

PENGEMBANGAN E-MODUL BERBASIS STEM PADA MATERI GENETIKA

Putri Apriani Pasaribu¹, Miza Nina Adlini²
Universitas Islam Negeri Sumatera Utara^{1,2}
putriaprianipasaribu@uinsu.ac.id¹, mizaninaadlini@uinsu.ac.id²

ABSTRAK

Penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan e-modul berbasis STEM pada materi genetika sebagai upaya untuk meningkatkan kualitas pembelajaran Biologi. Metode penelitian yang digunakan adalah *Research and Development* (R&D) dengan model pengembangan 4D. Hasil penelitian menunjukkan bahwa e-modul berbasis STEM pada materi genetika telah melewati proses validasi oleh ahli materi dan ahli media, dengan persentase kevalidan materi sebesar 95%, kemuktahiran dan kontekstualisasi sebesar 87,5%, serta skor 100% untuk tampilan dan pemrograman dan 97,2% untuk penyajian dari ahli media. E-modul ini dinilai sangat praktis berdasarkan penilaian dari guru dan siswa pada uji coba skala kecil dan skala besar, dengan persentase kepraktisan sebesar 94,23% dari guru, 76,538% dari siswa skala kecil, dan 78,32% dari siswa skala besar. Implementasi e-modul dalam pembelajaran Biologi juga terbukti cukup efektif, dengan persentase keefektifan sebesar 58,46% dan nilai N-Gain sebesar 0,58, yang termasuk dalam kategori sedang. Simpulan, pengembangan e-modul berbasis STEM pada materi genetika merupakan inovasi yang efektif dalam meningkatkan kualitas pembelajaran Biologi, memberikan pengalaman belajar yang interaktif, mendorong siswa untuk lebih aktif dalam proses pembelajaran, dan meningkatkan pemahaman siswa terhadap materi genetika.

Kata Kunci: E-modul, Genetika, STEM, 4D

ABSTRACT

This study aims to develop stem-based e-modules on genetic material in an effort to improve the quality of biology learning. The research method used is Research and Development (R&D) with a 4D development model. The results showed that the stem-based e-module in genetics had gone through the validation process by material experts and media experts, with the percentage of validity and materials of 95%, the ability and contextualization of 87.5%, and a score of 100% for appearance and programming and 97.2% for presentation from media experts. This e-module is considered very practical based on the assessment of teachers and students in small and large-scale trials, with a percentage of practicality of 94.23% for the teacher, 76.538% for small scale students, and 78.32% for large scale students. The implementation of e-modules in biological learning is also proven to be quite effective, with a percentage of effectiveness of 58.46% and the N-Gain value of 0.58, which is included in the medium category. The conclusion is that the development of stem-based e-modules in genetic material is an effective innovation in improving the quality of biology learning, providing interactive learning experiences, encouraging students to be more active in the learning process, and increasing students' understanding of genetic material.

Keywords: *E-Modules, Genetics, Stem, 4D*

PENDAHULUAN

Kemajuan yang pesat dalam ilmu pengetahuan dan teknologi (IPTEK) memiliki dampak yang penting pada berbagai aspek kehidupan manusia, termasuk dalam sektor pendidikan. Perkembangan teknologi yang canggih menuntut individu untuk memiliki keterampilan kolaboratif, kreativitas, dan kemampuan berpikir analitis agar dapat menyesuaikan diri dengan evolusi industri dan teknologi (Yuliari, 2020). Marisa (2021), menegaskan bahwa salah satu fokus utama *Society 5.0* adalah mengatasi tantangan di bidang pendidikan, terutama dalam menghadapi kemajuan teknologi yang terus berkembang.

Perkembangan teknologi yang cepat menuntut adaptasi sistem pendidikan ke dalam era digital yang berbasis karakter. Untuk mengatasi tantangan yang dihadapi oleh *Society 5.0*, perlu merancang pendidikan dengan cermat dan mempersiapkan diri untuk berkembang sejalan dengan perubahan zaman (Sugianto & Farid, 2023). Salah satu cara untuk mewujudkannya adalah dengan menggunakan model pembelajaran yang sesuai, seperti mengintegrasikan *Science, Technology, Engineering, and Mathematics (STEM)* (English, 2016).

Pendekatan STEM, merupakan suatu pendekatan pendidikan yang mengintegrasikan empat disiplin ilmu tersebut untuk memberikan pengalaman pembelajaran yang holistik dan terpadu. Pendekatan STEM bertujuan untuk meningkatkan motivasi siswa untuk mencapai prestasi tinggi, meraih nilai terbaik, dan lebih aktif dalam diskusi. Menurut penelitian Wahyuni (2021), partisipasi peserta didik dalam pembelajaran berbasis STEM dapat secara signifikan meningkatkan kemampuan mereka. Pembelajaran ini juga memiliki potensi untuk meningkatkan minat belajar siswa, dan dapat memberikan dampak positif pada peningkatan hasil belajar peserta didik.

Banyak sekolah dan organisasi di Amerika Serikat mulai mengembangkan program dan inisiatif STEM pada awal abad ke-21 sebagai upaya untuk mempersiapkan siswa untuk pekerjaan masa depan yang semakin terkait dengan ilmu pengetahuan dan teknologi, melalui integrasi keempat komponen STEM, pendekatan pembelajaran ini dapat memacu kemampuan berpikir siswa yang berguna dalam mengembangkan kemampuan memecahkan masalah, pengambilan keputusan, analisis asumsi, evaluasi, dan penyelidikan (Davidi et al., 2021).

Kemampuan yang diinginkan dari siswa setelah STEM diintegrasikan dalam pembelajaran melibatkan, 1) kemampuan untuk mengenali permasalahan dan mendapatkan pengetahuan baru; 2) pemahaman terhadap karakteristik disiplin ilmu STEM sebagai tahapan dalam penyelidikan, perancangan, dan analisis; 3) pemahaman terhadap cara kerja disiplin ilmu STEM yang mencerminkan kondisi intelektual dan budaya global; 4) keterlibatan dalam pemecahan masalah yang berkaitan dengan disiplin ilmu STEM (Ceylan & Ozdilek, 2015). Deskripsi tentang pendidikan STEM menjadi salah satu opsi untuk membuat pembelajaran lebih bermakna dan relevan bagi siswa dalam konteks diskusi, penemuan, dan pengalaman. Menurut penelitian Stohlmann et al., (2012), STEM membantu siswa mengatasi permasalahan dunia nyata dengan menerapkan konsep interdisipliner, keterampilan berpikir kritis, dan kolaborasi.

Berdasarkan hasil wawancara dengan seorang Guru Biologi MAN 1 Medan, bahwa sekolah tersebut menerapkan kurikulum 2013 dan telah

menerapkan Sistem Kredit Semester (SKS) serta Unit Kegiatan Belajar Mandiri (UKBM). SKS diterapkan secara bertahap, dimulai dari kelas X sampai kelas XII, dengan pendekatan difasilitasi sesuai dengan kebutuhan belajar siswa. Proses pembelajaran dilakukan dengan memanfaatkan buku paket dan UKBM sebagai bahan ajar tanpa adanya media pendukung lainnya. Guru berperan sebagai fasilitator, sementara siswa dibimbing oleh guru PA dalam proses belajar. Siswa diwajibkan mengikuti 6 semester dengan masa studi yang fleksibel sesuai kemampuan masing-masing.

Dalam pelaksanaan SKS, sejumlah faktor pendukung teridentifikasi, termasuk kemudahan administrasi pemenuhan persyaratan SKS, peran guru PA dan guru bidang studi yang mendukung siswa, serta motivasi siswa untuk belajar dengan optimal. Namun, beberapa hambatan juga ditemukan seperti kendala dalam pembelajaran daring, biaya untuk menyediakan UKBM, dan proses penyesuaian diri bagi semua pihak di sekolah (Lubis et al., 2021). Menurut pemaparan Guru Biologi MAN 1 Medan, terkait adanya variasi media pembelajaran digital berbasis STEM memang bagus diterapkan disekolah, namun belum banyak diterapkan disekolah ini.

Dalam pembelajaran Biologi, siswa sering menghadapi kesulitan terutama pada materi genetika. Haambokoma (2007) & Mahrus et al., (2021), mengungkapkan genetika sebagai cabang ilmu yang mempelajari hereditas, memiliki sejarah penemuan dan investigasi yang melibatkan berbagai molekul (seperti protein, DNA, dan RNA), sel, organisme, hingga populasi (Saenab et al., 2016).

Jika guru dapat mengajarkan materi genetika dengan pendekatan konkret, diharapkan siswa akan lebih mudah memahaminya. Hal tersebut dapat didukung dengan bahan ajar berupa e-modul berbasis STEM. Walaupun banyak bahan ajar berbasis STEM telah dikembangkan dan diterapkan pada berbagai materi (Yuna, et al., 2021; Khairunnisa & Tanjung, 2023; Pasaribu & Ulfah, 2023; Pasaribu, et al., 2023). Namun belum banyak penelitian yang menyelidiki sejauh mana pendekatan ini dapat diterapkan secara efektif pada materi genetika (Shohibi et al., (2020). Evaluasi hasil pembelajaran dalam konteks genetika sering kali berfokus pada pemahaman konsep saja. Oleh karena itu, diperlukan inovasi dalam pembelajaran genetika melalui pengembangan media ajar berdasarkan temuan penelitian (Mahrus et al., 2022).

Menurut Irdawati et al., (2023), salah satu faktor yang dapat mendukung peningkatan hasil belajar adalah penggunaan e-modul, yang merupakan materi ajar yang disajikan secara digital. E-modul ini membantu guru dalam membimbing siswa selama proses pembelajaran (Asrial et al., 2020). Dalam pandangan Diantari et al., (2018), e-modul merupakan suatu media pembelajaran digital yang dirancang secara terstruktur, memungkinkan siswa untuk belajar secara mandiri dan menyelesaikan tantangan pembelajaran. Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk menghasilkan e-modul berbasis STEM yang valid, praktis, dan efektif.

Sholeh et al., (2023), mengungkapkan bahwa e-modul dapat mendorong siswa untuk belajar secara mandiri, dengan fleksibilitas penggunaan di berbagai waktu dan tempat. Keberadaan e-modul dapat merangsang motivasi belajar siswa, meningkatkan partisipasi aktif mereka, serta memberikan makna yang lebih dalam pada proses pembelajaran.

METODE PENELITIAN

Penelitian ini merupakan penelitian pengembangan atau *Research and Development* (R&D) yang bertujuan untuk menghasilkan dan mengembangkan suatu media ajar. Desain penelitian menggunakan model pengembangan 4D (*four-D*) yang terdiri dari empat tahap yang dikembangkan oleh Thiagarajan et al., (1974) yaitu, a) *define* (pendefenisian); b) *design* (perancangan); c) *develop* (pengembangan); d) *disseminate* (penyebaran). Tabel 1 di bawah ini menyajikan tahapan-tahapan yang dilalui dalam pengembangan e-modul menggunakan model pengembangan 4D:

Tabel 1. Tahapan Prosedur Pengembangan E-Modul Berbasis STEM

Tahap	Sub-tahap	Deskripsi
<i>Define</i>	Analisis Awal-Akhir	pada tahap ini mencari suatu permasalahan yaitu sumber belajar dan hasil belajar peserta didik, sehingga menjadi acuan dalam pembuatan e-modul berbasis STEM
	Analisis peserta didik	tahap ini dilakukan dengan mendistribusikan angket berupa analisis kebutuhan siswa yang berisi berbagai pertanyaan yang relevan dengan permasalahan peserta didik
	Analisis konsep	Tahap ini ditentukan oleh adanya wawancara pada guru biologi terkait hasil belajar biologi peserta didik
	Perumusan atau Spesifikasi Tujuan	tahap ini menentukan indikator pencapaian pembelajaran berdasarkan pada lampiran permendikbud No 37 tahun 2018 tentang KI & KD mata pelajaran biologi sebagai acuan dasar ketika melakukan perancangan media pembelajaran
<i>Design</i>	Mendesain Media	Mendesain media menggunakan aplikasi Canva. Sedangkan isi materi media pembelajaran didapatkan dari buku-buku paket Biologi kelas XII berdasarkan Kurikulum 2013
	Struktur E-Modul	E-modul dirancang melalui 3 aspek, a) pendahuluan yaitu berisi tentang informasi terkait materi yang akan dipelajari seperti Kompetensi Inti dan Kompetensi Dasar (KI-KD) dan indikator, serta petunjuk penggunaan e-modul genetika dalam konteks STEM; b) bagian isi yaitu materi genetika yang disusun sesuai dengan KI-KD, indicator, dan tujuan pembelajaran. Sehingga isi materi dalam e-modul ini struktur dan fungsi gen, DNA, kromosom, pembelahan sel sebagai dasar penurunan sifat, pewarisan sifat berdasarkan hukum Mendel, pola hereditas dan peristiwa mutasi pada makhluk hidup dipadukan dengan STEM; c) evaluasi yaitu berisi tentang tes formatif di setiap akhir materi disertai dengan pembahasan jawaban.
<i>Develop</i>	Validasi Ahli	Meminta validasi dari ahli media dan materi, serta merevisi e-modul berdasarkan masukan mereka.
	Uji Coba Pengembangan	Menguji kevalidan, kepraktisan, dan keefektifan e-modul melalui uji coba kelompok kecil dan besar.
	Uji Kepraktisan	Uji coba dengan 5 responden untuk kelompok kecil, dan 22 responden untuk kelompok besar.
	Uji Keefektifan	Menggunakan 20 soal pilihan ganda untuk menguji keefektifan e-modul.
<i>Disseminate</i>		Menyebarkan e-modul kepada siswa kelas XII MIA/IPA 8 melalui link dari aplikasi Hezine PDF yang dikirimkan via WhatsApp.

Instrumen pengumpulan data yang digunakan dalam penelitian ini adalah, 1) lembar analisis kebutuhan; 2) lembar validasi yang ditujukan pada ahli media dan ahli materi untuk memperoleh validasi bahan ajar yang dikembangkan; 3) angket respon yang akan dibagikan kepada guru biologi dan angket respon peserta didik. Proses pengujian dilakukan pada tahap uji validitas, di mana hasil lembar validitas dianalisis secara kuantitatif dan kualitatif. Penelitian ini melibatkan dua kategori ahli, yaitu ahli media, dan ahli materi. Metode survei yang digunakan dalam tahap persetujuan ini mengaplikasikan skala *likert* dengan empat pilihan jawaban pada tabel 2, berikut:

Tabel 2. Skor Penilaian

Skor Penilaian	Kriteria Penilaian
4	Sangat Baik
3	Baik
2	Kurang Baik
1	Sangat Kurang Baik

Sumber: Purwono. 2008

Kriteria kevalidan dan kepraktisan E-Modul ditunjukkan pada Tabel 3 sebagai berikut:

Tabel 3. Kriteria Kevalidan dan Kepraktisan E-Modul

Persentase	Kriteria Penilaian
0-20	Sangat tidak valid/Praktis
21-40	Tidak valid/Praktis
41-60	Cukup valid/Praktis
61-80	Valid/Praktis
81-100	Sangat valid/Praktis

Analisis kevalidan e-modul oleh ahli media dan ahli materi yang dapat dihitung dengan rumus berikut ini:

$$\text{Persentase \%} = \frac{\text{Skor yang diperoleh}}{\text{Skor maksimum}} \times 100$$

Uji normalitas gain, yang dikenal sebagai tes N-gain, digunakan sebagai analisis untuk mengevaluasi efektivitas pengajaran yang diberikan. Tes ini digunakan untuk menilai sejauh mana perubahan yang terjadi setelah intervensi. Dalam konteks ini, uji normalitas dilakukan untuk mengevaluasi butir soal dalam pembelajaran biologi pada materi genetika. Rumus yang digunakan untuk mengukur normalitas perolehan didasarkan pada penelitian Meltzer, (2002), sebagai berikut:

$$N \text{ Gain} = \frac{S_{\text{post}} - S_{\text{pre}}}{S_{\text{maks}} - S_{\text{pre}}}$$

Keterangan: *S_{post}* menyatakan skor post-test; *S_{pre}* menyatakan skor pre-test; *S_{maks}* menyatakan skor maksimal

Tabel 4 menunjukkan kategori pembagian N-Gain Score:

Tabel 4. Kategori Pembagian N-Gain Score

Nilai N-Gain	Kriteria
$0,70 \leq n \leq 1,00$	Tinggi
$0,30 \leq n < 0,70$	Sedang
$0,00 \leq n < 0,30$	Rendah

Sumber: Oktavia et al., (2019)

Adapun yang menjadi kriteria keefektifan nilai perolehan dari pembagian N-Gain Score, seperti tabel 5, berikut ini:

Tabel 5. Kategori Tafsiran Efektivitas N-Gain Score

Persentase (%)	Kriteria
<40	Tidak Efektif
40 – 55	Kurang Efektif
56 – 75	Cukup Efektif
>76	Efektif

Sumber: Hake (1999)

HASIL PENELITIAN

Penelitian ini bertujuan untuk mengembangkannya e-modul berbasis STEM pada materi genetika yang valid, praktis dan efektif. Adapun dalam penelitian ini menggunakan model pengembangan 4D yang terdiri dari tahap pendefinisian (*define*), perancangan (*design*), pengembangan (*development*), dan penyebaran (*disseminate*). Berdasarkan tahap pendefinisian, aktivitas ini diawali dengan melakukan wawancara dan observasi pembelajaran kepada pemangku kepentingan seperti guru biologi dan juga peserta didik.

Hasil wawancara menunjukkan bahwa, a) kurikulum yang digunakan di sekolah adalah kurikulum 2013 untuk kelas XII, namun pada kelas X dan XI sudah menggunakan kurikulum merdeka; b) media pembelajaran yang digunakan yaitu berupa Power Point dan UKBM (Unit Kegiatan Belajar Mandiri) namun pada UKBM gambar yang ada tidak berwarna sehingga dapat menyebabkan materi sulit dipahami; b) kurangnya bahan ajar yang interaktif, untuk membuat peserta didik lebih aktif.

Tantangan pembelajaran tentang genetika adalah banyak peserta didik yang memiliki nilai mencapai KKM, namun belum paham sepenuhnya bahkan sudah lupa akan materi genetika yang dipelajari sebelumnya. Salah satu penentu kondisi ini adalah pembelajaran belum didasarkan pada permasalahan kontekstual terkait genetika dalam kehidupan sehari-hari, sehingga siswa cenderung berada dalam posisi pasif dalam belajar. Selain itu referensi yang digunakan dalam pembelajaran cukup terbatas, sehingga siswa tidak mempunyai ruang yang cukup untuk mengembangkan kemampuan berpikirnya. Hasil penilaian ini mengacu pada kebijakan yang memerlukan inovasi dalam pengajaran tentang genetika, sehingga dari perlunya inovasi terkait bahan ajar, sehingga peneliti membuat E-Modul berbasis STEM pada materi genetika.

Selanjutnya pada tahap desain dilakukan dengan membuat e-modul yang terdiri dari beberapa komponen. Komponen yang terdapat pada e-modul meliputi

bagian isi dan bagian pendukung. Bagian isi terdiri dari kompetensi inti, kompetensi dasar, indikator pencapaian kompetensi, materi pembelajaran, kegiatan pembelajaran dan alokasi waktu. Di sisi lain, bagian pendukung terdiri dari sampul, kata pengantar, daftar isi, panduan penggunaan e-modul, indikator STEM dan daftar pustaka. Pada tahap pengembangan, e-modul berbasis STEM pada materi genetika sudah tercipta dan dilanjutkan dengan penilaian kevalidan oleh ahli materi dan ahli media, dan telah dilakukan revisi, sehingga didapatkan e-modul berbasis STEM pada materi genetika yang valid dan sesuai untuk kegiatan pembelajaran di sekolah.

Tabel 6. Hasil Penilaian Ahli Materi

Aspek Penilaian	Persentase (%)	Kriteria
Cakupan Materi	95	Sangat Valid
Kemutakhiran dan Konstektual	87.5	Sangat Valid
Kesesuaian Materi dengan Evaluasi/Kuis	87.5	Sangat Valid

Tabel 7. Catatan Revisi dari Validator Ahli Materi

Saran	Sebelum	Setelah
Konsistensi pengertian gen pada glosarium dan isi modul	Jangan definisikan gen sebagai unit terkecil materi genetik	Definisikan gen sebagai urutan spesifik nukleotida dalam DNA atau RNA yang biasanya terletak pada kromosom dan itu adalah unit fungsional pewarisan yang mengendalikan transmisi dan ekspresi satu atau lebih sifat dengan menentukan struktur polipeptida tertentu dan terutama protein atau mengendalikan fungsi materi genetik lainnya
Pengertian sentromer pada glosarium perlu direvisi agar tidak miskonsepsi	Dibagian glosarium pengertian sentromer: Titik atau wilayah pada kromosom tempat gelendong menempel selama mitosis dan meiosis	Pengertian sentromer: titik atau daerah pada kromosom tempat pengikatan/pelekatan benang spindle selama pembelahan mitosis dan meiosis atau struktur pada kromosom yang menyatukan dua kromatid
Jika tidak ada di modul, jangan munculkan istilah pada glosarium	Untuk nukleosida apakah ada disebutkan di modul?	Kalau tidak ada tidak perlu dimasukkan di glosarium
Sumber gambar perlu diambil dari sumber relevan	Gambar ambil dari buku teks atau sumber yang valid	Gambar ambil dari sumber yang valid dan usahakan jelas

Hasil validasi oleh ahli media pada tabel 6, menunjukkan bahwa persentase cakupan materi sebesar 95%, sedangkan kemuktahiran dan konstektual serta kesesuaian materi dengan evaluasi/quis memiliki skor persentase sebesar 87.5%. Hasil tersebut menunjukkan bahwa e-modul yang dikembangkan tergolong sangat valid, sehingga dapat digunakan dalam proses pembelajaran. Selanjutnya validator ahli media memberikan catatan sebagai bahan perbaikan produk yang terdapat pada tabel 7.

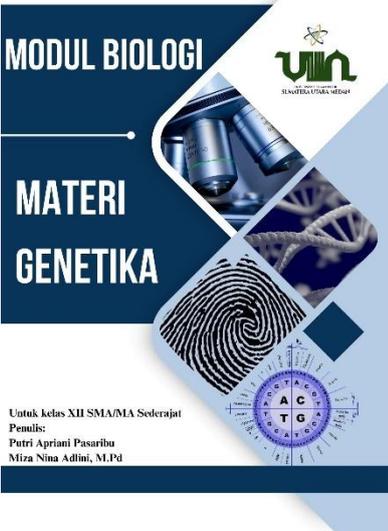
E-modul berbasis STEM pada materi genetika juga telah divalidasi oleh ahli media, Hasil penilaian e-modul berbasis STEM pada materi genetika menunjukkan skor yang diperoleh melalui tempilan dan pemrograman e-modul

sebesar 100% sehingga dikategorikan sangat valid seperti yang akan dijelaskan pada tabel 8. Lebih lanjut, hasil validasi ahli media tentang penyajian e-modul berbasis STEM pada materi genetika memiliki skor sebesar 97.2%, sehingga dapat dikategorikan sangat valid. Berdasarkan hasil validasi oleh ahli media, maka E-modul berbasis STEM pada materi genetika ini sangat layak dan dapat digunakan dalam pembelajaran. Adapun saran dari ahli media dapat dilihat pada tabel 9, antara lain adanya perubahan judul, peletakan glosarium, penulisan glosarium yang harus sesuai dengan abjad, penulisan yang perlu dirapihkan, semua uraian yang tercantum pada materi harus disertakan referensi, nama identitas tabel juga harus tertera jelas dan daftar pustaka perlu ditambahkan dari sumber jurnal.

Tabel 8. Hasil Validasi E-modul oleh Ahli Media

Aspek Validasi	Persentase	Kriteria
Tampilan	100	Sangat Valid
Penyajian	97.2	Sangat Valid
Pemrograman	100	Sangat Valid

Tabel 9. Catatan Revisi Validator Ahli Media

Saran	Sebelum	Sesudah
Pada judul harus tertulis “Modul Berbasis STEM”		

Daftar glosarium diletakkan diakhir setelah daftar Pustaka dan penulisan daftar glosarium harus sesuai abjad (Alfabet)

MODUL BIOLOGI: MATERI GENETIKA

61

GLOSARIUM

Allel	: Gen-gen yang terdapat pada lokus yang beraturan.
Anti kodon	: Urutan tiga (3) basa yang merupakan komplemen dari kodon. Anti kodon terdapat pada RNA-t, sedangkan kodon terdapat pada RNA-d.
DNA templat	: DNA cetakan dalam pembentukan molekul komplementer RNA-d.
Double helix	: Pita ganda benang DNA yang saling komplemen.
Genom	: Rangkaian lengkap informasi genetik yang dimiliki oleh organisme.
Gen	: Susunan genetik yang berurutan yang tersimpan dalam kumpulan pesan-pesan kimia yang berfungsi sebagai pemerasi sifat.
Kromosom	: Benang-benang dalam inti sel yang mampu menyerap warna dan pembawa sifat menurun.
Kromosom homolog	: Pasangan kromosom yang memiliki gen dan lokus yang sama.
Lokus	: Letak atau tempat gen dalam kromosom.
Nukleosida	: Nukleotida yang kehilangan satu unsur penyusunnya.
Nukleotida	: Unit terkecil penyusun DNA atau RNA yang tersusun atas molekul gula (deoksiribosa, basa nitrogen dan asam fosfat).
Replikasi	: Proses pengandaan DNA menjadi dua DNA yang identik.
Replikasi	: Proses penantukan RNAd oleh benang DNA.
Setromer	: Bagian kromosom yang membagi kromosom menjadi dua lengan.
Transkripsi	: Proses penantukan RNAd oleh benang DNA.
Translasi	: Proses penerjemahan kodon menjadi asam amino oleh RNAt pada sintesis protein.

MODUL BIOLOGI: MATERI GENETIKA

62

GLOSARIUM

Allel	: Gen-gen yang terdapat pada lokus yang beraturan.
Antikodon	: Urutan tiga (3) basa yang merupakan komplemen dari kodon. Antikodon terdapat pada RNA-t, sedangkan kodon terdapat pada RNA-d.
Anti kodon	: Urutan tiga (3) basa yang merupakan komplemen dari kodon. Anti kodon terdapat pada RNA-t, sedangkan kodon terdapat pada RNA-d.
DNA templat	: DNA cetakan dalam pembentukan molekul komplementer RNA-d.
Double helix	: Pita ganda benang DNA yang saling komplemen.
Gen	: Susunan genetik yang berurutan yang tersimpan dalam kumpulan pesan-pesan kimia yang berfungsi sebagai pemerasi sifat.
Kromosom	: Benang-benang dalam inti sel yang mampu menyerap warna dan pembawa sifat menurun.
Kromosom homolog	: Pasangan kromosom yang memiliki gen dan lokus yang sama.
Lokus	: Letak atau tempat gen dalam kromosom.
Nukleosida	: Nukleotida yang kehilangan satu unsur penyusunnya.
Nukleotida	: Unit terkecil penyusun DNA atau RNA yang tersusun atas molekul gula (deoksiribosa, basa nitrogen dan asam fosfat).
Replikasi	: Proses pengandaan DNA menjadi dua DNA yang identik.
Replikasi	: Proses penantukan RNAd oleh benang DNA.
Setromer	: Bagian kromosom yang membagi kromosom menjadi dua lengan.
Transkripsi	: Proses penantukan RNAd oleh benang DNA.
Translasi	: Proses penerjemahan kodon menjadi asam amino oleh RNAt pada sintesis protein.

MODUL BIOLOGI: MATERI GENETIKA

63

GLOSARIUM

Anafase	: Pembelahan sel yang terjadi secara spontan tanpa melalui tahap-tahap pembelahan sel.
Belahan equator	: Peristiwa belahan sel yang beraturan.
Crossing over	: Pindah silang, peristiwa pertukaran gen-gen suatu kromosom dengan gen-gen kromosom homolog.
Diploid	: Keadaan sel yang kromosomnya berpasangan (2n).
Fase gap-1 (G1)	: Salah satu fase pada interfase yaitu saat sel belum mengadakan replikasi DNA, sehingga DNA masih berwujud satu salinan DNA yang disebut (2n, 2c).
Fase gap-2 (G2)	: Salah satu fase pada interfase yaitu saat replikasi DNA telah selesai dan sel bersiap-siap mengadakan pembelahan.
Fase sintesis (S)	: Salah satu fase pada interfase yaitu saat DNA dalam inti mengadakan replikasi (pengandaan jumlah salinan), sehingga menghasilkan 2 salinan DNA yang disebut (2n, 4c).
Genet	: Sel kelamin.
Genes	: Struktur hereditas seperti benang-benang yang disebut juga benang spindel, yang menghubungkan kutub-kutub pembelahan.
Genes	: Sifat kromosom yang tidak berpasangan (n).
Interfase	: Sel dalam keadaan istirahat dari proses pembelahan, namun mempersiapkan pembelahan dengan mengadakan replikasi DNA.
Interfase	: Tahap di antara dua pembelahan mitosis.
Kariotipe	: Pengaturan inti sel.
Kariotipe	: Membran pembungkus inti sel.
Kromatida	: Benang-benang, hasil penyusutan kromosom, yang memiliki kemampuan meregenerasi sel utuh.
Kromosom	: Benang kromosom yang terdiri dari dua lengan dipisahkan oleh struktur padat yang terdiri dari dua komponen molekul, yaitu protein dan DNA, sehingga sifat menurun terdapat di dalam materi perlembaran dari kromatid, tampak saat sel membelah.
Kromosom	: Dua kromosom yang berpasangan dan memiliki bentuk, ukuran serta jumlah gen yang sama.
Kromosom homolog	: Pembelahan sel yang menghasilkan empat sel anakan yang masing-masing sel anakan mengandung separuh kromosom induknya.
Mitosis	: Pembelahan sel yang menghasilkan dua sel anakan dan setiap sel anakan mengandung jumlah kromosom yang sama dengan kromosom induknya.

MODUL BIOLOGI: MATERI GENETIKA

64

GLOSARIUM

Kromatid	: Benang-benang hasil penyusutan kromosom, yang memiliki kemampuan meregenerasi sel utuh.
Kromosom homolog	: Dua kromosom yang berpasangan dan memiliki bentuk, ukuran serta jumlah gen yang sama.
Kromosom	: Suatu struktur yang terdiri dari dua komponen molekul yaitu protein dan DNA, sehingga sifat menurun terdapat di dalam materi perlembaran dari kromatid, tampak saat sel membelah.
Lokus	: Letak atau tempat gen dalam kromosom.
Mitosis	: Pembelahan sel yang menghasilkan empat sel anakan yang masing-masing sel anakan mengandung separuh kromosom dari kromosom induknya.
Mitosis	: Pembelahan sel yang menghasilkan dua sel anakan dan setiap sel anakan mengandung jumlah kromosom yang sama dengan kromosom induknya.
Nukleotida	: Unit terkecil penyusun DNA atau RNA yang tersusun atas molekul gula (deoksiribosa, basa nitrogen dan asam fosfat).
Replikasi	: Proses pengandaan DNA menjadi dua DNA yang identik.
Setromer	: Tahap di antara dua pembelahan mitosis.
Transkripsi	: Proses penantukan RNAd oleh benang DNA.
Translasi	: Proses penerjemahan kodon menjadi asam amino oleh RNAt pada sintesis protein.

MODUL BIOLOGI: MATERI GENETIKA

4

KEGIATAN PEMBELAJARAN 1 MATERI GENETIK (GEN, DNA, KROMOSOM)

A. Tujuan Pembelajaran

Setelah kegiatan pembelajaran 1, diharapkan siswa mampu:

1. Mendeskripsikan struktur, sifat, fungsi dan komponen gen, kromosom serta DNA
2. Menganalisis hubungan struktur dan fungsi gen, kromosom dan dna dalam penerapan prinsip pewarisan sifat makhluk hidup
3. Pengembangan keterampilan praktik
4. Kolaborasi dan penerapan SILM

B. Uraian Materi

Materi genetik merupakan kumpulan informasi genetik yang bertanggung jawab atas pewarisan sifat-sifat genetik dari satu generasi ke generasi berikutnya. Materi genetik ini terdapat di seluruh tubuh makhluk hidup dan memiliki peran krusial dalam mengatur berbagai aspek kehidupan, mulai dari bentuk fisik hingga fungsi organisme.

1. Gen

Gregor Mendel memperkenalkan gen pada abad ke-19 melalui penelitiannya tentang pewarisan sifat pada kacang polong. Ia mengidentifikasi pola-pola dalam pewarisan genetik, menjadi dasar perambanan awal tentang gen. Thomas Hunt Morgan menemukan konsep pengelompokan gen pada kromosom dan peran kromosom dalam pewarisan sifat melalui penelitian pada lalat buah. James Watson dan Francis Crick menemukan struktur belah ganda DNA pada tahun 1953. Gen adalah unit informasi genetik pada DNA atau RNA, instruksi untuk menyandi protein. Sel adalah unit struktural dan fungsional kehidupan, dan gen mengendalikan aktivitas sel, termasuk sintesis protein dan pertumbuhan. Kromosom membawa materi genetik dalam sel, terdiri dari banyak gen pada lokus-per lokus.

Dalam sel tubuh, kromosom berpasangan dan disebut homolog, memiliki bentuk dan lokus gen-gen yang serupa. Gen-gen pada lokus beresuaian disebut alel, yang dapat homozigot (tinggi serupa) atau heterozigot (tinggi berbeda). Alel pada kromosom homolog memiliki peran dalam menentukan sifat individu. Variasi alel dapat menghasilkan perbedaan dalam penampilan individu dalam suatu populasi.

MODUL BIOLOGI: MATERI GENETIKA

5

KEGIATAN PEMBELAJARAN 1 MATERI GENETIK (GEN, DNA, KROMOSOM)

A. Tujuan Pembelajaran

Setelah kegiatan pembelajaran 1, diharapkan siswa mampu:

1. Mengidentifikasi struktur DNA, RNA dan Kromosom
2. Mendeskripsikan proses Replikasi, Transkripsi dan Translasi

B. Uraian Materi

Materi genetik merupakan kumpulan informasi genetik, yang bertanggung jawab atas pewarisan sifat-sifat genetik dari satu generasi ke generasi berikutnya. Materi genetik ini terdapat di seluruh tubuh makhluk hidup dan memiliki peran krusial dalam mengatur berbagai aspek kehidupan, mulai dari bentuk fisik hingga fungsi organisme.

1. Gen

Gregor Mendel memperkenalkan gen pada abad ke-19 melalui penelitiannya tentang pewarisan sifat pada kacang polong. Ia mengidentifikasi pola-pola dalam pewarisan genetik, menjadi dasar perambanan awal tentang gen. Thomas Hunt Morgan menemukan konsep pengelompokan gen pada kromosom dan peran kromosom dalam pewarisan sifat melalui penelitian pada lalat buah. James Watson dan Francis Crick menemukan struktur belah ganda DNA pada tahun 1953. Gen merupakan unit informasi genetik pada DNA yang mengkode aktivitas sel, termasuk sintesis protein dan pertumbuhan. Kromosom membawa materi genetik dalam sel, terdiri dari banyak gen pada lokus-per lokus.

Dalam sel tubuh, kromosom berpasangan dan disebut homolog, memiliki bentuk dan lokus gen-gen yang serupa. Gen-gen pada lokus beresuaian disebut alel, yang dapat homozigot (gen dengan alel identik dominan atau resesif) atau heterozigot (gen dengan dua alel berbeda dan ditandai dengan salah satu alel bersifat dominan dan lainnya bersifat resesif). Alel pada kromosom homolog memiliki peran dalam menentukan sifat individu. Variasi alel dapat menghasilkan perbedaan dalam penampilan individu dalam suatu populasi (Berg, dkk., 2007).

Pada halaman 4, penulisan mohon dirapihkan dan uraian pada materi harus ada referensi yang dirujuk

Pada halaman 8, harus jelas nama identitas tabel

8

Replikasi DNA merupakan proses penggandaan molekul DNA yang terjadi selama pembelahan sel. Adapun faktor yang diperlukan untuk replikasi DNA:

1.	Enzim DNA Polimerase menambatkan nukleotida baru pada unta DNA yang diperbanyak.
2.	Templat DNA berfungsi sebagai cetakan untuk pembuatan molekul DNA baru.
3.	Nukleotida adalah pembangun DNA (A, T, C, G) yang disusun pada unta kovalen.
4.	Helikase memecah cacah-batu dan memisahkan unta pada DNA untuk replikasi.
5.	Primase membuat primer RNA pendek untuk memulai sintesis DNA baru.
6.	Ligase menyatukan fragmen Okazaki menjadi unta unta pada unta lagging.
7.	Faktor-faktor Regulator, seperti protein pengikat, mengatur dan koordine replikasi DNA.

MODUL BIOLOGI: MATERI GENETIKA

16

Replikasi DNA merupakan proses penggandaan molekul DNA yang terjadi selama pembelahan sel.

Tabel 1. Faktor yang diperlukan untuk replikasi DNA

1.	Enzim DNA Polimerase menambatkan nukleotida baru pada unta DNA yang diperbanyak.
2.	Templat DNA berfungsi sebagai cetakan untuk pembuatan molekul DNA baru.
3.	Nukleotida adalah pembangun DNA (A, T, C, G) yang disusun pada unta kovalen.
4.	Helikase memecah cacah-batu dan memisahkan unta pada DNA untuk replikasi.
5.	Primase membuat primer RNA pendek untuk memulai sintesis DNA baru.
6.	Ligase menyatukan fragmen Okazaki menjadi unta unta pada unta lagging.
7.	Faktor-faktor Regulator, seperti protein pengikat, mengatur dan koordine replikasi DNA.

Untuk lebih memahami tentang tahapan replikasi DNA, mari kita pahami video berikut:

MODUL BIOLOGI: MATERI GENETIKA

Pada halaman 16, penulisan kata yang benar adalah "Defenisi" bukan Defenisi

16

4. Sintesis Protein

a. Defenisi Sintesis Protein

Sintesis protein adalah proses biologis di mana sel-sel organisme membuat protein, molekul organik yang krusial untuk struktur dan fungsi sel. Proses ini melibatkan dua tahap utama yaitu transkripsi dan translasi.

b. Tahapan Sintesis Protein

1. Transkripsi : Transkripsi terjadi di nukleus sel. DNA, yang merupakan materi genetik, digunakan sebagai cetakan untuk membuat mRNA (messenger RNA). mRNA kemudian dibawa keluar dari nukleus ke ribosom.
2. Translasi : Translasi terjadi di ribosom. mRNA dibaca oleh ribosom satu kodon (tiga basa nitrogen) pada satu waktu. Setiap kodon sesuai dengan asam amino tertentu. tRNA (transfer RNA) membawa asam amino yang sesuai dengan kodon pada mRNA. Asam amino kemudian dirangkai menjadi polipeptida, yang merupakan protein.

c. Komponen Sintesis Protein

- DNA: Menyimpan informasi genetik untuk protein
- RNA: Membawa informasi genetik dari DNA ke ribosom
- Ribosom: Tempat sintesis protein terjadi
- Asam amino: Unit dasar protein
- tRNA: Membawa asam amino ke ribosom

MODUL BIOLOGI: MATERI GENETIKA

28

5. SINTESIS PROTEIN

a. Defenisi Sintesis Protein

Sintesis protein adalah proses biologis di mana sel-sel organisme membuat protein, molekul organik yang krusial untuk struktur dan fungsi sel. Proses ini melibatkan dua tahap utama yaitu transkripsi dan translasi.

b. Tahapan Sintesis Protein

1. Transkripsi : Transkripsi terjadi di nukleus sel. DNA, yang merupakan materi genetik, digunakan sebagai cetakan untuk membuat mRNA (messenger RNA). mRNA yang dihasilkan selanjutnya dibawa ke ribosom untuk diterjemahkan menjadi protein.

MODUL BIOLOGI: MATERI GENETIKA

Penulisan reaksi kimia pada halaman 17 yang benar adalah "NH₂" buka NH2

17

b. Makromolekul Protein dan Strukturnya

Protein adalah makromolekul yang tersusun dari asam amino. Protein yang memiliki struktur yang kompleks dan beragam dan fungsinya sangat penting bagi tubuh. Struktur protein dapat diklasifikasikan menjadi empat tingkatan:

1. Struktur Primer : Urutan asam amino dalam rantai protein
2. Struktur Sekunder: Bentuk lokal rantai protein, seperti alpha helix dan beta sheet
3. Struktur Tersier : Bentuk tiga dimensi protein
4. Struktur Kuartener: Interaksi antara beberapa rantai protein untuk membentuk protein kompleks

c. Asam Amino dan Fungsinya

Asam amino adalah senyawa organik yang mengandung gugus amino (-NH₂) dan gugus karboksil (-COOH). Asam amino merupakan monomer penyusun protein. Adapun struktur asam amino, sebagai berikut:

- Rantai samping (R): gugus yang berbeda pada setiap asam amino dan menentukan sifatnya.
- Karbon alfa (C α): atom karbon yang menghubungkan gugus amino, gugus karboksil, dan rantai samping.
- Gugus amino (-NH₂) bersifat basa.
- Gugus karboksil (-COOH) bersifat asam.

Sifat Asam Amino:

- Zwitterion: pada pH netral, asam amino memiliki muatan positif pada gugus amino dan muatan negatif pada gugus karboksil.
- Kelarutan: asam amino larut dalam air.
- Titik isoelektrik (pI): pH di mana asam amino tidak memiliki muatan netto.

MODUL BIOLOGI: MATERI GENETIKA

32

b. Makromolekul Protein dan Strukturnya

Protein adalah makromolekul yang tersusun dari asam amino. Protein yang memiliki struktur yang kompleks dan beragam dan fungsinya sangat penting bagi tubuh. Struktur protein dapat diklasifikasikan menjadi empat tingkatan:

1. Struktur Primer : Urutan asam amino dalam rantai protein
2. Struktur Sekunder: Bentuk lokal rantai protein, seperti alpha helix dan beta sheet
3. Struktur Tersier : Bentuk tiga dimensi protein
4. Struktur Kuartener: Interaksi antara beberapa rantai protein untuk membentuk protein kompleks

c. Asam Amino dan Fungsinya

Asam amino adalah senyawa organik yang mengandung gugus amino (-NH₂) dan gugus karboksil (-COOH). Asam amino merupakan monomer penyusun protein. Adapun struktur asam amino, sebagai berikut:

- Rantai samping (R): gugus yang berbeda pada setiap asam amino dan menentukan sifatnya.
- Karbon alfa (C α): atom karbon yang menghubungkan gugus amino, gugus karboksil, dan rantai samping.
- Gugus amino (-NH₂) bersifat basa.
- Gugus karboksil (-COOH) bersifat asam.

Sifat Asam Amino:

- Zwitterion: pada pH netral, asam amino memiliki muatan positif pada gugus amino dan muatan negatif pada gugus karboksil.
- Kelarutan: asam amino larut dalam air.
- Titik isoelektrik (pI): pH di mana asam amino tidak memiliki muatan netto.

MODUL BIOLOGI: MATERI GENETIKA

31

4. Perbedaan antara Amitosis, Mitosis dan Meiosis

Aspek	Amitosis	Mitosis	Meiosis
Jumlah pembelahan	1 kali	1 kali	2 kali
Jumlah kromosom sel anak	Sama dengan sel induk	Sama dengan sel induk	Sepertih dari sel induk
Rekombinasi genetik	Tidak terjadi	Tidak terjadi	Terjadi
Pembelahan kromosom	Tidak terjadi	Terjadi	Terjadi
Pembentukan benang-benang spindle	Tidak terjadi	Terjadi	Terjadi
Tujuan	Pertumbuhan dan regenerasi asexual	Pertumbuhan dan perkerabatan	Reproduksi seksual
Tipe sel	Prokariotik dan beberapa eukariotik primitif	Eukariotik	Eukariotik
Tahapan	Interfase, profase, anafase, telofase	Interfase, profase, metafase, anafase, telofase	Interfase I, profase I, metafase I, anafase I, telofase I, interfase II, profase II, metafase II, anafase II, telofase II
Keuntungan	Cepat, sederhana, membutuhkan sedikit energi	Cepat menghasilkan sel anak dengan jumlah kromosom yang sama	Menghasilkan variasi genetik
Kerugian	Tidak terjadi rekombinasi genetik, variasi genetik rendah	Tidak menghasilkan variasi genetik	Terbunuh, membutuhkan energi lebih banyak

Pada halaman 31 harus jelas nama identitas tabel

52

4. Perbedaan antara Amitosis, Mitosis dan Meiosis

Tabel 5. Perbedaan antara Amitosis, Mitosis dan Meiosis

Aspek	Amitosis	Mitosis	Meiosis
Jumlah pembelahan	1 kali	1 kali	2 kali
Jumlah kromosom sel anak	Sama dengan sel induk	Sama dengan sel induk	Sepertih dari sel induk
Rekombinasi genetik	Tidak terjadi	Tidak terjadi	Terjadi
Pembelahan kromosom	Tidak terjadi	Terjadi	Terjadi
Pembentukan benang-benang spindle	Tidak terjadi	Terjadi	Terjadi
Tujuan	Pertumbuhan dan regenerasi asexual	Pertumbuhan dan perkerabatan	Reproduksi seksual
Tipe sel	Prokariotik dan beberapa eukariotik primitif	Eukariotik	Eukariotik
Tahapan	Interfase, profase, anafase, telofase	Interfase, profase, metafase, anafase, telofase	Interfase I, profase I, metafase I, anafase I, telofase I, interfase II, profase II, metafase II, anafase II, telofase II
Keuntungan	Cepat, sederhana, membutuhkan sedikit energi	Cepat menghasilkan sel anak dengan jumlah kromosom yang sama	Menghasilkan variasi genetik
Kerugian	Tidak terjadi rekombinasi genetik, variasi genetik rendah	Tidak menghasilkan variasi genetik	Terbunuh, membutuhkan energi lebih banyak

43

DAFTAR PUSTAKA

Achsananto (1993). *Genetik, Edisi ketiga*. Jakarta: Erlangga.

Bull, C. & Beal, V. (2003). *Biologi, for Science*. New York: Prentice Hall.

Biggs, Alan, et. 2008. *Biologi*. New York: Mc Graw Hill Companies.

Campbell, N. A., & Reece, J. B. 2011. *Biologi*. San Francisco, California: Benjamin Cummings.

Crowder, L. V. 1982. *Genetik*. Jember: Yayasan Guru-Guru.

Finn, S. N. (2020). *Model pembelajaran SMA biologi: materi genetika biologi kelas XII*. SGMAN 1 Sidamulya, 1-26.

Kere, L.H. (2002). *The Living Science*. Singapore: Pearson Education Asia Pte. Ltd.

Masruha, C. (2022). *Teori Berbasis Sesi*. Prestasi Pustaka: Terdiri: *Cermin Dunia Zodiak*, 49(3), 138. <https://doi.org/10.30517/ed.v4i3.1769>

Reese, J. B., Urry, L. A., Cain, M. L., Wasserman, S.A., Minorsky, P.V., & Jackson, R. B. (2017). *Campbell Biology: 11th Edition*. Lake Ave: Pearson Education, Inc.

Suryo. 2005. *Genetik*. Yogyakarta: Gadjah Mada University Press.

Sehadi, D. (2007). *Genetik*. Bandung: PPG ID, Sylvia 5 Made: 2310. Biologi: 10th edition. New York: The McGraw-Hill Companies.

Widada Yulita. 1991. *Genetik*. Bandung: Tarbiat.

Daftar Pustaka ditambah dari jurnal

64

DAFTAR PUSTAKA

Adisonanto (1993). *Genetik, Edisi ketiga*. Jakarta: Erlangga.

Bull, C. & Beal, V. (2003). *Biologi, for Science*. New York: Prentice Hall.

Biggs, Alan, et al. (2008). *Biologi*. New York: W. H. Freeman and Company.

Bernis, H. M., Woodhock, J., Fong, Z., Gilliland, G., Hsu, F. N., Weing, H., Burren, P. E. (2008). *The Protein Data Bank. Nucleic Acids Research*, 36(1), 232-242.

Biggs, Alan. (2008). *Biologi*. New York: Mc Graw Hill Companies.

Russel Abbott, et al. (2014). *Molecular Biology of the Cell 6th ed.*. New York: Garland Science.

Campbell, N. A., & Reece, J. B. (2011). *Biologi*. San Francisco, California: Benjamin Cummings.

Crowder, L. V. 1982. *Genetik*. Jember: Yayasan Guru-Guru.

Finn, S. N. (2020). *Model pembelajaran SMA biologi: materi genetika biologi kelas XII*. SGMAN 1 Sidamulya, 1-26.

Kere, L.H. (2002). *The Living Science*. Singapore: Pearson Education Asia Pte. Ltd.

Kere, L., Brown, R. & Hossainian, A. (1977). *Nature of inhibitor of cell-free protein synthesis formed in response to interferon and double-stranded RNA*. *Nature* 268, 540-542. <https://doi.org/10.1038/268540a0>

Landi, Enka, and Roy Parker (2014). *Circular RNAs: Diversity of Form and Function*. *RNA*, vol. 20, no. 12, pp. 1829-1842. doi:10.1215/08912184.1218414

Mahindra, C. (2022). *Teori Berbasis Sesi*. Prestasi Pustaka: Terdiri: *Cermin Dunia Zodiak*, 49(3), 138. <https://doi.org/10.30517/ed.v4i3.1769>

Loe, J., Chee, J., Sarkar, P. et al. *Monitoring the crosslink between methylation and phosphorylation in histone repeats with histone-antigen complex*. *Anal Biochem* 412, 81-89 (2012). <https://doi.org/10.1016/j.ab.2012.03.018>

Reese, J. B., Urry, L. A., Cain, M., Wasserman, S.A., Minorsky, P.V., & Jackson, R. B. (2017). *Campbell Biology: 11th Edition*. Lake Ave: Pearson Education, Inc.

Suryo. (2005). *Genetik*. Yogyakarta: Gadjah Mada University Press.

Timimi, A.H.K.A., Tran, V., Tecavan, R.S., Alim, A.J., Amaljit Grewal, H.V., White, P.R., Leotta, D.C., Pruvitt, G., Wang, Y., Weigert, A., Bhowmik, R.H., Qian, P., Rao, W., Guo, H., Mochly, J. (2020). *Transcriptome-wide demethylase hTET2 targets for human lysine methyltransferase catalysis*. *Nature Research*. DOI: 10.1038/s41598-020-64015-1

Widada Yulita (1991). *Genetik*. Bandung: Tarbiat (English), 2016 (Pisa-Romano et al., 2021)

Ratuman, A., Dominguez Martin, A., Galli, S., Santamaría Diaz, N., Palacios, O., Dehede, J. A., Virente, M. & Galindo, M. A. (2011). Single-stranded DNA as Supermolecular Template for (Mn,Co)Hexamethylphosphoramide (Mn,Co) Hexamethylphosphoramide. *International Journal*, 6(18), 1089-1094. <https://doi.org/10.1002/ijnt.3251>

Hasil Penilaian Guru Biologi

Hasil penilaian guru biologi menyatakan bahwa E-modul Berbasis STEM pada Materi Genetika berada pada kriteria penilaian yang sangat praktis dengan skor 94.23%. Hal ini menunjukkan bahwa e-modul berbasis STEM pada materi genetika sangat praktis dan layak digunakan dalam pembelajaran biologi. Namun guru menyarankan untuk menyelaraskan KI dan KD yang terdapat pada materi E-modul.

Uji coba skala kecil ini dilakukan oleh 5 orang peserta didik dari kelas XII MIA 7 yang semuanya memiliki kemampuan tinggi, sedang dan rendah. Peneliti dibantu oleh guru biologi dalam memilih setiap peserta didik dalam kategori ini.

Tabel 10. Hasil Uji Coba Skala Kecil

Responden	Tingkat Kepraktisan	Kriteria
Responden 1	100%	Sangat Praktis
Responden 2	84.61%	Sangat Praktis

Responden 3	82.69%	Sangat Praktis
Responden 4	61.54%	Praktis
Responden 5	53.85%	Cukup Praktis
Rata-Rata Kepraktisan	76.538%	Praktis

Hasil uji coba kelompok kecil bahan ajar berupa E-Modul berbasis STEM pada Materi Genetika dapat dilihat pada tabel 10, dapat diketahui persentase skor total yang diperoleh dari 5 responden dengan rata-rata kepraktisan 76.538%. Sehingga berdasarkan tabel persentase kepraktisan e-modul berbasis STEM pada materi gentika dapat digunakan dengan cara yang praktis.

Tahap uji coba skala besar selanjutnya dilakukan untuk mengetahui seberapa baik respon peserta didik terhadap bahan ajar yang baru. Pada tahap ini peneliti memperkenalkan produk kepada peserta didik dan mendemonstrasikan bagaimana cara mengaplikasikan E-Modul dalam belajar. Adapun hasil dari uji coba skala besar yang dilakukan pada 22 peserta didik sebagai berikut:

Tabel 11. Hasil Uji Coba Skala Besar

Interval Skor	Jumlah Responden	Tingkat Kepraktisan	Kriteria Penilaian
0-20	0	0% - 20%	Sangat Tidak Praktis
21-40	1	40.38%	Tidak Praktis
41-60	1	48.08%	Cukup Praktis
61-80	10	61.54% - 80.77%	Praktis
81-100	10	82.69% - 100%	Sangat Praktis
Rata-rata Kepraktisan		78.32 %	Praktis

Berdasarkan hasil uji coba skala besar yang ditunjukkan pada Tabel 11, dapat diketahui bahwa rata-rata kepraktisan diperoleh sebesar 78.32% dari 22 responden, sehingga dari hasil uji coba skala besar ini E-Modul Berbasis STEM pada Materi Genetika praktis untuk digunakan.

Selanjutnya tahap penyebaran dilakukan pada kelas XII MIPA 7 dengan melibatkan 27 peserta didik MAN 1 Medan. Penerapan ini dilakukan untuk memperoleh nilai efektivitas produk yang telah dikembangkan untuk proses pembelajaran biologi pada materi genetika. Adapun nilai keefektifan e-modul Berbasis STEM pada materi genetika dapat dilihat dari ketercapaian pelaksanaan pembelajaran.

Tabel 12. Skor-N-Gain dan Kepraktisan Produk

Data	Skor	Kriteria
N-Gain	0.58	Sedang
Keefektifan	58.46	Cukup Efektif

Berdasarkan hasil nilai posttest dan pretest yang dilangsungkan oleh peserta didik diperoleh persentase keefektifan sebesar 58.46 (Tabel 12), sehingga dapat disimpulkan bahwa pengembangan e-modul berbasis STEM pada materi genetika cukup efektif. Adapun untuk nilai N-Gain yang diperoleh yaitu 0.58, sehingga dapat disimpulkan bahwa nilai N-Gain Score yang diperoleh dalam kategori sedang.

PEMBAHASAN

Pengembangan e-modul mengikuti model *Research and Development* (R&D) dengan model 4D yang terdiri dari empat tahapan utama, pendefinisian (*Define*), perancangan (*Design*), pengembangan (*Development*), dan penyebaran (*Disseminate*). Setelah tahapan ini dilalui, dilakukan uji validitas dan kepraktisan untuk memastikan e-modul yang dihasilkan valid dan praktis. Analisis kebutuhan menunjukkan bahwa bahan ajar yang digunakan guru kurang bervariasi, menyebabkan kejenuhan dan penurunan motivasi belajar. Oleh karena itu, dikembangkan e-modul yang lebih menarik dengan fitur tambahan seperti gambar dan video untuk membantu visualisasi dan pemahaman materi.

Pada tahap desain, peneliti merancang e-modul berbasis STEM untuk materi genetika dengan tata letak yang bervariasi, gambar berkualitas tinggi, dan video pembelajaran. Penelitian oleh Wahyudi et al., (2023) menunjukkan bahwa tampilan pembelajaran yang menarik dapat membuat proses belajar lebih bermakna dan efektif dengan memanfaatkan berbagai gaya belajar, termasuk audio dan visual (Abdulrahman et al., 2020).

Tahap pengembangan melibatkan validasi oleh dua ahli, yang memberikan masukan untuk meningkatkan konsistensi dan kejelasan modul, revisi pengertian sentromer di glosarium, serta penggunaan sumber gambar yang valid. Ahli media juga memberikan masukan mengenai perubahan judul, peletakan glosarium, dan penulisan yang perlu dirapihkan. Hasil validasi menunjukkan bahwa e-modul sangat valid dengan persentase cakupan materi 95%, kemuktahiran dan kontekstualisasi 87,5%, serta skor 100% untuk tampilan dan pemrograman dan 97,2% dari ahli media. E-modul ini sangat layak digunakan dalam pembelajaran dan dapat diakses melalui smartphone atau komputer.

Setelah validasi, e-modul diimplementasikan pada guru dan siswa, dan evaluasi kepraktisan menunjukkan skor 94,23% dari guru dan 76,538% dari siswa skala kecil, serta 78,32% dari siswa skala besar, sehingga dinilai sangat praktis. Berdasarkan hasil posttest dan pretest, efektivitas e-modul mencapai 58,46% dengan nilai N-Gain 0,58, yang termasuk kategori sedang.

Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa e-modul dapat menyediakan pengalaman belajar yang interaktif dan mendorong siswa lebih serius dalam belajar, membantu guru, dan siswa dalam proses pembelajaran Biologi. Namun, beberapa peneliti menyadari bahwa untuk memberikan hasil yang lebih mendalam kepada siswa, diperlukan upaya yang sistematis dan berkelanjutan dalam memenuhi kebutuhan belajar siswa (Eynon et al., 2022; Yan et al., 2023). Pembelajaran STEM yang kontekstual perlu dilakukan secara terus-menerus agar siswa terbiasa berpikir sistematis dan mampu mengaitkan permasalahan dengan berbagai solusi yang relevan (Kartimi et al., 2021).

SIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian pengembangan e-modul berbasis STEM pada materi genetika, dapat disimpulkan bahwa e-modul ini telah berhasil dikembangkan dengan validitas yang tinggi, praktis dalam penggunaan, dan efektif dalam meningkatkan pemahaman siswa. E-modul ini memberikan pengalaman belajar yang interaktif, mendorong siswa untuk lebih serius dalam belajar, serta membantu guru dalam proses pembelajaran Biologi.

Uji coba skala kecil dan skala besar menunjukkan respon positif dari guru dan siswa terhadap e-modul ini, dengan tingkat kepraktisan yang tinggi. Hasil posttest dan pretest menunjukkan bahwa e-modul berbasis STEM pada materi genetika efektif dalam meningkatkan pemahaman siswa, meskipun masih dalam kategori sedang.

DAFTAR PUSTAKA

- Abdulrahman, M. D., Faruk, N., Oloyede. A. A., Bakinde, S. N. T., Olawoyin, L.A., Mejabi. O. V., Fulani, I. Y. O., Fahm, A. O., Azeez, A. L. (2020). Multimedia Tools in the Teaching and Learning Processes: a Systematic Review. *Heliyon*, 6(11), 1-14. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2020.e05312>
- Asrial, A., Syahrial, S., Maison, M., Kurniawan, D. A., & Piyana, S. O. (2020). Ethnoconstructivism E-Module to Improve Perception, Interest, and Motivation of Students in Class V Elementary School. *Jurnal Pendidikan Indonesia*, 9(1), 30–41. <https://doi.org/10.23887/jpi-undiksha.v9i1.19222>
- Ceylan, S., & Ozdilek, Z. (2015). Improving a Sample Lesson Plan for Secondary Science Courses within the STEM Education. *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, 177, 223–228. <https://doi.org/10.1016/j.sbspro.2015.02.395>
- Davidi, E. I. N., Sennen, E., & Supardi, K. (2021). Integrasi pendekatan STEM (Science, Technology, Enggeenering and Mathematic) untuk Peningkatan Keterampilan Berpikir Kritis Siswa Sekolah Dasar. *Scholaria: jurnal pendidikan dan kebudayaan*, 11(1), 11-22. <https://doi.org/10.24246/j.js.2021.v11.i1.p11-22>
- Diantari, L. P. E., Damayanthi, L. P. E., Sugihartini, N. S., & Wirawan, I. M. A. (2018). Pengembangan E-Modul Berbasis Mastery Learning untuk Mata Pelajaran KKPI Kelas XI. *Jurnal Nasional Pendidikan Teknik Informatika (JANAPATI)*, 7(1), 33-47. <https://doi.org/10.23887/janapati.v7i1.12166>
- English, L. D. (2016). STEM Education K-12: Perspectives on Integration. *International Journal of STEM Education*, 3(1), 1–8. <https://doi.org/10.1186/s40594-016-0036-1>
- Eynon, B., Bass, R., Iuzzini, J., & Gambino, L. M. (2022). The New Learning Compact: A Systemic Approach to a Systemic Problem. *Change: The Magazine of Higher Learning*, 54(2), 38–46. <https://doi.org/10.1080/00091383.2022.2030162>
- Haambokoma, C. (2007). Nature and Causes of Learning Difficulties in Genetics at High School Level in Zambia. *Journal of International Development and Cooperation*, 13(1), 1–9. <https://doi.org/10.15027/28479>
- Irdawati, I., Chatri, M., Wulansari, K., Razak, A., & Fajrina, S. (2023). Development of STEM-Based Biology E-Module to Improve Student Learning Outcomes. *Jurnal Penelitian Pendidikan IPA*, 9(8), 6694–6700. <https://doi.org/10.29303/jppipa.v9i8.4737>
- Kartimi, K., Shidiq, A. S., & Nasrudin, D. (2021). The Elementary Teacher Readiness Toward STEM-Based contextual Learning in 21st Century Era. *Ilkogretim Online-Elementary Education Online*, 20(1), 145-156. <http://dx.doi.org/10.17051/ilkonline.2021.01.019>

- Khairunnisa, P. D., & Tanjung, I. F. (2023). STEM Based Student Worksheets to Improve Ecosystem Material Critical Thinking. *Jurnal Pedagogi dan Pembelajaran*, 6(1), 48-55. <https://doi.org/10.23887/jp2.v6i1.59414>
- Lubis, R. R., Huda, S. N., & Hasibuan, H. R. (2021). Penerapan SKS di MAN 1 Medan (Analisis Signifikansinya dalam Percepatan Belajar Siswa). *Jurnal Asy-Syukriyyah*, 22(1), 74-92. <https://doi.org/10.36769/asy.v22i1.146>
- Mahrus, M., Idrus, A. A. I, Hadisaputra, S., & Syauki, M. S. L. (2022). Pemanfaatan Media Pohon Filogenetik Ikan Teri Berbasis Hasil Penelitian untuk Mengatasi Kesulitan Belajar Materi Keragaman Genetik pada Mata Pelajaran Biologi Siswa MAN 2 Mataram. *Jurnal Pengabdian Magister Pendidikan IPA*, 5(4), 246-251. <https://doi.org/10.29303/jpmppi.v5i4.2529>
- Marisa, M. (2021). Inovasi Kurikulum “Merdeka Belajar” di Era *Society* 5.0. *Santhet: (Jurnal Sejarah, Pendidikan Dan Humaniora)*, 5(1), 66-78. <https://doi.org/10.36526/js.v3i2>
- Pasaribu, Y., Ulfa, S. W., & Rohani, R. (2023). Pengembangan LKPD Berbasis Stem untuk Meningkatkan Keterampilan Belajar Siswa Pada Materi Virus Kelas X SMA Negeri 1 Sorkam. *Jurnal Bionatural*, 10(2), 99-109. <https://doi.org/10.61290/bio.v10i2.717>
- Pasaribu, K., Kahiruna, K., Adlini, M. N., & Abrori, F. M. (2023). Developing STEM Students' Worksheet to Improve Students' Creative Thinking Ability. *Research and Developments in Education*, 3(2), 127-136. <https://doi.org/10.22219/raden.v3i2.25331>
- Saenab, S., Nurhayati, B., Hamka L., & Fitri. S.R. (2016). Pembelajaran Genetika (Susah) dengan Strategi Humor (Mudah), Apakah Mempengaruhi Minat Siswa?. *Jurnal Nalar Pendidikan*, 4(2), 131-136. <https://doi.org/10.26858/jnp.v4i2.2414>
- Shohibi, S., Widiatsihi, A., Atmaja, I. W. W., & Jazuly. A. (2020). Pengembangan Modul Digital Materi Genetik untuk SMA Kelas XII di Jember. *Journal of Education Technology and Inovation*, 3(2), 110-119. <https://doi.org/10.31537/jeti.v2i2.584>
- Sholeh, B., Hufad, A., & Fathurrohman, M. (2023). Pemanfaatan E-Modul Interaktif dalam Pembelajaran Mandiri Sesuai Kapasitas Siswa. *Risalah, Jurnal Pendidikan Dan Studi Islam*, 9(2), 665-672. https://doi.org/10.31943/jurnal_risalah.v9i2.458
- Stohlmann, M., Moore, T., & Roehrig, G. (2012). Considerations for Teaching Integrated STEM Education. *Journal of Pre-College Engineering Education Research*, 2(1), 28-34. <https://doi.org/10.5703/1288284314653>
- Sugiarto., & Farid, A. (2023). Literasi Digital sebagai Jalan Penguatan Pendidikan Karakter di Era *Society* 5.0. *Cetta: Jurnal Ilmu Pendidikan*. 6(3), 580-597. <https://doi.org/10.37329/cetta.v6i3.2603>
- Thiagarajan, S., Semmel, D., & Semmel. M. (1974). *Instructional Development for Training Teachers of Exceptional Children: A sourcebook*. Bloomington: Indiana University
- Wahyudi, S. A., Siddik, M., & Suhartini, E. (2023). Analisis Pembelajaran IPAS dengan Penerapan Pendekatan Pembelajaran Berdiferensiasi dalam Kurikulum Merdeka. *Jurnal Pendidikan MIPA*, 13(4), 1105-1113. <https://doi.org/10.37630/jpm.v13i4.1296>

- Wahyuni, N. P. (2021). Penerapan Model Pembelajaran Berbasis Masalah untuk Meningkatkan Hasil Belajar IPA. *Diklabio: Jurnal Pendidikan dan Pembelajaran Biologi*, 5(1), 109–117. <https://doi.org/10.23887/jear.v5i1.31554>
- Yan, Z., Panadero, E., Wang, X., & Zhan, Y. (2023) A Systematic Review on Students' Perceptions of Self-Assessment: Usefulness and Factors Influencing Implementation. *Educ Psychol Rev* 35(81), 1-28. <https://doi.org/10.1007/s10648-023-09799-1>
- Yuliar, N. K. R., Sumiyati, S., & Hanim, W. (2020). Studi Literatur Pendekatan Pembelajaran Steam Menyongsong Era *Society 5.0*. *Prosiding Seminar dan Diskusi Nasional Pendidikan Dasar 2020*, 1–8.
- Yuna, O., Joseph, R., Stoll, S., Moskowitz, A., Pulitzer, P., Horwitz, S., Myskowski, P., Sarah, J., & Noor, N. (2021) Primary Cutaneous T-Cell Lymphomas other Than Mycosis Fungoides and Sézary Syndrome. Part II: Prognosis and Management. *Journal of the American Academy of Dermatology*, 85(5), 1093-1106, <https://doi.org/10.1016/j.jaad.2021.04.081>