VOL 3 NO 4 2026 E-ISSN:3064-2361

SAKALIMA
PILAR PEMBERDAYAAN MASYARAKAT PENDIDIKAN
VOL 3. NO. 4 (2026)

ISSN: 3064-2361

Dampak *Multiple Representations* dalam Pembelajaran Biologi Terhadap Siswa SMA: *Systematic Literature Review*

Agista Amalia ✉ **dan Anisa Oktina Sari Pratama** ✉

To cite this article A. Amalia and O. Sari, "Dampak Multiple Representations dalam Pembelajaran Biologi Terhadap Siswa SMA : Systematic Literature Review," *SAKALIMA Pilar Pemberdaya. Masy. Pendidik.*, vol. 3, no. 4, pp. 15–28, 2026, doi: https://doi.org/10.70211/sakalima.v3i4.692.

To link to this article:

Published online: Nov. 12, 2026

Submit your article to this journal

View crossmark data

Full Terms & Conditions of access and use can be found at
https://journal.wiseedu.co.id/index.php/sakalima/about

OPEN ACCESS

https://doi.org/10.70211/sakalima.v3i4.692

SAKALIMA: Pilar Pemberdayaan Masyarakat Pendidikan Vol. 3 No. 4 (2026)

Check for updates

Research Article

Dampak *Multiple Representations* dalam Pembelajaran Biologi Terhadap Siswa SMA: *Systematic Literature Review*

Agista Amalia dan Anisa Oktina Sari Pratama

Received: 12 Juli 2026	Revised: 11 Agustus 2026	Accepted: 12 September 2026	Online: 12 November 2026

Abstract

This systematic literature review examined how multiple representations influence senior high school students' learning in biology and identified the representational forms, biological topics, and instructional conditions associated with reported outcomes. Literature was searched through Google Scholar/Publish or Perish, ERIC, CrossRef, Semantic Scholar, Garuda/SINTA, and journal websites, with eligibility restricted to empirical studies involving biology learning and measurable student outcomes. The reported PRISMA 2020 selection identified 11 included studies. Narrative and thematic synthesis indicated generally favorable trends in conceptual understanding, achievement, higher-order thinking, learner autonomy, motivation, participation, and representational competence, particularly in genetics, ecosystems, enzymes, plant physiology, and pteridophyta. Evidence varied across experimental, quasi-experimental, classroom-action, development, and interpretive designs; therefore, the findings do not establish a single pooled effect. Visual and physical models supported abstract concepts, whereas animations, diagrams, data models, and augmented-reality resources provided complementary opportunities to interpret mechanisms and relationships. Benefits were most plausible when teachers explicitly guided students to connect representations rather than presenting multiple media without interpretation tasks. Inconsistencies in reported PRISMA counts and incomplete risk-of-bias documentation limit review reproducibility. The findings imply that biology teachers should select representations according to conceptual demands and integrate scaffolding, cross-representation explanation, and assessment of representational competence into instruction.

Keywords: Biology Education; Conceptual Understanding; Multiple Representations; Representational Competence; Secondary School; Systematic Literature Review

Publisher's Note:

WISE Pendidikan Indonesia stays neutral with regard to jurisdictional claims in published maps and institutional affiliations.

Copyright:
©
2026 by the author(s).
License WISE Pendidikan Indonesia, Bandar Lampung, Indonesia. This article is an open access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY 4.0) license.
(https://creativecommons.org/licenses/by/4.0//).



PENDAHULUAN

Biologi di sekolah menengah atas menuntut peserta didik menjelaskan fenomena kehidupan pada berbagai tingkat organisasi, mulai dari molekul dan sel hingga organisme dan ekosistem. Kegiatan belajar tidak cukup dilakukan dengan menghafal istilah karena siswa perlu menghubungkan objek yang terlihat, proses mikroskopis, hubungan kausal, dan simbol ilmiah untuk menghasilkan penjelasan yang koheren. Kompleksitas tersebut terutama tampak pada pembelajaran genetika, ekspresi gen, pembelahan sel, fisiologi tumbuhan, dan ekologi. Penelitian mengenai penalaran genetika memperlihatkan bahwa siswa dapat memahami satu representasi secara parsial tetapi masih kesulitan mengaitkannya dengan konsep lain pada tingkat organisasi yang berbeda. Kemampuan menerjemahkan representasi dengan demikian menjadi bagian penting dari penguasaan konsep biologi, bukan sekadar keterampilan membaca gambar [1], [2], [3].

Pendekatan *multiple representations* memadukan dua atau lebih bentuk penyajian pengetahuan, seperti teks, diagram, tabel, grafik, model konkret, animasi, simulasi, dan objek digital, untuk mendukung pembelajaran suatu konsep. Kerangka *Design, Functions, Tasks* (DeFT) menjelaskan bahwa representasi dapat saling melengkapi, mempersempit interpretasi yang keliru, dan membantu pembentukan pemahaman yang lebih dalam. Akan tetapi, manfaat tersebut hanya muncul apabila siswa mampu mengenali fungsi tiap bentuk penyajian serta membangun hubungan di antaranya. Secara teoretis, keterpaduan informasi verbal dan visual membantu pembentukan model mental, tetapi informasi yang berlebihan atau tidak terarah berpotensi meningkatkan beban pemrosesan. Oleh karena itu, perencanaan representasi harus berlandaskan tujuan kognitif, sifat informasi, dan dukungan belajar yang memadai [4], [5], [6].

Sejumlah penelitian empiris pada pembelajaran genetika SMA menunjukkan potensi model konkret, ilustrasi, animasi, dan representasi berbasis komputer dalam membantu pemahaman konsep molekuler. Penggunaan model manik-manik dan ilustrasi dilaporkan membantu siswa menjelaskan hubungan antarkomponen genetika, sedangkan animasi menawarkan kesempatan untuk mengamati proses molekuler yang bersifat dinamis. Penelitian lain mengungkapkan bahwa representasi visual yang beragam mendukung perubahan konseptual, tetapi hasilnya tidak selalu merata pada berbagai jenis penalaran. Variasi tersebut menunjukkan bahwa keberhasilan suatu perangkat visual tidak dapat dinilai semata-mata dari kecanggihan medianya. Jenis representasi, pengalaman awal siswa, desain tugas, dan interaksi guru turut menentukan kualitas penalaran yang terbentuk [7], [8], [9].

Kemampuan mengoordinasikan teks dengan diagram juga merupakan persoalan pedagogis yang penting. Penelitian pada siswa sekolah menengah menemukan bahwa latihan menghubungkan informasi verbal dan visual dapat memperkuat pemahaman diagram, meskipun transfer pada tugas yang jauh berbeda tidak selalu terjadi secara otomatis. Pemodelan menggunakan tabel, grafik, dan spreadsheet memberikan jalur lain untuk menghubungkan data dengan fenomena biologis, terutama pada pembahasan evolusi serta ekologi populasi. Di sisi lain, representasi pada tingkat makroskopis dan submikroskopis dapat memfasilitasi penalaran tentang mekanisme biologis apabila siswa memperoleh arahan interpretasi yang sesuai. Bukti tersebut memperlihatkan bahwa kompetensi representasional harus diperlakukan sebagai sasaran pembelajaran yang sengaja dilatihkan [10], [11], [12].

Dalam konteks pendidikan biologi Indonesia, pendekatan representasi majemuk telah diterapkan melalui model pembelajaran berbantuan animasi, media pembelajaran yang

menghubungkan representasi makro, mikro, simbolik, dan pengembangan media visual digital. Penelitian pada materi enzim melaporkan perbaikan capaian pembelajaran melalui modifikasi model representasi; penelitian pada kelas X mengaitkannya dengan peningkatan *higher-order thinking skills* (HOTS) dan kemandirian belajar. Penelitian pengembangan media pada pteridophyta dan ekosistem juga menunjukkan kecenderungan peningkatan penguasaan konsep. Namun, jenis desain dan indikator hasil yang digunakan berbeda, sehingga angka peningkatan antarpublikasi tidak dapat dibandingkan secara langsung tanpa memperhatikan perangkat ukur, karakteristik siswa, serta kondisi pembelajaran [13], [14], [15].

Perkembangan penelitian mengenai pemanfaatan visualisasi tidak hanya berfokus pada peningkatan nilai tes, tetapi juga pada bagaimana siswa memberi makna terhadap struktur, proses, dan informasi lintas representasi. Telaah penelitian visualisasi pada kelas sains menunjukkan dominasi kajian mengenai pembelajaran konsep, sedangkan penalaran ilmiah dan komunikasi representasional masih memerlukan perhatian lebih besar. Sintesis multidisipliner juga menunjukkan bahwa penambahan jumlah representasi tidak otomatis meningkatkan hasil belajar; manfaatnya berkaitan dengan bentuk dukungan dan kemampuan siswa mengintegrasikan informasi. Dengan demikian, satuan pembelajaran perlu merancang transisi antarmedia melalui penandaan elemen penting, pertanyaan pemandu, perbandingan grafik dengan teks, dan kegiatan penjelasan mandiri [16], [17], [18].

Dalam penelitian kepustakaan sistematis, kejelasan kriteria inklusi, prosedur pencarian, alasan eksklusi, dan penilaian bukti merupakan prasyarat agar pembaca dapat menafsirkan keluasan temuan secara tepat. Pedoman PRISMA 2020 memberikan kerangka pelaporan tahapan identifikasi, penyaringan, dan inklusi, sedangkan prinsip sintesis tematik memungkinkan hasil yang heterogen diorganisasikan berdasarkan tema tanpa memaksakan penggabungan statistik. Hal tersebut penting dalam kajian representasi majemuk karena sumber-sumber penelitian menggunakan berbagai desain, media, dan indikator. Sintesis perlu membedakan bukti empiris pada siswa SMA dari tinjauan teori atau hasil penelitian pada populasi lain; sumber teori digunakan untuk menjelaskan temuan, bukan dihitung sebagai bagian dari studi yang memenuhi kriteria inklusi [19], [20], [21].

Kesenjangan kajian ini terletak pada belum terintegrasinya pemetaan bukti yang secara khusus mengaitkan jenis representasi, topik pembelajaran biologi SMA, indikator dampak siswa, dan syarat pedagogis efektivitasnya dalam satu sintesis. Kajian terdahulu sering menelaah keunggulan animasi, pemahaman representasi tertentu, atau penggunaan teknologi pada bidang sains secara lebih luas, sehingga keterkaitan lintas topik dan dampak khusus pada peserta didik SMA belum selalu dinyatakan secara eksplisit. Penelitian ini bertujuan mengidentifikasi studi empiris yang relevan, memetakan bentuk representasi beserta topik biologi yang diteliti, dan menyintesis dampaknya terhadap pemahaman konsep, hasil belajar, HOTS, kemandirian, motivasi, serta kompetensi representasional siswa. Kontribusi yang ditawarkan ialah pemetaan berbasis hasil belajar dan kondisi implementasi, bukan klaim bahwa semua jenis representasi memiliki pengaruh yang setara [22], [23], [24].

METODOLOGI

Desain Penelitian

Penelitian menggunakan pendekatan *systematic literature review* (SLR) dengan sintesis naratif dan tematik terhadap artikel empiris yang menilai penggunaan beberapa representasi dalam pembelajaran biologi siswa SMA atau sederajat. Struktur pelaporan mengacu pada PRISMA 2020, dengan tahapan identifikasi, penyaringan, pemeriksaan kelayakan, dan inklusi publikasi. Tiga pertanyaan kajian diarahkan pada bentuk representasi yang digunakan, materi biologi yang dikaji, dan kecenderungan dampak terhadap hasil kognitif, afektif, serta kompetensi representasional [19], [20], [21].

Unit analisis berupa artikel penelitian, bukan peserta didik yang direkrut langsung. Karena desain artikel yang memenuhi kriteria beragam, sintesis diarahkan pada pola hasil dan kondisi implementasi; perbandingan lintas studi mempertimbangkan perbedaan rancangan penelitian, ukuran sampel, alat ukur, serta karakteristik intervensi. Dengan demikian, kajian ini tidak mengestimasi ukuran efek gabungan atau melakukan meta-analisis.

Prosedur Penelitian

Penelusuran pembaruan dilaporkan berlangsung pada Juli 2026 melalui *Google Scholar/Publish or Perish*, ERIC, *CrossRef*, *Semantic Scholar*, Garuda/SINTA, serta pemeriksaan manual laman jurnal. Istilah penelusuran mencakup "*multiple representations*", "*multiple external representations*", "representasi majemuk", "*multiple representation model*", "*visualization*", "*animation*", "*augmented reality*", "*biology learning*", "biologi SMA", "*senior high school*", "*grade* 10", "*grade* 11", dan "*grade* 12". Kombinasi kueri dan batasan disesuaikan dengan fasilitas setiap pangkalan data. Ketersediaan dokumentasi kueri lengkap dan jumlah hasil per pangkalan data menjadi batas replikasi penelusuran yang dijelaskan pada bagian keterbatasan.

Publikasi yang ditelaah berada dalam rentang 2006-2026. Studi terdahulu tahun 2006-2008 dipertahankan karena memberikan bukti empiris langsung tentang pembelajaran genetika molekuler di SMA; interpretasi perkembangan kontemporer lebih menekankan penelitian 2015-2026. Seleksi mencakup artikel penelitian dengan peserta didik SMA atau sederajat, pembelajaran biologi, penggunaan lebih dari satu representasi, dan hasil yang diukur pada siswa. Studi analisis buku teks tanpa pengujian siswa, kajian guru saja, dan publikasi di luar materi biologi tidak dimasukkan dalam sintesis utama.

Informasi studi diekstraksi ke dalam matriks yang memuat penulis, tahun, lokasi atau konteks, jenjang pendidikan, topik biologi, bentuk representasi, jenis penelitian, indikator dampak, dan temuan utama. Kriteria pemilihan disajikan dalam Tabel 1. Kategori tematik tidak dipakai untuk mengubah temuan masing-masing penelitian, melainkan untuk menjelaskan persamaan dan variasinya.

Teknik Analisis Data

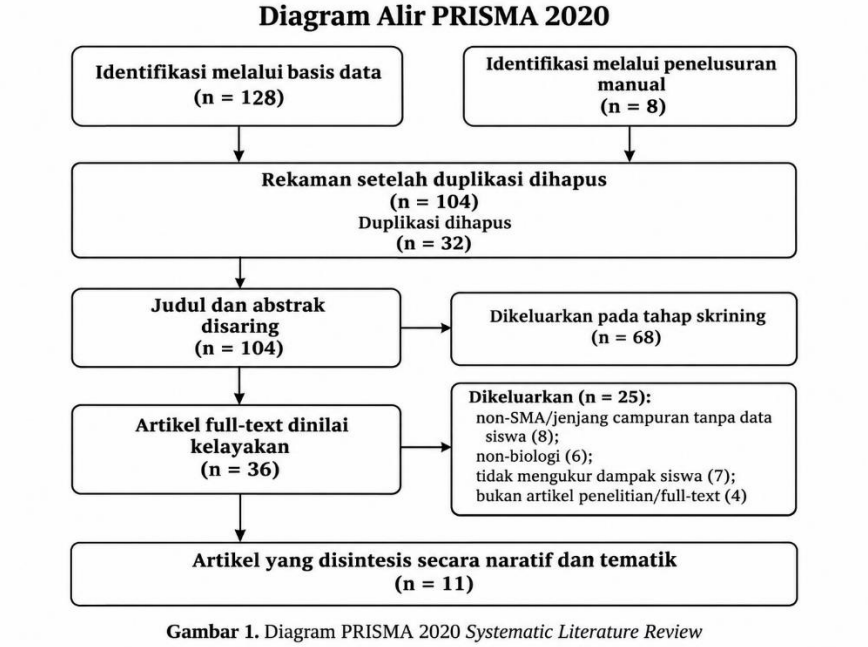
Analisis dilakukan melalui sintesis naratif dan pengelompokan tematik. Pada tahap awal, temuan setiap studi dibaca menurut jenis representasi, konteks materi, serta instrumen hasil. Tahap berikutnya mengelompokkan hasil ke dalam penguasaan konsep, capaian belajar, HOTS, kemandirian, aktivitas, motivasi, kompetensi representasional, dan reduksi miskonsepsi. Penafsiran kemudian membandingkan mekanisme pedagogis yang mungkin

menjelaskan pola tersebut dengan literatur representasi dan multimedia. Pendekatan ini sesuai untuk bukti heterogen yang tidak dapat digabungkan menjadi ukuran efek tunggal [21], [25], [4].

Mutu metodologis ditinjau secara deskriptif berdasarkan kesesuaian populasi, kejelasan intervensi, keberadaan kelompok pembanding, keterukuran hasil, serta pelaporan instrumen. Kajian tidak menyajikan tabel penilaian risiko bias terstandardisasi atau penilaian independen oleh beberapa penelaah sehingga kepastian bukti belum dapat diperingkat secara formal. Literatur teori yang digunakan untuk diskusi tidak ditambahkan ke sebelas studi yang menjadi korpus hasil.

Tabel 1. Kriteria Inklusi dan Eksklusi

Aspek	Kriteria Inklusi	Kriteria Eksklusi
Jenis dokumen	Artikel jurnal atau prosiding ilmiah yang dapat diakses full-text dan memuat data penelitian.	Skripsi, tesis, disertasi, opini, modul ajar, artikel populer, atau artikel tanpa data penelitian.
Subjek penelitian	Siswa SMA/MA/SMK atau senior high school/equivalent; artikel campuran hanya dimasukkan jika data SMA dapat ditafsirkan secara relevan.	Mahasiswa, guru, siswa SD/SMP saja, atau jenjang campuran tanpa informasi yang relevan dengan siswa SMA.
Bidang kajian	Pembelajaran biologi atau topik biologi seperti genetika, ekosistem, enzim, fisiologi tumbuhan, pteridophyta, sel, dan evolusi.	Fisika, kimia, matematika, atau sains umum tanpa data biologi.
Intervensi/variabel	Menggunakan lebih dari satu representasi, misalnya teks-diagram, model fisik, ilustrasi, animasi, simulasi, AR, atau media digital yang menghubungkan berbagai format representasi.	Hanya menggunakan satu bentuk representasi atau hanya menganalisis keberadaan representasi dalam buku tanpa uji pada siswa.
Indikator dampak	Melaporkan dampak terhadap hasil belajar, pemahaman konsep, HOTS, kemandirian belajar, motivasi, aktivitas belajar, atau kompetensi representasional siswa.	Tidak melaporkan dampak terhadap siswa atau hanya berisi validasi ahli tanpa uji coba siswa.
Bahasa dan tahun	Bahasa Indonesia atau Inggris; publikasi 2006–2026 dengan penekanan analisis pada 2015–2026.	Di luar rentang tahun atau tidak relevan dengan fokus sintesis.



Gambar 1. Diagram PRISMA 2020 *Systematic Literature Review*

Gambar 1. Diagram PRISMA 2020 *Systematic Literature Review*

Diagram PRISMA pada Gambar 1 melaporkan 128 rekaman awal, 104 rekaman pada tahap skrining judul dan abstrak, 36 artikel diperiksa secara penuh, 25 artikel dikeluarkan pada tahap kelayakan, dan 11 studi termasuk dalam sintesis akhir. Angka tersebut dipertahankan sebagaimana dilaporkan dalam alur penelitian. Namun, jumlah identifikasi dari basis data dan pencarian manual serta angka duplikasi dan eksklusi antar tahap pada gambar belum sepenuhnya konsisten secara aritmetis; verifikasi log pencarian diperlukan agar alur seleksi dapat direplikasi dengan tepat.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil

Seleksi menghasilkan sebelas studi empiris yang membahas dampak *multiple representations* terhadap siswa sekolah menengah pada topik biologi. Studi terpilih mencakup eksperimen, kuasi-eksperimen, penelitian tindakan kelas, pengembangan media dengan uji efektivitas, serta kajian interpretif. Distribusi desain tersebut memperlihatkan variasi kekuatan bukti sehingga hasil perlu diinterpretasikan secara tematik, bukan diperlakukan sebagai satu estimasi pengaruh. Identitas studi, topik, bentuk representasi, dan dampak utama ditampilkan pada Tabel 2.

Karakteristik dan Sebaran Studi

Sebelas publikasi menjangkau konteks Indonesia dan luar negeri dengan penekanan pada genetika molekuler, ekosistem, pteridophyta, enzim, fisiologi tumbuhan, evolusi, serta pemahaman diagram. Pada studi genetika, model konkret dan animasi berperan dalam menghubungkan bentuk visual dengan proses biologis [7], [8], [9]. Sementara itu, kegiatan koordinasi teks dan diagram maupun pemodelan data menitikberatkan keterampilan mengintegrasikan beberapa representasi [10], [11], [12].

Tabel 2. Artikel yang Memenuhi Kriteria Inklusi

No	Penulis/Tahun	Konteks & Jenjang	Topik Biologi	Representasi yang Digunakan	Dampak Utama pada Siswa
1	Rotbain, Marbach-Ad, & Stavy (2006)	Israel; siswa SMA	Genetika molekular	Model manik-manik, ilustrasi, pertanyaan terarah	Pengetahuan genetika molekular meningkat dibanding kelompok kontrol; model konkret membantu konsep abstrak.
2	Marbach-Ad, Rotbain, & Stavy (2008)	Israel; siswa SMA	Genetika molekular	Animasi komputer dan ilustrasi	Animasi/ilustrasi meningkatkan capaian; animasi lebih mendukung proses dinamis dan soal terbuka.
3	Tsui & Treagust (2007)	Australia; kelas 10 dan 12	Genetika	Multimedia komputer, visualisasi, representasi eksternal	Mendukung perubahan konseptual, tetapi keberhasilan bergantung pada kemampuan siswa menghubungkan representasi.
4	Bergey, Cromley, & Newcombe (2015)	Amerika Serikat; kelas 9-10	Diagram biologi dan transfer konsep	Teks, diagram, latihan koordinasi representasi	Meningkatkan pengetahuan biologi dan pemahaman diagram; tidak otomatis menghasilkan transfer jauh.

No	Penulis/Tahun	Konteks & Jenjang	Topik Biologi	Representasi yang Digunakan	Dampak Utama pada Siswa
5	Malone, Schunn, & Schuchardt (2017)	Amerika Serikat; biologi SMA	Evolusi, seleksi alam, ekologi populasi	Model berbasis Excel, grafik, tabel, simulasi data	Meningkatkan pemahaman konsep dan penggunaan representasi model; dampak motivasi tidak selalu seragam.
6	Torkar, Veldin, Glažar, & Podlesek (2018)	Slovenia; termasuk siswa sekunder	Keseimbangan air pada tumbuhan	Teks, gambar makro, mikroskopik, submikroskopik	Membantu melihat hubungan antarlevel, tetapi menuntut kemampuan interpretasi representasi.
7	Noraini (2021)	Indonesia; kelas XII IPA SMA	Enzim dan fungsi enzim	Modifikasi model pembelajaran multiple representation, animasi, diskusi	Rata-rata nilai 76,52 dan ketuntasan 100%; aktivitas guru dan siswa meningkat.
8	Sari, Haka, & Supriyadi (2022)	Indonesia; kelas X SMA	Biologi kelas X	Model multiple representation	N-gain HOTS eksperimen 0,63 vs kontrol 0,35; kemandirian belajar 0,54 vs 0,15.
9	Teplá et al. (2022)	Eropa; siswa middle dan high school, mayoritas biologi	Biologi, kimia, geologi; termasuk anatomi, sel, botani	Model 3D dan animasi	Dampak positif pada motivasi dan hasil; efek domain biologi positif dan kuat pada pelajaran pertama.
10	Hartono, Tanjung, & Camara (2024)	Indonesia; SMA	Pteridophyta	Media multiple representation makro-mikro-simbolik	N-gain 0,73 kategori tinggi; hasil belajar meningkat signifikan dan menstimulasi pertanyaan HOTS.
11	Oktafiani et al. (2026)	Indonesia; kelas X SMA Negeri 15 Bandar Lampung	Komponen dan interaksi ekosistem	Flashcard cetak, objek 3D augmented reality, teks visual	N-gain eksperimen 0,82 kategori tinggi vs kontrol 0,50; penguasaan konsep meningkat signifikan.

Jenis Representasi dan Topik Biologi

Tabel 3 mengelompokkan lima pendekatan yang ditemukan, yaitu model fisik dan visual statis, animasi dan visualisasi dinamis, model digital serta pemodelan data, model pembelajaran representasi majemuk, dan media pengembangan yang mengintegrasikan beberapa level representasi. Pembagian ini bersifat deskriptif dan tidak menunjukkan peringkat efektivitas antarmedia. Representasi yang sesuai untuk proses dinamis belum tentu menjadi pilihan paling efektif bagi keterampilan membaca data atau membedakan struktur makro dan mikro.

Tabel 3. Pemetaan Jenis Representasi, Topik Biologi, dan Dampaknya

Kategori	Artikel Terkait	Karakteristik Representasi	Topik Dominan	Kecenderungan Dampak
Model fisik dan visual statis	Rotbain et al. (2006); Bergey et al. (2015); Torkar et al. (2018)	Manik-manik, ilustrasi, diagram, gambar level makro-mikro-submikro, teks pendukung	Genetika molekular, diagram biologi, fisiologi tumbuhan	Membantu konkretisasi konsep, tetapi memerlukan pertanyaan pemandu agar siswa tidak hanya melihat gambar secara pasif.
Animasi dan visualisasi dinamis	Marbach-Ad et al. (2008); Teplá et al. (2022)	Animasi komputer, model 3D, visualisasi bergerak, objek rotasi	Genetika molekular, anatomi, sel, botani	Efektif untuk proses dinamis dan tidak terlihat; dampak kuat pada minat dan nilai kegunaan, namun tidak

Kategori	Artikel Terkait	Karakteristik Representasi	Topik Dominan	Kecenderungan Dampak
				selalu signifikan pada semua tes kognitif.
Model digital dan pemodelan data	Malone et al. (2017)	Spreadsheet Excel, grafik, tabel data, simulasi model populasi	Evolusi dan ekologi populasi	Meningkatkan pemahaman sistem dan kemampuan menggunakan representasi model; membutuhkan literasi data dan pendampingan.
Model pembelajaran multiple representation	Noraini (2021); Sari et al. (2022)	Kombinasi teks, visual, animasi, diskusi, dan aktivitas interpretasi	Enzim, materi biologi kelas X	Meningkatkan hasil belajar, HOTS, kemandirian, dan aktivitas siswa.
Media pengembangan berbasis representasi majemuk	Hartono et al. (2024); Oktafiani et al. (2026)	Media makro-mikro-simbolik; flashcard AR; objek 3D; teks visual	Pteridophyta dan ekosistem	Memberikan N-gain tinggi dan memperkuat penguasaan konsep jika validasi materi, media, dan bahasa dilakukan sebelum uji coba.

Sintesis Dampak terhadap Hasil Belajar

Temuan numerik pada studi Indonesia tetap mengikuti laporan asal. Sari et al. melaporkan N-gain HOTS 0,63 pada kelompok eksperimen dan 0,35 pada kontrol, sedangkan kemandirian belajar sebesar 0,54 dan 0,15 [14]. Hartono et al. melaporkan N-gain 0,73 pada media pteridophyta [15]; Oktafiani et al. melaporkan N-gain penguasaan konsep 0,82 dibandingkan 0,50 pada kontrol [26]. Noraini melaporkan rerata 76,52 dan ketuntasan 100% [13]. Angka tersebut tidak dipool karena berasal dari desain, instrumen, dan populasi yang berbeda.

Tabel 4. Sintesis Dampak *Multiple Representations* terhadap Siswa SMA

Tema Dampak	Bentuk Bukti	Artikel Pendukung	Makna Sintesis
Pemahaman konsep dan hasil belajar	Peningkatan skor posttest, N-gain, ketuntasan, atau perbedaan signifikan antara kelas eksperimen dan kontrol.	Rotbain et al. (2006); Marbach-Ad et al. (2008); Noraini (2021); Hartono et al. (2024); Oktafiani et al. (2026)	Multiple representations membantu siswa membangun hubungan antara konsep abstrak dan bentuk visual-konkret sehingga penguasaan materi meningkat.
HOTS dan kemampuan menalar	N-gain HOTS lebih tinggi pada kelas eksperimen; media menstimulasi pertanyaan berbasis HOTS.	Sari et al. (2022); Hartono et al. (2024)	Representasi ganda tidak hanya membantu mengingat, tetapi juga mendorong siswa membandingkan, menafsirkan, dan menjelaskan hubungan antarfenomena.
Kemandirian dan aktivitas belajar	Kemandirian belajar meningkat; aktivitas siswa dalam diskusi meningkat.	Sari et al. (2022); Noraini (2021)	Siswa menjadi lebih aktif ketika representasi menyediakan pintu masuk yang beragam untuk memahami konsep dan berdiskusi.
Motivasi dan minat	Model 3D dan animasi meningkatkan interest/enjoyment dan perceived value; efek bergantung pada usia, guru, dan konteks.	Teplá et al. (2022); Malone et al. (2017)	Visualisasi dinamis dapat meningkatkan daya tarik belajar, tetapi dampak afektif perlu dikelola agar tidak hanya menjadi efek kebaruan teknologi.

Tema Dampak	Bentuk Bukti	Artikel Pendukung	Makna Sintesis
Kompetensi representasional	Siswa belajar menghubungkan teks, diagram, model, dan visualisasi; transfer jauh masih terbatas.	Tsui & Treagust (2007); Bergey et al. (2015); Torkar et al. (2018)	Keberhasilan multiple representations bergantung pada kemampuan siswa membaca, menerjemahkan, dan mengintegrasikan representasi, sehingga perlu scaffolding.
Reduksi miskonsepsi	Representasi dinamis/kongkret membantu memperjelas proses yang tidak terlihat; validasi materi penting agar media tidak menimbulkan miskonsepsi.	Marbach-Ad et al. (2008); Hartono et al. (2024); Oktafiani et al. (2026)	Dampak positif muncul ketika representasi akurat secara konsep, tidak berlebihan, dan disertai tugas interpretasi.

Pembahasan

Sintesis sebelas studi memperlihatkan kecenderungan manfaat representasi majemuk bagi pemahaman konsep, terutama ketika siswa harus menghubungkan entitas mikroskopis dengan fenomena makroskopis. Temuan Rotbain et al. mengenai model manik-manik dan ilustrasi dapat dibaca bersama penelitian Marbach-Ad et al. mengenai animasi genetika, sedangkan Tsui dan Treagust menunjukkan bahwa keberhasilan perubahan konseptual bergantung pada penalaran siswa ketika mengoordinasikan representasi [7], [8], [9]. Ketiga studi membandingkan kemungkinan fungsi representasi secara berbeda: model konkret membantu mengidentifikasi komponen, animasi menyajikan perubahan temporal, dan integrasi antarreprentasi diperlukan untuk menghasilkan penjelasan biologis yang utuh.

Temuan mengenai pemahaman diagram dapat dibandingkan dengan penelitian Bergey et al. yang menunjukkan manfaat pelatihan koordinasi teks diagram, tetapi juga mengingatkan bahwa transfer jauh tidak otomatis muncul. Hal tersebut sejalan dengan kerangka representational competence yang melihat membaca, menerjemahkan, dan memilih representasi sebagai keterampilan yang perlu dilatih. Kajian di bidang biologi dan sains juga memperlihatkan bahwa siswa dapat membangun pemahaman yang berbeda ketika gambar, skema, dan model ilmiah tidak ditautkan secara eksplisit [10], [6], [27]. Dengan demikian, keberadaan banyak representasi saja belum memadai tanpa tugas untuk menjelaskan kesesuaian dan perbedaan antarformat.

Dampak visualisasi dinamis perlu ditafsirkan secara proporsional. Meta-analisis Höffler dan Leutner memperlihatkan keunggulan rerata animasi atas gambar statis, sementara Berney dan Bétrancourt menemukan bahwa manfaat animasi berubah menurut desain penyajian dan kondisi belajar. Analisis Castro-Alonso dan kolega menegaskan bahwa perbandingan format statis versus dinamis tidak selalu setara apabila faktor desain belum dikontrol [28], [29], [30]. Oleh sebab itu, manfaat animasi pada genetika dan visualisasi tiga dimensi yang tercatat dalam studi terpilih tidak berarti bahwa semua jenis animasi lebih unggul dalam setiap topik biologi.

Penelitian Indonesia memberikan bukti yang dekat dengan praktik pembelajaran di SMA, namun tetap memiliki variasi desain. Perbaikan HOTS dan kemandirian pada Sari et al. memperluas perhatian dari tes kognitif ke kemampuan regulasi belajar, sedangkan hasil Noraini pada materi enzim menekankan capaian dan partisipasi kelas. Studi Hartono et al. menunjukkan potensi media pteridophyta, sementara Oktafiani et al. mengaitkan media

augmented reality dengan penguasaan konsep ekosistem [14], [13], [15], [26]. Persamaan temuan terletak pada penggunaan bentuk visual sebagai dukungan aktivitas belajar, sedangkan perbedaannya adalah hasil ukur dan tingkat kontrol terhadap faktor luar. Oleh sebab itu, kenaikan skor satu penelitian tidak dapat dijadikan ukuran keunggulan mutlak dibandingkan penelitian lain.

Pada pemodelan data dan representasi lintas tingkat, Malone et al. memperlihatkan peran spreadsheet dalam membangun keterkaitan antara nilai numerik dan mekanisme sistem, sedangkan Torkar et al. menelaah hubungan level makroskopis dan submikroskopis pada fisiologi tumbuhan. Pandangan tersebut diperkuat oleh kajian representasi ilmiah yang menempatkan penerjemahan makna, bukan pengulangan informasi, sebagai fungsi utama representasi [11], [12], [31]. Keterkaitan ini relevan bagi guru biologi karena topik ekologi atau genetika sering menuntut interpretasi tabel, grafik, gambar organisme, dan model proses secara berurutan.

Tantangan implementasi muncul ketika siswa belum akrab dengan bentuk penyajian tertentu. Studi Berthold dan Renkl menunjukkan bahwa bantuan pengaitan antarreprentasi dan tugas penjelasan diri dapat memengaruhi pemahaman, sementara penelitian tentang pengelolaan beban kognitif dan pemenggalan materi mendukung pentingnya petunjuk, penandaan, serta kendali terhadap kecepatan informasi [23], [32], [33]. Analisis yang lebih mutakhir mengenai pembelajaran multimedia dan representasi jamak juga memperlihatkan bahwa mutu desain serta dukungan instruksional merupakan moderator penting; penambahan media tanpa tujuan yang jelas tidak menjamin hasil lebih baik [22], [18], [17].

Kebaruan kajian ini terletak pada sintesis yang menghubungkan jenis representasi dengan materi biologi SMA, variasi hasil pada siswa, serta kondisi pedagogis yang menyertai pengaruh tersebut. Berbeda dari kajian visualisasi sains lintas jenjang atau sintesis meta-analitik lintas disiplin, kajian ini mempersempit unit analisis kepada studi berdampak langsung pada peserta didik SMA dan menyajikan implikasi per topik [16], [18], [34]. Implikasi teoretisnya adalah kebutuhan memandang kompetensi representasional sebagai mekanisme penghubung antara visualisasi dan pemahaman, sedangkan implikasi praktisnya ialah menempatkan pertanyaan penuntun, latihan translasi, penjelasan lisan, dan perbandingan data sebagai bagian terencana dari penggunaan media. Tabel 5 merangkum rekomendasi pedagogis yang dapat dikembangkan lebih lanjut.

Literatur pendukung memperluas penjelasan mengenai peran representasi lintas tingkat organisasi biologi. Studi representasi pada genetika dan telaah pemahaman konsep membantu menjelaskan tantangan menerjemahkan relasi molekuler, sedangkan pembahasan teori visualisasi dan pemrosesan verbal–nonverbal menawarkan alasan mengapa representasi tidak cukup disajikan secara berdampingan tanpa tugas penalaran [35], [36], [37], [38], [39], [40]. Publikasi pendukung tersebut dipakai sebagai pembanding konseptual, bukan ditambahkan ke sebelas studi yang memenuhi kriteria sintesis.

Keterbatasan kajian mencakup jumlah studi inklusi yang terbatas, heterogenitas desain, variasi definisi hasil, dan ketiadaan ukuran efek yang dapat dihitung secara sebanding untuk seluruh studi. Beberapa publikasi berdesain tindakan kelas atau pengembangan media tidak menyediakan kelompok pembanding yang setara; sebagian konteks siswa juga mencakup jenjang campuran. Selain itu, bagan PRISMA memuat ketidakkonsistenan aritmetis pada angka identifikasi dan skrining, dan rincian kueri lengkap serta penilaian risiko bias belum tersedia

dalam pelaporan. Karena itu, simpulan bersifat kecenderungan sintesis naratif, bukan perkiraan besaran efek kausal atau klaim ketuntasan penelusuran. Penelitian berikutnya perlu menggunakan protokol pencarian terdokumentasi, penilaian mutu yang transparan, dan desain eksperimen multi-sekolah dengan pengukuran kompetensi representasional yang terstandardisasi [19], [25], [24].

KESIMPULAN

Sintesis terhadap sebelas artikel menunjukkan bahwa penggunaan *multiple representations* dalam pembelajaran biologi SMA berkaitan dengan kecenderungan peningkatan penguasaan konsep, hasil belajar, HOTS, kemandirian, aktivitas, motivasi, dan kompetensi representasional, meskipun kekuatan buktinya berbeda antarstudi. Hasil yang menonjol dilaporkan pada genetika, ekosistem, enzim, fisiologi tumbuhan, pteridophyta, serta evolusi dan ekologi populasi. Kontribusi utama kajian ini ialah pemetaan hubungan antara karakter materi, bentuk representasi, dan jenis dampak pembelajaran; manfaat representasi tidak terutama ditentukan oleh jumlah media, melainkan oleh ketepatan pemilihan, akurasi konsep, kegiatan interpretasi, serta *scaffolding* guru. Guru dan pengembang bahan ajar dapat menggunakan peta ini untuk merancang translasi teks, diagram, model, grafik, dan visualisasi digital secara terarah. Karena sintesis dibatasi oleh variasi desain dan instrumen serta dokumentasi penelusuran yang belum sepenuhnya terperinci, pengujian lebih lanjut dengan protokol ulasan yang dapat direplikasi, asesmen berkualitas, dan penelitian eksperimental yang memadai diperlukan sebelum menarik simpulan efektivitas yang lebih luas.

INFORMASI PENULIS

Penulis Koresponden

Agista Amalia – Program Studi Pendidikan Biologi, Universitas Islam Negeri Raden Intan Lampung (Indonesia);
Email: amaliaagisthaa@gmail.com

Penulis

Agista Amalia – Program Studi Pendidikan Biologi, Universitas Islam Negeri Raden Intan Lampung (Indonesia);
Email: amaliaagisthaa@gmail.com
Anisa Oktina Sari Pratama – Program Studi Pendidikan Biologi, Universitas Islam Negeri Raden Intan Lampung (Indonesia);
Email: anisaoktinasaripratama@radenintan.ac.id

KONFLIK KEPENTINGAN

"Penulis menyatakan tidak ada konflik kepentingan."

DAFTAR PUSTAKA

[1] R. G. Duncan and B. J. Reiser, "Reasoning across ontologically distinct levels: Students' understanding of molecular genetics," Journal of Research in Science Teaching, vol. 44, no. 7, pp. 938–959, 2007. https://doi.org/10.1002/tea.20186

[2] J. Lewis and C. Wood-Robinson, "Genes, chromosomes, cell division and inheritance: Do students see any relationship?," International Journal of Science Education, vol. 22, no. 2, pp. 177–195, 2000. https://doi.org/10.1080/095006900289949

[3] F. Flores-Camacho, E. Calderón-Canales, B. García-Rivera, L. Gallegos-Cázares, and A. Báez-Islas, "Representational trajectories in the understanding of Mendelian genetics," EURASIA Journal of Mathematics, Science and Technology Education, vol. 17, no. 8, art. em1988, 2021. https://doi.org/10.29333/ejmste/10998

[4] S. Ainsworth, "DeFT: A conceptual framework for considering learning with multiple representations," Learning and Instruction, vol. 16, no. 3, pp. 183–198, 2006. https://doi.org/10.1016/j.learninstruc.2006.03.001

[5] R. E. Mayer, Multimedia Learning, 3rd ed. Cambridge: Cambridge University Press, 2021. https://doi.org/10.1017/9781316941355

[6] P. Pande and S. Chandrasekharan, "Representational competence: Towards a distributed and embodied cognition account," Studies in Science Education, vol. 53, no. 1, pp. 1–43, 2017. https://doi.org/10.1080/03057267.2017.1248627

[7] Y. Rotbain, G. Marbach-Ad, and R. Stavy, "Effect of bead and illustrations models on high school students' achievement in molecular genetics," Journal of Research in Science Teaching, vol. 43, no. 5, pp. 500–529, 2006. https://doi.org/10.1002/tea.20144

[8] G. Marbach-Ad, Y. Rotbain, and R. Stavy, "Using computer animation and illustration activities to improve high school students' achievement in molecular genetics," Journal of Research in Science Teaching, vol. 45, no. 3, pp. 273–292, 2008. https://doi.org/10.1002/tea.20222

[9] C.-Y. Tsui and D. F. Treagust, "Understanding genetics: Analysis of secondary students' conceptual status," Journal of Research in Science Teaching, vol. 44, no. 2, pp. 205–235, 2007. https://doi.org/10.1002/tea.20116

[10] B. W. Bergey, J. G. Cromley, and N. S. Newcombe, "Teaching high school biology students to coordinate text and diagrams: Relations with transfer, effort, and spatial skill," International Journal of Science Education, vol. 37, no. 15, pp. 2476–2502, 2015. https://doi.org/10.1080/09500693.2015.1082672

[11] K. L. Malone, C. D. Schunn, and A. M. Schuchardt, "Improving conceptual understanding and representation skills through Excel-based modeling," Journal of Science Education and Technology, vol. 26, pp. 30–44, 2017. https://doi.org/10.1007/s10956-017-9706-0

[12] G. Torkar, M. Veldin, S. A. Glažar, and A. Podlesek, "Why do plants wilt? Investigating students' understanding of water balance in plants with external representations at the macroscopic and submicroscopic levels," EURASIA Journal of Mathematics, Science and Technology Education, vol. 14, no. 6, pp. 2265–2276, 2018. https://doi.org/10.29333/ejmste/87119

[13] N. Noraini, "Improving biology learning outcomes on enzymes and its functions through modification of multiple refresentation learning model in class XII IPA SMAN 1 Danau Panggang," Edunesia: Jurnal Ilmiah Pendidikan, vol. 2, no. 2, pp. 569–575, 2021. https://doi.org/10.51276/edu.v2i2.161

[14] E. P. Sari, N. B. Haka, and S. Supriyadi, "HOTS analysis and learning independence: Class 10 biology learning using multiple representation models," IJIS Edu: Indonesian Journal of Integrated Science Education, vol. 4, no. 2, pp. 109–116, 2022.

https://doi.org/10.29300/ijisedu.v4i2.4791
[15] A. Hartono, I. F. Tanjung, and J. S. Camara, "Development of multiple representation media for pteridophyta material to improve student learning outcomes," THABIEA: Journal of Natural Science Teaching, vol. 7, no. 1, pp. 121–134, 2024. https://doi.org/10.21043/thabiea.v7i1.25613
[16] M. Kim and Q. Jin, "Studies on visualisation in science classrooms: A systematic literature review," International Journal of Science Education, vol. 44, no. 17, pp. 2613–2631, 2022. https://doi.org/10.1080/09500693.2022.2140020
[17] M. A. Rau, "Conditions for the effectiveness of multiple visual representations in enhancing STEM learning," Educational Psychology Review, vol. 29, pp. 717–761, 2017. https://doi.org/10.1007/s10648-016-9365-3
[18] E. Rexigel, J. Kuhn, S. Becker, and S. Malone, "The more the better? A systematic review and meta-analysis of the benefits of more than two external representations in STEM education," Educational Psychology Review, vol. 36, art. 124, 2024. https://doi.org/10.1007/s10648-024-09958-y
[19] M. J. Page et al., "The PRISMA 2020 statement: An updated guideline for reporting systematic reviews," BMJ, vol. 372, art. n71, 2021. https://doi.org/10.1136/bmj.n71
[20] B. Kitchenham, D. Budgen, and P. Brereton, Evidence-Based Software Engineering and Systematic Reviews. Boca Raton: CRC Press, 2021.
[21] V. Braun and V. Clarke, "Using thematic analysis in psychology," Qualitative Research in Psychology, vol. 3, no. 2, pp. 77–101, 2006. https://doi.org/10.1191/1478088706qp063oa
[22] M. Noetel et al., "Multimedia design for learning: An overview of reviews with meta-meta-analysis," Review of Educational Research, vol. 92, no. 3, pp. 413–454, 2022. https://doi.org/10.3102/00346543211052329
[23] K. Berthold and A. Renkl, "Instructional aids to support a conceptual understanding of multiple representations," Journal of Educational Psychology, vol. 101, no. 1, pp. 70–87, 2009. https://doi.org/10.1037/a0013247
[24] V. Prain and R. Tytler, "Learning through constructing representations in science: A framework of representational construction affordances," International Journal of Science Education, vol. 34, no. 17, pp. 2751–2773, 2012. https://doi.org/10.1080/09500693.2011.626462
[25] L. S. Nowell, J. M. Norris, D. E. White, and N. J. Moules, "Thematic analysis: Striving to meet the trustworthiness criteria," International Journal of Qualitative Methods, vol. 16, no. 1, 2017. https://doi.org/10.1177/1609406917733847
[26] R. Oktafiani, A. S. Aini, A. D. Kesumawardani, I. Irwandani, and M. F. Barata, "Development of augmented reality-assisted flashcards to improve tenth-grade students' conceptual mastery in biology," Indonesian Science Education Journal, vol. 7, no. 1, pp. 19–32, 2026. https://doi.org/10.62159/isej.v7i1.2168
[27] A. A. diSessa, "Metarepresentation: Native competence and targets for instruction," Cognition and Instruction, vol. 22, no. 3, pp. 293–331, 2004. https://doi.org/10.1207/s1532690xci2203_2
[28] T. N. Höffler and D. Leutner, "Instructional animation versus static pictures: A meta-analysis," Learning and Instruction, vol. 17, no. 6, pp. 722–738, 2007. https://doi.org/10.1016/j.learninstruc.2007.09.013
[29] S. Berney and M. Bétrancourt, "Does animation enhance learning? A meta-analysis," Computers & Education, vol. 101, pp. 150–167, 2016. https://doi.org/10.1016/j.compedu.2016.06.005
[30] J. C. Castro-Alonso, P. Ayres, and F. Paas, "Comparing apples and oranges? A critical look at research on learning from statics versus animations," Computers & Education, vol. 102, pp. 234–243, 2016. https://doi.org/10.1016/j.compedu.2016.09.004

[31] R. Kozma, “The material features of multiple representations and their cognitive and social affordances for science understanding,” Learning and Instruction, vol. 13, no. 2, pp. 205–226, 2003. https://doi.org/10.1016/S0959-4752(02)00021-X
[32] A. Schwamborn, H. Thillmann, M. Opfermann, and D. Leutner, “Cognitive load and instructionally supported learning with provided and learner-generated visualizations,” Computers in Human Behavior, vol. 27, no. 1, pp. 89–93, 2011. https://doi.org/10.1016/j.chb.2010.05.028
[33] G. D. Rey, M. Beege, S. Nebel, et al., “A meta-analysis of the segmenting effect,” Educational Psychology Review, vol. 31, pp. 389–419, 2019. https://doi.org/10.1007/s10648-018-9456-4
[34] K. Nichols, “Impact of professional learning on teachers' representational strategies and students' cognitive engagement with molecular genetics concepts,” Journal of Biological Education, vol. 52, no. 1, pp. 31–46, 2018. https://doi.org/10.1080/00219266.2017.1285800
[35] M. Teplá, P. Teplý, P. Šmejkal, et al., “Influence of 3D models and animations on students in natural subjects,” International Journal of STEM Education, vol. 9, art. 65, 2022. https://doi.org/10.1186/s40594-022-00382-8
[36] K. J. Schönborn and S. Bögeholz, “Experts' views on translation across multiple external representations in acquiring biological knowledge about ecology, genetics, and evolution,” in Multiple Representations in Biological Education, 2013, pp. 147–164. https://doi.org/10.1007/978-94-007-4192-8_7
[37] C.-Y. Tsui and D. F. Treagust, “Genetics reasoning with multiple external representations,” Research in Science Education, vol. 33, pp. 111–135, 2003. https://doi.org/10.1023/A:1023685706290
[38] N. Gericke and S. Wahlberg, “Clusters of concepts in molecular genetics: A study of Swedish upper secondary science students understanding,” Journal of Biological Education, vol. 47, no. 2, pp. 73–83, 2013. https://doi.org/10.1080/00219266.2012.716785
[39] J. K. Gilbert and D. F. Treagust, Eds., Multiple Representations in Chemical Education. Dordrecht: Springer, 2009. https://doi.org/10.1007/978-1-4020-8872-8
[40] A. Paivio, Mental Representations: A Dual Coding Approach. Oxford: Oxford University Press, 1990. https://doi.org/10.1093/acprof:oso/9780195066661.001.0001