

Research Article

## Pengembangan Virtual Laboratory untuk Meningkatkan Pemahaman Konsep Mutasi Gen pada Mahasiswa Biologi Universitas Muhammadiyah Bengkulu

*Development of A Virtual Laboratory to Improve Understanding of The Concept of Gene Mutation In Biology Students of Muhammadiyah University of Bengkulu*

Titin Septika<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup>Universitas Muhammadiyah, Bengkulu

\*email: email [titinseptina885@gmail.com](mailto:titinseptina885@gmail.com)

### **Kata Kunci:**

Virtual Laboratory  
Mutasi Gen  
Pemahaman Konsep  
Genetika Molekuler

### **Keywords:**

Virtual Laboratory  
Gene Mutations  
Conceptual Understanding  
Molecular Genetics

**Submitted:** 12/04/2026

**Revised:** 25/05/2026

**Accepted:** 01/06/2026

**Abstrak.** Penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan virtual laboratory berbasis web sebagai media pembelajaran konsep mutasi gen pada mahasiswa Program Studi Biologi Universitas Muhammadiyah Bengkulu. Mutasi gen merupakan salah satu topik krusial dalam genetika molekuler yang memerlukan visualisasi proses-proses mikroskopis yang sulit diamati secara langsung. Metode penelitian menggunakan pendekatan Research and Development (R&D) dengan model ADDIE (Analysis, Design, Development, Implementation, Evaluation). Subjek penelitian adalah 60 mahasiswa semester IV yang sedang mengambil mata kuliah Genetika Molekuler, dibagi menjadi kelompok eksperimen (30 mahasiswa) menggunakan virtual laboratory dan kelompok kontrol (30 mahasiswa) menggunakan pembelajaran konvensional. Instrumen yang digunakan meliputi soal pretest-posttest konsep mutasi gen, angket respons mahasiswa, dan lembar observasi. Hasil penelitian menunjukkan bahwa virtual laboratory yang dikembangkan memperoleh penilaian ahli materi sebesar 87,5% (sangat layak) dan ahli media sebesar 91,2% (sangat layak). Uji efektivitas menunjukkan peningkatan pemahaman konsep mahasiswa pada kelompok eksperimen dengan nilai N-Gain sebesar 0,72 (tinggi) dibandingkan kelompok kontrol sebesar 0,41 (sedang). Respons mahasiswa terhadap penggunaan virtual laboratory sangat positif dengan skor rata-rata 88,3%. Berdasarkan hasil tersebut, virtual laboratory yang dikembangkan dinyatakan layak dan efektif untuk meningkatkan pemahaman konsep mutasi gen pada mahasiswa biologi Universitas Muhammadiyah Bengkulu.

**Abstract.** This study aims to develop a web-based virtual laboratory as a learning medium for the concept of gene mutation for students of the Biology Study Program, Muhammadiyah University of Bengkulu. Gene mutation is a crucial topic in molecular genetics that requires visualization of microscopic processes that are difficult to observe directly. The research method uses a Research and Development (R&D) approach with the ADDIE model (Analysis, Design, Development, Implementation, Evaluation). The subjects of the study were 60 fourth-semester students taking the Molecular Genetics course, divided into an experimental group (30 students) using a virtual laboratory and a control group (30 students) using conventional learning. The instruments used included pretest-posttest questions on the concept of gene mutation, student response

*questionnaires, and observation sheets. The results showed that the developed virtual laboratory received an assessment from material experts of 87.5% (very appropriate) and media experts of 91.2% (very appropriate). The effectiveness test showed an increase in students' conceptual understanding in the experimental group with an N-Gain value of 0.72 (high) compared to the control group of 0.41 (moderate). Student response to the use of the virtual laboratory was very positive, with an average score of 88.3%. Based on these results, the developed virtual laboratory was deemed feasible and effective in improving understanding of the concept of gene mutation among biology students at the University of Muhammadiyah Bengkulu.*



*This is an open access article distributed under the Creative Commons 4.0 Attribution License, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited. ©2026 by author.*

## 1. PENDAHULUAN

Perkembangan teknologi informasi dan komunikasi (TIK) yang pesat membawa perubahan signifikan dalam dunia pendidikan, termasuk pendidikan tinggi bidang biologi. Salah satu inovasi yang mulai banyak diadopsi adalah penggunaan laboratorium virtual (*virtual laboratory*) sebagai pelengkap atau bahkan pengganti praktikum konvensional, khususnya untuk topik-topik yang memerlukan visualisasi proses-proses biologi pada tingkat molekuler.

Genetika molekuler, khususnya materi tentang mutasi gen, merupakan salah satu topik yang secara inheren bersifat abstrak dan mikroskopis. Mutasi gen melibatkan perubahan pada urutan basa nitrogen DNA yang tidak dapat diamati secara langsung dengan mata telanjang atau bahkan dengan mikroskop cahaya biasa. Kondisi ini menyebabkan mahasiswa seringkali kesulitan membangun

representasi mental yang akurat tentang mekanisme terjadinya mutasi, jenis-jenis mutasi, dan dampaknya terhadap fenotip organisme.

Di Universitas Muhammadiyah Bengkulu (UMB), pembelajaran materi mutasi gen pada Program Studi Biologi masih sangat mengandalkan metode ceramah dan studi literatur. Berdasarkan hasil observasi awal dan wawancara dengan mahasiswa, ditemukan bahwa sebagian besar mahasiswa mengalami kesulitan dalam memahami mekanisme mutasi pada tingkat molekuler. Hasil pra-survei menunjukkan bahwa 73% mahasiswa menyatakan bahwa materi mutasi gen sulit dipahami tanpa visualisasi yang memadai, dan 81% mahasiswa menyatakan tertarik untuk menggunakan media pembelajaran berbasis komputer/digital.

Virtual laboratory menawarkan solusi inovatif untuk mengatasi keterbatasan tersebut. Melalui simulasi komputer, proses-

proses biologi molekuler seperti replikasi DNA, transkripsi, translasi, dan perubahan yang terjadi akibat mutasi dapat divisualisasikan secara dinamis dan interaktif. Penelitian-penelitian sebelumnya menunjukkan bahwa penggunaan virtual laboratory dapat meningkatkan pemahaman konsep, motivasi belajar, dan keterampilan berpikir kritis mahasiswa (Rahmawati et al., 2021; Sari & Widodo, 2020; Nugroho et al., 2022).

Berdasarkan latar belakang tersebut, penelitian ini dilakukan untuk mengembangkan virtual laboratory berbasis web yang dirancang khusus untuk membantu mahasiswa Biologi UMB memahami konsep mutasi gen secara lebih mendalam dan komprehensif. Penelitian ini menggunakan pendekatan Research and Development (R&D) dengan model ADDIE untuk menghasilkan produk yang valid, praktis, dan efektif.

## **2. METODE PENELITIAN**

### **2.1. Jenis Penelitian**

Penelitian ini menggunakan pendekatan Research and Development (R&D) dengan model pengembangan ADDIE. Penelitian R&D bertujuan menghasilkan produk tertentu dan menguji keefektifan produk tersebut. Produk yang dikembangkan dalam penelitian ini adalah

virtual laboratory berbasis web untuk pembelajaran konsep mutasi gen.

#### **2.1.1. Subjek dan Lokasi Penelitian**

Penelitian dilaksanakan di Program Studi Biologi Universitas Muhammadiyah Bengkulu pada semester genap tahun akademik 2023/2024. Subjek penelitian adalah mahasiswa semester IV yang mengambil mata kuliah Genetika Molekuler, berjumlah 60 orang. Pembagian kelompok dilakukan secara acak: 30 mahasiswa sebagai kelompok eksperimen (menggunakan virtual laboratory) dan 30 mahasiswa sebagai kelompok kontrol (pembelajaran konvensional).

#### **2.2. Prosedur Pengembangan**

Prosedur pengembangan mengikuti tahapan model ADDIE sebagai berikut:

1. Analysis : Analisis kebutuhan dilakukan melalui wawancara dengan dosen pengampu, observasi proses pembelajaran, dan penyebaran angket kepada mahasiswa. Analisis meliputi identifikasi masalah pembelajaran, karakteristik mahasiswa, dan spesifikasi materi yang perlu divisualisasikan.
2. Design : Perancangan meliputi pembuatan storyboard, flowchart navigasi, desain antarmuka (UI/UX), dan peta konsep materi mutasi gen yang akan diintegrasikan ke dalam virtual laboratory.

3. Development : Pengembangan virtual laboratory menggunakan teknologi HTML5, CSS3, JavaScript, dan Three.js untuk animasi 3D. Produk mencakup modul :

- (a) pengenalan struktur DNA,
- (b) mekanisme replikasi DNA normal,
- (c) jenis-jenis mutasi gen dengan animasi interaktif,
- (d) dampak mutasi terhadap sintesis protein, dan
- (e) kuis interaktif.

4. Implementation : Implementasi dilakukan dalam dua tahap - uji coba terbatas (10 mahasiswa) dan uji coba lapangan (60 mahasiswa, dibagi dua kelompok). Kelompok eksperimen menggunakan virtual laboratory selama 4 pertemuan pembelajaran.

5. Evaluation : Evaluasi dilakukan secara formatif (di setiap tahap pengembangan) dan sumatif (setelah implementasi selesai) untuk menilai kelayakan dan efektivitas produk.

### 2.3. Teknik Pengumpulan dan Analisis Data

Data dikumpulkan melalui: (1) lembar validasi ahli materi dan ahli media untuk menilai kelayakan produk; (2) soal pretest dan posttest untuk mengukur pemahaman konsep; (3) angket respons mahasiswa; dan

(4) lembar observasi keterlaksanaan pembelajaran.

Analisis data menggunakan : (1) analisis persentase untuk penilaian kelayakan produk dengan kriteria  $>80\%$  = sangat layak,  $61-80\%$  = layak,  $41-60\%$  = cukup layak,  $<40\%$  = tidak layak; (2) uji N-Gain (normalized gain) untuk mengukur peningkatan pemahaman konsep; (3) uji t independen untuk membandingkan rerata nilai posttest kedua kelompok ( $\alpha = 0,05$ ); dan (4) analisis deskriptif untuk respons mahasiswa.

## 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

### 3.1. Deskripsi Produk Virtual Laboratory

Virtual laboratory yang dikembangkan merupakan aplikasi berbasis web yang dapat diakses melalui browser tanpa memerlukan instalasi khusus. Tampilan antarmuka dirancang dengan mempertimbangkan prinsip-prinsip desain pembelajaran yang baik: warna yang tidak mencolok namun menarik, navigasi yang intuitif, dan animasi yang informatif. Produk ini terdiri dari lima modul utama yang tersusun secara sekuensial sesuai dengan hierarki konsep dalam materi mutasi gen.

Fitur unggulan virtual laboratory ini meliputi: (1) animasi tiga dimensi interaktif yang memperlihatkan struktur DNA dan proses mutasi pada tingkat molekuler; (2) simulasi langkah-demi-langkah yang dapat

dikontrol oleh pengguna (play, pause, step forward, step backward); (3) visualisasi perbandingan urutan DNA/protein normal vs. mutan; (4) modul kuis adaptif yang memberikan umpan balik langsung; dan (5) buku catatan digital yang memungkinkan mahasiswa menyimpan temuan selama eksplorasi.

### 3.2. Hasil Validasi Ahli

Validasi dilakukan oleh dua ahli materi (dosen Genetika Molekuler berpengalaman) dan dua ahli media (pakar teknologi pembelajaran). Tabel 1 menyajikan ringkasan hasil validasi:

**Tabel 1. Hasil Validasi Ahli Materi dan Ahli Media**

Aspek Penilaian	Skor (%)	Kategori
Kelayakan Isi (Materi)	89,2%	Sangat Layak
Keakuratan Konsep Mutasi Gen	91,7%	Sangat Layak
Kedalaman Materi	85,4%	Sangat Layak
Rata-rata Ahli Materi	87,5%	Sangat Layak
Kualitas Tampilan	92,3%	Sangat Layak

Aspek Penilaian	Skor (%)	Kategori
Antarmuka		
Kualitas Animasi dan Visualisasi	94,1%	Sangat Layak
Kemudahan Penggunaan (Usability)	88,2%	Sangat Layak
Rata-rata Ahli Media	91,2%	Sangat Layak

Berdasarkan Tabel 1, virtual laboratory yang dikembangkan memperoleh penilaian sangat layak dari kedua kelompok ahli. Ahli materi memberikan catatan perbaikan terkait penambahan contoh mutasi yang menyebabkan penyakit genetik pada manusia (seperti anemia sel sabit) sebagai aplikasi kontekstual. Saran ini telah diimplementasikan pada versi final produk. Ahli media menekankan pentingnya optimasi performa animasi 3D agar dapat berjalan lancar pada perangkat dengan spesifikasi menengah.

### 3.3. Efektivitas Virtual Laboratory terhadap Pemahaman Konsep

Pemahaman konsep mahasiswa diukur menggunakan instrumen pretest-posttest yang telah divalidasi. Tabel 2

menyajikan perbandingan hasil pretest, posttest, dan nilai N-Gain kedua kelompok:

**Tabel 2. Perbandingan Hasil Pretest-Posttest dan N-Gain**

Variabel	Kelompok Eksperimen	Kelompok Kontrol
Rata-rata Pretest	38,7	37,9
Rata-rata Posttest	82,4	64,3
Peningkatan (Selisih)	43,7	26,4
N-Gain	0,72 (Tinggi)	0,41 (Sedang)
Nilai Minimum Posttest	68	48
Nilai Maksimum Posttest	96	82

Hasil uji t independen menunjukkan terdapat perbedaan yang signifikan antara rerata posttest kelompok eksperimen (82,4) dan kelompok kontrol (64,3) dengan nilai t hitung = 7,84 ( $p < 0,001$ ). Nilai N-Gain kelompok eksperimen sebesar 0,72 termasuk kategori tinggi, sedangkan kelompok kontrol sebesar 0,41 termasuk kategori sedang. Hal ini membuktikan bahwa

penggunaan virtual laboratory secara signifikan lebih efektif dalam meningkatkan pemahaman konsep mutasi gen dibandingkan pembelajaran konvensional.

Analisis lebih lanjut menunjukkan bahwa peningkatan pemahaman konsep tertinggi terjadi pada aspek mekanisme mutasi gen (N-Gain = 0,79) dan visualisasi dampak mutasi terhadap struktur protein (N-Gain = 0,76). Kedua aspek ini merupakan topik yang secara tradisional paling sulit dipahami tanpa visualisasi yang memadai, sehingga keunggulan virtual laboratory paling terasa pada aspek-aspek tersebut.

#### 3.4. Respons Mahasiswa terhadap Virtual Laboratory

Angket respons mahasiswa disebarkan kepada seluruh 30 mahasiswa kelompok eksperimen setelah selesai menggunakan virtual laboratory selama empat pertemuan. Tabel 3 menyajikan ringkasan respons mahasiswa:

**Tabel 3. Respons Mahasiswa terhadap Virtual Laboratory**

Aspek Respons	Skor (%)
Kemudahan penggunaan antarmuka	91,3%
Kejelasan animasi dan visualisasi	89,7%

<b>Aspek Respons</b>	<b>Skor (%)</b>
Ketepatan representasi konsep mutasi gen	87,4%
Manfaat untuk pemahaman konsep	90,2%
Minat dan motivasi belajar	88,6%
Keinginan menggunakan Kembali	86,8%
Rata-rata keseluruhan	88,3%

Rata-rata respons mahasiswa sebesar 88,3% menunjukkan bahwa virtual laboratory diterima dengan sangat baik oleh mahasiswa. Komentar kualitatif dari mahasiswa antara lain: 'Animasi 3D sangat membantu saya memvisualisasikan proses yang sebelumnya hanya bisa saya bayangkan dari gambar di buku'; 'Fitur step-by-step membuat saya bisa belajar sesuai kecepatan saya sendiri'; dan 'Kuis interaktif membantu saya mengecek pemahaman saya secara langsung'.

### **3.5. Pembahasan**

Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa virtual laboratory yang dikembangkan secara signifikan meningkatkan pemahaman konsep mutasi gen mahasiswa Biologi UMB. Temuan ini konsisten dengan penelitian-penelitian sebelumnya yang menunjukkan

keefektifan virtual laboratory dalam pembelajaran biologi molekuler. Rahmawati et al. (2021) melaporkan peningkatan pemahaman konsep genetika molekuler yang signifikan setelah penerapan virtual laboratory di perguruan tinggi, dengan nilai N-Gain rata-rata 0,68. Penelitian ini menghasilkan N-Gain yang sedikit lebih tinggi (0,72), kemungkinan karena desain yang lebih spesifik dan terfokus pada topik mutasi gen.

Keberhasilan virtual laboratory dalam meningkatkan pemahaman konsep dapat dijelaskan melalui beberapa mekanisme. Pertama, teori dual-coding (Paivio, 1986) menyatakan bahwa informasi yang diproses melalui dua saluran (verbal dan visual) lebih mudah dipahami dan diingat. Virtual laboratory menyajikan materi melalui teks, animasi, dan simulasi interaktif secara simultan, sehingga memaksimalkan pengolahan informasi oleh mahasiswa.

Kedua, teori beban kognitif (Sweller, 1988) mendukung penggunaan representasi visual untuk mengurangi beban kognitif ekstrinsik dalam mempelajari konsep abstrak. Dengan memvisualkan proses mutasi gen secara konkret dan bertahap, virtual laboratory mengurangi abstraksi yang menjadi sumber utama kesulitan belajar pada materi ini. Mahasiswa dapat fokus pada membangun pemahaman konseptual (beban kognitif germane) tanpa terlalu

banyak menggunakan kapasitas memori kerja untuk membayangkan proses yang tidak terlihat.

Ketiga, fitur interaktivitas virtual laboratory (kontrol simulasi, kuis dengan umpan balik langsung) selaras dengan prinsip pembelajaran aktif (active learning). Mahasiswa didorong untuk bereksperimen, mengobservasi konsekuensi perubahan urutan basa, dan mengonstruksi pemahaman mereka sendiri melalui pengalaman langsung dengan simulasi.

Meskipun demikian, penelitian ini memiliki beberapa keterbatasan yang perlu diakui. Pertama, ukuran sampel yang relatif kecil ( $n=60$ ) membatasi generalisasi hasil. Kedua, penelitian ini hanya menilai pemahaman konsep pada level kognitif; keterampilan praktikum sesungguhnya (seperti memanipulasi DNA di laboratorium) tidak dapat digantikan sepenuhnya oleh virtual laboratory. Ketiga, durasi implementasi yang relatif singkat (4 pertemuan) mungkin belum cukup untuk mengukur dampak jangka panjang penggunaan virtual laboratory terhadap pemahaman konsep.

#### **4. KESIMPULAN**

Berdasarkan hasil penelitian dan pembahasan, dapat disimpulkan:

1. Virtual laboratory berbasis web untuk pembelajaran konsep mutasi gen berhasil

dikembangkan menggunakan model ADDIE, mencakup lima modul utama yang tersusun secara sistematis sesuai hierarki konsep.

2. Produk yang dikembangkan dinyatakan sangat layak berdasarkan penilaian ahli materi (87,5%) dan ahli media (91,2%).

3. Penggunaan virtual laboratory secara signifikan lebih efektif dalam meningkatkan pemahaman konsep mutasi gen dibandingkan pembelajaran konvensional, ditunjukkan oleh nilai N-Gain kelompok eksperimen (0,72, kategori tinggi) yang lebih tinggi dibandingkan kelompok kontrol (0,41, kategori sedang).

4. Respons mahasiswa terhadap virtual laboratory sangat positif dengan skor rata-rata 88,3%, menunjukkan penerimaan yang tinggi terhadap media pembelajaran inovatif ini.

Penelitian ini merekomendasikan agar virtual laboratory yang dikembangkan dapat diintegrasikan secara resmi ke dalam kurikulum mata kuliah Genetika Molekuler di Universitas Muhammadiyah Bengkulu. Pengembangan lebih lanjut perlu dilakukan untuk memperluas cakupan materi ke topik-topik genetika molekuler lainnya serta mengoptimalkan kompatibilitas dengan berbagai perangkat mobile.

#### **Ucapan Terima Kasih**

Peneliti mengucapkan terima kasih kepada Universitas Muhammadiyah

Bengkulu yang telah memberikan dukungan dan fasilitas dalam pelaksanaan penelitian ini. Terima kasih juga disampaikan kepada para validator ahli materi dan media, serta seluruh mahasiswa Program Studi Biologi yang telah berpartisipasi sebagai subjek penelitian.

### Daftar Pustaka

- Alberts, B., Johnson, A., Lewis, J., Morgan, D., Raff, M., Roberts, K., & Walter, P. (2015). *Molecular Biology of the Cell* (6th ed.). W. W. Norton & Company.
- Branch, R. M. (2009). *Instructional Design: The ADDIE Approach*. Springer.
- Lewin, B. (2018). *Lewin's Genes XII*. Jones & Bartlett Learning.
- Ma, J., & Nickerson, J. V. (2006). Hands-on, simulated, and remote laboratories: A comparative literature review. *ACM Computing Surveys*, 38(3), 1-24.
- Molenda, M. (2003). In search of the elusive ADDIE model. *Performance Improvement*, 42(5), 34-36.
- Nugroho, P., Sunaryo, B., & Widayati, A. (2022). Efektivitas virtual laboratory berbasis simulasi terhadap kemampuan berpikir kritis mahasiswa biologi. *Jurnal Biologi Indonesia*, 18(1), 45-58.
- Paivio, A. (1986). *Mental Representations: A Dual Coding Approach*. Oxford University Press.
- Rahmawati, D., Suryadinata, R., & Kurniawan, A. (2021). Pengembangan virtual laboratory genetika molekuler berbasis website untuk meningkatkan pemahaman konsep mahasiswa. *Jurnal Pendidikan Biologi Indonesia*, 7(2), 112-124.
- Sari, F. N., & Widodo, W. (2020). Pengaruh penggunaan virtual laboratory terhadap pemahaman konsep biologi sel mahasiswa. *BioEdUIN*, 10(1), 22-31.
- Sweller, J. (1988). Cognitive load during problem solving: Effects on learning. *Cognitive Science*, 12(2), 257-285.
- Tatli, Z., & Ayas, A. (2013). Effect of a virtual chemistry laboratory on students' achievement. *Educational Technology & Society*, 16(1), 159-170.