombok Timur Nusa Tenggara Barat. *e-Journal Program Pascasarjana Universitas Pendidikan Ganesha Program Studi IPA*, Volume 4 Tahun 2014.
- Maulidi, A. (2014). Deskripsi Konsepsi Siswa pada Materi Hereditas di MAN. Pontianak. Skripsi FKIP Untan.
- Mustika, A. A., Hala, Y. & Aرسال, A. F. (2014). Identifikasi Miskonsepsi Mahasiswa Biologi Universitas Negeri Makassar pada Konsep Genetika dengan Metode CRI. *Jurnal Sainsmat*. 3 (2): 122-129.
- Mulyani, Sri.2017. Penggunaan Media Kartu (*Flash Card*) dalam Meningkatkan Hasil Belajar Konsep Mutasi bagi Peserta Didik Kelas XII.*Jurnal Profesi Keguruan*
- Nurlaila, L., Sriyati S. & Riyandi. (2014). Analizing Student Biology Education Misconception and Scientific Argumentation Ability Using Diagnostic Question Clusters (Dqcs) of Molecular Genetic Concept. *Journal of Physics*. 812, 2017: 1-8.
- Nusantari, E. (2014). Genetics Misconception on High School Textbook, the Impact and Importance on Presenting the Order of Concept through Reorganization of Genetics. *Journal of Education and Practice*. 5 (36): 20-28.
- Putri, A.R.A., Hidayat, T., Purwianingsih, W.2019. Pelatihan Taksonomi Numerik Sebagai Strategi untuk Meningkatkan *Technological Pedagogical Content Knowledge* Guru Biologi. *Indonesian Journal of Science Education* 7(2)
- Prahastiwi, R; Sulani; Haryoto. (2014). Penerapan Pendekatan Sauntifik Untuk Meningkatkan Karakter Rasa Ingin Tahu dan Prestasi Belajar Siswa Kelas X MIA 3 SMA N 6 Malang. Naskah tidak dipublikasikan, Universitas Negeri Malang, Malang.

- Pranoto, Edi.2022. Penerapan Model Discovery Learning dengan Media Blog Pembelajaran dapat Meningkatkan Hasil Belajar Peserta Didik terhadap Materi Mutasi Pada Kelas XII MIPA 4 SMA Negeri 1 Pati. *Action: Jurnal Inovasi Penelitian Tindakan Kelas dan Sekolah*
- Qomariah, L., Sri Endah Indriwati & Eko Sri Sulasmi. 2014. Penerapan Pembelajaran Melalui Pendekatan Ilmiah Untuk Meningkatkan Sikap, Pengetahuan, dan Keterampilan Proses Peserta Didik Kelas X MIA SMAN 3 Malang Pada Materi Kingdom Animalia. *Journal Online UM*. Vol 3, No. 1
- Rizki, I.A., Suhendar., 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)
- Safitri, Ririn. 2016. *Biologi untuk XII Peminatan Matematika dan Ilmu-ilmu Alam*. Surakarta: Mediatama
- Shaw, K. R. M., Horne, K. V., Zhang, H. & Boughman. (2008). Essay Contest Reveals Misconceptions of High School Students in Genetics Content. *Genetics Education Research*. 178: 1157-1168.
- Supriatna, Jatna.2018. *Konservasi biodiversitas: Teori dan Praktik di Indonesia*. Yogyakarta: Yayasan Pustaka Obor Indonesia.
- Sutapa, G.N dan Kasmawan, I.G.A. 2016. Efek Induksi Mutasi Radiasi Gamma 60 Co Pada Pertumbuhan Fisiologis Tanaman Tomat (*Lycopersicon esculentum L*). *Jurnal Keselamatan Radiasi dan Lingkungan, Vol 1 (2)*.
- Urry, Rain, Wasserman, Minorsky, Orr. 2021. *Twelfth Edition Campbell Biology*. New York: Pearson education.
- Widodo, ari. 2021. *Pembelajaran Ilmu Pengetahuan Alam Dasar-Dasar Praktik*. Cikole: UPI Press.
- Wulandari, P. W., Amin, M., & Suhadi, S. (2017). Pengembangan Modul Evolusi dengan Pendekatan Saintifik menggunakan Model Think, Talk, Write (TTW) di SMA. *Jurnal Pendidikan: Teori, Penelitian, dan Pengembangan*, 2(1), 32-41.
- Zed, Mestika, 2008. *Metode Penelitian kepustakaan*, Jakarta: Yayasan Obor Indonesia.