



**PENGEMBANGAN E-MODUL KEANEKARAGAMAN HAYATI  
BERBASIS PENELITIAN PLANKTON DI PERAIRAN ESTUARI  
KAWASAN KONSERVASI MANGROVE BAROS BAGI  
PESERTA DIDIK KELAS X SMA**

Eyrin Choirunnisa<sup>1\*</sup>, Atik Kurniawati<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Departemen Pendidikan Biologi, Universitas Negeri Yogyakarta

\*E-mail: [eyrinchoirunnisa.2021@student.uny.ac.id](mailto:eyrinchoirunnisa.2021@student.uny.ac.id)

**HISTORY OF ARTICLE:**

**Received:** 02 Juni 2025

**Accepted:** 29 September 2025

**Published:** 30 September 2025

**Keywords:** *e-module*, Baros Mangrove Conservation Area, biodiversity, estuary, plankton.

**Kata kunci:** *e-module*, Baros Mangrove Conservation Area, biodiversity, estuary, plankton.

**ABSTRACT:** This study aims to identify the types of plankton found in the estuarine waters of the Mangrove Baros Conservation Area and explore their potential as a learning resource for biology. Additionally, it seeks to analyze the validity and effectiveness of a research-based biology *e-module* on plankton in enhancing students' understanding. This research is an exploratory and development (R&D) study employing a modified 4D development model (Define, Design, and Develop), with the Disseminate stage not carried out due to research limitations. Plankton data collection was carried out through sample observations, while the *e-module* assessment was conducted using questionnaires completed by material experts, media experts, teachers, and students. The study was conducted from September 2024 to February 2025. The research instruments included interview sheets, validation assessment questionnaires, and response questionnaires. The effectiveness of the *e-module* was assessed using the N-Gain test, which yielded a score of 71.6%, indicating a moderately effective category. Furthermore, the validity assessment showed that material experts rated the *e-module* at 99% and media experts at 89%, both of which fall into the highly valid classification. Therefore, the biodiversity *e-module* based on plankton research in the estuarine waters of the Baros Mangrove Conservation Area can be considered a valid and moderately effective teaching material for enhancing students' understanding.

**ABSTRAK:** Tujuan dari penelitian ini yaitu untuk mengidentifikasi jenis plankton di perairan estuari Kawasan Konservasi Mangrove Baros serta potensinya sebagai sumber belajar biologi. Menganalisis validitas dan efektivitas *e-module*

pembelajaran biologi berbasis penelitian plankton dalam meningkatkan pemahaman peserta didik. Penelitian ini merupakan penelitian eksploratif dan pengembangan (R&D) yang menggunakan model pengembangan 4D (*Define, Design, Develop, dan Disseminate*). Pengumpulan data plankton dilakukan melalui pengamatan sampel, sedangkan penilaian *e-module* dilakukan melalui angket yang diisi oleh ahli materi, ahli media, guru, dan peserta didik. Penelitian ini dilaksanakan pada bulan September 2024 hingga Februari 2025. Instrumen penelitian meliputi lembar wawancara, lembar angket penilaian validasi, serta lembar angket respon. Keefektifan *e-module* dinilai menggunakan uji N-Gain, yang menghasilkan skor sebesar 71,6% dan dikategorikan cukup efektif. Selain itu, hasil validasi menunjukkan bahwa ahli materi memberikan penilaian sebesar 99% dan ahli media sebesar 89%, keduanya termasuk dalam klasifikasi sangat valid. Oleh karena itu, *e-module* keanekaragaman hayati berbasis penelitian plankton di perairan estuari Kawasan Konservasi Mangrove Baros dapat dipertimbangkan sebagai bahan ajar yang valid dan cukup efektif untuk meningkatkan pemahaman peserta didik.

## PENDAHULUAN

Pembelajaran biologi di tingkat sekolah menengah atas (SMA) masih menghadapi berbagai tantangan, khususnya dalam penyampaian materi keanekaragaman hayati secara efektif dan bermakna. Sumber belajar yang umum digunakan, seperti buku paket dan lembar kegiatan peserta didik (LKPD), cenderung bersifat teoretis dan kurang menggali potensi lokal. Hal ini menyebabkan peserta didik kesulitan mengaitkan konsep-konsep biologi dengan fenomena nyata di lingkungan sekitar (Firman *et al.*, 2025). Keterbatasan tersebut berdampak pada rendahnya pemahaman konseptual serta motivasi belajar siswa dalam mengeksplorasi keanekaragaman hayati secara lebih mendalam.

Upaya untuk menjembatani kesenjangan antara teori dan praktik dalam pembelajaran biologi dapat dilakukan melalui pendekatan kontekstual. Pendekatan ini menekankan pentingnya keterkaitan antara materi ajar dengan lingkungan sekitar peserta didik, sehingga proses pembelajaran menjadi lebih bermakna dan aplikatif (Mulyadi & Julianto, 2018). Ekosistem estuari, seperti kawasan Konservasi Mangrove Baros yang kaya akan keanekaragaman plankton, merupakan potensi lokal yang dapat dimanfaatkan sebagai sumber belajar konkret. Dengan mengintegrasikan hasil penelitian lapangan ke dalam materi ajar, peserta didik tidak hanya memperoleh pemahaman kognitif, tetapi juga pengalaman langsung dalam mengenali keanekaragaman hayati.

Sayangnya, pembelajaran di sekolah masih didominasi oleh metode konvensional yang kurang mendukung pembelajaran berbasis eksplorasi. Materi yang diajarkan belum sepenuhnya menggambarkan kekayaan hayati lokal, sehingga konsep keanekaragaman hayati terkesan abstrak dan jauh dari realitas peserta didik (Ulfa *et al.*, 2024). Untuk mengatasi permasalahan ini, dibutuhkan media pembelajaran inovatif yang mampu mengintegrasikan potensi lokal ke dalam proses pembelajaran. Oleh karena itu, pengembangan media ajar kontekstual menjadi kebutuhan mendesak agar pembelajaran lebih bermakna.

Salah satu solusi yang dapat diimplementasikan adalah pengembangan *e-module* berbasis penelitian plankton di perairan estuari Kawasan Konservasi Mangrove Baros. *E-module* memiliki keunggulan dalam menyajikan materi secara interaktif melalui pemanfaatan

multimedia seperti gambar, video, animasi, hingga kuis interaktif, yang dapat meningkatkan keterlibatan peserta didik dalam proses belajar (Saparuddin, 2022). Di sisi lain, penggunaan *e-module* juga sejalan dengan arah Kurikulum Merdeka yang mendorong pembelajaran berbasis eksplorasi dan kemandirian belajar.

Dalam konteks pembelajaran digital, pemanfaatan teknologi yang telah akrab digunakan peserta didik, seperti telepon genggam, memungkinkan akses belajar yang lebih fleksibel tanpa batas ruang dan waktu. Hal ini berpotensi meningkatkan efektivitas pembelajaran sekaligus menciptakan pengalaman belajar yang lebih menyenangkan, kontekstual, dan relevan dengan kehidupan sehari-hari. Berdasarkan latar belakang tersebut, penelitian ini bertujuan untuk mengidentifikasi jenis plankton yang terdapat di perairan estuari Kawasan Konservasi Mangrove Baros serta menilai potensinya sebagai sumber belajar biologi. Selanjutnya, penelitian ini mengembangkan *e-module* pembelajaran biologi berbasis penelitian plankton yang valid dan efektif, dengan tujuan meningkatkan pemahaman peserta didik terhadap konsep keanekaragaman hayati.

## METODE

Penelitian ini merupakan penelitian eksploratif dan Research and Development (R&D) dengan model 4D yang bertujuan menghasilkan serta menguji efektivitas *e-module* sebagai sumber ajar keanekaragaman hayati (Sugiono, 2017). Pendekatan eksploratif digunakan untuk mengidentifikasi keanekaragaman plankton di perairan estuari Mangrove Baros, sementara pendekatan pengembangan diterapkan dalam perancangan dan uji coba terbatas *e-module*. Kombinasi kedua pendekatan ini memungkinkan penelitian tidak hanya menggali potensi lokal, tetapi juga menghasilkan inovasi pembelajaran yang aplikatif meskipun masih pada tahap pengembangan awal. Berikut peta Lokasi pengambilan sampel yang terdapat pada Gambar 1.



Gambar 1. Peta lokasi pengambilan sampel plankton

Berdasarkan Gambar 1, penelitian eksplorasi alat yang digunakan dalam pengambilan sampel plankton yaitu termometer, pH meter, DO meter, refraktometer, ember berukuran 5 L, plankton net, botol sampel, cool box, gayung, mikroskop binokuler, sedgewick rafter chamber, tisu, pipet tetes, kamera, dan buku identifikasi. Sedangkan bahan yang digunakan dalam penelitian diantaranya formalin 4%, label tempel, spidol, lakban, aquadest, dan counter.

Sampel zooplankton dikumpulkan dari perairan Kawasan Mangrove Baros, Bantul melalui pengambilan air menggunakan ember berkapasitas 5 L. Sebanyak 50 L air dituangkan ke dalam *plankton net* untuk disaring, kemudian hasil penyaringan dimasukkan ke dalam botol film dan diawetkan dengan 2 tetes formalin 4% untuk mencegah kerusakan (lisis) sel plankton. Proses ini dilakukan sebanyak 10 kali pengulangan pada masing-masing dari tiga titik sampling.

Penentuan tiga titik sampling didasarkan pada variasi aktivitas antropogenik dan karakteristik hidrologis perairan estuari. **Stasiun 1** berada di dekat objek wisata *jetski* yang merepresentasikan wilayah dengan aktivitas rekreasional tinggi. **Stasiun 2** berlokasi di area *pemancingan* yang memiliki potensi pemasukan bahan organik dari aktivitas perikanan. **Stasiun 3** terletak di bagian *hilir sungai* sebagai pertemuan air tawar dan laut yang memungkinkan terjadinya akumulasi material dari hulu. Pertimbangan tersebut digunakan untuk memperoleh gambaran keanekaragaman plankton yang lebih komprehensif pada berbagai kondisi lingkungan. Identifikasi sampel plankton dilakukan dengan menggunakan mikroskop binokuler, *sedgewick rafter chamber*, pipet tetes dan kamera. Identifikasi plankton dilakukan sampai tingkat spesies dengan menggunakan buku serta jurnal relevan serta penghitungan jumlah sel/individu dengan menggunakan metode Direct Count.

Pengembangan sumber ajar dalam bentuk *e-module* biologi dilakukan dengan menggunakan model pengembangan 4D, yang terdiri dari lima tahap, yaitu Pendefinisian (*Define*), Perancangan (*Design*), Pengembangan (*Develop*), dan Penyebaran (*Disseminate*). Akan tetapi tahap pengembangan sumber ajar *e-module* ini hanya sampai uji coba terbatas saja, sebagaimana tujuan yang akan menilai kevalidan dan keektivitasan sumber ajar *e-module* berbasis penelitian plankton di perairan estuari kawasan Konservasi Mangrove Baros berdasarkan hasil penilaian respon guru dan peserta didik kelas X SMA N 1 Sedayu, Kabupaten Bantul, Daerah Istimewa Yogyakarta.

### Indeks Keanekaragaman Shanon-Wiener (H')

Keanekaragaman (Diversity Index) plankton dihitung dengan menggunakan rumus Shanon-Wiener (Odum, 1996) yaitu:

$$H' = \sum_{i=1}^s \binom{n}{k} P_i \log P_i \dots \dots \dots (1)$$

Keterangan:

H' = Indeks keanekaragaman

$P_i = \frac{n_i}{N}$

n<sub>i</sub> = jumlah individu jenis ke-i

N = jumlah total individu

**Tabel 1. Indikator keanekaragaman plankton**

No	Nilai indeks	Tingkat keanekaragaman
1.	>3	Keanekaragaman tinggi
2.	1-3	Keanekaragaman sedang
3.	<3	Keanekaragaman rendah

(Sumber: Odum, 1996)

### Data hasil validasi ahli *e-module*

Validasi oleh ahli media dianalisis menggunakan skala Likert. Tahapan dalam menentukan hasil validasi *e-module* mencakup: 1) menghitung total skor dari hasil validasi oleh ahli materi dan ahli media pada setiap aspek untuk memperoleh skor keseluruhan masing-masing aspek dan 2) mengonversi total skor ke dalam data kuantitatif berdasarkan kategori penilaian kelayakan yang telah ditetapkan dalam Tabel 2.

**Tabel 2. Kategori Kelayakan E-Module**

No	Interval hasil penilaian	Kategori
1.	81% - 100%	Sangat valid
2.	61% - 80%	Valid
3.	41% - 60%	Kurang valid
4.	<40%	Tidak valid

---

(Sumber: Sugiyono (2017))

Mengonversi data validasi atau penilaian dari bentuk kuantitatif ke kualitatif dengan menyajikan deskripsi untuk setiap aspek penilaian.

Data keefektivan *e-module*

Analisis data efektivitas sumber ajar dilakukan menggunakan uji N-Gain untuk mengukur peningkatan pemahaman peserta didik sebelum dan sesudah menggunakan *e-module*. Berikut adalah tahapan untuk menentukan keefektifan *e-module* berdasarkan hasil penilaian pretest dan posttest.

Menghitung rata-rata total skor dari hasil penilaian *posttest* dan *pretest* dengan rumus:

$$N - Gain = \frac{(Skor\ posttest - pretest)}{(skor\ ideal - pretest)} \times 100\% \dots \dots \dots (2)$$

Mengonversi rata-rata skor menjadi data kuantitatif dengan mengacu pada tabel kategori penilaian keefektifan terdapat dalam Tabel 3.

Tabel 3. Kategori keefektivan *E-module*

No	Interval hasil penilaian	Kategori
1.	> 76 %	Efektif
2.	56% - 75%	Cukup efektif
3.	40% - 55%	Kurang efektif
4.	< 40%	Tidak efektif

---

(Sumber: Hake, R. R, 1999)

Mengonversi data penilaian keefektifan dari bentuk kuantitatif ke kualitatif dengan menyajikan deskripsi pada penilaian penilaian.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil penelitian eksplorasi plankton di Kawasan Konservasi Mangrove Baros, ditemukan sebanyak 28 spesies plankton yang tersebar dalam 9 filum yaitu Bacillariophyta (Diatom), Dinoflagellata, Chlorophyta, (*Green algae*), Cyanobacteria (*Blue-green algae*), Euglenophyta (Euglenoids) atau Protozoa, Arthropoda, Rizopoda, Mollusca, dan Rotifera. Hasil perhitungan keanekaragaman plankton dapat dilihat dalam Tabel 4.

Tabel 4. Hasil perhitungan keanekaragaman plankton

No	Kelas	Family	Spesies	H'
1.	Bacillariophyceae	Thalassiosiraceae	<i>Thalassiosira weissflogii</i>	2,98
		Coscinodiscaceae	<i>Coscinodiscus sp.</i>	
		Fragilariaceae	<i>Fragilaria sp.</i>	
		Chaetocerotaceae	<i>Chaetoceros sp.</i>	

No	Kelas	Family	Spesies	H'
2.	Chlorophyceae	Biddulphiaceae	<i>Biddulphia sp.</i> <i>Isthmia sp.</i>	
		Thalassionemataceae	<i>Thalassionema nitzschioides</i>	
		Fnigillariaceae	<i>Synedra sp.</i> <i>Ulnaria ulna</i>	
		Amphipleuraceae	<i>Amphiprora sp.</i>	
		Hydrodictyaceae	<i>Pediastrum duplex</i> <i>Pediastrum sp.</i>	
		Trebouxiophyceae	<i>Eremosphaera sp.</i>	
		Sphaeropleales	<i>Coelastrum sp.</i>	
		Oscillatoriaceae	<i>Oscillatoria sp.</i>	
		Spirulinaceae	<i>Spirulina sp.</i>	
		Pyrocystaceae	<i>Pyrocystis sp.</i>	
		Ceratiaceae	<i>Ceratium sp.</i>	
3.	Cyanophyceae	Peridiniaceae	<i>Peridinium sp.</i>	
		Thoracosphaeraceae	<i>Scrippsiella sp.</i>	
		Euglenidae	<i>Strombomonas sp.</i>	
5.	Euglenophyceae	Phacaceae	<i>Phacus helikoides</i>	
		Alpheidae	<i>Nauplius sp.</i>	
6.	Malacostraca	Daphniidae	<i>Daphnia sp.</i>	
7.	Branchiopoda	Cyclopidae	<i>Mesocyclops leuckarti</i>	
8.	Copepoda	Calyptraeidae	<i>Crepidula fornicate</i>	
9.	Gastropoda	Mayorellida	<i>Astramoeba radiosa</i>	
10.	Mesomycetozoea	Brachionidae	<i>Brachionus sp.</i>	
11.	Eurotatoria			

Sifat fisika-kimia suatu habitat berperan dalam membentuk struktur komunitas biota yang menghuni ekosistem tersebut, termasuk plankton. Hasil pengukuran parameter fisika - kimia pada tiga stasiun pengambilan sampel di perairan estuari Konservasi Mangrove Baros dapat dilihat dalam Tabel 5.

**Tabel 5. Hasil pengukuran parameter fisika - kimia pada tiga stasiun**

Parameter	Satuan	Lokasi pengamatan		
		Stasiun I	Stasiun II	Stasiun III
pH	-	7,2	7,6	8
Suhu	°C	28,2	29	28,6
DO	Mg/L	4,3	4,5	4,8
Salinitas	ppt	5	5	5
Warna air	-	Coklat kehijauan	Coklat kehijauan	Coklat kehijauan

Hasil pengukuran parameter fisika dan kimia perairan di kawasan Mangrove Baros menunjukkan bahwa suhu berkisar antara 28,2°C-29°C, dengan nilai masing-masing 28,2°C (Stasiun I), 29°C (Stasiun II), dan 28,6°C (Stasiun III). Nilai pH berada pada rentang netral hingga basa ringan, yaitu 7,2 di Stasiun I, 7,6 di Stasiun II, dan 8,0 di Stasiun III. Kadar oksigen terlarut (DO) terukur 4,3-4,8 mg/L, dengan nilai berturut-turut 4,3 mg/L, 4,5 mg/L, dan 4,8

mg/L. Salinitas di ketiga stasiun relatif seragam, yaitu 5 ppt, sedangkan warna air di seluruh lokasi tampak coklat kehijauan.

## Hasil Penelitian Pengembangan

### Tahap *Define*

Analisis kebutuhan dilakukan melalui wawancara dengan guru biologi dan peninjauan perangkat pembelajaran yang digunakan di SMA Negeri 1 Sedayu. Hasil analisis menunjukkan bahwa pembelajaran Keanekaragaman Hayati masih terkendala oleh keterbatasan bahan ajar yang kontekstual. Guru menyatakan bahwa pembelajaran masih bergantung pada buku teks dan LKPD, sehingga aktivitas belajar cenderung bersifat ceramah dan kurang interaktif. Peserta didik juga mengalami kesulitan memahami materi karena contoh yang digunakan tidak mencerminkan kondisi lingkungan sekitar mereka. Selain itu, Kurikulum Merdeka menuntut adanya penerapan pembelajaran berbasis ekosistem lokal. Temuan ini menunjukkan perlunya media pembelajaran yang lebih interaktif dan relevan dengan konteks lokal sebagai upaya meningkatkan pemahaman dan keterlibatan peserta didik.

Materi keanekaragaman plankton di perairan estuari Kawasan Konservasi Mangrove Baros berpotensi dikembangkan menjadi *e-module* yang sesuai dengan Kurikulum Merdeka karena relevan dengan ekosistem sekitar peserta didik, sehingga pembelajaran lebih kontekstual. *E-module* ini mendukung pembelajaran berbasis penelitian dengan menyajikan data ilmiah yang melatih keterampilan berpikir kritis dan analisis peserta didik. Selain itu, *e-module* mendorong pembelajaran interaktif dan mandiri melalui gambar, video, serta kuis interaktif. Integrasi kearifan lokal juga memperkuat kesadaran terhadap ekosistem sekitar dan isu global seperti perubahan iklim serta konservasi. Sesuai dengan Capaian Pembelajaran (CP) Fase E, *e-module* ini tidak hanya meningkatkan pemahaman konsep keanekaragaman hayati tetapi juga membekali peserta didik dengan keterampilan pemecahan masalah berbasis ilmiah. Hasil analisis penelitian sebagai sumber belajar dapat di lihat dalam Tabel 6.

**Tabel 6. Analisis hasil penelitian sebagai sumber belajar**

No	Syarat sebagai Sumber Belajar	Keterangan
1.	Kejelasan potensi	Perairan estuari Kawasan Konservasi Mangrove Baros dipilih sebagai lokasi penelitian karena karakteristiknya yang unik, yakni perpaduan air laut dan air tawar yang menciptakan habitat ideal bagi plankton. Sebagai kawasan konservasi, ekosistemnya relatif terjaga, menjadikannya representatif untuk kajian keanekaragaman plankton. Penelitian ini mengidentifikasi 28 spesies plankton dari 9 filum, mencerminkan kualitas lingkungan dan interaksi ekologis dalam ekosistem estuari. Namun, kajian plankton di kawasan ini masih terbatas. Temuan ini diharapkan dapat mengisi kesenjangan penelitian serta mendukung pengembangan <i>e-module</i> pembelajaran untuk meningkatkan pemahaman peserta didik tentang ekosistem estuari dan konservasi mangrove.
2.	Kesesuaian dengan tujuan pembelajaran	Pengembangan <i>e-module</i> ini didasarkan pada CP Biologi dalam Kurikulum Merdeka dengan fokus pada keanekaragaman hayati. Peserta didik diharapkan mampu menganalisis keanekaragaman hayati pada tingkat gen, jenis, dan ekosistem serta memahami faktor

No	Syarat sebagai Sumber Belajar	Keterangan
3.	Sasaran materi dan peruntukannya	yang memengaruhinya. Selain itu, <i>e-module</i> ini juga mengarahkan peserta didik untuk mengkaji fungsi ekosistem mangrove sebagai habitat yang mendukung keanekaragaman hayati, khususnya plankton, dalam menjaga keseimbangan ekosistem perairan.
4.	Informasi yang akan diungkap	Materi yang dikembangkan berfokus pada keanekaragaman plankton sebagai bagian dari keanekaragaman hayati dan ekologi perairan. Konsep utama yang dikaji dalam <i>e-module</i> ini mencakup jenis-jenis plankton yang ditemukan di perairan estuari Kawasan Konservasi Mangrove Baros, peran plankton dalam ekosistem perairan sebagai produsen primer, serta keterkaitannya dengan faktor lingkungan seperti kualitas air, keseimbangan ekosistem, dan dinamika rantai makanan.
5.	Pedoman eksplorasi	Penelitian ini bertujuan untuk mengungkap keanekaragaman plankton yang terdapat di perairan estuari Kawasan Konservasi Mangrove Baros, termasuk jenis-jenis plankton yang ditemukan, serta faktor lingkungan yang mempengaruhi keberadaannya. Selain itu, penelitian ini juga mengeksplorasi bagaimana keanekaragaman plankton dapat dimanfaatkan sebagai sumber belajar Biologi yang relevan dengan kurikulum SMA kelas X..
6.	Perolehan yang akan dicapai	Peserta didik dapat melakukan berbagai aktivitas berbasis penelitian untuk mendalami konsep keanekaragaman plankton dengan <i>e-module</i> yang dikembangkan. Peserta didik dapat mengidentifikasi jenis-jenis plankton berdasarkan karakter morfologinya serta menganalisis hubungan antara parameter lingkungan dengan distribusi dan kelimpahan plankton di perairan estuari. Selain itu, peserta didik dapat mengevaluasi peran ekologi plankton dalam ekosistem estuari serta membandingkan keanekaragaman plankton di berbagai kondisi lingkungan berdasarkan data yang disajikan dalam <i>e-module</i> .
		Perolehan yang dicapai dalam pengangkatan hasil penelitian menjadi sumber ajar dimulai dengan identifikasi keanekaragaman plankton di perairan estuari Kawasan Konservasi Mangrove Baros. Data yang diperoleh kemudian dikaji untuk dimanfaatkan sebagai sumber belajar, dengan menghubungkan konsep keanekaragaman plankton ke dalam materi biologi SMA. Selanjutnya, hasil penelitian tersebut diintegrasikan dalam pengembangan <i>e-module</i> berbasis penelitian, yang dirancang secara interaktif agar menarik dan sesuai dengan kebutuhan pembelajaran.

### Tahap Design

Tahap perancangan menghasilkan draft *e-module* berbasis penelitian plankton yang disusun menggunakan Canva dan Google Sites. Struktur *e-module* terdiri atas: (1) Petunjuk Penggunaan, (2) Tujuan Pembelajaran, (3) Kegiatan Belajar, (4) Asesmen Formatif, (5) Glosarium, dan (6) Daftar Pustaka. Desain visual disusun melalui storyboard dengan pengaturan tata letak, jenis huruf, warna, dan integrasi elemen multimedia (gambar, video, dan kuis interaktif). Pada tahap ini juga dihasilkan instrumen penilaian berupa angket validasi untuk ahli materi dan ahli media, serta angket uji keterbacaan untuk guru dan peserta didik, yang telah dikonsultasikan kepada dosen pembimbing.

### Tahap Develop

Tahap pengembangan difokuskan pada validasi *e-module* oleh ahli materi, ahli media, guru biologi, dan peserta didik. Umpan balik yang diperoleh digunakan untuk menilai kelayakan isi, penyajian, keterbacaan, kemudahan penggunaan, serta kemenarikan tampilan *e-module*. Hasil penilaian dari ahli materi dan ahli media disajikan dalam Tabel 7 dan Tabel 8.

**Tabel 7. Hasil penilaian ahli materi**

No	Aspek penilaian	Jumlah skor	Persentase validitas	Kategori
1.	Kelayakan isi	68	97%	Sangat valid
2.	Kelayakan bahasa	8	100%	Sangat valid
3.	Kelayakan penyajian	15	100%	Sangat valid
	Rata-rata		99%	Sangat valid

**Tabel 8. Hasil penilaian ahli media**

No	Aspek penilaian	Jumlah skor	Persentase validitas	Kategori
1.	Kegrafikan	40	91%	Sangat valid
2.	Kemudahan penggunaan	28	88%	Sangat valid
3.	Bahasa	28	88%	Sangat valid
	Rata-rata		89%	Sangat valid

Hasil setelah *e-module* direvisi berdasarkan masukan dari validator ahli, tahap selanjutnya adalah uji keterbacaan oleh guru terdapat dalam Tabel 9 dan peserta didik kelas X terdapat dalam Tabel 10 di SMA Negeri 1 Sedayu, untuk menilai kepraktisan *e-module*.

**Tabel 9. Hasil penilaian *e-module* oleh guru biologi**

No	Aspek penilaian	Jumlah skor	Persentase validitas	Kategori
1.	Kegrafikan	20	97%	Sangat valid
2.	Kemudahan penggunaan	28	100%	Sangat valid
3.	Kemanfaatan	4	100%	Sangat valid
4.	Kurikulum	16	100%	Sangat valid
5.	Kelengkapan materi	4	100%	Sangat valid
	Rata-rata		99%	Sangat valid

**Tabel 10. Hasil penilaian *E-module* oleh peserta didik**

No	Aspek penilaian	Jumlah skor	Persentase validitas	Kategori
1.	Kegrafikan	20	97,04%	Sangat praktis
2.	Kemudahan penggunaan	28	97,56%	Sangat praktis
3.	Kemanfaatan	4	95,69%	Sangat praktis
	Rata-rata		97,04%	Sangat valid

Penilaian keefektifan *e-module* dilakukan melalui uji N-Gain untuk mengukur peningkatan pemahaman peserta didik sebelum dan sesudah menggunakan *e-module*. Tujuan dari uji ini adalah untuk mengetahui sejauh mana peningkatan hasil belajar siswa sebelum dan setelah diberikan perlakuan. Hasil dari Uji N-Gain dapat dilihat dalam Tabel 11.

**Tabel 11. Hasil perhitungan N-Gain**

	Posttest	Pretest	Post-pre	Skor ideal (100-pre)	N Gain score	N Gain score %
Rata-rata	87,7	54,1	33,6	45,8	0,71	71,6

### Pembahasan

Hasil perhitungan nilai keanekaragaman mendapatkan nilai 2,98. Nilai indeks keragaman yang didapati termasuk ke dalam kategori indeks keragaman sedang dimana  $1 < H' < 3$ . Suatu komunitas perairan tergolong sangat stabil apabila nilai indeks keragaman ( $H'$ ) berkisar  $> 2,41$  (Odum, 1996). Nilai indeks keanekaragaman yang diperoleh dapat mengindikasikan bahwa keanekaragaman plankton di lokasi penelitian cukup stabil, tetapi belum mencapai kondisi optimal untuk pertumbuhan plankton yang sangat tinggi.

Komposisi spesies plankton yang ditemukan terdiri dari 3 titik stasiun pengambilan sampel meliputi 22 spesies fitoplankton dan 6 spesies zooplankton. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa fitoplankton dari kelas Bacillariophyceae lebih mendominasi dibandingkan jenis fitoplankton lainnya. Ramadhan et al. (2020) mengungkapkan bahwa Bacillariophyceae memiliki distribusi yang sangat luas, mencakup perairan laut hingga air tawar. Hal ini disebabkan oleh kemampuan reproduksi Bacillariophyceae yang lebih tinggi dibandingkan dengan fitoplankton lainnya. Bacillariophyceae dikenal sebagai kelompok fitoplankton yang adaptif karena mampu bertahan pada berbagai kondisi lingkungan, termasuk variasi salinitas, suhu, ketersediaan nutrien, dan intensitas cahaya (Aryani et al., 2020). Kemampuannya untuk tetap tumbuh optimal meskipun dalam kondisi cahaya dan nutrien yang rendah menyebabkan kelas ini sering mendominasi komunitas plankton (Kocielek et al., 2015). Selain itu, keberadaan tangkai bergelatin sebagai alat penempel memungkinkan Bacillariophyta bertahan pada perairan berarus kuat maupun tenang (Wati et al., 2025).

Kelas Dinophyceae ditemukan paling sedikit daripada kelas yang lain, yaitu hanya 4 spesies antara lain, *Ceratium sp.*, *Pyrocystis sp.*, *Peridinium sp.*, dan *Scrippsiella sp.* Kondisi perairan di lokasi penelitian tergolong tidak stabil, yang berdampak pada keberadaan serta perkembangan fitoplankton dari kelas Dinophyceae. Dinophyceae merupakan jenis fitoplankton yang dapat ditemukan di perairan laut maupun air tawar. Namun, kemampuan adaptasi kelas Dinophyceae cenderung lebih rendah dibandingkan dengan Bacillariophyceae (Nazar, Utami, dan Umroh., 2024).

Berdasarkan data penelitian, semua stasiun menunjukkan bahwa suhu optimal bagi plankton berkisar antara  $28^{\circ}\text{C}$  hingga  $29^{\circ}\text{C}$ . Temuan ini sejalan dengan pernyataan Zhou et al. (2019) yang menyebutkan bahwa organisme akuatik, khususnya plankton, tumbuh dan berkembang optimal di perairan laut tropis dengan parameter suhu antara  $23^{\circ}\text{C}$  hingga  $29^{\circ}\text{C}$ . Nilai pH yang terukur di semua stasiun berkisar antara 7,2 hingga 8. Hasil ini sesuai dengan Keputusan Menteri Lingkungan Hidup No. 51/MENKLH/2004 tentang baku mutu air laut untuk biota laut, yang menyatakan bahwa kadar pH perairan yang baik berkisar antara 7 hingga 8,5.

Hasil pengukuran salinitas di tiga titik pengamatan menunjukkan hasil 5 ppt. Nilai salinitas ini dipengaruhi oleh perbedaan pola sirkulasi air serta lokasi titik pengamatan. Rendahnya salinitas pada stasiun penelitian disebabkan karena masih terdapat pengaruh aliran air sungai, yang mengakibatkan tingkat salinitas di wilayah tersebut lebih rendah. Di kawasan estuari, salinitas sangat bergantung pada kondisi pasang surut; saat pasang, salinitas

meningkat akibat masuknya air laut, sedangkan saat surut, salinitas menurun karena dominasi aliran air sungai (Patty & Huwae, 2023).

Salinitas rendah pada lokasi penelitian (5 ppt) menunjukkan adanya dominasi pengaruh air tawar sehingga komunitas plankton yang berkembang kemungkinan didominasi oleh kelompok euryhaline seperti Bacillariophyceae dan Chlorophyceae. Bacillariophyceae diketahui mampu bertahan pada kisaran salinitas 0–35 ppt, bahkan tetap aktif berfotosintesis pada salinitas di bawah 5 ppt (Kociolek *et al.*, 2015). Sementara itu, Chlorophyceae cenderung meningkat pada kondisi mendekati air tawar (Pérez *et al.*, 1999). Sebaliknya, kelompok yang lebih sensitif terhadap penurunan salinitas seperti Dinophyceae kemungkinan lebih sedikit ditemukan (Smayda, 1997). Oleh karena itu, nilai salinitas yang rendah berkontribusi terhadap tingginya keanekaragaman plankton tertentu yang adaptif terhadap kondisi payau-freshwater transition.

Hasil pengukuran menunjukkan bahwa kadar oksigen terlarut di Stasiun I sebesar 4,3 mg/L, sementara di Stasiun II sebesar 4,5 mg/L dan III sebesar 4,8 mg/L. Berdasarkan Peraturan Gubernur DIY No. 20 Tahun 2008, standar baku mutu air kelas III menetapkan kadar DO minimal 4 mg/L. Dengan demikian, kadar oksigen terlarut di perairan mangrove Baros telah memenuhi standar yang diperlukan untuk mendukung pertumbuhan organisme dan sesuai dengan peruntukannya. Dengan terpenuhinya standar kualitas perairan tersebut, ekosistem mangrove Baros dapat dikatakan berada dalam kondisi yang mendukung kehidupan biota, termasuk plankton yang menjadi objek utama dalam pengembangan *e-module*. Oleh karena itu, data kondisi lingkungan ini menjadi dasar penting dalam penyusunan materi pada *e-module* berbasis penelitian lapangan.

Selanjutnya, untuk mengetahui kelayakan *e-module* yang dikembangkan, dilakukan proses validasi oleh ahli materi dan ahli media. Hasil validasi dari ahli materi menunjukkan persentase sebesar 99%, sedangkan penilaian dari ahli media mencapai 89%, yang keduanya termasuk dalam kategori "sangat valid". Dengan demikian, *e-module* pembelajaran pada materi keanekaragaman hayati berbasis penelitian plankton di Perairan Estuari Kawasan Konservasi Mangrove Baros dinyatakan layak digunakan dan siap untuk diuji coba di lapangan. Hasil tersebut juga sejalan dengan pedoman penilaian kevalidan menurut Sugiyono (2017), yang menyatakan bahwa suatu produk dikategorikan sangat valid apabila tingkat kevalidannya berada pada rentang 81%–100%.

Adapun aspek kevalidan, kepraktisan *e-module* juga dinilai oleh guru dan peserta didik. Respon guru menunjukkan persentase 100%, yang dikategorikan "sangat kuat" berdasarkan pedoman kepraktisan produk menurut Akdon (2010). Sementara itu, hasil uji coba kepada peserta didik memperoleh rata-rata persentase sebesar 96,92%, yang juga termasuk dalam kategori "sangat kuat", menegaskan bahwa *e-module* mudah digunakan serta menarik untuk diterapkan dalam pembelajaran. Secara keseluruhan, penilaian guru dan peserta didik menunjukkan bahwa tingkat kepraktisan *e-module* berada di atas 80%, sehingga produk dinyatakan sangat layak digunakan dalam pembelajaran. Hal ini sejalan dengan kriteria Akdon (2010), yang menyatakan bahwa suatu produk dikategorikan "sangat kuat" apabila persentase kepraktisannya berada dalam rentang 80%–100%.

Kefektifan *e-module* juga diuji melalui analisis N-Gain, yang menunjukkan rata-rata peningkatan sebesar 71,6%. Berdasarkan klasifikasi efektivitas indeks N-Gain, nilai tersebut termasuk dalam kategori "cukup efektif", yang ditandai dengan adanya perbedaan signifikan antara hasil pretest dan posttest. Dengan demikian, *e-module* mampu memberikan peningkatan nyata terhadap hasil belajar peserta didik.

Temuan ini menegaskan bahwa e-module berbasis penelitian plankton yang dikembangkan berkontribusi positif terhadap pemahaman konsep keanekaragaman hayati. Efektivitas ini tidak terlepas dari pendekatan berbasis penelitian yang memungkinkan peserta didik belajar melalui konteks nyata, sehingga meningkatkan keterlibatan dan retensi materi. Selain itu, integrasi potensi lokal dalam pembelajaran turut memperkuat relevansi materi dengan kehidupan siswa, sebagaimana dinyatakan oleh Supriyadi dan Nurjannah (2016) bahwa pembelajaran yang selaras dengan budaya dan lingkungan sekitar dapat meningkatkan apresiasi peserta didik terhadap daerahnya.

Hasil akhir penelitian ini, bahwa *e-module* ini dapat dinyatakan sebagai media pembelajaran yang valid, praktis, dan cukup efektif untuk digunakan dalam pembelajaran Biologi tingkat SMA, serta menunjukkan bahwa pendekatan berbasis penelitian dan kearifan lokal memiliki peran penting dalam meningkatkan kualitas pembelajaran.

## SIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian, perairan estuari Kawasan Konservasi Mangrove Baros memiliki indeks keanekaragaman sedang, terdiri dari 22 spesies fitoplankton dan 6 spesies zooplankton, yang menunjukkan potensi sebagai sumber belajar biologi. Keanekaragaman ini dapat mendukung pemahaman konsep keanekaragaman hayati, mendorong pembelajaran berbasis lingkungan, serta mengembangkan keterampilan berpikir ilmiah peserta didik. Pengembangan *e-module* berbasis penelitian plankton di kawasan ini menunjukkan efektivitas yang cukup baik, dengan nilai N-Gain sebesar 71,6%, dan validitas di atas 81%, sehingga dinyatakan sangat valid sebagai sumber ajar. Dengan demikian, penelitian ini berhasil mengembangkan *e-module* yang tidak hanya valid dan efektif, tetapi juga berbasis lingkungan dan potensi lokal, sehingga mendukung implementasi Kurikulum Merdeka secara optimal.

## UCAPAN TERIMA KASIH

Terimakasih kami ucapan kepada para responden penelitian, yaitu validator ahli materi dan media, guru Biologi di SMA Negeri 1 Sedayu, peserta didik kelas X 4 SMA Negeri 1 Sedayu, beserta semua pihak yang telah berkontribusi dalam mendukung kelancaran dan keberhasilan pelaksanaan penelitian ini.

## DAFTAR RUJUKAN

- Adawiah, S. R. (2021). Analisis Kesuburan Perairan di Daerah Keramba Jaring Apung Berdasarkan Kandungan Unsur Hara (Nitrat dan Fosfat) di Waduk Ir. H. Djunda Jatiluhur Purwakarta. *Jurnal Kartika Kimia*, 4(2), 96–105.
- Akdon, R. (2010). Rumus dan Data Dalam Analisis Statistika, Cetakan Kedua. *Alfabeta*. Bandung.
- Aryani, Fitriani L., Harmoko, Sepriyaningsi. (2020). Mikroalga Divisi bacillariophyta yang Ditemukan Di Sungai Kasie kecamatan Lubuk Linggau Barat I Kota Lubuk Linggau. *Jurnal Biologi Pembelajaran*, 7(1), 48-53.
- Bahri, A., Arifin, A. N., & Abrar, A. (2021). Pengembangan E-Modul Biologi untuk Siswa SMA Kelas XII. *Seminar Nasional Hasil Penelitian "Penguatan Riset, Inovasi, Dan Kreativitas Peneliti Di Era Pandemi Covid-19,"* 1276–1293.
- Dewanti, L. P. P., Putra, I. D. N. N., & Faiqoh, E. (2018). Hubungan Kelimpahan dan Keanekaragaman Fitoplankton dengan Kelimpahan dan Keanekaragaman Zooplankton di Perairan Pulau Serangan, Bali. *Journal of Marine and Aquatic Sciences*, 4(2), 324.
- Fajriana, N., Abdullah, A., & Safrida, S. (2017). Analisis Miskonsepsi Buku Teks Pelajaran

- Biologi Kelas XI Semester 1 SMAN di Kota Banda Aceh. BIOTIK: *Jurnal Ilmiah Biologi Teknologi Dan Kependidikan*, 4(1), 60.
- Fitria, A. (2021). Ekosistem Mangrove dan Mitigasi Pemanasan Global. *Jurnal Ekologi, Masyarakat Dan Sains*, 2(1), 29–34.
- Fitriana, E. (2018). Pengembangan E-Modul Berbasis Aplikasi Android Materi Persamaan Dasar Akuntansi Mata Pelajaran Akuntansi Dasar Kelas X Akuntansi Di Smk Pgri 1 Tulungagung. *Jurnal Mahasiswa Teknologi Pendidikan*, 9(2).
- Hake, R. R. (1999). Analyzing change/gain scores. *Unpublished.[Online]* URL: <Http://Www.Physics.Indiana.Edu/\~Sdi/AnalyzingChange-Gain.Pdf>, 16(7), 1073–1080
- Husen Osu Oheoputra, Abdullah Nursani, Farastuti Eko Rini, Rumondang Anne, J Huda Mhd Aidil, Gaffar Syamsidar, Rombe Katarina Hesty, Rosalina Dwi, Lesmana Dudi, Wahyudin Yudi, Nisari Tika, Rachman Ranno Marlany, Kartini Nidya, & Irawan Henky. (2024). *Potensi dan Pengelolaan Sumber Daya Kelautan Indonesia* (Issue April).
- Isyara, N. P., Maizeli, A., & Sari, L. Y. (2023). Tingkat Pemahaman Konsep Siswa dengan Menggunakan Tes Pilihan Ganda Beralasan Pada Materi Keanekaragaman Hayati di SMA Negeri 3 Sungai Penuh. *Jurnal Pendidikan Tambusai*, 7(2), 18224–18228.
- Kociolek, J. P., Spaulding, S. A., & Lowe, R. L. (2015). Bacillariophyceae. In *Freshwater Algae of North America* (pp. 709–772). Elsevier.
- Maya Evita, I. N., Hariyati, R., & Hidayat, J. W. (2021). Kelimpahan dan Keanekaragaman Plankton Sebagai Bioindikator Kualitas Air di Perairan Pantai Sayung Kabupaten Demak Jawa Tengah. *Bioma : Berkala Ilmiah Biologi*, 23(1), 25–32.
- Mulyadi, H. A., & Lekalette, J. (2020). Biodiversitas Zooplankton di Perairan Pesisir Pulau Keffing pada Musim Peralihan II, Kabupaten Seram Bagian Timur. *Jurnal Kelautan Tropis*, 23(1), 15.
- Nazar, A., Utami, E., & Umroh, U. (2024). Korelasi Keanekaragaman Plankton Dengan Parameter Fisika-Kimia Perairan di Estuari Sungai Selan Kabupaten Bangka Tengah. *Journal of Marine Research*, 13(3), 485–492.
- Odum, E. P. (1996). Dasar-dasar Ekologi. Edisi Ketiga. Yogyakarta.
- Patty, S. I., & Huwae, R. (2023). Temperature, Salinity and Dissolved Oxygen West and East seasons in the waters of Amurang Bay, North Sulawesi. *Jurnal Ilmiah PLATAK*, 11(1), 196–205.
- Peraturan Gubernur Daerah Istimewa Yogyakarta Nomor 20 Tahun 2008 tentang Baku Mutu Air di Provinsi Daerah Istimewa Yogyakarta
- Peraturan Menteri Kesehatan Republik Indonesia No.492/MENKES/PER/IV/2010 tentang Persyaratan Kualitas Air Minum.
- Pérez, M. C., Anadón, R., & Fernández, E. (1999). *Phytoplankton assemblages in a shallow coastal lagoon under varying salinity conditions*. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 48(3), 347–356.
- R.Roro Rastrani Rahada Putri, Kaspul, K., & Arsyad, M. (2022). Pengembangan Media Pembelajaran Modul Elektronik (E-Modul) Berbasis Flip Pdf Professional Pada Materi Sistem Peredaran Darah Manusia Kelas XI SMA. *JUPEIS : Jurnal Pendidikan Dan Ilmu Sosial*, 1(2), 93–104.
- Ramadhanty, M. U., Suryono, S., & Santosa, G. W. (2020). Komposisi Fitoplankton di Pantai Maron Semarang. *Journal of Marine Research*, 9(3), 296–302.
- Sari, S. N., Nurfaizi, E., Anjeli, Y., Fawwaz, M., & Topano, A. (2023). Peranan Penting Ekosistem Padang Lamun (Seagrass) dalam Penunjang Kehidupan dan Perkembangan Biota Laut. *GHAITSA : Islamic Education Journal*, 4(2), 295–303.
- Smayda, T. J. (1997). *Harmful algal blooms: Their ecophysiology and general relevance to phytoplankton blooms in the sea*. *Limnology and Oceanography*, 42(5), 1137–1153.

- Sugiono. (2017). *Metode Penelitian Kuantitatif, Kualitatif, dan R&D* (Issue January).
- Supriyadi, S., Haeruddin, H., & Nurjannah, N. (2016). Peningkatan kemampuan memecahkan masalah antara model penalaran kausal berbasis etnosains dan sains modern. *Jurnal Riset Dan Kajian Pendidikan Fisika*, 3(2), 35.
- Wati, M., Anggraini, P. L., & Duya, N. (2025). Respon Komunitas Bacillariophyceae terhadap Kualitas Air Sub-Das Kedurang: Bukti Dominansi Synedra ulna dalam Kawasan RHL. *Jurnal Biosilampari: Jurnal Biologi*, 7(2), 210-221.
- Zhou, Z. X., Yu, R. C., Sun, C., Feng, M., & Zhou, M. J. (2019). Impacts of Changjiang River Discharge and Kuroshio Intrusion on the Diatom and Dinoflagellate Blooms in the East China Sea. *Journal of Geophysical Research: Oceans*, 124(7), 5244–5257.