

**PENGEMBANGAN *VIRTUAL LABORATORY* TRANSPOR
MEMBRAN PADA MATERI TRANSPOR ZAT MELALUI
MEMBRAN SEL UNTUK PESERTA DIDIK KELAS
XI FASE F SMA**

SKRIPSI



OLEH:

**IRMA SUFIANINGSIH
NIM. 22031076**

**DEPARTEMEN BIOLOGI
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS NEGERI PADANG
2026**

**PENGEMBANGAN *VIRTUAL LABORATORY* TRANSPOR
MEMBRAN PADA MATERI TRANSPOR ZAT MELALUI
MEMBRAN SEL UNTUK PESERTA DIDIK KELAS
XI FASE F SMA**

SKRIPSI

*Diajukan kepada tim penguji Departemen Biologi FMIPA UNP sebagai
salah satu persyaratan untuk memperoleh gelar Sarjana Pendidikan*



OLEH:

**IRMA SUFIANINGSIH
NIM. 22031076**

**DEPARTEMEN BIOLOGI
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS NEGERI PADANG
2026**

PERSETUJUAN SKRIPSI

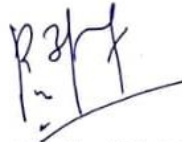
Judul : Pengembangan *Virtual Laboratory* Transpor Membran
pada Materi Transpor Zat Melalui Membran Sel untuk
Peserta Didik Kelas XI Fase F SMA
Nama : Irma Sufianingsih
NIM/ TM : 22031076/ 2022
Program Studi : Pendidikan Biologi
Jurusan : Biologi
Fakultas : Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam

Mengetahui,
Kepala Departemen Biologi



Dr. Dwi Hilda Putri, S.Si., M.Biomed.
NIP. 197508152006042001

Padang, 30 April 2026
Disetujui oleh,
Dosen Pembimbing



Rahmadhani Fitri, M. Pd.
NIP. 198805162014042001

PENGESAHAN LULUS UJIAN SKRIPSI

Nama : Irma Sufianingsih
NIM/ TM : 22031076/ 2022
Program Studi : Pendidikan Biologi
Jurusan : Biologi
Fakultas : Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam

PENGEMBANGAN *VIRTUAL LABORATORY* TRANSPOR MEMBRAN PADA MATERI TRANSPOR ZAT MELALUI MEMBRAN SEL UNTUK PESERTA DIDIK KELAS XI FASE F SMA

Dinyatakan lulus setelah dipertahankan di depan Tim Penguji Skripsi
Departemen Biologi Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam
Universitas Negeri Padang

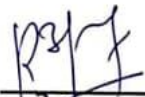
Padang, 06 Mei 2026

Tim Penguji

Nama

Tanda Tangan

Ketua : Rahmadhani Fitri, M. Pd.



Anggota : Relsas Yogica, M. Pd.



Anggota : Fitri Olvia Rahmi, M. Pd.



SURAT PERNYATAAN TIDAK PLAGIAT

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Irma Sufianingsih
NIM/TM : 22031076/2022
Program Studi : Pendidikan Biologi
Departemen : Biologi
Fakultas : Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam

Dengan ini menyatakan bahwa, skripsi saya yang berjudul **"Pengembangan *Virtual Laboratory* Transpor Membran pada Materi Transpor Zat Melalui Membran Sel untuk Peserta Didik Kelas XI Fase F SMA"** adalah benar hasil karya sendiri, bukan hasil plagiat dari karya orang lain. Sepanjang pengetahuan saya tidak terdapat karya yang dituliskan dan diterbitkan orang lain kecuali sebagai acuan atau kutipan dengan mengikuti aturan penulisan karya ilmiah yang benar.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan penuh kesadaran dan rasa tanggung jawab sebagai anggota masyarakat ilmiah.

Padang, 07 Mei 2026

Diketahui oleh,
Kepala Departemen Biologi



Dr. Dwi Hilda Putri, S.Si., M.Biomed.
NIP. 197508152006042001

Saya yang menyatakan,



Irma Sufianingsih
NIM. 22031076

ABSTRAK

Irma Sufianingsih: Pengembangan *Virtual Laboratory* Transpor Membran pada Materi Transpor Zat Melalui Membran Sel untuk Peserta Didik Kelas XI Fase F SMA

Berdasarkan hasil wawancara guru biologi dan observasi di kelas XI MAN 1 Padang diketahui bahwa praktikum transpor membran tidak terlaksana karena keterbatasan sarana dan prasarana alokasi waktu. Kondisi tersebut membuat peserta didik tidak memperoleh keterampilan proses, karena guru hanya menggunakan alternatif berupa demonstrasi di depan kelas tanpa pelaksanaan praktikum secara langsung. Ketidakterlaksanaan praktikum tersebut berdampak pada tidak tercapainya capaian pembelajaran secara optimal khususnya pada keterampilan proses. Untuk mengatasi kendala yang ada, penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan *virtual laboratory* transpor membran pada materi transpor zat melalui membran sel untuk peserta didik kelas XI fase F SMA, yang valid dan praktis.

Penelitian ini merupakan penelitian pengembangan (*Research and Development*) dengan menggunakan *4D-Models* yang dilaksanakan hanya sampai tahap *develop*. Objek penelitian berupa produk *virtual laboratory* transpor membran pada materi transpor zat melalui membran sel. Subjek penelitian ini adalah dua orang dosen biologi FMIPA UNP dan satu orang guru biologi MAN 1 Padang sebagai validator, satu orang guru biologi MAN 1 Padang sebagai responden uji praktikalitas, serta 34 peserta didik fase F kelas XI F3. Instrumen penelitian yang digunakan berupa lembar wawancara guru dan peserta didik, angket analisis kebutuhan peserta didik, angket validitas, dan angket praktikalitas. Teknik analisis data dilakukan secara kualitatif dan kuantitatif.

Hasil analisis pada tahap *define* menunjukkan perlu dikembangkan *virtual laboratory* transpor membran pada materi transpor zat melalui membran sel. Berdasarkan temuan tersebut, produk dirancang dan dikembangkan hingga tahap *develop*. Hasil uji menunjukkan bahwa produk memiliki tingkat validitas yang sangat tinggi dengan skor rata-rata 3,71. Uji praktikalitas oleh guru memperoleh skor 3,75 (sangat praktis) dan oleh peserta didik sebesar 3,62 (sangat praktis). Berdasarkan hasil tersebut, dapat disimpulkan telah dikembangkan dan dihasilkan *virtual laboratory* transpor membran pada materi transpor zat melalui membran sel untuk peserta didik fase kelas XI F SMA yang sangat valid dan sangat praktis.

Kata kunci: keterampilan proses, transpor membran, *virtual laboratory*

ABSTRACT

Irma Sufianingsih: *Development of a Virtual Laboratory for Membrane Transport on the Topic Exchange of Substances through Cell Membranes for Grade XI Phase F High School Students*

Based on interviews with biology teachers and observations in class XI MAN 1 Padang it is known that membrane transport practicum was not carried out due to limitations of facilities and time allocation. This condition causes students not to acquire process skills because the teacher only uses an alternative in the form of demonstrations in front of the class without conducting the practicum directly. The non-implementation of the practicum impacts the achievement of learning outcomes optimally, especially in process skills. to overcome the existing obstacles, this study aims to develop virtual laboratory membrane transport on the subject of substance transport through cell membrane for students of class XI phase F high school, which is valid and practical.

This study is a development research (Research and Development) with using 4D-Models which are implemented only up to the develop stage. The research object is a product of a virtual laboratory for membrane transport in the material of substance transport through the cell membrane. The subjects of this research are two biology lecturers from FMIPA UNP and one biology teacher from MAN 1 Padang as validators, one biology teacher from MAN 1 Padang as a practical test respondent, and 34 students in phase F of XI F3. The instruments used include interview sheets for teachers and students, student needs analysis questionnaires, validity questionnaires, and practicality questionnaires. Data analysis techniques are conducted qualitatively and quantitatively.

Results of the analysis at the define stage show that a virtual laboratory needs to be developed membrane transport on the subject of substance transport through the cell membrane. Based on these findings, the product was designed and developed up to the develop stage. The test results showed that the product has a very high validity with an average score of 3.71. The practicality test by teachers obtained a score of 3.75 (very practical) and by students 3.62 (very practical). Based on these results, it can be concluded that the virtual laboratory for membrane transport in the material of substance transport through the cell membrane for students in class XI F phase has been developed and produced, which is highly valid and highly practical.

Keywords: *Membrane transport, Process skills, Virtual laboratory*

KATA PENGANTAR

Puji syukur kepada Allah SWT atas nikmat iman, nikmat ilmu, dan nikmat kesehatan yang telah diberikan sehingga peneliti dapat menyelesaikan skripsi dengan judul “Pengembangan Laboratorium Virtual Transpor Membran pada Materi Transpor Zat Melalui Membran Sel untuk Peserta Didik Kelas XI Fase F SMA”, Shalawat beserta salam juga dilimpahkan kepada Nabi Muhammad SAW.

Dalam penyelesaian skripsi ini peneliti banyak mendapatkan bantuan dari berbagai pihak, karena tanpa bantuan dari berbagai pihak tersebut peneliti tidak akan dapat menyelesaikan skripsi ini dengan baik. Oleh karena itu, dalam kesempatan kali ini peneliti mengucapkan terima kasih yang tulus kepada:

1. Ibu Rahmadhani Fitri, M.Pd., selaku pembimbing skripsi yang telah memberikan saran dan masukan kepada peneliti serta kesediaan meluangkan waktu ditengah-tengah kesibukan beliau untuk membimbing, mengarahkan, dan memberi dukungan sehingga skripsi ini dapat terselesaikan.
2. Bapak Relsas Yogica, M.Pd., dan Ibu Fitri Olvia Rahmi, M.Pd selaku dosen penguji yang telah memberikan kritik, saran, dan masukan terhadap skripsi peneliti sekaligus validator dalam penelitian ini.
3. Ibu Neneng Maryamah, S.Pd., selaku validator dan responden wawancara.
4. Pimpinan, staf pengajar, serta karyawan Departemen Biologi FMIPA UNP yang telah memberikan kemudahan kepada peneliti dalam penyelesaian studi.
5. Kepala sekolah, majelis guru, dan staf tata usaha MAN 1 Padang yang telah memberikan izin, kemudahan dan kelancaran dalam penelitian ini.

6. Ibu Armayanti, S.Pd., selaku responden uji praktikalitas.
7. Peserta didik, khususnya Kelas XI F3 tahun ajaran 2025/2026, selaku responden untuk pengisian angket penelitian yang telah bekerja sama dan membantu penulis dalam melaksanakan penelitian.
8. Peserta didik Fase F Kelas XI tahun ajaran 2024/2025 dan 2025/2026, selaku responden untuk observasi dan analisis kebutuhan peserta didik.

Semoga segala bantuan yang telah diberikan mendapat balasan bernilai ibadah di sisi Allah SWT. Dalam membuat skripsi ini peneliti telah berusaha semaksimal mungkin. Namun, apabila masih terdapat kekurangan, masukan berupa kritik dan saran sangat diharapkan demi perbaikan skripsi ini. Semoga skripsi ini bermanfaat bagi kita semua.

Padang, April 2026

Penulis

DAFTAR ISI

	Halaman
ABSTRAK.....	i
ABSTRACT.....	ii
KATA PENGANTAR.....	iii
DAFTAR ISI.....	v
DAFTAR TABEL	vii
DAFTAR GAMBAR	viii
DAFTAR LAMPIRAN.....	ix
BAB I PENDAHULUAN.....	1
A. Latar Belakang	1
B. Identifikasi Masalah.....	9
C. Batasan Masalah.....	9
D. Rumusan Masalah	10
F. Manfaat Penelitian	10
G. Spesifikasi Produk.....	11
BAB II KERANGKA TEORI.....	13
A. Kajian Teori.....	13
B. Penelitian yang relevan	27
C. Kerangka Berpikir.....	29
BAB III METODE PENELITIAN	30

A. Jenis Penelitian.....	30
B. Definisi Istilah.....	30
C. Tempat dan Waktu Penelitian.....	31
D. Subjek dan Objek Penelitian	32
E. Data Penelitian	32
F. Instrumen Penelitian.....	32
G. Prosedur Penelitian	33
H. Teknik Analisis Data	38
BAB IV HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN.....	42
A. Hasil Penelitian	42
B. Pembahasan.....	62
BAB V PENUTUP.....	83
A. Kesimpulan	83
B. Saran.....	83
DAFTAR PUSTAKA.....	84

DAFTAR TABEL

Tabel	Halaman
1. Kegiatan Praktikum Pembelajaran Biologi Kelas XI MAN 1 Padang	5
2. Instrumen Penelitian.....	32
3. Praktikum yang Terlaksana di Kelas XI.....	42
4. Kendala dalam Pelaksanaan Praktikum	43
5. Distribusi Sejauh Mana Praktikum Membantu Pemahaman Peserta Didik.....	43
6. Capaian Pembelajaran Mata Pelajaran Biologi Fase F.....	43
7. Distribusi Tingkat Kesulitan Materi Biologi Menurut Persepsi Peserta Didik .	45
8. Analisis Alur Tujuan Pembelajaran.....	45
9. Hasil Analisis Validitas	54
10. Hasil Analisis Uji Praktikalitas oleh Guru	55
11. Saran Validator terhadap Perbaikan Praktikum Virtual.....	56

DAFTAR GAMBAR

Gambar	Halaman
1. Kerangka Konseptual Penelitian.....	29
2. Tahap Pengembangan Praktikum Virtual dengan Model 4D.	39
3. Tampilan Cover Praktikum Virtual	46
4. Tampilan Halaman Masuk	47
5. Halaman Menu Utama	48
6. Halaman Petunjuk Aplikasi.....	48
7. Halaman Capaian Pembelajaran	49
8. Halaman Materi Pembelajaran.....	49
9. Tampilan Materi pada Ikon Transpor Pasif.....	50
10. Halaman Pengantar Praktikum Virtual.....	50
11. Contoh Halaman Penggunaan Alat Perlindungan Diri.....	51
12. Halaman Menu Praktikum	51
14. Halaman Alat dan Bahan Praktikum	52
13. Halaman Langkah Kerja Praktikum.....	52
15. Halaman Tabel Data Hasil Pengamatan	53
16. Gambar Hasil Pengamatan	53
17. Halaman Petunjuk Evaluasi	54

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran	Halaman
1. Kisi-kisi Lembar Pedoman Wawancara Guru	92
2. Lembar Pedoman Wawancara Guru.....	93
3. Transkrip Hasil Wawancara Guru	95
4. Kisi-kisi Lembar Wawancara Peserta Didik	98
5. Lembar Pedoman Wawancara Peserta Didik	99
6. Transkrip Hasil Wawancara Peserta Didik.....	100
7. Kisi-kisi Angket Analisis Kebutuhan Peserta Didik	102
8. Angket Analisis Kebutuhan Peserta Didik	103
9. Contoh Screenshot Hasil Pengisian Angket Analisis Kebutuhan	106
10. Lembar Analisis Capaian Pembelajaran Fase F Kelas XI di.....	111
11. Lembar Analisis Keterlaksanaan Praktikum Fase F Kelas XI	112
12. Hasil Lembar Analisis Capaian Pembelajaran Fase F Kelas XI	113
13. Hasil Analisis Keterlaksanaan Praktikum	114
14. StoryBoard Laboratorium Virtual Transpor Membran	115
15. Kisi Kisi Lembar Validitas Laboratorium Virtual	125
16. Lembar Validitas Laboratorium Virtual	126
17. Hasil Angket Validitas oleh Validator 1	129
18. Hasil Angket Validitas oleh Validator 2	132
19. Hasil Angket Validitas oleh Validator 3	135
20. Hasil Analisis Angket Validitas oleh Validator	138
21. Kisi-kisi Lembar Praktikalitas Terbatas oleh Guru.....	139
22. Lembar Praktikalitas Terbatas oleh Guru.....	140

23. Hasil Angket Praktikalitas oleh Guru.....	143
24. Hasil Analisis Angket Praktikalitas oleh Guru.....	146
25. Kisi-Kisi Lembar Praktikalitas Terbatas oleh Peserta Didik.....	147
26. Lembar Uji Coba Terbatas oleh Peserta Didik.....	148
27. Hasil Angket Praktikalitas oleh Peserta Didik	151
28. Hasil Analisis Angket Praktikalitas oleh Peserta Didik	154
29. Surat Pengantar Observasi dari FMIPA	156
30. Surat Izin Penelitian dari FMIPA	157
31. Surat Izin Penelitian dari Kementrian Agama Kota Padang	158
32. Dokumentasi Penelitian	159

BAB I PENDAHULUAN

A. Latar Belakang

Materi biologi merupakan salah satu materi yang berkaitan dengan kehidupan sehari-hari, karena materi biologi tidak bisa lepas dari kehidupan manusia. Biologi mengkaji tentang makhluk hidup, lingkungan dan hubungan antara keduanya. Pembelajaran biologi menekankan pada pengalaman langsung untuk mengembangkan kompetensi peserta didik agar dapat mengenal dan memahami lingkungan sekitar melalui proses mencari tahu dan berbuat (Lestari & Irawati, 2020). Untuk memahami materi biologi yang kompleks serta menuntun peserta didik untuk dapat memahami proses yang terjadi, diperlukan model dan media pembelajaran yang sesuai dengan materi yang diajarkan.

Menurut Indriani dan Abidin (2022) kegiatan pembelajaran salah satunya merupakan proses komunikasi. Proses komunikasi umumnya melibatkan tiga komponen pokok, yaitu pengirim pesan (guru), penerima pesan (peserta didik), dan komponen pesan itu sendiri yang biasanya berupa materi pelajaran. Menurut Rahmayumita dan Hidayati (2023) kurikulum menjadi bagian utama dalam sebuah lembaga pendidikan. Segala sesuatu yang berkaitan dengan pembelajaran, seperti hasil belajar, bahan kajian, proses, dan penilaian yang digunakan sebagai pedoman dalam menyelenggarakan proses pembelajaran yang sesuai dengan kesepakatan disebut kurikulum.

Kurikulum Merdeka memiliki dua elemen kemampuan yang harus diperoleh peserta didik yaitu pemahaman biologi dan keterampilan proses. Pemahaman

biologi memberikan dasar konseptual agar peserta didik mampu menjelaskan secara ilmiah, sedangkan keterampilan proses mencakup mengamati, merumuskan pertanyaan, merencanakan penyelidikan, dan mengkomunikasikan hasil menjadi sarana untuk membangun dan mengimplementasikan pemahaman yang telah didapat dalam bentuk percobaan atau pengamatan secara langsung. Pemahaman biologi didapat melalui kelas teori sementara keterampilan proses didapat melalui pembelajaran praktik, yaitu praktikum. Tidak terlaksananya pembelajaran berpraktikum berdampak langsung pada tidak terlatihnya keterampilan proses. Menurut Nurwahidah & Sari (2022), kegiatan praktikum memberikan kesempatan kepada peserta didik untuk mengembangkan berbagai keterampilan, baik keterampilan proses sains, berpikir ilmiah, melakukan eksperimen, dan menerapkan konsep dalam kehidupan nyata.

Interaksi langsung dengan fenomena alam melalui kegiatan praktikum terbukti mampu meningkatkan pemahaman konsep serta keterampilan berpikir kritis peserta didik (Safitri & Vediany, 2024). Hal ini diperkuat oleh temuan Pratama, dkk. (2021) yang menyatakan bahwa eksperimen dan simulasi yang menarik dapat memicu rasa ingin tahu serta antusiasme belajar yang lebih tinggi. Di sisi lain, keberhasilan metode ini juga bergantung pada kompetensi guru dalam merancang praktikum yang relevan, menarik, dan efisien. Oleh karena itu, dapat disimpulkan bahwa penggunaan metode praktikum pada mata pelajaran Biologi sangat efektif untuk meningkatkan keterampilan proses sains peserta didik.

Kegiatan praktikum dapat meningkatkan keterampilan peserta didik dalam proses mengamati, mengidentifikasi, mendeskripsikan, dan mengkomunikasikan

hasil pengamatan agar dapat memahami dan memperkuat pemahamannya mengenai topik-topik pelajaran biologi (Panjaitan dkk., 2023). Praktikum biologi merupakan salah satu bentuk kegiatan belajar yang memberikan pengalaman langsung para peserta didik untuk mengeksplorasi dan meneliti berbagai komponen makhluk hidup. Namun, kegiatan praktikum di laboratorium dalam pelaksanaannya tidak terlepas dari permasalahan atau kendala yang dihadapi. Menurut Agustina, dkk. (2020), terdapat beberapa kendala yang sering dihadapi dalam pelaksanaan praktikum seperti waktu pelaksanaan kegiatan yang kurang efektif, penyediaan alat dan bahan praktikum yang tidak lengkap.

Sejalan dengan masalah di atas, hal serupa juga ditemukan di MAN 1 Padang. Berdasarkan hasil wawancara dengan Ibu Neneng Maryamah, S.Pd, pada 13 Oktober 2025 (lampiran 3) diketahui bahwa waktu pembelajaran untuk mata pelajaran biologi yaitu 4 JP dalam dua kali pertemuan per minggu, dimana waktu yang tersedia hanya cukup untuk membahas materi secara teori saja. Selain itu, diketahui bahwa laboratorium biologi hanya memiliki 3 mikroskop yang dapat berfungsi dengan baik, dan beberapa larutan uji yang biasa dipakai untuk percobaan juga sudah kadaluwarsa. Kondisi tersebut menjadi penyebab tidak efektif bahkan tidak terlaksananya beberapa praktikum pada mata pelajaran biologi.

Masalah yang ditemukan menyebabkan kegiatan praktikum yang bertujuan untuk melatih keterampilan proses peserta didik sesuai dengan tuntutan Kurikulum Merdeka pada elemen keterampilan proses tidak dapat tercapai dengan baik. Sementara itu, berdasarkan penelitian Marhanita, dkk. (2026), diketahui bahwa metode praktikum memiliki peran penting dalam melatih keterampilan proses.

Kegiatan praktikum menjadi bagian penting dalam pembelajaran karena dapat meningkatkan kemampuan peserta didik pada aspek pengetahuan, sikap, dan keterampilan.

Berdasarkan hasil wawancara juga diketahui bahwa praktikum yang pernah dilaksanakan di Kelas XI MAN 1 Padang Tahun Pelajaran 2024/2025 adalah praktikum pengamatan sel tumbuhan dan cek golongan darah. Guru mengakui bahwa kedua praktikum tersebut tidak membutuhkan waktu yang panjang dalam proses persiapan, pengamatan dan mengkomunikasikan hasil pengamatan. Pernyataan ini juga didukung oleh hasil wawancara dari 3 orang peserta didik kelas XII MAN 1 Padang yang mengungkapkan bahwa mereka hanya pernah melakukan praktikum sebanyak dua kali yaitu praktikum pengamatan sel tumbuhan dan praktikum cek golongan darah.

Berdasarkan masalah yang diungkapkan dari hasil wawancara guru dan peserta didik dapat disimpulkan bahwa fakta yang terjadi di lapangan yang menjadi penyebab utama tidak terlaksananya pembelajaran berbasis praktikum di sekolah diakibatkan oleh keterbatasan waktu dan fasilitas laboratorium yang kurang lengkap. Pernyataan ini sesuai dengan permasalahan yang ditemukan dalam penelitian yang dilakukan oleh Rahmah, dkk. (2021), Permatasari, dkk. (2021), dan Pratiwi, dkk. (2022) dimana secara umum menyatakan praktikum tidak dapat dilaksanakan karena terhambat oleh alokasi waktu yang tidak mencukupi. Pelaksanaan pembelajaran dengan metode praktikum harus memiliki manajemen waktu semaksimal mungkin, mengingat dalam pelaksanaan praktikum banyak yang harus disiapkan dan diperhatikan baik dalam proses maupun hasilnya.

Sesuai dengan hasil wawancara guru dan peserta didik, berikut disajikan pada Tabel 1. kegiatan praktikum biologi yang pernah dilaksanakan di kelas XI MAN 1 Padang dalam 2 tahun ajaran yang telah lampau.

Tabel 1. Kegiatan Praktikum Pembelajaran Biologi Kelas XI MAN 1 Padang

Kelas	Praktikum	Pelaksanaan TP 2023/2024		Pelaksanaan TP 2024/2025	
		Ya	Tidak	Ya	Tidak
Fase F Kelas XI	Pengamatan sel	✓		✓	
	Transpor Membran		✓		✓
	Uji zat makanan	✓			✓
	Cek golongan darah	✓		✓	
	Uji Urine		✓		✓

Merujuk pada Tabel 1 dan wawancara lebih lanjut dengan guru biologi diketahui bahwa praktikum di kelas XI MAN 1 Padang hanya terlaksana pada pengamatan sel, cek golongan darah, dan uji zat makanan di kelas XI untuk Tahun Pelajaran 2023/2024 sementara di tahun pelajaran 2024/2025 terdapat perbedaan yaitu tidak terlaksananya praktikum uji zat makanan dikarenakan beberapa reagen yang digunakan pada praktikum uji zat makanan seperti *benedict*, *lugol*, dan *biuret* sudah kadaluwarsa. Sehingga guru khawatir jika digunakan untuk praktikum dapat menyebabkan kekeliruan pada hasil uji serta waktu yang hampir mendekati ujian akhir semester sehingga guru lebih fokus mengajar materi yang belum selesai pada semester tersebut. Menurut pengalaman peserta didik juga diketahui bahwa mereka lebih memahami topik pembelajaran yang berpraktikum karena mereka dapat mengaitkan antara teori dan pengamatan proses sehingga tingkat pemahaman peserta didik menjadi lebih tinggi dibandingkan hanya pembelajaran materi secara teori saja di kelas.

Pada kegiatan berpraktikum di laboratorium terdapat 3 indikator laboratorium yang perlu diperhatikan. Pertama, laboratorium dapat berupa wadah yaitu tempat, gedung, ruang dan segala macam alat atau perlengkapan yang diperlukan untuk kegiatan ilmiah. Sehingga laboratorium dilihat sebagai perangkat keras yang nyata (*hardware*). Kedua, laboratorium merupakan sarana media dimana dilakukan kegiatan belajar mengajar. Pada indikator kedua ini laboratorium dilihat sebagai perangkat lunak (*software*) dalam kegiatan ilmiah dan laboratorium merupakan pelengkap pembelajaran. Ketiga, laboratorium dapat diartikan sebagai pusat kegiatan ilmiah untuk menemukan kebenaran ilmiah dan penerapannya (Muhajarah & Sulthon, 2020). Berdasarkan indikator yang ada, dapat diketahui bahwa laboratorium tidak terbatas pada suatu tempat atau gedung saja, tidak juga membatasi kegiatan laboratorium harus secara nyata di suatu ruangan tertentu. Selain itu, laboratorium dapat dialihkan secara maya melalui teknologi digital, yang dikenal sebagai *virtual laboratory*.

virtual laboratory hadir sebagai salah satu solusi penggunaan media pembelajaran agar guru tetap dapat melaksanakan kegiatan eksperimen di sekolah. *virtual laboratory* berbentuk *software*, *platform*, atau media yang memuat simulasi percobaan yang biasa dilakukan di laboratorium fisik, dimana dalam menggunakan *virtual laboratory* sebagai media pembelajaran diperlukan komputer atau gawai (Lestari dkk., 2023). Penggunaan *virtual laboratory* menggunakan simulasi visual beserta fungsi alat dan cara kerja yang dapat menstimulasi peserta didik agar mampu membuat rancangan kegiatan laboratorium secara *real* (Sanimah dkk.,

2024). Metode ini dirancang untuk menyajikan materi dan simulasi secara visual dan interaktif, sehingga memudahkan pemahaman peserta didik serta memperjelas pembelajaran yang telah diberikan secara teori di kelas.

Mengingat pentingnya praktikum dalam pembelajaran biologi dan masalah yang ditemukan di MAN 1 Padang, solusi yang peneliti ajukan adalah dengan melaksanakan kegiatan praktikum *virtual* dengan menggunakan *virtual laboratory*. Menurut Okoyeigbo, dkk. (2020), *virtual laboratory* adalah paket simulasi perangkat lunak yang mensimulasikan proses laboratorium. Langgan, dkk. (2018), menyatakan bahwa *virtual laboratory* relevan untuk diimplementasikan menjadi solusi keterbatasan sumber daya pembelajaran serta menjadi media yang cukup efektif, mengingat fungsinya yang bisa dikerjakan paralel baik sebagai praktikan maupun dari sisi laboratorium. *virtual laboratory* merupakan simulasi percobaan sains yang interaktif.

Menurut Mu'minah (2025), *virtual laboratory* ini cukup digunakan untuk membantu proses pembelajaran, dan cocok digunakan untuk mengantisipasi terhadap ketidaksiapan laboratorium nyata. Peserta didik dapat melaksanakan eksperimen di manapun dan kapanpun mereka butuhkan, peserta didik dapat melakukan lebih banyak pengalaman simulasi dan dapat memperoleh gambaran keseluruhan dari kegiatan praktikum. Beberapa urgensi sehingga perlu diadakannya *virtual laboratory* antara lain dapat menjadi sumber belajar bagi peserta didik untuk melatih keterampilan proses. Kegiatan praktikum di *virtual laboratory* dapat dilakukan berulang kali tanpa terbatas waktu dan biaya operasional. Selain itu, *virtual laboratory* juga menyediakan panduan praktikum yang belum tentu

disediakan pada praktikum konvensional, dalam panduan *virtual laboratory* juga disisipkan cara kerja yang dapat dicobakan secara mandiri oleh peserta didik di rumah. Peserta didik juga dapat mengamati detail hasil percobaan yang mungkin tidak teramati pada praktikum konvensional.

Berdasarkan hasil analisis dokumen kurikulum dan wawancara dengan guru biologi, terdapat beberapa materi terutama di fase F kelas XI yang mencakup banyak topik yang perlu dikombinasikan dengan kegiatan praktikum, beberapa diantaranya adalah praktikum sel, transpor membran, uji zat makanan, cek golongan darah, dan uji kadar urin. Oleh karena itu dibutuhkan inovasi yang dapat dijadikan sebagai alternatif pengganti praktikum yang tidak terlaksana. Hal ini perlu dilakukan agar peserta didik tetap mendapatkan pengalaman langsung untuk menjalankan sebuah praktikum. Melalui praktikum pembelajaran menjadi lebih bermakna khususnya untuk materi transportasi membran, sistem pencernaan, dan sistem ekskresi.

Berdasarkan masalah yang diuraikan, penulis tertarik untuk mengembangkan *virtual laboratory* transpor membran. Hal ini menjadi pertimbangan karena sebelumnya di perguruan tinggi yang sama yaitu Universitas Negeri Padang bahwa sudah ada peneliti yang mengembangkan *virtual laboratory* uji zat makanan dan uji urin dengan judul “Pengembangan *virtual laboratory* Uji Zat Makanan dan Urin pada Materi Transpor dan Pertukaran Zat pada Manusia untuk Peserta Didik Fase F SMA” oleh Nilam (2025). Berdasarkan hasil dan saran pada penelitian Nilam (2025), *virtual laboratory* yang dikembangkan dapat digunakan guru sebagai inovasi dari tidak terlaksananya praktikum uji zat makanan dan urin.

Dalam upaya mencukupkan kegiatan praktikum di Fase F Kelas XI yang belum terlaksana maka peneliti fokus untuk mengembangkan *virtual laboratory* transpor membran. Oleh karena itu peneliti tertarik untuk melakukan penelitian dengan judul “Pengembangan *virtual laboratory* Transpor Membran pada Materi Transpor Zat melalui Membran Sel untuk Peserta Didik Kelas XI Fase F SMA”

B. Identifikasi Masalah

Setelah memperhatikan penjelasan dari latar belakang, masalah dapat diidentifikasi sebagai berikut.

1. Seharusnya praktikum dapat dilaksanakan pada waktu pembelajaran, namun menjadi terhambat waktu dalam persiapan dan pengamatan yang cukup panjang, sehingga praktikum tidak terlaksana.
2. Seharusnya laboratorium mencukupi alat-alat yang diperlukan dalam praktikum, namun alat yang tersedia di sekolah tidak dapat memfasilitasi kebutuhan untuk praktikum transpor membran, sehingga praktikum tidak terlaksana.
3. Seharusnya laboratorium memfasilitasi bahan yang diperlukan dalam praktikum, namun terdapat beberapa bahan yang sudah kedaluwarsa sehingga tidak dapat digunakan.
4. Seharusnya praktikum transpor membran dapat terlaksana dalam pembelajaran biologi, namun di MAN 1 Padang tidak dapat terlaksana karena alasan yang disebutkan pada nomor 1,2, dan 3. Maka dikembangkanlah *virtual laboratory* transpor membran sebagai alternatif dari ketidaksiapan laboratorium nyata.

C. Batasan Masalah

Berdasarkan identifikasi masalah di atas, maka penulis membatasi masalah

pada poin keempat yaitu belum tersedianya alternatif pengganti praktikum yang bisa digunakan secara *virtual* khususnya pada praktikum transpor membran yang bisa dilakukan sebagai solusi terhadap keterbatasan waktu di sekolah.

D. Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang dan batasan masalah yang dikemukakan di atas, maka rumusan masalah dalam penelitian ini adalah “Bagaimana mengembangkan *virtual laboratory* transpor membran pada materi pergerakan zat melalui membran sel untuk kelas XI Fase F SMA yang valid dan praktis?”.

E. Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengembangkan *virtual laboratory* transpor membran pada materi pergerakan zat melalui membran sel untuk kelas XI fase F SMA yang valid dan praktis.

F. Manfaat Penelitian

Manfaat penelitian sebagai berikut.

1. Bagi guru, sebagai media pembelajaran alternatif pengganti praktikum yang tidak terlaksana terutama pada praktikum transpor membran.
2. Bagi peserta didik, sebagai sumber belajar praktis yang dapat membantu peserta didik tetap mendapatkan pengalaman praktikum transpor membran.
3. Bagi peneliti, sebagai pengalaman dan bekal pengetahuan dalam pengembangan produk untuk pendidikan.

Bagi peneliti lain, sebagai sumber referensi untuk penelitian selanjutnya yang sama dan relevan dengan penelitian ini.

G. Spesifikasi Produk

Produk yang dihasilkan dalam penelitian ini berupa aplikasi *virtual laboratory* transpor membran pada materi transpor zat melalui membran sel untuk peserta didik Fase F kelas XI SMA. Spesifikasi produk yang diharapkan dalam penelitian dan pengembangan *virtual laboratory* ini sebagai berikut.

1. *Virtual laboratory* adalah media pembelajaran digital yang berbentuk aplikasi yang dapat diakses melalui *Laptop/PC* dan dapat digunakan secara *offline*. *virtual laboratory* yang dihasilkan memuat menu petunjuk penggunaan, capaian pembelajaran dan tujuan pembelajaran, tujuan praktikum, materi, praktikum *virtual*, dan evaluasi. *virtual laboratory* transpor membran disusun berdasarkan capaian pembelajaran dan tujuan pembelajaran sesuai dengan kurikulum merdeka.
2. *Virtual laboratory* yang dikembangkan memuat materi pembelajaran transpor membran yang mencakup 2 sub topik yaitu transpor membran aktif dan transpor membran pasif. Materi yang dicantumkan diadopsi dari konten buku pembelajaran dan modul materi transpor zat melalui membran sel untuk kelas XI Fase F SMA. Disusun dengan memperhatikan ketepatan teori dan konsep secara garis besar agar mudah dipahami.
3. *Virtual laboratory* ini memiliki bagian-bagian atau menu di dalamnya yaitu:
 - a. Pada tampilan awal menampilkan judul media, judul praktikum, kotak pengisian nama, jenis kelamin dan kelas serta *button login*.
 - b. Pada menu utama menampilkan beberapa *button* menu diantaranya, pengaturan, *exit*, *next*, petunjuk aplikasi, capaian pembelajaran, materi,

praktikum, dan evaluasi.

- c. Pada menu petunjuk aplikasi, terdapat penjabaran petunjuk penggunaan tombol-tombol pada aplikasi.
- d. Pada menu capaian pembelajaran, terdapat penjabaran terkait capaian pembelajaran, tujuan pembelajaran, dan tujuan praktikum materi transpor membran.
- e. Pada menu materi terdapat beberapa *button* pilihan materi transpor membran yaitu transpor membran aktif dan transpor membran pasif yang masing-masing dapat di klik lalu mengarah pada penjelasan materi.
- f. Pada menu praktikum, terdapat tampilan judul praktikum dan *item-item* perlengkapan kerja di laboratorium yang dapat digunakan.
- g. Kemudian *button next* akan mengarah pada tampilan pilihan praktikum yaitu Difusi, Osmosis, Plasmolisis & deplasmolisis, dan Krenasi. Masing-masing halaman topik praktikum memiliki 4 tahapan yaitu memperkenalkan alat dan bahan yang akan digunakan, penjelasan langkah kerja dalam praktikum *virtual*, percobaan praktikum *virtual*, dan terakhir adalah halaman hasil pengamatan.
- h. Pada menu evaluasi terdapat soal yang berkenaan dengan praktikum *virtual* yang telah dilaksanakan.
- i. Setiap *layout* terdapat *button home* untuk ke menu utama, *back* untuk ke halaman sebelumnya, *next* untuk ke halaman selanjutnya, *button* pengaturan dan *button exit* untuk meninggalkan aplikasi.

BAB V PENUTUP

A. Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian dan pengembangan yang telah dilakukan, dapat disimpulkan bahwa telah dikembangkan dan dihasilkan *virtual laboratory* transpor membran pada materi transpor zat melalui membran sel untuk peserta didik Kelas XI fase F SMA yang sangat valid dan sangat praktis. Dengan demikian, *virtual laboratory* ini dinyatakan layak digunakan sebagai media pendukung pembelajaran biologi untuk peserta didik kelas XI fase F SMA khususnya pada materi transpor membran.

B. Saran

Berdasarkan keterbatasan penelitian, saran untuk penelitian dan pengembangan berikutnya sebagai berikut.

1. Penelitian selanjutnya dapat mengembangkan produk sendiri dengan mempelajari cara membuat aplikasi menggunakan *Unity*, agar tidak memiliki batasan revisi dan terkendala biaya *developer*.
2. Penelitian selanjutnya dapat mengembangkan versi *virtual laboratory* yang kompatibel untuk perangkat seluler (android & iOS) serta komputer/laptop dengan sistem operasi macOS agar dapat menjangkau lebih banyak pengguna.
3. Penelitian selanjutnya dapat melanjutkan sampai tahap uji coba lapangan (*disseminate*) dalam skala lebih luas untuk mengetahui efektivitas media dalam meningkatkan pemahaman dan hasil belajar peserta didik khususnya pada keterampilan praktikum secara *virtual*.

DAFTAR PUSTAKA

- Adillah, D., Jamaludin, D. N., Fikri, A. A., & Setyawan, D. A. (2025). Minat belajar peserta didik terhadap pembelajaran biologi menggunakan metode praktikum pada materi transpor membran sel. *Spizaetus: Jurnal Biologi dan Pendidikan Biologi*, 6(1), 124-133.
- Adnan, D. R. A., Kaloko, J., Sihombing, K., & Mahmud, P. (2022). Pengembangan media poster sebagai media edukasi orangtua dalam membantu mencegah perilaku perundungan. *JKKP (Jurnal Kesejahteraan Keluarga Dan Pendidikan)*, 9(02), 234-242.
- Agustina, P., Saputra, A., Rohmah, T. R. I. N., Pratiwi, E. L. Z., Satiti, D. I., & Alvyah, W. R. (2020). Studi pelaksanaan praktikum biologi di sma al islam 1 surakarta tahun pelajaran 2018/2019. In *Prosiding SNPBS (Seminar Nasional Pendidikan Biologi dan Saintek)*, 4(1), 284-289
- Al-hafidz, N. N. K., Fia, A., Zhafarah, A., & Suryanda, A. (2024). Pembelajaran biologi berbasis praktikum dan kemampuan berpikir kritis siswa: sebuah kajian korelasi: praktikum dalam pembelajaran dapat meningkatkan kemampuan berpikir kritis siswa. *Diajar: Jurnal Pendidikan dan Pembelajaran*, 3(1), 65-70.
- Anisah, F. N., & Rahayu, Y. S. (2024). Validitas dan kepraktisan e-lkpd berbasis learning cycle 7e untuk melatih keterampilan berpikir kritis peserta didik pada sub materi transpor membran. *Berkala Ilmiah Pendidikan Biologi (BioEdu)*, 13(3), 725-731.
- Angga, A., Suryana, C., Nurwahidah, I., Herry Hernawan, A., & Prihantini, P. (2022). Komparasi implementasi kurikulum 2013 dan kurikulum merdeka di sekolah dasar. *Jurnal Basicedu*, 6, 5877-5889.
- Arifin, Z., Destiansari, E., & Amizera, S. (2020). Pengembangan mobile virtual laboratorium pada pembelajaran praktikum materi pencemaran air. *Bioedusiana: Jurnal Pendidikan Biologi*, 5(2), 123-130.
- Artayasa, I. P., Marlina, D., Sipayung, D. A. S., & Fitriatunisyah, F. (2021). Praktikum biologi selama pembelajaran online: minat mahasiswa dan pengaruhnya terhadap keterampilan proses sains. *Bioscientist: Jurnal Ilmiah Biologi*, 9(2), 389-401.
- Aulia, H., Suhara, S., & Surakusumah, W. (2020). Keefektifan bahan ajar berbasis praktikum sederhana untuk menurunkan miskonsepsi siswa pada materi sistem pencernaan makanan. *Assimilation: Indonesian Journal of Biology Education*, 3(1), 1-6.
- Banila, L., Lestari, H., & Siskandar, R. (2021). Penerapan *blended learning* dengan pendekatan *stem* untuk meningkatkan kemampuan literasi sains siswa pada

- pembelajaran biologi di masa pandemi covid-19. *Journal of Biology Learning*, 3(1), 25-33.
- Bogar, D. Y., Jufriansah, A., & Prasetyo, E. (2023). Pengembangan laboratorium virtual untuk meningkatkan hasil belajar peserta didik. *Buletin Edukasi Indonesia*, 2(03), 102-112.
- Bonok, Z. (2023). Pemanfaatan teknologi digital pada praktikum sistem telekomunikasi lanjut. *Knowledge: Jurnal Inovasi Hasil Penelitian dan Pengembangan*, 3(1), 13-23.
- Chang, J. Y.-F., Lin, T.-C., Wang, L.-H., Cheng, F.-C., & Chiang, C.-P. (2021). Comparison of *virtual* microscopy and real microscopy for learning oral pathology laboratory course among dental students. *Journal of Dental Sciences*, 16(3), 840–845.
- Clarinda, C., Novalina, G., & Faradiba, F. (2022). Efektivitas Penggunaan *Virtual* Laboratory Terhadap Peningkatan Hasil Belajar Siswa SMA di Era New Normal. *Edumat Sains: Jurnal Pendidikan, Matematika dan Sains*, 6(2), 257-266.
- Dyrberg, N. R., Treusch, A. H., & Wiegand, C. (2017). *Virtual* laboratories in science education: students' motivation and experiences in two tertiary biology courses. *Journal of Biological Education*, 51(4), 358-374.
- Dzulkifli, M. A., & Mustafar, M. F. (2013). The influence of colour on memory performance: A Review. *The Malaysian Journal of Medical Sciences*, 20(2), 3–9.
- Fadilah, N., AR, M. M., & Kuswandi, I. (2025). Pengaruh media pembelajaran interaktif wordwall terhadap hasil belajar ipas di sekolah dasar. *Jurnal Ilmiah Pendidikan Citra Bakti*, 12(1), 56-66.
- Fadli, M., Sefriani, R., & Wijaya, I. (2023). Validitas media pembelajaran komputer dan jaringan dasar berbasis augmented reality. *Journal of Research and Investigation in Education*, 2(3), 65-69.
- Fatmi, N., & Muhammad, I. (2023). Training on the use of *virtual* practicum modules in learning at smp/equivalent in lhokseumawe city. *Nusantara Jurnal Pengabdian Kepada Masyarakat*, 3(1), 1-7.
- Fitri, D. R. K., & Wahyu, L. (2023). analisis pemanfaatan laboratorium dan pelaksanaan praktikum pada pembelajaran biologi di laboratorium sma. *Bioilmi: Jurnal Pendidikan*, 9(1), 44-51.
- Ginting, A. A. B., Darmaji, D., & Kurniawan, D. A. (2022). Analisis pentingnya keterampilan proses sains terhadap kemampuan berpikir kritis di sma se-kecamatan pelayung. *Jurnal Pendidikan Matematika dan Ilmu Pengetahuan*

Alam, 12(1), 91-96.

- Hasibuan, V. U., & Yani, F. (2024). Analisis keterampilan proses sains berbasis praktikum di universitas haji sumatera utara. *Innovative: Journal Of Social Science Research*, 4(4), 94-102.
- Harapan, M. A. M., Masriyah, M., & Suharyati, H. (2024). Improving learning outcomes of kinesthetic learners through a differentiated learning approach. *International Journal of Sustainable Development & Future Society*, 2(2), 70-75.
- Indriani, R., & Abidin, Z. (2022). Literature review: Pengembangan media pembelajaran augmented reality pada mata pelajaran biologi. *Jurnal Wahana Pendidikan*, 9(2), 139-148.
- Jannah, F. F., Khamidinal, K., & Suprihatiningrum, J. (2022). Pengembangan media *virtual* lab sebagai alternatif praktikum kimia dalam pembelajaran daring di masa pandemi covid-19. *Jurnal Inovasi Pendidikan Kimia*, 16(2), 97-103.
- Jayawardana, H. B. A., & Gita, R. S. D. (2020, August). Inovasi pembelajaran biologi di era revolusi industri 4.0. In *Prosiding Seminar Nasional Biologi*, 6(1), 58-66
- Kasmawati, A. D., Jamilah, J., & Taufiq, A. U. (2022). Pengaruh metode praktikum terhadap hasil belajar peserta didik pada materi pertumbuhan dan perkembangan di kelas xii ipa sman 11 sinjai. *Al-Ahya: Jurnal Pendidikan Biologi*, 3(1).
- Langngan, V. B., Tulandi, D. A., & Mandang, T. (2021). Efektivitas laboratorium *virtual* sebagai media pembelajaran pada eksperimen viskositas. *Charm Sains: Jurnal Pendidikan Fisika*, 2(2), 88-93.
- Larasati, E. (2023). Pengembangan media ajar kartu semesta untuk memperkaya glosarium siswa SMA pada mata pelajaran biologi. *Mitra Pilar: Jurnal Pendidikan, Inovasi, dan Terapan Teknologi*, 2(1), 37-44.
- Lestari, D. G., & Irawati, H. (2020). Literature review: Peningkatan hasil belajar kognitif dan motivasi siswa pada materi biologi melalui model pembelajaran *guided inquiry*. *BIOMA: Jurnal Biologi dan Pembelajarannya*, 2(2), 51-59.
- Lestari, L., Aprilia, L., Fortuna, N., Cahyo, R. N., Fitriani, S., Mulyana, Y., & Kusumaningtyas, P. (2023). Laboratorium *virtual* untuk pembelajaran kimia di era digital. *Jambura Journal of Educational Chemistry*, 5(1), 1-10.
- Lufri, L., Fitri, R & Yogica, R (2018). Development of learning models based on problem solving and meaningful learning by expert validity for animal development course. *IOP Conference: Materials Science and Engineering*, 335 (1), 1-5

- Mahmud, A. M., Salsabila, A. A., Annisa, S. W., & Nadjamuddin, L. (2025). Pengaruh persepsi warna (cerah vs gelap) terhadap daya ingat memori jangka pendek pada siswa smp: studi eksperimen dengan gambar buah-buahan. *PESHUM: Jurnal Pendidikan, Sosial dan Humaniora*, 4(5), 7136-7149.
- Marhanita, S., Rudi, L., & Harimu, L. Hubungan keterampilan proses sains dan penguasaan konsep ikatan kimia pada pembelajaran berbasis praktikum. *Journal of Chemistry Education and Integration*, 5(1), 37-47.
- Masruri, M. (2020). Identifikasi hambatan pelaksanaan praktikum biologi dan alternatif solusinya di sma negeri 1 moga. *Perspektif Pendidikan dan Keguruan*, 11(2), 1-10.
- Maydiantoro, A. (2021). Model-model penelitian pengembangan (research and development). *Jurnal pengembangan profesi pendidik indonesia (JPPPI)*. 2(1), 1-15
- Meilina, I. L., Rohmah, A. A., & Farikha, N. (2023). Studi literatur efektivitas *virtual* laboratorium pada pembelajaran fisika. *Jurnal Ilmu Pendidikan dan Pembelajaran*, 1(2), 40-50.
- Miswari, M. K., Amrullah, A., Hayati, L., & Sarjana, K. (2022). Pengembangan media pembelajaran game edukasi pada materi segi empat kelas vii smpn 1 wanasaba. *Griya Journal of Mathematics Education and Application*, 2(1), 105-116.
- Mu'minah, I. H. (2022). Penggunaan aplikasi praktikum *virtual lab* berbasis olabs (*online laboratory*) terhadap hasil belajar siswa. *Indonesian Journal Of Community Service*, 2(1), 99-107.
- Navis, M. J., & Kaltsum, H. M. (2021). Learning efficiency of elementary school student through e-learning in the distrupction era. *Primary: Jurnal Pendidikan Guru Sekolah Dasar*. 10(2), 301-310.
- Nilam, N. (2025). "Pengembangan laboratorium *virtual* uji zat makanan dan urin pada materi transpor dan pertukaran zat pada manusia untuk peserta didik fase f sma". (*Skripsi*, Universitas Negeri Padang).
- Ni'mah, M., & Widodo, W. (2022). Penerapan model pembelajaran inkuiri terstruktur berbantuan virtual-laboratory phet untuk meningkatkan pemahaman konsep listrik dinamis. *Pensa E-Jurnal: Pendidikan Sains*, 10(2), 296-304.
- Nissa, S. F., & Renoningtyas, N. (2021). Penggunaan media pembelajaran wordwall untuk meningkatkan minat dan motivasi belajar siswa pada

- pembelajaran tematik di sekolah dasar. *Edukatif: Jurnal Ilmu Pendidikan*, 3(5), 2854–2860.
- Nugroho, S. H., & Ruliana, P. (2021). Kartun sebagai media komunikasi visual materi ajar di dunia pendidikan. *CARAKA: Indonesia Journal of Communication*, 2(2), 57–64.
- Nurwahidah, I., & Sari, D. S. (2022). Analisis keterampilan mahasiswa pendidikan ipa dalam melakukan praktikum dan berkolaborasi. *EduTeach: Jurnal Edukasi dan Teknologi Pembelajaran*, 3(2), 1-10.
- Odeh, S., Abu Shanab, S., & Anabtawi, M. (2015). Augmented reality internet labs versus its traditional and virtual equivalence. *International Journal of Emerging Technologies in Learning*, 10(3), 184-188.
- Okoyeigbo, O., Agboje, E., Omuabor, E., Samson, U. A., & Orimogunje, A. (2020). Design and implementation of a java based virtual laboratory for data communication simulation. *International Journal of Electrical and Computer Engineering (IJECE)*, 10(6), 5883.
- Pane, E. P., Manurung, H. M., & Situmorang, T. I. (2024). Pengembangan laboratorium virtual berbasis multimedia interaktif untuk meningkatkan keterampilan berpikir kritis Mahasiswa. *Jurnal Education And Development*, 12(2), 46-51.
- Panjaitan, D., Wardhana, V. W., Hadi, R., Tsuraya, F., & Naibaho, F. G. (2023). Pelatihan karakterisasi morfologi bakteri dan fungi sebagai pengayaan praktikum biologi bagi guru sekolah menengah atas. *JMM (Jurnal Masyarakat Mandiri)*, 7(1), 556-565.
- Parwati, N. N., Suryawan, I. P. P., & Apsari, R. A. (2023). *Belajar dan pembelajaran*. Depok: PT. RajaGrafindo Persada-Rajawali Pers.
- Permatasari, D., Gusmaweti, G., & Hendri, W. (2021). Analisis efektivitas pelaksanaan praktikum di laboratorium biologi kelas x mipa sma negeri 1 kota sungai penuh. *Jurnal Esabi (Jurnal Edukasi dan Sains Biologi)*, 3(1), 1-7.
- Pratama, D., & Wulandari, S. (2024). Pengembangan modul pembelajaran fisika berbasis guided discovery learning pada materi medan magnet kelas XII SMA. *Jurnal Pendidikan dan Pembelajaran Fisika*, 9(3), 88-98.
- Purwanto, R., & Hidayat, T. (2023). Peran desain grafis dalam efektivitas modul pembelajaran matematika. *Jurnal Matematika Kreatif*, 8(2), 120-130.
- Rabiudin, R., Ituga, A. S., & Rahmadana, A. (2022). Analisis kausalitas kemampuan kognitif siswa papua dalam belajar sains. *Attractive: Innovative Education Journal*, 4(1), 138–147.

- Rahayu, N. D., & Sari, M. (2023). Pengembangan lks elektronik berbasis model sscs sebagai media pembelajaran interaktif. *Jurnal Teknologi Pendidikan*, 15(4), 78-87.
- Rahmah, N., Iswadi, I., Asiah, A., Hasanuddin, H., & Syafrianti, D. (2021). Analisis kendala praktikum biologi di sekolah menengah atas:(obstacles analysis of biology laboratory practice of high school). *Biodik*, 7(2), 169-178.
- Rahmayumita, R., & Hidayati, N. (2023). Kurikulum Merdeka: tantangan dan implementasinya pada pembelajaran biologi. *Biology and Education Journal*, 3(1), 1-9.
- Ramadhan, R., Sari, M., & Wahyuni, N. (2022). Efektivitas penggunaan laboratorium virtual dalam meningkatkan hasil belajar. *Jurnal Pendidikan Sains*, 10(1), 80-88.
- Rana, R., Sani, Y. M. S. Y., & Solo, Y. D. (2023). Efektivitas penggunaan laboratorium virtual dalam meningkatkan hasil belajar biologi peserta didik mas muhammadiyah nangahure. *Jurnal Penelitian Inovatif*, 3(3), 589-596.
- Rihi, S. P. P., & Bano, V. O. (2022). Pengaruh laboratorium virtual terhadap hasil belajar siswa kelas xi pada materi sistem pencernaan makanan. *Quagga : Jurnal Pendidikan dan Biologi*, 14(2), 183-188.
- Riswakhayuningsih, T. (2025). Membangun pemahaman konsep awal siswa dengan mengartikan istilah-istilah penting. *Ristek: Jurnal Riset, Inovasi dan Teknologi Kabupaten Batang*. 8(2), 38-46.
- Rizaldi, D. R., Jufri, A. W., & Jamaluddin, J. (2020). PhET: simulasi interaktif dalam proses pembelajaran fisika. *Jurnal Ilmiah Profesi Pendidikan*, 5(1), 10-14.
- Rokhim, D. A., Asrori, M. R., & Widarti, H. R. (2020). Pengembangan virtual laboratory pada praktikum pemisahan kimia terintegrasi telepon pintar. *Jurnal Kajian Teknologi Pendidikan*, 3(2), 216-226.
- Ruhansih, D. S. (2017). Efektivitas strategi bimbingan teistik untuk pengembangan religiusitas remaja (penelitian kuasi eksperimen terhadap peserta didik kelas x sma nugraha bandung tahun ajaran 2014/2015). *QUANTA: Jurnal Kajian Bimbingan Dan Konseling Dalam Pendidikan*, 1(1), 1-10.
- Sabihusni, R., & Helsa, Y. (2025). Peran media pembelajaran berbasis digital dalam upaya meningkatkan minat belajar siswa sekolah dasar. *Sindoro: Cendikia Pendidikan*, 15(2), 21-30.
- Safitri, N. L., & Vediany, A. S. A. (2024). Implementasi pembelajaran bahagia berbasis praktikum pada mata pelajaran biologi tentang mengidentifikasi fotosintesis tumbuhan di sma. *Jurnal Penelitian Tindakan Kelas*, 2(1), 27-34.

- Salsabila, A. H., Iriani, T., & Sri Handoyo, S. (2023). Penerapan model 4d dalam pengembangan video pembelajaran pada keterampilan mengelola kelas. *Jurnal Pendidikan West Science*, 1(08), 495-505.
- Sanimah, S., Haniyyah, U., & Rambe, I. W. (2024). Kajian kelebihan dan kelemahan penggunaan laboratorium *virtual* sebagai media pembelajaran ipa di smp. *Jurnal Jeumpa*, 11(1), 129-137.
- Sarwono, E., Primadiyono, Y., & Suryanto, A. Analisis persepsi mahasiswa terhadap kegunaan laboratorium virtual 3d sebagai media pembelajaran pra-praktikum menggunakan kuesioner use. *Kalam Cendekia: Jurnal Ilmiah Kependidikan*, 13(3).
- Setiawati, M., Retnoningsih, A., & Irsadi, A. (2017). Efektifitas praktikum berbasis guided inquiry diintegrasikan dengan video transfer membran terhadap keterampilan proses sains (kps) dan pemahaman konsep siswa. *Journal of Biology Education*, 6(1), 45-55.
- Shabrina, A., Putri, R., & Khairi, A. (2025). Pentingnya pemilihan media pembelajaran yang tepat untuk meningkatkan hasil belajar siswa. *Zaheen: Jurnal Pendidikan, Agama Dan Budaya*, 1(2), 120-131.
- Sihombing, O., Yuni, R., Angin, E. P., Harahap, D. A., & Aulya, T. M. (2025). Pengaruh penyajian media pembelajaran berbentuk powerpoint terhadap daya tarik belajar siswa smp negeri 4 angkola timur. *Sindoro: Cendikia Pendidikan*, 15(7), 41-50.
- Slamet, F. A. (2022). Model penelitian pengembangan (RnD). *Malang: Institut Agama Islam Sunan Kalojogo Malang*, 66.
- Subrata, I., & Rai, I. (2019). Penerapan penilaian autentik dalam pembentukan karakter siswa. *Emasains*, 8(2), 196-204.
- Suoth, L. (2018). Peningkatan keterampilan menulis puisi bebas melalui pendekatan konstruktivisme. *Journal of Education Technology*, 2(1), 35-39.
- Suryani, A. A., Ulfah, M., & Murniati, E. (2024). Penerapan *pjbl* pada pembelajaran berdiferensiasi untuk meningkatkan keaktifan dan hasil belajar kelas x sma materi transpor membran sel. *Jurnal Pendidikan Guru Profesional*, 2(1), 17-30.
- Susanti, R. (2023). Pembelajaran berbasis praktikum untuk meningkatkan hasil belajar dengan soal hots mata pelajaran ipa. *TEACHING: Jurnal Inovasi Keguruan Dan Ilmu Pendidikan*, 3(1), 74-82.
- Syam, Y. R., & Kurniasih, S. (2023). Kebutuhan terhadap laboratorium *virtual* berbasis masalah pada materi sistem peredaran darah. *Jurnal Ilmiah Pendidikan Dan Pembelajaran*, 7(1), 166-172.

- Syarah, M. M. (2021). Analisis penerapan pendekatan *stem* pada pembelajaran biologi. *Bio-Edu*, 6(3), 236-243.
- Tommy, M., Hamidah, A., & Syahri, W. (2024). Analysis of students' science process skills in practicum-based animal physiology learning. *Jurnal Penelitian Pendidikan IPA*, 10(12), 10299–10307.
- Ulfa, H. L., Falahiyah, R., & Singgih, S. (2020). Uji osmosis pada kentang dan wortel menggunakan larutan NaCl. *Jurnal Sainsmat*, 9(2), 110-116.
- Wahyuni, L., dan Saputra, H. (2024). Pengembangan bahan ajar berbasis ssccs pada media digital untuk meningkatkan kualitas pembelajaran. *jurnal pendidikan teknologi informasi*, 7(1), 30-39.
- Waruwu, M. (2024). Metode penelitian dan pengembangan (*r&d*): konsep, jenis, tahapan dan kelebihan. *Jurnal Ilmiah Profesi Pendidikan*, 9(2), 1220-1230.
- Widodo, A., Maria, R. A., & Fitriani, A. (2016). Peranan praktikum riil dan praktikum *virtual* dalam membangun kreatifitas siswa. *Jurnal Pengajaran Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam*, 21(1), 92-102.
- Zikri, H., Azijah, F. M., Aprilia, H., Fitriyyah, I., & Wijaya, S. S. (2025). Penentuan pengaruh plasmolisis pada sel daun *rhoeo discolor*. *Flora: Jurnal Kajian Ilmu Pertanian dan Perkebunan*, 2(1), 11-20.