

ANALISIS KEBUTUHAN E-MODUL BIOLOGI SEL TERINTEGRASI AR 3D UNTUK MENINGKATKAN REPRESENTASI MIKROSKOPIS, VISUOSPASIAL, DAN LITERASI KEBENCANAAN MAHASISWA

Asrizal Wahdan Wilsa¹, Hartono², Bambang Subali³, Enni Suwarsi Rahayu^{4*}

¹Program Studi Pendidikan IPA S3 FMIPA Universitas Negeri Semarang, Semarang

²Program Studi Pendidikan Fisika FMIPA Universitas Negeri Semarang, Semarang

³Program Studi Pendidikan IPA FMIPA Universitas Negeri Semarang, Semarang

⁴Program Studi Biologi FMIPA Universitas Negeri Semarang, Semarang

*Email korespondensi: enni_sr@mail.unnes.ac.id.

ABSTRAK

Karakteristik materi biologi sel yang bersifat mikroskopis dan kompleks menuntut kemampuan representasi mikroskopis dan visuospasial yang baik, namun pembelajaran masih didominasi bahan ajar konvensional yang kurang mendukung visualisasi konsep secara optimal. Selain itu, penggunaan bahan ajar berbasis kertas memiliki implikasi terhadap lingkungan karena berkontribusi pada eksploitasi sumber daya hutan yang dapat meningkatkan risiko bencana ekologis. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis kebutuhan mahasiswa terhadap pengembangan e-modul biologi sel terintegrasi *augmented reality* (AR) 3D untuk meningkatkan representasi mikroskopis, visuospasial, dan literasi kebencanaan. Penelitian menggunakan pendekatan deskriptif kuantitatif dengan instrumen kuesioner skala Likert yang diberikan kepada 75 mahasiswa calon guru yang telah menempuh mata kuliah Konsep Dasar IPA. Data dianalisis menggunakan statistik deskriptif berupa persentase. Hasil penelitian menunjukkan bahwa mahasiswa mengalami kesulitan dalam memvisualisasikan struktur mikroskopis, memahami hubungan struktur–fungsi organel, serta membangun pemahaman spasial sel. Mahasiswa juga menunjukkan kebutuhan tinggi terhadap media pembelajaran berbasis visualisasi tiga dimensi dan memiliki persepsi positif terhadap penggunaan AR. Simpulan penelitian ini menunjukkan bahwa pengembangan e-modul berbasis AR 3D diperlukan sebagai solusi inovatif untuk meningkatkan representasi mikroskopis, visuospasial, serta literasi kebencanaan, sekaligus mendukung pendidikan berkelanjutan melalui pengurangan penggunaan bahan ajar berbasis kertas.

Kata kunci: *augmented reality*; biologi sel; representasi mikroskopis; visuospasial; literasi kebencanaan.

PENDAHULUAN

Biologi sel merupakan salah satu konsep fundamental dalam ilmu kehidupan yang menjadi dasar bagi pemahaman berbagai proses biologis pada tingkat organisme. Namun, karakteristik materi biologi sel yang bersifat mikroskopis, kompleks, dan dinamis menjadikannya sulit dipahami oleh mahasiswa. Objek kajian seperti organel sel, struktur membran, dan proses molekuler tidak dapat diamati secara langsung, sehingga mahasiswa dituntut untuk membangun model mental yang akurat melalui representasi konseptual. Dalam praktiknya, pembelajaran biologi sel di perguruan tinggi masih didominasi oleh penggunaan bahan ajar konvensional berupa teks dan gambar dua dimensi yang kurang mampu merepresentasikan fenomena biologis secara utuh dan dinamis. Kondisi ini berpotensi menimbulkan miskonsepsi dan pemahaman yang dangkal terhadap konsep-konsep esensial dalam biologi sel (Mayer, 2021).

Dalam pembelajaran sains, kemampuan representasi menjadi komponen penting dalam membantu mahasiswa memahami fenomena yang tak kasat mata dan kompleks. Teori representasi multipel menjelaskan bahwa penggunaan berbagai bentuk representasi, seperti visual, verbal, dan simbolik, dapat membantu peserta didik mengintegrasikan informasi secara lebih efektif (Ainsworth, 2006). Dalam konteks biologi sel, kemampuan representasi mikroskopis sangat penting karena berkaitan dengan kemampuan mahasiswa dalam memahami dan menginterpretasikan objek yang tidak dapat diamati secara langsung. Ketidakmampuan dalam mengembangkan representasi mikroskopis yang tepat dapat menyebabkan kesulitan dalam menghubungkan konsep struktur dan fungsi sel serta menghambat proses berpikir ilmiah. Penelitian sebelumnya menunjukkan bahwa rendahnya kemampuan representasi berkontribusi terhadap munculnya miskonsepsi dalam pembelajaran sains, terutama pada materi yang bersifat abstrak dan tidak kasat mata (Stieff, 2013).

Selain kemampuan representasi mikroskopis, kemampuan visuospasial juga memiliki peran penting dalam pembelajaran biologi sel. Kemampuan ini berkaitan dengan kemampuan individu dalam memahami hubungan spasial antar objek, memvisualisasikan struktur dalam bentuk tiga dimensi, serta melakukan manipulasi mental terhadap objek tersebut. Dalam pembelajaran biologi sel, kemampuan visuospasial diperlukan untuk memahami hubungan antarorganel, orientasi struktur sel, serta dinamika proses biologis yang terjadi di dalam sel. Penelitian menunjukkan bahwa kemampuan visuospasial memiliki korelasi yang signifikan dengan keberhasilan belajar dalam bidang sains, terutama dalam memahami struktur kompleks seperti molekul dan sistem biologis (Stieff, 2013). Oleh karena itu, keterbatasan dalam kemampuan visuospasial dapat menghambat pemahaman mahasiswa terhadap konsep biologi sel secara mendalam dan terintegrasi.

Sejalan dengan perkembangan pendidikan abad ke-21, pembelajaran IPA tidak hanya berfokus pada penguasaan konsep, tetapi juga pada penguatan literasi kebencanaan. Literasi kebencanaan mencakup kemampuan individu dalam memahami, menginterpretasikan, dan merespons fenomena lingkungan secara ilmiah dan bertanggung jawab. Dalam konteks biologi sel, literasi kebencanaan dapat dikaitkan dengan pemahaman tentang bagaimana sel merespons kondisi ekstrem, seperti paparan polutan, radiasi, perubahan suhu, dan stres lingkungan akibat bencana. Pemahaman ini menjadi penting dalam membangun kesadaran ilmiah mahasiswa terhadap dampak bencana terhadap sistem biologis. UNESCO (2019) menegaskan bahwa pendidikan memiliki peran strategis dalam membangun kesiapsiagaan dan ketahanan masyarakat terhadap bencana melalui integrasi konsep sains dalam pembelajaran.

Di sisi lain, penggunaan bahan ajar berbasis kertas dalam pembelajaran juga memiliki implikasi terhadap lingkungan. Produksi kertas yang bergantung pada eksploitasi sumber daya kayu berkontribusi terhadap deforestasi yang berdampak pada menurunnya fungsi ekologis

hutan. Deforestasi diketahui dapat meningkatkan risiko bencana seperti banjir, tanah longsor, dan perubahan iklim akibat terganggunya keseimbangan ekosistem. Oleh karena itu, transformasi menuju bahan ajar digital menjadi bagian dari upaya pendidikan berkelanjutan yang tidak hanya berorientasi pada peningkatan kualitas pembelajaran, tetapi juga pada pelestarian lingkungan. Konsep pendidikan berkelanjutan menekankan pentingnya integrasi aspek lingkungan dalam praktik pendidikan sebagai upaya mitigasi risiko bencana secara tidak langsung (Steffen *et al.*, 2015).

Salah satu inovasi teknologi yang berpotensi menjawab tantangan tersebut adalah *augmented reality* (AR). AR memungkinkan integrasi objek virtual ke dalam dunia nyata melalui visualisasi tiga dimensi yang interaktif dan imersif. Dalam pembelajaran biologi sel, AR dapat digunakan untuk memvisualisasikan struktur sel secara nyata, memungkinkan mahasiswa mengamati, memanipulasi, dan mengeksplorasi objek mikroskopis secara langsung. Penelitian menunjukkan bahwa penggunaan AR dalam pembelajaran sains dapat meningkatkan pemahaman konseptual, kemampuan visuospasial, serta motivasi belajar mahasiswa (Akçayır & Akçayır, 2017; Domgue *et al.*, 2025; Ibáñez & Delgado-Kloos, 2018). Di sisi lain, integrasi AR dalam pembelajaran juga berkontribusi terhadap pendidikan berkelanjutan melalui pengurangan penggunaan bahan ajar berbasis kertas, sekaligus meningkatkan kesadaran lingkungan mahasiswa. Penelitian terbaru menunjukkan bahwa pembelajaran berbasis AR dapat meningkatkan literasi lingkungan dan kesadaran terhadap risiko bencana, seperti banjir dan perubahan lingkungan (Safitri *et al.*, 2024).

Dengan demikian, pengembangan e-modul biologi sel terintegrasi AR 3D menjadi solusi inovatif yang tidak hanya meningkatkan kemampuan representasi mikroskopis dan visuospasial, tetapi juga mendukung literasi kebencanaan serta pendidikan berkelanjutan. Selain itu, penelitian ini tidak hanya berfokus pada peningkatan kemampuan kognitif mahasiswa, tetapi juga diarahkan untuk mendukung penguatan literasi kebencanaan melalui pemahaman ilmiah pada level mikroskopis.

METODE PENELITIAN

Desain Penelitian

Penelitian ini menggunakan pendekatan deskriptif kuantitatif dalam bentuk analisis kebutuhan sebagai tahap awal pengembangan media pembelajaran. Pendekatan ini digunakan untuk memperoleh gambaran sistematis mengenai kondisi pembelajaran, kesulitan mahasiswa, serta kebutuhan terhadap inovasi bahan ajar berbasis teknologi. Penelitian deskriptif kuantitatif bertujuan untuk menggambarkan fenomena secara objektif melalui data numerik yang dianalisis secara statistik (Creswell & Creswell, 2018). Analisis kebutuhan merupakan langkah penting dalam pengembangan produk pendidikan karena berfungsi untuk mengidentifikasi kesenjangan antara kondisi aktual dan kondisi yang diharapkan (Branch, 2009).

Subjek Penelitian

Subjek penelitian ini adalah 75 mahasiswa calon guru yang telah menempuh mata kuliah Konsep Dasar IPA. Pemilihan subjek dilakukan secara *purposive sampling* dengan pertimbangan bahwa mahasiswa telah memiliki pengalaman belajar terkait materi biologi sel sehingga mampu memberikan informasi yang relevan terhadap kebutuhan pembelajaran. Teknik *purposive sampling* digunakan ketika peneliti memilih partisipan berdasarkan kriteria tertentu yang sesuai dengan tujuan penelitian (Etikan *et al.*, 2016).

Instrumen Penelitian

Instrumen yang digunakan dalam penelitian ini berupa kuesioner skala Likert empat tingkat yang dikembangkan untuk mengukur:

1. Kondisi pembelajaran
2. Kesulitan konsep biologi sel
3. Kemampuan representasi mikroskopis
4. Kemampuan visuospasial
5. Kebutuhan terhadap bahan ajar terintegrasi *augmented reality*

Skala Likert digunakan karena mampu mengukur sikap, persepsi, dan kebutuhan responden secara sistematis (Likert, 1932). Penyusunan instrumen didasarkan pada kajian teori representasi mikroskopis dan kemampuan visuospasial dalam pembelajaran sains serta karakteristik teknologi *augmented reality*.

Validitas dan Reliabilitas Instrumen

Validitas instrumen dilakukan melalui *expert judgement* oleh ahli materi dan ahli media untuk memastikan kesesuaian isi dengan tujuan penelitian. Validitas isi merupakan proses penting untuk memastikan bahwa instrumen mengukur konstruk yang seharusnya diukur (Fraenkel *et al.*, 2012).

Teknik Pengumpulan Data

Data dikumpulkan melalui penyebaran kuesioner secara daring menggunakan Google Form. Teknik ini dipilih karena efisien, mudah diakses, serta memungkinkan pengumpulan data dalam jumlah besar dalam waktu relatif singkat. Penggunaan survei daring juga dinilai efektif dalam penelitian pendidikan karena mampu meningkatkan tingkat partisipasi responden (Evans & Mathur, 2018).

Teknik Analisis Data

Data yang diperoleh dianalisis menggunakan statistik deskriptif berupa persentase untuk menggambarkan tingkat kebutuhan mahasiswa terhadap pengembangan e-modul berbasis AR. Analisis deskriptif digunakan untuk menyajikan data dalam bentuk yang mudah dipahami serta memberikan gambaran umum mengenai kecenderungan data (Sugiyono, 2019).

Hasil analisis kemudian diinterpretasikan ke dalam kategori kebutuhan untuk menentukan urgensi pengembangan media pembelajaran. Interpretasi ini digunakan sebagai dasar dalam merancang e-modul biologi sel terintegrasi AR 3D yang sesuai dengan kebutuhan mahasiswa.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Berdasarkan hasil analisis data yang diperoleh melalui kuesioner, temuan penelitian ini disajikan secara sistematis pada tabel 1 untuk memberikan gambaran yang lebih jelas mengenai kebutuhan mahasiswa. Penyajian ini bertujuan untuk memperlihatkan kecenderungan respon mahasiswa terhadap setiap indikator yang diukur, meliputi kondisi pembelajaran, kemampuan representasi mikroskopis, kemampuan visuospasial, serta kebutuhan terhadap inovasi pembelajaran berbasis teknologi *augmented reality*. Ringkasan tersebut disusun berdasarkan persentase jawaban dominan dan interpretasi kategori kebutuhan, sehingga memudahkan dalam mengidentifikasi aspek-aspek yang memerlukan pengembangan lebih lanjut. Secara umum, hasil yang ditampilkan menunjukkan bahwa sebagian besar indikator berada pada kategori tinggi hingga sangat tinggi, yang mengindikasikan adanya kebutuhan yang mendesak terhadap

pengembangan e-modul biologi sel terintegrasi AR 3D sebagai solusi pembelajaran yang lebih inovatif, interaktif, dan kontekstual.

Tabel 1. Ringkasan Hasil Analisis Kebutuhan Mahasiswa

No	Aspek yang Diukur	Indikator Utama	Persentase	Kategori
1	Kondisi pembelajaran	Pembelajaran masih menggunakan metode ceramah	42,7% setuju	Tinggi
2	Media pembelajaran	Belum berbasis digital interaktif	42,7% setuju	Tinggi
3	Pemahaman konsep	Sulit melalui teks & gambar 2D	65,4% (S+SS)	Tinggi
4	Visualisasi	Kurangnya pengalaman visual mendalam	69,3% (S+SS)	Tinggi
5	Bahan ajar	Masih berbasis cetak	57,4% (S+SS)	Tinggi
6	Visualisasi detail	Belum menampilkan struktur nyata	60% (S+SS)	Tinggi
7	Hubungan antar sel	Sulit memahami keterkaitan	54,7% (S+SS)	Tinggi
8	Kebutuhan media menarik	Mebutuhkan bahan ajar menarik	73,3% SS	Sangat Tinggi
9	Inovasi teknologi	Perlu pembelajaran berbasis teknologi	74,7% SS	Sangat Tinggi
10	Kemudahan belajar	Inovasi mempermudah pemahaman	77,3% SS	Sangat Tinggi
11	Interaktivitas	Butuh pembelajaran interaktif	72% SS	Sangat Tinggi
12	Motivasi belajar	Inovasi meningkatkan motivasi	69,3% SS	Sangat Tinggi
13	E-modul digital	Mebutuhkan akses yang fleksibel	73,3% SS	Sangat Tinggi
14	Visualisasi 3D	Membantu pemahaman	76% SS	Sangat Tinggi
15	Integrasi AR	Sangat diperlukan	65,3% SS	Sangat Tinggi
16	Manfaat AR	Membantu memahami struktur sel	66,7% SS	Sangat Tinggi
17	Representasi mikroskopis	Kesulitan memahami struktur sel	81,4% (S+SS)	Sangat Tinggi
18	Visuospasial	Sulit membayangkan struktur	74,7% (S+SS)	Sangat Tinggi
19	Visualisasi 3D	Meningkatkan representasi	96% (S+SS)	Sangat Tinggi
20	AR & visuospasial	Meningkatkan pemahaman spasial	96% (S+SS)	Sangat Tinggi

Berdasarkan data yang disajikan pada tabel 1, terlihat bahwa sebagian besar indikator menunjukkan persentase pada kategori tinggi hingga sangat tinggi. Hal ini mengindikasikan bahwa mahasiswa masih menghadapi berbagai kendala dalam pembelajaran biologi sel, khususnya pada aspek representasi mikroskopis dan visuospasial, serta memiliki kebutuhan yang kuat terhadap inovasi bahan ajar. Keterbatasan tersebut tidak hanya berdampak pada pemahaman konsep dasar biologi, tetapi juga berimplikasi pada rendahnya kemampuan

mahasiswa dalam mengaitkan konsep ilmiah dengan fenomena nyata, termasuk dalam konteks literasi kebencanaan. Pemahaman terhadap struktur dan fungsi sel menjadi dasar dalam menjelaskan respons organisme terhadap kondisi ekstrem, seperti paparan polutan, radiasi, dan perubahan lingkungan akibat bencana. Oleh karena itu, pengembangan e-modul biologi sel terintegrasi *augmented reality* (AR) 3D menjadi relevan sebagai solusi pembelajaran yang tidak hanya meningkatkan kualitas pemahaman konseptual dan kemampuan visuospasial, tetapi juga mendukung penguatan literasi kebencanaan melalui visualisasi fenomena biologis yang lebih konkret, kontekstual, dan aplikatif. Secara lebih rinci, uraian tersebut disajikan dalam poin-poin berikut.

1. Gambaran Umum Kondisi Pembelajaran Biologi Sel

Hasil analisis kebutuhan menunjukkan bahwa pembelajaran biologi sel masih didominasi oleh metode ceramah. Sebanyak 42,7% mahasiswa menyatakan setuju dan 9,3% sangat setuju bahwa pembelajaran masih berpusat pada ceramah. Selain itu, 42,7% mahasiswa juga menyatakan bahwa bahan ajar yang digunakan belum banyak memanfaatkan teknologi digital interaktif.

Temuan ini menunjukkan bahwa pembelajaran masih bersifat *teacher-centered* dan belum mengakomodasi karakteristik materi biologi sel yang membutuhkan visualisasi dinamis. Padahal, menurut (Mayer, 2021), pembelajaran yang efektif pada materi kompleks harus memadukan representasi visual dan interaktivitas agar mampu membangun pemahaman konseptual yang mendalam.

Dengan demikian, kondisi ini menunjukkan adanya kesenjangan antara kebutuhan pembelajaran biologi sel dengan praktik pembelajaran yang berlangsung di lapangan.

2. Analisis Kesulitan Representasi Mikroskopis Mahasiswa

Berdasarkan hasil analisis kebutuhan, mayoritas mahasiswa mengalami kesulitan dalam memahami konsep biologi sel melalui penjelasan verbal dan gambar dua dimensi. Sebanyak 42,7% setuju dan 22,7% sangat setuju bahwa mereka mengalami kesulitan memahami konsep melalui metode tersebut. Selain itu, pada indikator kemampuan representasi mikroskopis, 54,7% mahasiswa menyatakan setuju dan 26,7% sangat setuju bahwa mereka mengalami kesulitan merepresentasikan struktur sel yang bersifat mikroskopis.

Hal ini menunjukkan bahwa mahasiswa belum mampu membangun model mental yang akurat terhadap objek biologis yang tidak dapat diamati secara langsung. Dalam teori representasi multipel, (Ainsworth, 2006) menekankan bahwa pembelajaran sains membutuhkan integrasi berbagai representasi untuk membantu peserta didik memahami konsep abstrak.

Keterbatasan dalam kemampuan representasi mikroskopis ini juga berpotensi menimbulkan miskonsepsi. (Stieff, 2013) menjelaskan bahwa ketidakmampuan dalam menginterpretasikan representasi ilmiah dapat menghambat integrasi pengetahuan dan pemahaman konseptual yang mendalam.

3. Analisis Kesulitan Visuospasial Mahasiswa

Mahasiswa juga mengalami kesulitan dalam membayangkan bentuk dan susunan organel sel secara spasial. Sebanyak 42,7% mahasiswa setuju dan 32% sangat setuju terhadap pernyataan tersebut.

Temuan ini mengindikasikan bahwa kemampuan visuospasial mahasiswa masih tergolong rendah. Kemampuan ini sangat penting dalam pembelajaran biologi sel karena berkaitan dengan pemahaman struktur tiga dimensi dan hubungan antarorganel.

Menurut penelitian (Stieff, 2013), kemampuan visuospasial memiliki hubungan yang signifikan dengan keberhasilan belajar dalam bidang sains, khususnya dalam memahami struktur kompleks seperti molekul dan sistem biologis. Oleh karena itu, rendahnya kemampuan visuospasial dapat menjadi faktor penghambat dalam memahami konsep biologi sel secara mendalam.

4. Analisis Keterbatasan Bahan Ajar Konvensional

Sementara itu, terkait bahan ajar yang digunakan saat ini masih didominasi oleh buku teks atau modul cetak. Sebanyak 38,7% mahasiswa setuju dan 18,7% sangat setuju bahwa bahan ajar masih berupa media cetak. Selain itu, 36% mahasiswa menyatakan bahwa bahan ajar belum mampu menampilkan visualisasi struktur sel secara detail, dan 42,7% menyatakan bahwa bahan ajar kurang membantu memahami hubungan antarbagian sel.

Hal ini menunjukkan bahwa bahan ajar konvensional belum mampu memenuhi kebutuhan pembelajaran biologi sel yang menuntut visualisasi kompleks dan dinamis. (Mayer, 2021) menyatakan bahwa pembelajaran berbasis teks dan gambar statis memiliki keterbatasan dalam menyajikan proses dinamis, sehingga kurang efektif dalam membangun pemahaman konseptual yang mendalam.

Dengan demikian, diperlukan inovasi media pembelajaran yang mampu menyajikan visualisasi secara lebih konkret dan interaktif.

5. Kebutuhan terhadap Inovasi Pembelajaran

Kebutuhan mahasiswa terhadap inovasi pembelajaran sangat tinggi. Sebanyak 73,3% sangat setuju membutuhkan bahan ajar yang menarik, 74,7% sangat setuju bahwa pembelajaran perlu inovasi teknologi, 77,3% sangat setuju bahwa inovasi memudahkan pemahaman, 72% sangat setuju membutuhkan pembelajaran interaktif, dan 69,3% sangat setuju bahwa inovasi meningkatkan motivasi belajar mahasiswa.

Data ini menunjukkan bahwa mahasiswa memiliki kesiapan tinggi terhadap integrasi teknologi dalam pembelajaran. Hal ini sejalan dengan penelitian Ibáñez & Delgado-Kloos (2018) yang menyatakan bahwa teknologi digital dalam pembelajaran sains dapat meningkatkan motivasi, keterlibatan, dan pemahaman konseptual peserta didik.

6. Kebutuhan E-Modul Berbasis *Augmented Reality* (AR)

Kebutuhan terhadap e-modul berbasis AR sangat tinggi. Beberapa temuan utama menunjukkan bahwa 73,3% mahasiswa sangat setuju membutuhkan e-modul digital, 76% sangat setuju visualisasi 3D membantu pemahaman, 65,3% sangat setuju AR sangat diperlukan, 66,7% sangat setuju AR membantu memahami struktur sel, 54,7% sangat setuju visualisasi 3D meningkatkan representasi mikroskopis, dan 54,7% sangat setuju AR meningkatkan kemampuan visuospasial.

Temuan ini menunjukkan bahwa AR memiliki potensi besar dalam mengatasi kesulitan pembelajaran biologi sel. AR memungkinkan visualisasi objek mikroskopis secara interaktif sehingga membantu mahasiswa memahami konsep abstrak secara lebih konkret.

Penelitian Akçayır & Akçayır (2017) menunjukkan bahwa AR dapat meningkatkan pemahaman konseptual, keterlibatan belajar, serta kemampuan spasial peserta didik.

7. Integrasi Literasi Kebencanaan dan Pendidikan Berkelanjutan

Hasil analisis kebutuhan menunjukkan bahwa mahasiswa mengalami kesulitan dalam memahami konsep biologi sel pada level mikroskopis serta memiliki keterbatasan dalam kemampuan visuospasial. Kondisi ini tidak hanya berdampak pada rendahnya pemahaman

konseptual, tetapi juga berimplikasi pada terbatasnya kemampuan mahasiswa dalam mengaitkan konsep biologi dengan fenomena nyata, termasuk dalam konteks kebencanaan.

Dalam perspektif literasi kebencanaan, pemahaman terhadap konsep biologi sel memiliki peran fundamental, terutama dalam menjelaskan bagaimana organisme merespons kondisi lingkungan ekstrem. Misalnya, paparan polutan akibat bencana lingkungan dapat menyebabkan kerusakan membran sel, stres oksidatif, hingga mutasi DNA. Tanpa kemampuan representasi mikroskopis yang baik, mahasiswa akan kesulitan memahami mekanisme tersebut secara ilmiah. UNESCO (2019) menekankan bahwa literasi kebencanaan tidak hanya berkaitan dengan pengetahuan makroskopis, tetapi juga mencakup pemahaman ilmiah terhadap dampak bencana pada sistem kehidupan.

Pengembangan e-modul biologi sel terintegrasi AR 3D berpotensi menjadi salah satu solusi strategis dalam memperkuat literasi kebencanaan berbasis sains. Teknologi AR memungkinkan visualisasi proses biologis yang tidak dapat diamati secara langsung, seperti kerusakan sel akibat paparan zat berbahaya atau perubahan lingkungan ekstrem. Dengan visualisasi yang interaktif dan imersif, mahasiswa tidak hanya memahami konsep secara teoritis, tetapi juga mampu mengaitkan konsep tersebut dengan fenomena nyata. Hal ini sejalan dengan temuan Ibáñez & Delgado-Kloos (2018) bahwa penggunaan *augmented reality* dalam pembelajaran sains mampu meningkatkan pemahaman konseptual serta kemampuan menghubungkan konsep dengan konteks dunia nyata.

Selain itu, integrasi AR juga berperan dalam mengembangkan kemampuan berpikir sistem (*systems thinking*) yang merupakan bagian penting dari literasi kebencanaan. Mahasiswa dapat memahami keterkaitan antara perubahan lingkungan dengan respons biologis pada tingkat sel, jaringan, hingga organisme. Pendekatan ini membantu mahasiswa melihat bencana tidak hanya sebagai peristiwa alam, tetapi sebagai fenomena kompleks yang melibatkan interaksi berbagai sistem. Menurut Akçayır & Akçayır (2017), teknologi AR mampu meningkatkan pemahaman hubungan antar konsep melalui visualisasi yang terintegrasi dan kontekstual.

Di sisi lain, hasil penelitian juga menunjukkan bahwa pembelajaran masih bergantung pada bahan ajar berbasis kertas. Ketergantungan ini memiliki implikasi terhadap lingkungan karena produksi kertas berkaitan erat dengan eksploitasi sumber daya hutan. Deforestasi yang terjadi secara masif dapat mengganggu keseimbangan ekosistem dan meningkatkan risiko bencana seperti banjir, tanah longsor, serta perubahan iklim. Dalam konteks ini, pengembangan e-modul berbasis digital dapat dipandang sebagai bagian dari upaya pendidikan berkelanjutan yang mendukung pengurangan penggunaan sumber daya alam.

Pendidikan berkelanjutan (*education for sustainable development*) juga menekankan pentingnya integrasi aspek lingkungan dalam proses pembelajaran. Penggunaan e-modul berbasis AR tidak hanya meningkatkan kualitas pembelajaran, tetapi juga membentuk kesadaran ekologis mahasiswa melalui praktik pembelajaran yang ramah lingkungan. Steffen et al. (2015) menegaskan bahwa aktivitas manusia yang tidak berkelanjutan, termasuk eksploitasi hutan, telah melampaui batas aman lingkungan global dan meningkatkan risiko krisis ekologis. Oleh karena itu, inovasi pembelajaran yang mengurangi ketergantungan terhadap bahan ajar cetak memiliki nilai strategis dalam mendukung keberlanjutan lingkungan.

Lebih lanjut, integrasi teknologi AR dalam e-modul juga mendukung transformasi pembelajaran menuju pendidikan digital yang adaptif terhadap perkembangan teknologi. Mahasiswa tidak hanya berperan sebagai penerima informasi, tetapi juga sebagai pembelajar aktif yang mampu mengeksplorasi konsep secara mandiri. Hal ini sejalan dengan tuntutan pembelajaran abad ke-21 yang menekankan pada penguasaan teknologi, literasi sains, dan kesadaran lingkungan secara simultan.

Dengan demikian, pengembangan e-modul biologi sel terintegrasi AR 3D memiliki implikasi yang luas, tidak hanya dalam meningkatkan kemampuan representasi mikroskopis dan visuospasial, tetapi juga dalam memperkuat literasi kebencanaan serta mendukung pendidikan berkelanjutan. Inovasi ini menjadi langkah strategis dalam menciptakan pembelajaran yang tidak hanya efektif secara pedagogis, tetapi juga relevan dengan tantangan global di bidang lingkungan dan kebencanaan.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil analisis kebutuhan, dapat disimpulkan bahwa pembelajaran biologi sel yang berlangsung saat ini masih didominasi oleh pendekatan konvensional dan penggunaan bahan ajar berbasis teks serta visualisasi dua dimensi yang belum mampu mengakomodasi karakteristik materi yang bersifat mikroskopis dan kompleks. Kondisi tersebut berdampak pada rendahnya kemampuan representasi mikroskopis dan visuospasial mahasiswa, yang ditunjukkan oleh kesulitan dalam memvisualisasikan struktur sel, memahami hubungan struktur dan fungsi organel, serta membangun pemahaman spasial secara utuh.

Selain itu, hasil penelitian menunjukkan bahwa mahasiswa memiliki kebutuhan yang sangat tinggi terhadap inovasi pembelajaran berbasis teknologi, khususnya e-modul biologi sel terintegrasi *augmented reality* (AR) 3D. Penggunaan AR dinilai mampu memberikan visualisasi yang lebih konkret, interaktif, dan kontekstual sehingga berpotensi meningkatkan kualitas representasi mikroskopis dan visuospasial mahasiswa.

Lebih lanjut, pengembangan e-modul berbasis AR tidak hanya berkontribusi pada peningkatan kemampuan kognitif, tetapi juga memiliki implikasi terhadap penguatan literasi kebencanaan. Melalui visualisasi fenomena biologis pada level mikroskopis, mahasiswa dapat memahami dampak lingkungan dan bencana terhadap sistem biologis. Selain itu, penggunaan bahan ajar digital juga mendukung pendidikan berkelanjutan melalui pengurangan penggunaan kertas sebagai upaya mitigasi tidak langsung terhadap risiko bencana lingkungan.

DAFTAR PUSTAKA

- Ainsworth, S. (2006). DeFT: A conceptual framework for learning with multiple representations. *Learning and Instruction*, 16(3), 183–198. <https://doi.org/10.1016/j.learninstruc.2006.03.001>
- Akçayır, M., & Akçayır, G. (2017). Advantages and challenges associated with augmented reality for education: A systematic review. *Educational Research Review*, 20, 1–11. <https://doi.org/10.1016/j.edurev.2016.11.002>
- Branch, R. M. (2009). *Instructional design: The ADDIE approach*. Springer. <https://doi.org/10.1007/978-0-387-09506-6>
- Creswell, J. W., & Creswell, J. D. (2018). *Research design: Qualitative, quantitative, and mixed methods approaches* (5th ed.). SAGE Publications.
- Domgue K, L. I., Paes, D., Feng, Z., Mander, S., Datoussaid, S., Descamps, T., Rahouti, A., & Lovreglio, R. (2025). Video see-through augmented reality fire safety training: A comparison with virtual reality and video training. *Safety Science*, 184, 106714. <https://doi.org/10.1016/J.SSCI.2024.106714>
- Etikan, I., Musa, S. A., & Alkassim, R. S. (2016). Comparison of convenience sampling and purposive sampling. *American Journal of Theoretical and Applied Statistics*, 5(1), 1–4. <https://doi.org/10.11648/j.ajtas.20160501.11>
- Evans, J. R., & Mathur, A. (2018). The value of online surveys. *Internet Research*, 28(4), 854–887. <https://doi.org/10.1108/IntR-03-2018-0089>

- Fraenkel, J. R., Wallen, N. E., & Hyun, H. H. (2012). *How to design and evaluate research in education* (8th ed.). McGraw-Hill.
- Ibáñez, M. B., & Delgado-Kloos, C. (2018). Augmented reality for STEM learning: A systematic review. *Computers & Education*, 123, 109–123. <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2018.05.002>
- Likert, R. (1932). A technique for the measurement of attitudes. *Archives of Psychology*, 140, 1–55.
- Mayer, R. E. (2021). *Multimedia learning* (3rd ed.). Cambridge University Press.
- Safitri, S., Juhadi, J., & Aji, A. (2024). Ecoliteracy Learning Design with Augmented Reality-Based SETS Approach for Flood Disaster Education. *IJORER: International Journal of Recent Educational Research*, 5(3), 779–795. <https://doi.org/10.46245/IJORER.V5I3.610>
- Steffen, W., Richardson, K., Rockström, J., & Cornell, S. E. (2015). Planetary boundaries: Guiding human development on a changing planet. *Science*, 347(6223), 1259855. <https://doi.org/10.1126/science.1259855>
- Stieff, M. (2013). Improving representational competence using molecular simulations. *Journal of Research in Science Teaching*, 50(1), 1–23. <https://doi.org/10.1002/tea.21054>
- Sugiyono. (2019). *Metode penelitian kuantitatif, kualitatif, dan R&D*. Alfabeta.
- UNESCO. (2019). *Disaster risk reduction in school curricula: Case studies from thirty countries*. UNESCO Publishing.