



Pengembangan Multimedia Interaktif Laboratorium Virtual Praktikum Simulasi Uji DNA Pada Kelas XI di SMA Negeri 1 Banjar

Putu Ananda Pradnya Paramitha¹, I Nyoman Indhi Wiradika², I Nengah Eka Mertayasa³

^{1,2,3}Program Studi Pendidikan Teknik Informatika, Fakultas Teknik dan Kejuruan, Universitas Pendidikan Ganesha

¹ananda.pradnya@undiksha.ac.id, ²iwiradika@undiksha.ac.id, ³eka.mertayasa@undiksha.ac.id

Abstrak

Materi genetika, khususnya pada praktikum simulasi uji DNA, merupakan salah satu materi biologi yang bersifat abstrak sehingga membutuhkan pengalaman belajar berbasis praktikum agar dapat dipahami secara optimal oleh peserta didik. Namun, kondisi pembelajaran di lapangan menunjukkan bahwa pelaksanaan praktikum uji DNA di sekolah sering mengalami berbagai kendala, seperti keterbatasan alat dan bahan di laboratorium fisik, keterbatasan waktu, serta jumlah siswa yang cukup banyak, sehingga proses pembelajaran belum dapat berlangsung secara maksimal dan merata. Kondisi tersebut berdampak pada rendahnya keterlibatan siswa serta kurang optimalnya pemahaman konsep genetika. Penelitian ini bertujuan untuk menghasilkan multimedia interaktif laboratorium virtual praktikum simulasi uji DNA pada kelas XI di SMA Negeri 1 Banjar serta mengetahui respon peserta didik terhadap media pembelajaran yang dikembangkan. Penelitian ini menggunakan metode Research and Development (R&D) dengan model pengembangan 4-D yang meliputi tahapan Define, Design, Development, dan Disseminate. Multimedia interaktif laboratorium virtual dikembangkan menggunakan perangkat lunak Adobe Animate dengan dukungan Adobe Illustrator dan Figma, serta dirancang berbasis web agar mudah diakses oleh peserta didik kapan pun dan di mana pun. Hasil penelitian menunjukkan bahwa multimedia interaktif laboratorium virtual yang dikembangkan dinyatakan sangat valid dengan rata-rata koefisien validasi ahli isi dan ahli media sebesar 1,00. Uji respon siswa menunjukkan hasil dengan kategori "Sangat Baik". Dengan demikian, multimedia interaktif laboratorium virtual ini dinilai layak digunakan dan berpotensi membantu meningkatkan pemahaman konsep, keterampilan proses sains, serta motivasi belajar siswa dalam mempelajari materi genetika.

Kata kunci: Genetika, Multimedia Interaktif, Laboratorium Virtual, Biologi, 4-D, Simulasi Uji DNA

1. Latar Belakang

Seiring dengan kemajuan ilmu pengetahuan dan inovasi yang saat ini menunjukkan perubahan yang sangat cepat, khususnya di bidang pendidikan [1]. Hal ini merupakan tuntutan zaman, sehingga dilakukan banyak perubahan mulai dari kerangka pengajaran ke sistem pembelajaran [2]. Proses pembelajaran merupakan kegiatan yang dilakukan oleh dua pihak yaitu guru sebagai fasilitator dan siswa sebagai pembelajaran perantara untuk menyampaikan pesan berupa kognitif, afektif, dan psikomotorik dalam penyampaian pesan tersebut diperlukan perantara agar nilai dan penyampaian pengetahuan dapat tercapai dengan tepat sasarnya, perantara tersebut merupakan media dan sumber-sumber belajar yang sangat menunjang dan memengaruhi keberhasilan belajarnya [3]. Pendidikan di era digital menuntut hadirnya inovasi dalam media pembelajaran yang mampu menyesuaikan dengan kebutuhan siswa yang semakin akrab dengan teknologi [4]. Salah satu aspek yang penting yang dapat memberikan pengaruh besar adalah penggunaan media pembelajaran yang sesuai dengan karakteristik siswa [5]. Maka diperlukan media pembelajaran yang dirancang serta dapat mengikuti kemajuan ilmu pengetahuan dan inovasi [6]. Pada pembelajaran biologi khususnya pada uji DNA menekankan pengalaman praktikum karena banyak konsep yang bersifat abstrak. Ketercapaian kompetensi ilmiah siswa menuntut adanya media pembelajaran yang tepat dan adaptif. Multimedia interaktif, seperti laboratorium virtual, mampu mensimulasikan kegiatan praktikum secara interaktif sehingga membantu meningkatkan pemahaman konsep, motivasi belajar, dan keterampilan proses sains siswa meskipun tanpa laboratorium fisik. Multimedia telah banyak digunakan oleh

perusahaan untuk menyampaikan bahan pelatihan kepada karyawannya, juga oleh para guruku dan dosen untuk menyampaikan materi ajarnya kepada para siswa dan mahasiswa [7].

Hasil wawancara dengan guru dan siswa SMA Negeri 1 Banjar menunjukkan bahwa praktikum uji DNA belum terlaksana secara optimal akibat keterbatasan alat dan bahan laboratorium, sehingga tidak semua siswa dapat berpartisipasi aktif. Kondisi ini menyebabkan rendahnya keterlibatan, minat, dan pemahaman siswa terhadap materi genetika. Hasil survei menunjukkan 59,1% siswa sangat tertarik dan 40,9% siswa cukup tertarik terhadap penggunaan laboratorium virtual, yang menandakan kebutuhan akan media pembelajaran interaktif mampu menghadirkan pengalaman praktikum secara virtual agar pembelajaran lebih bermakna.

Berdasarkan hal tersebut, penelitian ini berfokus pada pengembangan multimedia interaktif laboratorium virtual praktikum simulasi uji DNA pada kelas XI di SMA Negeri 1 Banjar, dengan tujuan untuk:

- Menghasilkan multimedia interaktif laboratorium virtual praktikum simulasi uji DNA pada kelas XI di SMA Negeri 1 Banjar
- Mengetahui respon pengguna multimedia interaktif laboratorium virtual praktikum simulasi uji DNA di SMA Negeri 1 Banjar

Dengan pendekatan ini, diharapkan multimedia interaktif laboratorium virtual yang dikembangkan dapat menjadi media pembelajaran yang efisien dan interaktif.

2. Metode Penelitian

Pada penelitian ini menggunakan metode penelitian *Research and Development* (R&D) karena bertujuan untuk menghasilkan produk serta menguji produk tersebut. metode ini bertujuan untuk menghasilkan produk melalui proses penemuan potensi masalah, mendesain dan mengembangkan suatu produk sebagai solusi terbaik [8]. Model pengembangan yang digunakan 4-D (*Four-D Models*), yang terdiri dari empat tahapan yaitu, define, design, development, disseminate. Selain itu model pengembangan 4-D sangat cocok digunakan untuk pengembangan media pembelajaran karena dapat memberikan langkah-langkah yang jelas dimulai dari perencanaan hingga implementasi produk [9]. Berikut alur dari tahapan model pengembangan 4-D [10].



Gambar 1. Tahapan Model 4-D

2.1. Define

Tahap awal pada model pengembangan ini yaitu *define* (Pendefinisian) atau bisa disebut tahap perencanaan dalam proses pengembangan media pembelajaran. Tahap ini membantu dan menjelaskan kebutuhan serta mengumpulkan informasi terkait dengan hal-hal yang akan dikembangkan dalam produk yang akan dibuat. Tahap ini dilakukan analisis awal mengenai analisis kebutuhan, analisis siswa, analisis tugas, analisis konsep dan perumusan tujuan pembelajaran.

2.2. Design

Tahap *design* (Perancangan) membantu dalam menentukan desain yang akan diterapkan, yang dimulai dengan pemilihan media dan rancangan media. Media yang peneliti ingin kembangkan adalah laboratorium virtual. Tahap ini juga bertujuan untuk merancang awal laboratorium virtual dengan berdasarkan hasil analisis pada tahap define.

2.3. Development

Pada tahap *development* (Pengembangan) adalah tahap dimana media pembelajaran dikembangkan atau dibuat dengan berdasarkan desain yang telah disusun di tahap sebelumnya. Pada tahap ini juga bertujuan untuk menghasilkan draf final perangkat pembelajaran yang baik serta pada tahap ini juga dilakukan validasi ahli, revisi produk, uji coba produk, lalu yang terakhir menghasilkan produk akhir.

2.4. Disseminate

Tahap *disseminate* merupakan tahap penyebarluasan produk yang telah dikembangkan dan dinyatakan layak. Pada tahap ini, multimedia interaktif laboratorium virtual disosialisasikan dan diperkenalkan kepada guru dan siswa sebagai media pembelajaran pendukung pada materi uji DNA. Penyebarluasan dilakukan secara terbatas dengan tujuan agar media dapat dimanfaatkan dalam proses pembelajaran

3. Hasil dan Diskusi

Penelitian dan pengembangan yang menggunakan model 4-D (Four-D Model) ini menghasilkan sebuah produk berupa multimedia interaktif laboratorium virtual praktikum simulasi uji DNA bagi siswa kelas XI di SMA Negeri 1 Banjar. Media tersebut dikembangkan untuk mengatasi keterbatasan sarana dan prasarana laboratorium fisik di sekolah. Multimedia interaktif ini dirancang berbasis web dengan mengintegrasikan teks, gambar, dan simulasi praktikum virtual yang interaktif, sehingga mampu menghadirkan pengalaman belajar yang menarik, informatif, dan mendekati pelaksanaan praktikum uji DNA di laboratorium nyata.

3.1 Hasil Define

Tahap *define* dalam pengembangan ini meliputi analisis kebutuhan, analisis siswa, analisis tugas, analisis konsep, dan perumusan tujuan pembelajaran. Analisis kebutuhan dilakukan melalui wawancara dengan guru biologi kelas XI SMA Negeri 1 Banjar yang menunjukkan bahwa pembelajaran genetika masih bersifat teoritis, media pembelajaran terbatas, serta praktikum uji DNA belum terlaksana optimal akibat keterbatasan alat, bahan, dan kapasitas laboratorium. Analisis siswa melalui angket kepada 22 siswa menunjukkan bahwa sebagian besar siswa jarang melakukan praktikum, belum familiar dengan laboratorium virtual, namun memiliki minat dan ketertarikan tinggi terhadap penggunaan laboratorium virtual karena dinilai interaktif, menarik, dan dapat dikombinasikan dengan praktikum langsung, sejalan dengan karakteristik siswa yang cenderung bergaya belajar kinestetik. Berdasarkan analisis tersebut, dikembangkan multimedia interaktif laboratorium virtual yang memuat materi genetika dan simulasi praktikum uji DNA menggunakan sampel buah. Analisis konsep disesuaikan dengan Kurikulum Merdeka dan capaian pembelajaran terkait analisis hubungan struktur dan fungsi gen, DNA, dan kromosom, yang selanjutnya dirumuskan menjadi tujuan pembelajaran sebagai dasar perancangan multimedia interaktif laboratorium virtual untuk membantu siswa memahami konsep genetika, mengembangkan keterampilan berpikir ilmiah, serta meningkatkan keaktifan dan motivasi belajar.

3.2 Hasil Design

Tahap *design* bertujuan untuk merancang multimedia interaktif laboratorium virtual melalui beberapa langkah, yaitu pemilihan media, penyusunan materi, pemilihan format, dan perancangan awal. Media yang dipilih berupa laboratorium virtual karena mampu memfasilitasi praktikum simulasi uji DNA yang belum terlaksana optimal akibat keterbatasan alat dan bahan, serta sesuai dengan karakteristik siswa yang menyukai pembelajaran aktif berbasis teknologi. Materi pembelajaran disusun secara sistematis berdasarkan capaian dan tujuan pembelajaran Kurikulum Merdeka pada materi genetika kelas XI, mencakup gen, kromosom, DNA, dan praktikum virtual uji DNA yang dikemas dalam bentuk teks ringkas, gambar, dan simulasi interaktif. Format media meliputi halaman awal, capaian pembelajaran, petunjuk penggunaan, materi, praktikum virtual (alat, bahan, dan pelaksanaan), serta evaluasi. Rancangan awal media disusun dalam bentuk struktur navigasi dan integrasi komponen multimedia yang divisualisasikan melalui storyboard sebagai acuan pengembangan selanjutnya.

3.3 Hasil Development

Tahap *develop* merupakan tahap pengembangan multimedia interaktif laboratorium virtual berdasarkan rancangan awal yang telah disusun, yang meliputi pembuatan produk, validasi ahli, revisi, uji coba, hingga menghasilkan produk akhir. Pada tahap pembuatan, rancangan awal direalisasikan menjadi produk nyata berupa laboratorium virtual dengan menggunakan perangkat lunak Adobe Animate yang mengintegrasikan teks, gambar, audio, dan unsur interaktivitas sesuai storyboard, sehingga media siap untuk divalidasi dan diuji coba.



Gambar 2. Halaman Awal Laboratorium Virtual

DOI: <https://doi.org/10.31004/riggs.v4i4.5041>

Lisensi: Creative Commons Attribution 4.0 International (CC BY 4.0)



Gambar 3. Halaman Utama Laboratorium Virtual



Gambar 4. Halaman Menu KD/CP



Gambar 5. Halaman Menu Petunjuk Bagian 1



Gambar 6. Halaman Menu Petunjuk Bagian 2



Gambar 7. Halaman Menu Materi Bagian 1



Gambar 8. Halaman Menu Materi Bagian 2



Gambar 9. Halaman Menu Praktikum

Tahap selanjutnya yaitu validasi media/produk kepada para ahli yaitu dua orang ahli materi dan dua orang ahli media, untuk memberikan penilaian serta saran terhadap multimedia interaktif laboratorium virtual yang dikembangkan sehingga diketahui kekurangan media/produk tersebut.

- Uji Ahli Isi

Uji ahli isi dilakukan bertujuan untuk menilai kesesuaian dan kelayakan konten yang terdapat dalam multimedia interaktif laboratorium virtual. Pada uji ahli isi melibatkan dua orang penguji yang pertama oleh guru biologi SMA Negeri 1 Banjar sedangkan uji ahli isi yang kedua oleh Dosen Prodi Biologi. Adapun hasil tahapan mendapatkan kesesuaian dengan skor 1,00 yang termasuk dalam kategori validitas “Sangat Tinggi”, dengan melakukan satu kali pengujian.

Tabel 1 Hasil Tabulasi Silang Ahli Isi

Tabulasi Silang		Penilai 1	
		Tidak Relevan Skor 0	Relevan Skor 1
Penilai 2	Tidak Relevan Skor 0	(A)	(C)
	Relevan Skor 1	(B)	(D) (9)

Hasil tabulasi penilaian dari uji ahli selanjutnya dianalisis menggunakan rumus Gregory untuk mengetahui tingkat kesepakatan antar penilai. Analisis ini dilakukan guna memastikan bahwa instrumen yang digunakan memiliki konsistensi dan validitas yang memadai sebelum diterapkan pada tahap uji respon siswa. Rumus Gregory digunakan sebagai dasar dalam perhitungan pada proses validasi.

$$\text{Validitas Isi} = \frac{D}{A+B+C+D} = \frac{9}{0+0+0+9} = 1,00 \quad (1)$$

Dalam persamaan tersebut, D merupakan jumlah penilaian yang sesuai antar kedua ahli, sedangkan A, B, dan C merupakan jumlah penilaian yang tidak sesuai antar kategori. Hasil uji ahli isi diatas mendapatkan koefisien validitas yaitu 1,00 yang berada pada urutan validitas “Sangat Tinggi” sehingga produk layak untuk diuji coba.

Tabel 2. Tingkat Hasil Penilaian

Koefisien Validitas	Validitas	Hasil
0,81 – 1,00	Sangat Tinggi	
0,61 – 0,90	Tinggi	
0,41 – 0,70	Cukup	
0,21 – 0,40	Rendah	1.00
0,01 – 0,20	Sangat Rendah	

- Uji Ahli Media

Uji ahli media bertujuan untuk mengetahui menilai kualitas multimedia interaktif laboratorium virtual dari aspek visual, kemudahan navigasi, dan interaktivitas media. Pada uji ahli media melibatkan dua orang penguji yakni dosen dari Program Studi Pendidikan Teknik Informatika. Proses uji ahli media dilakukan sebanyak dua kali pengujian untuk mendapatkan skor 1,00 yang termasuk dalam kategori validitas “Sangat Tinggi”.

Tabel 3. Hasil Tabulasi Silang Ahli Media Tahap 1

Tabulasi Silang		Penilai 1	
		Tidak Relevan Skor 0	Relevan Skor 1
Penilai 2	Tidak Relevan Skor 0	(A)	(C)
	Relevan Skor 1	(B) (2)	(D) (12)

Tabel 4. Hasil Tabulasi Silang Ahli Media Tahap 2

Tabulasi Silang		Penilai 1	
		Tidak Relevan Skor 0	Relevan Skor 1
Penilai 2	Tidak Relevan Skor 0	(A)	(C)
	Relevan Skor 1	(B)	(D) (14)

$$\text{Validasi Media (Tahap I)} = \frac{D}{A+B+C+D} = \frac{12}{0+0+2+12} = 0,86 \quad (2)$$

$$\text{Validasi Media (Tahap II)} = \frac{D}{A+B+C+D} = \frac{14}{0+0+0+14} = 1,00 \quad (3)$$

Dalam persamaan tersebut, D merupakan jumlah penilaian yang sesuai antar kedua ahli, sedangkan A, B, dan C merupakan jumlah penilaian yang tidak sesuai antar kategori. Hasil uji ahli media diatas mendapatkan koefisien validitas yaitu 1,00 yang berada pada urutan validitas “Sangat Tinggi” sehingga produk layak untuk diuji coba.

Tabel 5. Tingkat Hasil Penilaian

Koefisien Validitas	Validitas	Hasil
0,81 – 1,00	Sangat Tinggi	
0,61 – 0,90	Tinggi	
0,41 – 0,70	Cukup	
0,21 – 0,40	Rendah	1,00
0,01 – 0,20	Sangat Rendah	

- Uji Respon Siswa

Uji coba produk pada penelitian ini dilakukan dengan mengujikan hasil produk berupa laboratorium virtual pada materi genetik khususnya uji DNA kepada subjek penelitian yaitu siswa kelas XI SMA Negeri Banjar. Pengumpulan data respon siswa dilakukan dengan menyebarkan angket kuesioner kepada 35 siswa kelas XI. Respon yang diberikan oleh siswa menjadi indicator penting dalam menilai Tingkat penerimaan dan pemahaman siswa terhadap media. Hasil uji respon digunakan sebagai dasar bagi peneliti untuk melakukan penyempurnaan media agar lebih sesuai dengan kebutuhan siswa sebagai pengguna utama. Kuesioner uji respon siswa terdiri atas 13 pernyataan yang disusun menggunakan skala likert dengan rentang skor 1 sebagai skor terendah dan 5 sebagai skor tertinggi. Pernyataan dalam kuesioner mencakup lima aspek penilaian, yaitu aspek kognitif, aspek interaktif, aspek menarik, aspek efisien, dan aspek kreatif.

Hasil penilaian uji respon siswa disajikan pada bagian berikut.

Tabel 6. Hasil Uji Respon Siswa

	Aspek yang dinilai					Jumlah Skor Per-Responden
	1	2	3	4	5	
Skor	443	758	293	142	299	1.936
Skor Maksimum Ideal			65			
Skor Minimum Ideal			13			
M_i			39			
SD_i			8,7			
\bar{x}			55,31			
Kriteria			Sangat Baik			

Berdasarkan hasil penilaian dari uji respon siswa yang dipaparkan pada table 6 diatas, maka diperoleh sebagai berikut:

Hasil Perhitungan Rata-rata

$$\bar{x} = \frac{\Sigma x}{n} = \frac{1.936}{35} = 55,31 \quad (4)$$

Keterangan:

\bar{x} = rata-rata kelas untuk skor respons

Σ = jumlah skor respons siswa

n = banyak responden

Hasil Perhitungan *Mean Ideal* (M_i) (5)

$$M_i = \frac{1}{2} (\text{Skor Tertinggi} + \text{Skor Terendah})$$

$$M_i = \frac{1}{2} (65 + 13) = 39$$

Hasil Perhitungan *Standar Deviasi Ideal* (SD_i) (6)

$$SD_i = \frac{1}{6} (\text{Skor Tertinggi} - \text{Skor Terendah})$$

$$SD_i = \frac{1}{6} (65 - 13) = 8,7$$

Selanjutnya rerata \bar{x} skor respon dari siswa akan digolongkan seperti berikut:

Tabel 7. Hasil Kriteria Penggolongan Respon Siswa

No	Interval Nilai	Kriteria
1.	$52,05 \leq \bar{x}$	Sangat Baik
2.	$43,35 \leq \bar{x} < 52,05$	Baik
3.	$34,65 \leq \bar{x} < 43,35$	Cukup Baik
4.	$25,95 \leq \bar{x} < 34,65$	Tidak Baik
5.	$\bar{x} < 25,95$	Sangat Tidak Baik

Hasil pada perhitungan menunjukkan skor rata-rata dengan skor 55,31, yang dikonversi ke tabel kriteria penggolongan respon siswa. Dari kriteria tersebut, hasil uji respon siswa terhadap multimedia interaktif laboratorium virtual pada materi genetik khususnya pada uji DNA menunjukkan kategori “Sangat Baik”. Maka dari itu dapat disimpulkan bahwa media pembelajaran yang dibuat telah menerima respon yang baik dari siswa, sehingga media ini layak untuk di implementasikan dalam proses pembelajaran di sekolah.

3.4 Hasil *Disseminate*

Tahap disseminate merupakan tahap akhir dalam proses pengembangan multimedia interaktif laboratorium virtual. Pada tahap ini, produk laboratorium virtual disebarluaskan ke sekolah tempat penilaian, yaitu SMA Negeri 1 Banjar, agar dapat dimanfaatkan oleh guru dalam kegiatan pembelajaran. Laboratorium virtual diserahkan kepada guru mata Pelajaran biologi dalam bentuk tautan (link) yang dapat dibagikan kepada siswa. Selanjutnya, siswa dapat mengakses laboratorium virtual secara daring melalui tautan tersebut menggunakan smartphone atau laptop/PC.

4. Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian dan pembahasan, dapat disimpulkan bahwa penelitian dan pengembangan ini berhasil menghasilkan multimedia interaktif laboratorium virtual praktikum simulasi uji DNA untuk siswa kelas XI SMA Negeri 1 Banjar dengan menggunakan model pengembangan 4-D. Hasil uji validasi oleh ahli materi dan ahli media menunjukkan tingkat kevalidan dengan koefisien sebesar 1,00 yang berada pada kualifikasi sangat tinggi, sehingga media dinyatakan layak untuk diuji cobakan kepada siswa. Selain itu, hasil respon siswa terhadap penggunaan multimedia interaktif laboratorium virtual memperoleh nilai rata-rata sebesar 55,31 dengan kriteria sangat baik, yang menandakan bahwa media ini layak dan dapat diimplementasikan dalam proses pembelajaran biologi di sekolah.

Referensi

- [1] Agustini, K., & Gede Ngarti, J. (n.d.). Pengembangan Video Pembelajaran Untuk Meningkatkan Motivasi Belajar Siswa Menggunakan Model R&D. <https://doi.org/https://doi.org/10.23887/jipp.v4i1.18403>
- [2] Pradnyana, A. I. K., Agustini, K., & Santyasa, I. W. (2021). Pengembangan E-Modul Interaktif Kolaboratif Pada Mata. *Jurnal Jendela Pendidikan*, 01. <https://www.ejournal.jendelaedukasi.id/index.php/JJP>
- [3] Danyati, A., Bulqis Saputri, I., Wijaya, R., Aqila Septiyani, S., & Setiawan, U. (2023). Konsep Dasar Media Pembelajaran Ricken Wijaya STAI DR.KHEZ Muttaqien Purwakarta. In *Journal of Student Research (JSR)* (Vol. 1, Issue 1). <https://doi.org/https://doi.org/10.55606/jsr.v1i1.993>
- [4] Mertayasa, E. I. N., Subawa, B. I. G., & Pradnyana, A. I. K. (2025). *Gamifikasi dalam Kelas Informatika: Strategi Inovatif Untuk Meningkatkan Motivasi dan Keterlibatan Siswa*. Volume 14. <https://doi.org/https://doi.org/10.23887/karmapati.v14i2.104108>
- [5] Saraswati, N. L. P. A., & Mertayasa, E. (n.d.). Pembelajaran Praktikum Kimia Pada Masa Covid-19: Qualitative Content Analysis Kecenderungan Pemanfaatan Teknologi Daring. In *Okttober* (Vol. 14, Issue 2).
- [6] Pradnyana, A. I. K., Subawa, B. I. G., & Mertayasa, E. I. N. (2025). Pengembangan Multimedia Gamifikasi Kolaboratif Untuk Meningkatkan Keterampilan Berpikir Kritis Siswa Pada Mata Pelajaran Sistem Komputer. *Kumpulan Artikel Mahasiswa Pendidikan Teknik Informatika (KARMAPATI)*, 14(2).
- [7] Islahulben, I., & Widayati, C. C. (2021). *Peran Multimedia Dalam Perkuliahan E-Learning: Kajian Penerapan Dalam Proses Pembelajaran di Perguruan Tinggi*. 2(4). <https://doi.org/10.31933/jemsi.v2i4>
- [8] Waruwu, M. (2024). Metode Penelitian dan Pengembangan (R&D): Konsep, Jenis, Tahapan dan Kelebihan. *Jurnal Ilmiah Profesi Pendidikan*, 9(2), 1220–1230. <https://doi.org/10.29303/jipp.v9i2.2141>
- [9] Arkadiantika, I., Ramansyah, W., Effindi, M. A., & Dellia, P. (2020). Pengembangan Media Pembelajaran Virtual Reality Pada Materi Pengenalan Termination dan Splicing Fiber Optic. *Jurnal Dimensi Pendidikan Dan Pembelajaran*, 8(1), 29. <https://doi.org/10.24269/dpp.v0i0.2298>
- [10] Gogahu, D. G. S., & Prasetyo, T. (2020). Pengembangan Media Pembelajaran Berbasis E-Bookstory untuk Meningkatkan Literasi Membaca Siswa Sekolah Dasar. *Jurnal Basicedu*, 4(4), 1004–1015. <https://doi.org/10.31004/basicedu.v4i4.493>
- [11] Alghiffari, E. K., Alam, S. R., & Siswanto, D. H. (2024). *Tren-Publikasi-Terkait-Model-Pengembangan-4D-pada-Pendidikan*. <https://doi.org/10.9000/jpt.v3i5.2021>
- [12] Alya Febrina Nasution, Kartika Manalu, & Miza Nina Adlini. (2023). Pengembangan Virtual Laboratory Biology Pada Praktikum Pengamatan Protista Kelas X SMA. *Khatulistiwa: Jurnal Pendidikan Dan Sosial Humaniora*, 3(3), 291–303. <https://doi.org/10.55606/khatulistiwa.v3i3.2217>
- [13] Bogar, D. Y., Jufriansah, A., & Prasetyo, E. (2023a). Pengembangan Laboratorium Virtual untuk Meningkatkan Hasil Belajar Peserta Didik. *Buletin Edukasi Indonesia*, 2(03), 102–112. <https://doi.org/10.56741/bei.v2i03.397>
- [14] Clark, J. M., & Paivio, A. (1991). Dual coding theory and education. *Educational Psychology Review*, 3(3), 149–210. <https://doi.org/10.1007/BF01320076>
- [15] Dirgantara, W., Suyasa, A., & Mertayasa, E. (2023). Pengembangan Media Pembelajaran Bangun Ruang Sisi Datar Berbasis Articulat Storyline 3 Pada Mata Pelajaran Matematika Kelas VIII di SMP Lab Undiksha. In *Kumpulan Artikel Mahasiswa Pendidikan Teknik Informatika (KARMAPATI)* (Vol. 12, Issue 1).
- [16] Erprimana, R., & Fauzan, M. (n.d.). Penerapan Augmented Reality Sebagai Media Pembelajaran Alat-Alat Laboratorium Kimia Menggunakan Algoritma Sift. *IJCCS*, x, No.x, 1–5.
- [17] Febrianto, N., Wahyuni, D. S., & Sugihartini, N. (2021). Pengembangan Media Pembelajaran Multimedia Interaktif Pada Kelas XI Mata Pelajaran Biologi Dengan Materi “Sistem Sirkulasi Pada Manusia dan Sistem Pencernaan Makanan”di SMA Negeri 2 Singaraja. *Kumpulan Artikel Mahasiswa Pendidikan Teknik Informatika (KARMAPATI)*, 10(3).
- [18] Komara, A. L., Pamungkas, A. S., & Dewi, R. S. (2022). Pengembangan Media Pembelajaran Berbasis Video Animasi di Sekolah Dasar. Primary: *Jurnal Pendidikan Guru Sekolah Dasar*, 11(2), 316. <https://doi.org/10.33578/jpfkip.v11i2.8585>
- [19] Lusianti, L., Enawaty, E., Ulfah, M., Hairida, H., & Erlina, E. (2024). Development of Merdeka Curriculum Teaching Module Based on Problem Based Learning Acid-Base Material. *Hydrogen: Jurnal Kependidikan Kimia*, 12(4), 805. <https://doi.org/10.33394/hjkk.v12i4.11508>
- [20] Muhamaroh, K., Sulthon, M., Dakwah dan Komunikasi, F., & Walisongo Semarang, U. (2020). *Pengembangan Laboratorium Virtual sebagai Media Pembelajaran: Peluang dan Tantangan*. 3(2), 77–83. <https://doi.org/10.31764/justek.vXiY.3553>
- [21] Nurhayati. (2022). Laboratorium Sebagai Sarana Pembelajaran IPA Dalam. In *JURNAL LITERASIOLOGI NURHAYATI* (Vol. 144, Issue 1). <https://doi.org/https://doi.org/10.47783/literasiologi.v8i1.351>

- [22] Oktaviana, M., & Ramadhani, S. P. (2023). Pengembangan Media Pembelajaran IPA Berbasis Komik Digital Untuk Meningkatkan Hasil Belajar Kognitif Siswa. *Jurnal Ilmiah Profesi Pendidikan*, 8(1), 48–56. <https://doi.org/10.29303/jipp.v8i1.1090>
- [23] Puspayanti, N., Santoso, D., Hadiprayitno, G., & Ilhamdi, Moh. L. (2023). Pengembangan Laboratorium Virtual Berbasis Android dengan Aplikasi Adobe Animate untuk Pemahaman Konsep Sains Peserta Didik Kelas XI MIPA SMAN 8 Mataram. *Jurnal Ilmiah Profesi Pendidikan*, 8(1), 507–515. <https://doi.org/10.29303/jipp.v8i1.1252>
- [24] Qurniati, D., & Kunci, K. (2022). Spin Jurnal Kimia & Pendidikan Kimia Pengembangan Laboratorium Virtual Sebagai Media Pembelajaran Development of Virtual Laboratory as a Learning Media. *SPIN*, 4(2), 142–154. <https://doi.org/10.20414/spin.v4i2.5538>
- [25] Ramadhani, P., Alicia Farma, S., Fuadiyah, S., Yogica Jurusan Biologi, R., Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, F., Negeri Padang Jl Hamka Air Tawar Barat, U., Padang Utara Kota Padang, K., & Barat, S. (2021). Laboratorium Virtual sebagai Langkah Memaksimalkan Skill Keterampilan Siswa Virtual Laboratory as a Step to Maximize Student Skills. *Universitas Negeri Padang*, 01(2021). <https://doi.org/10.24036/prosemnasbio/vol1/102>
- [26] Rasagama, I. G. (2020). Pengembangan Model Pembelajaran Getaran Berbasis Video Youtube Untuk Meningkatkan Pemahaman Konsep Mahasiswa Politeknik. *Jurnal Pendidikan Sains*, 8, 1–11. <https://doi.org/https://doi.org/10.26714/jps.8.2.2020.91-101>
- [27] Riani Johan, J., Iriani, T., & Maulana, A. (n.d.). Penerapan Model Four-D dalam Pengembangan Media Video Keterampilan Mengajar Kelompok Kecil dan Perorangan. In *Jurnal Pendidikan West Science* (Vol. 01, Issue 06). Juni.
- [28] Rosdiana, H., Ruhiat, Y., Firman Septiyanto Pendidikan Fisika, R., & Sultan Ageng Tirtayasa, U. (2020). Pengembangan Media Pembelajaran Video Animasi Berbasis Kontekstual Pada Konsep Dinamika Gerak Prosiding Seminar Nasional Pendidikan Fisika Untirta. In *Prosiding Seminar Nasional Pendidikan Fisika* (Vol. 3, Issue 1). <https://jurnal.unptirta.ac.id/index.php/sendikfi/>
- [29] Saleh, F. M., Riandi, R., & Surtikanti, H. K. (2024). Laboratorium Konvensional vs Laboratorium Virtual dalam Efektivitas dan Motivasi Pembelajaran Biologi: Studi Literatur. *Jurnal Jeumpa*, 11(1), 13–24. <https://doi.org/10.33059/jj.v11i1.9143>
- [30] Saputra, D. A., Putra, Y. I., & F. F. (2023). Pengembangan Media Pembelajaran Interaktif Berbasis Adobe Animate Mata Pelajaran Animasi 2 Dimensi: Studi Kasus SMK Negeri 1 Bungo. *Jurnal Inovasi Pendidikan Dan Teknologi Informasi (JIPTI)*, 4(2), 189–200. <https://doi.org/10.52060/pti.v4i2.1428>
- [31] Sevtia, A. F., Taufik, M., & Doyan, A. (2022). Pengembangan Media Pembelajaran Fisika Berbasis Google Sites untuk Meningkatkan Kemampuan Penguasaan Konsep dan Berpikir Kritis Peserta Didik SMA. *Jurnal Ilmiah Profesi Pendidikan*, 7(3), 1167–1173. <https://doi.org/10.29303/jipp.v7i3.743>
- [32] Simanjuntak, R. (n.d.). *Mengenal Teori-teori Belajar*. <https://doi.org/https://doi.org/10.46495/sdj.v7i1.43>
- [33] Sukenti, E. (2021). Pengembangan Laboratorium Virtual Untuk Meningkatkan Penguasaan Konsep Pada Materi Sistem Sirkulasi. *Riwayat Artikel : Diterima: 19 Februari, disetujui*. <http://journal.unpak.ac.id/index.php/pedagonal>
- [34] Yogaswara, M. R. (2024). Pendekatan Teori Belajar Konstruktivisme Dalam Kurikulum Merdeka Melalui Media ASMBLR 3D Pada Materi Fotosintesis. 4(4). <https://doi.org/https://doi.org/10.51878/cendekia.v4i4.3739>