

**PENGEMBANGAN PEMBELAJARAN KATABOLISME KARBOHIDRAT
BERBASIS MULTIMEDIA INTERAKTIF UNTUK MENINGKATKAN
KETERAMPILAN BERPIKIR KRITIS DAN KREATIF MAHASISWA**

TESIS

Diajukan untuk memenuhi sebagian syarat untuk memperoleh gelas Magister Pendidikan
Kimia



Oleh

Ainul Ahmadsyah Hanafi
NIM 2217106

**PROGRAM MAGISTER PENDIDIKAN KIMIA
FAKULTAN PENDIDIKAN MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS PENDIDIKAN INDONESIA
BANDUNG
2024**

**PENGEMBANGAN PEMBELAJARAN KATABOLISME KARBOHIDRAT
BERBASIS MULTIMEDIA INTERAKTIF UNTUK MENINGKATKAN
KETERAMPILAN BERPIKIR KRITIS DAN KREATIF MAHASISWA**

Oleh
Ainul Ahmadsyah Hanafi

M. Pd. Pendidikan Kimia Universitas Pendidikan Indonesia, 2024
S. Pd. Pendidikan Kimia Universitas Negeri Makassar, 2022

Sebuah Tesis yang diajukan untuk memenuhi salah satu syarat memperoleh gelar
Magister Pendidikan (M. Pd.) di Fakultas Pendidikan Matematika dan Ilmu
Pengetahuan Alam

© Ainul Ahmadsyah Hanafi
Universitas Pendidikan Indonesia
Desember 2024

Hak Cipta dilindungi undang-undang
Tesis ini tidak boleh diperbanyak seluruhnya atau sebagian,
dengan dicetak ulang, difoto kopi, atau cara lainnya tanpa ijin dari penulis

LEMBAR PENGESAHAN TESIS

AINUL AHMADSYAH HANAFI

PENGEMBANGAN PEMBELAJARAN KATABOLISME KARBOHIDRAT BERBASIS MULTIMEDIA INTERAKTIF UNTUK MENINGKATKAN KETERAMPILAN BERPIKIR KRITIS DAN KREATIF MAHASISWA

Disetujui dan disahkan oleh:

Pembimbing 1,



Prof. Dr. Liliasari, M. Pd.
NIP. 920191119490927201

Pembimbing 2,



Dr. Heli Siti Halimatul Munawaroh, M. Si.
NIP. 197907302001122002

Mengetahui,
Ketua Program Studi Magister Pendidikan Kimia



Dr. H. Wiji, M. Si.
NIP. 197204302001121001

HALAMAN PERNYATAAN

Dengan ini saya menyatakan bahwa tesis dengan judul “Pengembangan Pembelajaran Katabolisme Karbohidrat Berbasis Multimedia Interaktif untuk Meningkatkan Keterampilan Berpikir Kritis dan Kreatif Mahasiswa” ini beserta seluruh isinya adalah benar-benar karya saya sendiri. Saya tidak melakukan penjiplakan atau pengutipan dengan cara yang tidak sesuai dengan etika ilmu yang berlaku dalam masyarakat keilmuan. Atas pernyataan ini, saya siap menanggung risiko/sanksi apabila di kemudian hari ditemukan adanya pelanggaran etika keilmuan atau ada klaim dari pihak lain terhadap keaslian karya saya ini.

Bandung, 19 Desember 2024
Yang membuat pernyataan



Ainul Ahmadsyah Hanafi
NIM 2217106

KATA PENGANTAR

Puji syukur kami panjatkan ke hadirat Tuhan Yang Maha Esa atas rahmat dan karunia-Nya yang telah memberikan kekuatan, kesehatan, serta kesempatan untuk menyelesaikan tesis ini yang berjudul "Pengembangan Pembelajaran Katabolisme Karbohidrat Berbasis Multimedia Interaktif untuk Meningkatkan Keterampilan Berpikir Kritis dan Kreatif Mahasiswa". Tesis ini merupakan sebagian syarat untuk memperoleh gelar magister Pendidikan kimia.

Tesis ini disusun sebagai salah satu upaya untuk memberikan kontribusi terhadap pengembangan metode pembelajaran modern yang relevan dengan kebutuhan pendidikan abad ke-21, khususnya dalam konteks pendidikan kimia. Pengembangan inovasi dalam pembelajaran kimia menjadi sebuah tuntutan penting di era perkembangan teknologi informasi dan komunikasi yang semakin pesat. Hal ini dikarenakan pendidikan tidak lagi hanya sekadar proses transfer pengetahuan, melainkan juga harus mampu membekali mahasiswa dengan keterampilan berpikir kritis dan kreatif sebagai kompetensi inti yang diperlukan untuk menghadapi tantangan global.

Fokus utama dalam penelitian ini adalah mengembangkan multimedia interaktif sebagai media pembelajaran yang dirancang khusus untuk materi katabolisme karbohidrat. Materi ini seringkali dianggap kompleks dan sulit dipahami oleh mahasiswa karena keterkaitannya yang erat dengan konsep-konsep biokimia yang abstrak. Oleh karena itu, pendekatan multimedia interaktif diharapkan dapat menjadi solusi inovatif yang tidak hanya membuat proses pembelajaran lebih menarik, tetapi juga efektif dalam meningkatkan pemahaman konseptual mahasiswa.

Dalam pengembangan multimedia interaktif ini, penulis mengintegrasikan berbagai elemen seperti teks, gambar, animasi, audio, dan video yang disusun secara sistematis untuk membantu mahasiswa memahami proses-proses kompleks dalam katabolisme karbohidrat. Selain itu, fitur interaktif yang disematkan memungkinkan mahasiswa untuk berpartisipasi aktif dalam pembelajaran, sehingga diharapkan dapat mendorong mereka untuk berpikir lebih kritis dan kreatif.

Penelitian ini menekankan pada pentingnya mengembangkan keterampilan berpikir kritis dan kreatif mahasiswa. Keterampilan berpikir kritis memungkinkan mahasiswa untuk menganalisis, mengevaluasi, dan memecahkan masalah yang dihadapi dalam konteks pembelajaran, sedangkan keterampilan berpikir kreatif mendorong mahasiswa untuk menghasilkan ide-ide baru dan solusi inovatif. Keduanya merupakan keterampilan esensial yang perlu ditanamkan dalam pembelajaran, terlebih di era revolusi industri 4.0 yang menuntut sumber daya manusia yang kompeten dan inovatif.

Melalui penelitian ini, penulis berharap multimedia interaktif yang dikembangkan dapat menjadi salah satu alternatif media pembelajaran yang tidak hanya meningkatkan pemahaman mahasiswa terhadap materi katabolisme karbohidrat, tetapi juga membantu mereka dalam mengembangkan keterampilan berpikir kritis dan kreatif. Selain itu, hasil penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi positif bagi perkembangan metode pembelajaran kimia di perguruan tinggi, serta menjadi acuan bagi para pendidik dalam mengadopsi teknologi multimedia sebagai bagian dari strategi pembelajaran yang inovatif.

Penulis menyadari bahwa dalam penyusunan tesis ini masih terdapat banyak kekurangan dan keterbatasan, baik dari segi isi maupun teknik penyajian. Oleh karena itu, kritik dan saran yang membangun sangat diharapkan untuk perbaikan dan penyempurnaan karya ini di masa yang akan datang.

Akhir kata, semoga tesis ini dapat memberikan manfaat bagi dunia pendidikan, khususnya dalam pengembangan pembelajaran kimia yang lebih efektif dan inovatif. Harapan penulis, penelitian ini dapat menjadi titik awal untuk penelitian-penelitian selanjutnya yang berfokus pada integrasi teknologi multimedia dalam pembelajaran sains, serta semakin memajukan kualitas pengajaran.

Bandung, Desember 2024

Ainul Ahmadsyah Hanafi

UCAPAN TERIMA KASIH

Segala puji dan syukur penulis panjatkan kepada Tuhan Yang Maha Esa atas segala limpahan rahmat, nikmat, dan karunia-Nya, sehingga tesis ini dapat diselesaikan dengan baik. Penulisan tesis ini tentunya tidak terlepas dari bantuan, dukungan, dan doa dari berbagai pihak. Oleh karena itu, dengan segala kerendahan hati, penulis ingin menyampaikan ucapan terima kasih kepada:

1. Ibu Prof. Dr. Liliasari, M. Pd., sebagai dosen pembimbing utama tesis, pembimbing akademik, serta sosok orang tua kedua bagi penulis selama menempuh studi di UPI. Dengan penuh kesabaran, ketulusan, dan perhatian, Beliau senantiasa membimbing, mengarahkan, dan memberi motivasi di setiap langkah perjalanan akademik ini. Setiap nasihat, koreksi, dan dorongan dari Beliau bukan hanya membentuk tesis ini menjadi karya yang lebih berkualitas, tetapi juga membentuk pribadi penulis menjadi lebih kuat, tekun, dan bertanggung jawab.
2. Ibu Dr. Heli Siti Halimatul Munawaroh, M. Si., sebagai pembimbing kedua dengan penuh kesabaran dan dedikasi, Beliau telah menjadi sosok pengarah dalam setiap langkah penyelesaian karya ini. Bimbingan tulus, nasihat bijak, serta motivasi yang tiada henti telah membantu penulis memahami setiap bagian dari penelitian ini dengan lebih mendalam. Keberadaan Beliau bukan hanya sebagai pembimbing akademik, tetapi juga sebagai sosok inspiratif yang mengajarkan arti ketekunan, kualitas, dan integritas dalam menuntaskan perjalanan ilmiah ini.
3. Bapak Dr. Ijang Rohman, M. Si., dan Ibu Dr. Hernani, M. Si., selaku tim penguji yang telah memberikan kritik, saran, dan evaluasi yang berharga pada saat ujian tesis, sehingga karya ini dapat lebih baik dan berkualitas.
4. Bapak Dr. Ijang Rohman, M. Si., selaku validator yang telah membantu memvalidasi multimedia interaktif yang telah dikembangkan.
5. Ibu Prof. Dr. F.M. Titin Supriyanti, M.Si., selaku dosen pengampu mata kuliah biokimia yang telah memfasilitasi melakukan validasi dan uji coba.
6. Seluruh dosen pengampu mata kuliah di Program Magister Pendidikan Kimia yang telah memberikan sejumlah pengetahuan dan keterampilan selama kegiatan perkuliahan.

7. Adik-adik mahasiswa Program studi Kimia dan Pendidikan Kimia yang telah berpartisipasi dalam penelitian ini.
8. Rekan-rekan seperjuangan di Program Magister Pendidikan Kimia, atas kebersamaan, dukungan, motivasi, dan kolaborasi yang telah penulis rasakan selama proses perkuliahan dan penelitian.
9. Kepada orang tua tercinta, Muh. Hanafi dan Nur Asmah, yang selalu memberikan doa, cinta kasih, dukungan moral, serta semangat yang tidak pernah pudar. Berkat doa dan restu mereka, penulis dapat menyelesaikan studi ini dengan baik.
10. Kepada saudara-saudara, Irma Chadijah Hanafi, Muhammad Alyuddin, Anshari Ahmad Syah Hanafi, Anhar Ahmad Syah Hanafi dan keluarga besar, yang senantiasa memberikan dorongan, doa, serta perhatian yang tulus selama penulis menjalani proses studi dan penyusunan tesis ini.
11. Sahabat-sahabat terbaik, yang selalu memberikan motivasi, dukungan moral, dan semangat selama proses penulisan tesis ini. Terima kasih atas kebersamaan, tawa, dan doa kalian.
12. Semua pihak yang tidak dapat disebutkan satu per satu, yang telah membantu baik secara langsung maupun tidak langsung, dalam menyelesaikan tesis ini. Dukungan dan bantuan kalian sangat berarti bagi penulis.

Penulis dengan sepenuh hati menyampaikan permohonan maaf kepada semua pihak atas segala kekhilafan, baik dalam ucapan maupun tindakan, baik yang disadari maupun tidak disadari, selama proses penyusunan karya ini. Penulis menyadari bahwa tanpa bantuan, dukungan, dan doa dari berbagai pihak, penyusunan tesis ini tidak akan dapat diselesaikan dengan baik. Oleh karena itu, penulis menyampaikan rasa terima kasih yang mendalam dan semoga Tuhan membalas semua kebaikan yang telah diberikan.

Penulis,
Ainul Ahmadsyah Hanafi

ABSTRAK

Pembelajaran katabolisme karbohidrat seringkali menjadi tantangan bagi mahasiswa karena sifatnya yang abstrak, serta melibatkan banyak tahapan reaksi yang kompleks, sehingga memerlukan penalaran yang komprehensif untuk dapat mengintegrasikannya dalam satu kesatuan proses. Penelitian ini bertujuan mengembangkan pembelajaran katabolisme karbohidrat berbasis multimedia interaktif yang dirancang untuk meningkatkan keterampilan berpikir kritis, keterampilan berpikir kreatif, dan penguasaan konsep mahasiswa. Penelitian menggunakan metode *mixed methods* dengan desain *exploratory sequential*. Studi ini melibatkan 34 mahasiswa. Data dikumpulkan menggunakan 8 soal tes uraian dan lembar kerja mahasiswa (LKM). Hasil tes dianalisis secara kuantitatif menggunakan uji t, Wilcoxon, dan *N-gain*, sedangkan data LKM dianalisis secara kualitatif. Implementasi pembelajaran katabolisme karbohidrat menggunakan multimedia interaktif meningkatkan secara signifikan keterampilan berpikir kritis, dengan peningkatan tertinggi terjadi pada indikator membuat penjelasan lanjutan. Keterampilan berpikir kreatif meningkat secara signifikan, dengan capaian tertinggi ditunjukkan pada *fluency*. Penguasaan konsep meningkat secara signifikan, dengan peningkatan tertinggi pada konsep siklus Krebs. Hasil yang diperoleh menunjukkan bahwa multimedia interaktif membantu memvisualisasikan konsep-konsep biokimia yang kompleks, pembelajaran lebih menarik dan imersif, sehingga meningkatkan keterampilan berpikir kritis, kreatif, dan penguasaan konsep mahasiswa, meskipun keterbatasan terkait infrastruktur teknologi dan adaptasi terhadap teknologi masih menjadi tantangan dalam penelitian ini. Penelitian ini memberikan kontribusi dalam pengembangan pembelajaran biokimia yang inovatif dan interaktif.

Kata kunci: katabolisme karbohidrat, keterampilan berpikir kritis, keterampilan berpikir kreatif, multimedia interaktif, penguasaan konsep.

ABSTRACT

Teaching carbohydrate catabolism is often a challenging for students since it has abstract concepts and involving many complex reactions. Therefore, learning this concepts require comprehensive reasoning to be able to integrated into a single process. This study aims to develop interactive multimedia-based on carbohydrate catabolism to improve critical and creative thinking skills; and students' mastery concepts. The study employed a mixed methods with an exploratory sequential design and involved in 34 students as a research participants. Data were collected using 8 items of essay test and students' worksheet. The test results were analyzed quantitatively using the t-test, Wilcoxon, and N-gain, while students' worksheet data were analyzed qualitatively. The implementation of carbohydrate catabolism learning using interactive multimedia showed significantly improvement on students' critical thinking skills, with the highest enhancement occurred for advanced clarification. Creative thinking skills also increased significantly, with the highest improvement occurs for fluency. The mastery concepts was increased significantly with the highest mastery concepts was show for Krebs cycle. The results shows that interactive multimedia helps to visualize complex biochemical concepts. It is make learning is more interesting and immersive, therefore improving students' critical and creative thinking skills, and conceptual mastery. There are limitations of technological infrastructure and adaptation to technology as challenges in this study. The study contributes to the development of innovative and interactive biochemistry learning.

Keywords: carbohydrate catabolism, concept mastery, creative thinking skills, critical thinking skills, interactive multimedia.

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN TESIS	i
HALAMAN PERNYATAAN	iii
KATA PENGANTAR.....	iv
UCAPAN TERIMA KASIH	vi
ABSTRAK	viii
ABSTRACT	ix
DAFTAR ISI	x
DAFTAR GAMBAR	xii
DAFTAR TABEL.....	xiii
DAFTAR LAMPIRAN	xv
BAB I PENDAHULUAN.....	1
A. Latar Belakang	1
B. Rumusan Masalah	8
C. Pembatasan Masalah	8
D. Tujuan Penelitian.....	9
E. Manfaat Penelitian.....	9
F. Definisi Operasional.....	9
BAB II KAJIAN PUSTAKA	11
A. Pembelajaran Katabolisme Karbohidrat.....	11
B. Pembelajaran Berbasis Multimedia Interaktif.....	17
C. Pengembangan Keterampilan Berpikir Kritis dan Kreatif	23
D. Teori-Teori Pendukung Pembelajaran berbasis Multimedia	30
E. Multimedia interaktif dalam pembelajaran katabolisme karbohidrat dalam meningkatkan keterampilan berpikir kritis dan kreatif	35
BAB III METODE PENELITIAN.....	40
A. Paradigma Penelitian	40
B. Metode dan Desain Penelitian.....	41
C. Prosedur Penelitian.....	45
D. Lokasi dan Subjek Penelitian	48
E. Instrumen Penelitian.....	48
F. Perancangan Desain Pembelajaran Katabolisme Karbohidrat berbasis Multimedia Interaktif	53
G. Teknik Analisis Data	86
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	96

A.	Hasil Uji Coba Pembelajaran Berbasis Multimedia Interaktif Karboquest	96
B.	Implementasi Pembelajaran Katabolisme Karbohidrat berbasis Multimedia Interaktif	97
C.	Peningkatan Keterampilan Bepikir Kritis, Kreatif, dan Penguasaan Konsep Mahasiswa pada Pembelajaran Katabolisme Karbohidrat berbasis Multimedia Interaktif	100
D.	Pembahasan	116
1.	Karakteristik Pembelajaran Katabolisme Karbohidrat berbasis Multimedia Interaktif	116
2.	Prototipe Multimedia Interaktif Pembelajaran Katabolisme Karbohidrat	120
3.	Profil Peningkatan Berpikir Kritis Mahasiswa pada Pembelajaran Katabolisme Karbohidrat berbasis Multimedia Interaktif.....	122
4.	Profil Peningkatan Berpikir Kreatif Mahasiswa pada Pembelajaran Katabolisme Karbohidrat berbasis Multimedia Interaktif.....	125
5.	Penguasaan Konsep Mahasiswa pada Pembelajaran Katabolisme Karbohidrat berbasis Multimedia Interaktif.....	127
6.	Keunggulan dan Keterbatasan Pembelajaran Katabolisme Karbohidrat berbasis Multimedia Interaktif	130
BAB V SIMPULAN, IMPLIKASI, DAN REKOMENDASI		132
A.	Simpulan.....	132
B.	Implikasi.....	133
C.	Rekomendasi	133
DAFTAR PUSTAKA		134
LAMPIRAN.....		140

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Komponen sel manusia.....	12
Gambar 2.2	Metabolisme karbohidrat, protein, dan lemak.....	13
Gambar 2.3	Proses Glikolisis.....	14
Gambar 2.4	Siklus Krebs.....	15
Gambar 2.5	Jenis Pembelajaran Aktif.....	20
Gambar 2.6	Model Kognitif Multimedia Pembelajaran.....	33
Gambar 3.1	Paradigma Penelitian.....	42
Gambar 3.2	Desain penelitian <i>exploratory sequential design</i>	44
Gambar 3.3	Prosedur Penelitian.....	45
Gambar 3.4	Referensi Penggambaran Enzim pada multimedia interaktif.....	70
Gambar 3.5	Referensi penggambaran substrat pada multimedia interaktif.....	70
Gambar 3.6	Referensi penggambaran interaksi substrat dan enzim.....	70
Gambar 3.7	Penggambaran enzim dalam multimedia interaktif.....	71
Gambar 3.8	Penggambaran substrat dalam multimedia interaktif.....	71
Gambar 3.9	Penggambaran interaksi substrat dan enzim dalam multimedia interaktif.....	71
Gambar 3.10	Tampilan awal multimedia interaktif.....	72
Gambar 3.11	Petunjuk tugas	72
Gambar 3.12	Interaksi dan komponen multimedia.....	73
Gambar 3.13	Simulasi interaksi enzim dan substrat.....	73
Gambar 3.14	Stage integrasi	74
Gambar 3.15	Stage terakhir.....	74
Gambar 4.1	Pejelasan penggunaan multimedia interaktif.....	99
Gambar 4.2	Proses penggunaan multimedia interaktif dan pengisian LKM	99
Gambar 4.3	Proses diskusi dan refleksi	100
Gambar 4.4	Peningkatan setiap indikator keterampilan berpikir kritis	104
Gambar 4.5	Peningkatan setiap indikator keterampilan berpikir kreatif.....	109
Gambar 4.6	Peningkatan setiap konsep	114

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1	Pembagian multimedia interaktif.....	17
Tabel 2.2	Sudut pandangan multimedia pembelajaran	18
Tabel 2.3	Keterampilan berpikir kreatif.....	27
Tabel 2.4	Asumsi Pemrosesan Informasi.....	32
Tabel 2.5	Tiga penyimpanan memori dalam teori kognitif pembelajaran multimedia	33
Tabel 2.6	Proses kognitif dalam pembelajaran multimedia	35
Tabel 2.7	Hasil studi literatu.....	38
Tabel 3.1	Distribusi indikator keterampilan berpikir kritis pada instrument tes	52
Tabel 3.2	Distribusi indikator keterampilan berpikir kreatif pada instrument tes.....	53
Tabel 3.3	Pengkodean data	55
Tabel 3.4	Hasil deskripsi	56
Tabel 3.5	Rancangan rencana pelaksanaan pembelajaran katabolisme karbohidrat	61
Tabel 3.6	Langkah dalam multimedia interaktif	75
Tabel 3.7	Indikator penguasaan konsep	76
Tabel 3.8	Indikator penguasaan konsep	78
Tabel 3.9	Indikator soal keterampilan berpikir kritis	79
Tabel 3.10	Indikator soal keterampilan berpikir kreatif	79
Tabel 3.11	Rancangan instrumen tes pemahaman konsep terintegrasi dengan keterampilan berpikir kritis dan kreatif	81
Tabel 3.12	Perhitungan validitas soal	92
Tabel 3.13	Kriteria $\langle g \rangle$	94
Tabel 4.1	Hambatan pada uji coba.....	96
Tabel 4.2	Jadwal pelaksanaan implementasi program pembelajaran.....	98
Tabel 4.3	Hasil uji statistik <i>pretest</i> dan <i>posttest</i> keterampilan berpikir kritis.....	101
Tabel 4.4	Nilai gain dan uji $\langle g \rangle$ skor <i>pretest</i> dan <i>posttest</i> keterampilan berpikir kritis.....	103
Tabel 4.5	Distribusi pemeringkatan mahasiswa pada keterampilan berpikir kritis	102
Tabel 4.6	Analisis indikator keterampilan berpikir kritis mahasiswa pada LKM.....	104
Tabel 4.7	Hasil uji statistik <i>pretest</i> dan <i>posttest</i> keterampilan berpikir kreatif.....	107
Tabel 4.8	Perhitungan gain dan $\langle g \rangle$ <i>pretest</i> dan <i>posttest</i> keterampilan berpikir kreatif.....	108
Tabel 4.9	Distribusi pemeringkatan mahasiswa pada keterampilan berpikir kreatif	109
Tabel 4.10	Analisis indikator keterampilan berpikir kreatif mahasiswa pada LKM	110
Tabel 4.11	Hasil uji statistik <i>pretest</i> dan <i>posttest</i> penguasaan konsep.....	111
Tabel 4.12	Uji $\langle g \rangle$ <i>pretest</i> dan <i>posttest</i> penguasaan konsep.....	113

Tabel 4.13	Distribusi pemeringkatan mahasiswa pada penguasaan konsep.....	112
Tabel 4.14	Analisis LKM untuk mendukung penguasaan konsep mahasiswa.....	114
Tabel 4.15	Karakteristik pembelajaran katabolisme karbohidrat berbasis multimedia interaktif.....	119

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1	Rencana program.....	141
Lampiran 2	Lembar kerja mahasiswa.....	149
Lampiran 3	Kisi-kisi instrument tes.....	161
Lampiran 4	Panduan instalasi dan penggunaan aplikasi.....	174
Lampiran 5	Penilaian <i>pretest</i> dan <i>posttest</i>	183
Lampiran 6	Analisis data penelitian.....	188

DAFTAR PUSTAKA

- Abdulrahman, M. D., Faruk, N., Oloyede, A. A., Surajudeen-Bakinde, N. T., Olawoyin, L. A., Mejabi, O. V., Imam-Fulani, Y. O., Fahm, A. O., & Azeez, A. L. (2020). Multimedia tools in the teaching and learning processes: A systematic review. *Heliyon*, 6(11), e05312. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2020.e05312>
- Afanasenکو, O. V., Nizhenkovska, I. V., Holovchenko, O. I., & Glushachenko, O. O. (2022). Technology-enhanced constructivist learning environment for pharmacy students. *Pharmacy Education*, 22(1), 778–787. <https://doi.org/10.46542/PE.2022.221.778787>
- Akapan, B., & Kennedy, T. J. (2020). *Science Education Theory and Practice*. <https://doi.org/10.5748/9contecsi2012/rf-456>
- Akpur, U. (2020). Critical, Reflective, Creative Thinking and Their Reflections on Academic Achievement. *Thinking Skills and Creativity*, 37(May). <https://doi.org/10.1016/j.tsc.2020.100683>
- Albus, P., Vogt, A., & Seufert, T. (2021). Signaling in virtual reality influences learning outcome and cognitive load. *Computers and Education*, 166(February), 104154. <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2021.104154>
- Alzubi, A. (2023). The role of multimedia tools in Hashemite Kingdom of Jordan education classroom teaching in the digital era. *European Journal of Interactive Multimedia and Education*, 4(2), e02303. <https://doi.org/10.30935/ejimed/13378>
- Arneson, J. B., & Offerdahl, E. G. (2023). Assessing the Load: Effects of Visual Representation and Task Features on Exam Performance in Undergraduate Molecular Life Sciences. *Research in Science Education*, 53(2), 319–335. <https://doi.org/10.1007/s11165-022-10057-7>
- Aysolmaz, B., & Reijers, H. A. (2021). Animation as a dynamic visualization technique for improving process model comprehension. *Information and Management*, 58(5), 103478. <https://doi.org/10.1016/j.im.2021.103478>
- Black, P. N. (2020). A revolution in biochemistry and molecular biology education informed by basic research to meet the demands of 21st century career paths. *Journal of Biological Chemistry*, 295(31), 10653–10661. <https://doi.org/10.1074/jbc.AW120.011104>
- Booth, C. S., Song, C., Howell, M. E., Rasquinha, A., Saska, A., Helikar, R., Sikich, S. M., Couch, B. A., Dijk, K. van, Roston, R. L., & Helikar, T. (2020). Using computational modeling to teach metabolism as a dynamic system improves student performance. *BioRxiv*, 1–23.
- Brown, C. E., Alrmony, D., Williams, M. K., Whaley, B., & Hyslop, R. M. (2021). Visualizing molecular structures and shapes: A comparison of virtual reality, computer simulation, and traditional modeling. *Chemistry Teacher International*, 3(1), 69–80. <https://doi.org/10.1515/cti-2019-0009>
- Castro-Alonso, J. C., Wong, R. M., Adesope, O. O., & Paas, F. (2021). Effectiveness of Multimedia Pedagogical Agents Predicted by Diverse Theories: a Meta-Analysis. *Educational Psychology Review*, 33(3), 989–1015. <https://doi.org/10.1007/s10648-020-09587-1>
- Chang, W. L., & Yeh, Y. chu. (2021). A blended design of game-based learning for

- motivation, knowledge sharing and critical thinking enhancement. *Technology, Pedagogy and Education*, 30(2), 271–285. <https://doi.org/10.1080/1475939X.2021.1885482>
- Dood, A. J., & Watts, F. M. (2023). Students' Strategies, Struggles, and Successes with Mechanism Problem Solving in Organic Chemistry: A Scoping Review of the Research Literature. *Journal of Chemical Education*, 100(1), 53–68. <https://doi.org/10.1021/acs.jchemed.2c00572>
- Elaoufy, H. (2023). Bridging the Gap between Digital Native Students and Digital Immigrant Professors: Reciprocal Learning and Current Challenges. *American Journal of Education and Technology*, 2(2), 23–33. <https://doi.org/10.54536/ajet.v2i2.1522>
- Elbaly, M., & Elfeky, A. (2023). *THE EFFICIENCY OF INSTRUCTIONAL GAMING PROGRAMS IN STIMULATING THE EFFICIENCY OF INSTRUCTIONAL GAMING*. June. <https://doi.org/10.31838/ecb/2023.12.si6.585>
- Ennis, R. (1985). Critical Thinking: A Streamlined Conception. *Teaching Philosophy*.
- Facione, P. A. (1990). Critical Thinking : A Statement of Expert Consensus for Purposes of Educational Assessment and Instruction Executive Summary “ The Delphi Report. *The California Academic Press*, 423(c), 1–19. http://www.insightassessment.com/pdf_files/DEXadobe.PDF
- Fatemah, A., Rasool, S., & Habib, U. (2020). Interactive 3D Visualization of Chemical Structure Diagrams Embedded in Text to Aid Spatial Learning Process of Students. *Journal of Chemical Education*, 97(4), 992–1000. <https://doi.org/10.1021/acs.jchemed.9b00690>
- Febaliza, A., Afdal, Z., & Copriady, J. (2023). Improving Students' Critical Thinking Skills: Is Interactive Video and Interactive Web Module Beneficial? *International Journal of Interactive Mobile Technologies*, 17(3), 70–86. <https://doi.org/10.3991/ijim.v17i03.34699>
- Gandhi, H. A., Jakymiw, S., Barrett, R., Mahaseth, H., & White, A. D. (2020). Real-time interactive simulation and visualization of organic molecules. *Journal of Chemical Education*, 97(11), 4189–4195. <https://doi.org/10.1021/acs.jchemed.9b01161>
- Ghanbaripour, A. N. et al. (2024). A Systematic Review of the Impact of Emerging Technologies on Student Learning, Engagement, and Employability in Built Environment Education. *Buildings*, 14.
- Hake, R. R. (1998). Interactive-engagement versus traditional methods: A six-thousand-student survey of mechanics test data for introductory physics courses. *American Journal of Physics*, 66(1), 64–74. <https://doi.org/10.1119/1.18809>
- Henriksen, D., Richardson, C., & Shack, K. (2020). Mindfulness and creativity: Implications for thinking and learning. *Thinking Skills and Creativity*, 37(December 2019), 1–10. <https://doi.org/10.1016/j.tsc.2020.100689>
- Hina, S., Dominic, P. D. D., & Zaidi, K. S. (2020). Use of interactive tools for teaching and learning practices in higher education institutions. *International Journal of Business Innovation and Research*, 22(4), 469–487. <https://doi.org/10.1504/IJBIR.2020.109040>
- Holly, M., Pirker, J., Resch, S., Brettschuh, S., & Gütl, C. (2021). Designing VR

- Experiences – Expectations for Teaching and Learning in VR. *Educational Technology and Society*, 24(2), 107–119.
- Hosna, A., Merry, E., Gyalmo, J., Alom, Z., Aung, Z., & Azim, M. A. (2022). Transfer learning: a friendly introduction. *Journal of Big Data*, 9(1). <https://doi.org/10.1186/s40537-022-00652-w>
- Jonsson, B., Wiklund-Hörnqvist, C., Stenlund, T., Andersson, M., & Nyberg, L. (2021). A Learning Method for All: The Testing Effect Is Independent of Cognitive Ability. *Journal of Educational Psychology*, 113(5), 972–985. <https://doi.org/10.1037/edu0000627>
- Kim, K. H. (2006). Is creativity unidimensional or multidimensional? Analyses of the torrance tests of creative thinking. *Creativity Research Journal*, 18(3), 251–259. https://doi.org/10.1207/s15326934crj1803_2
- Kuchai, O., Kotiash, I., Shevchuk, I., Borysonok, M., Matviienko, I., Popov, M., & Terekhov, V. (2022). Possibilities of Using Multimedia Technologies in Education. *IJCSNS International Journal of Computer Science and Network Security*, 22(6), 727. <https://doi.org/10.22937/IJCSNS.2022.22.6.91>
- Lang, F. K., & Bodner, G. M. (2020). A Review of Biochemistry Education Research. *Journal of Chemical Education*, 97(8), 2091–2103. <https://doi.org/10.1021/acs.jchemed.9b01175>
- Lee, K. Y. R., Ng, Y. N. B., & Chen, M. D. (2024). Adoption of the ADDIE Approach in an Agile Way for the Development of Biochemistry Courseware for Learning Metabolism. *Journal of Chemical Education*, 101(3), 1292–1301. <https://doi.org/10.1021/acs.jchemed.3c00851>
- Lombardi, D., Shipley, T. F., Bailey, J. M., Bretones, P. S., Prather, E. E., Ballen, C. J., Knight, J. K., Smith, M. K., Stowe, R. L., Cooper, M. M., Prince, M., Atit, K., Uttal, D. H., LaDue, N. D., McNeal, P. M., Ryker, K., St. John, K., van der Hoeven Kraft, K. J., & Docktor, J. L. (2021). The Curious Construct of Active Learning. *Psychological Science in the Public Interest*, 22(1), 8–43. <https://doi.org/10.1177/1529100620973974>
- Long, S., Andreopoulos, S., Patterson, S., Jenkinson, J., & Ng, D. P. (2021). Metabolism in Motion: Engaging Biochemistry Students with Animation. *Journal of Chemical Education*, 98(5), 1795–1800. <https://doi.org/10.1021/acs.jchemed.0c01498>
- Mao Chao, C., Xu, C., Loaiza, V., & Rose, N. S. (2024). Are latent working memory items retrieved from long-term memory? *Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 77(8), 1703–1726. <https://doi.org/10.1177/17470218231217723>
- Mathews, C. K., Holde, K. E. Van, Appling, D. R., & Anthony-Cahill, S. J. (2015). *Biochemistry*. <http://books.google.com/books?id=BRftngEACAAJ&pgis=1>
- Mayer, R. E. (2014). The Cambridge handbook of multimedia learning, second edition. In *The Cambridge Handbook of Multimedia Learning, Second Edition*. <https://doi.org/10.1017/CBO9781139547369>
- Mayer, R. E. (2021). MULTIMEDIA LEARNING. In *University of California* (Vol. 11, Issue 1). http://scioteca.caf.com/bitstream/handle/123456789/1091/RED2017-Eng-8ene.pdf?sequence=12&isAllowed=y%0Ahttp://dx.doi.org/10.1016/j.regsciu_rbeco.2008.06.005%0Ahttps://www.researchgate.net/publication/305320484_SISTEM_PEMBETUNGAN_TERPUSAT_STRATEGI_MELESTARI
- Mayer, R. E., & Fiorella, L. (2022). THE CAMBRIDGE HANDBOOK OF

- MULTIMEDIA LEARNING (Third Edition). In *Cambridge University Press*.
- Muchowska, K. B., Varma, S. J., & Moran, J. (2020). Nonenzymatic Metabolic Reactions and Life's Origins. *Chemical Reviews*, *120*(15), 7708–7744. <https://doi.org/10.1021/acs.chemrev.0c00191>
- Nurjanah, Dahlan, J. A., & Wibisono, Y. (2020). The Effect of Hands-On and Computer-Based Learning Activities on Conceptual Understanding and Mathematical Reasoning. *International Journal of Instruction*, *14*(1), 143–160. <https://doi.org/10.29333/IJI.2021.1419A>
- Patel, N. S., Puah, S., & Kok, X. F. K. (2024). Shaping future-ready graduates with mindset shifts: studying the impact of integrating critical and design thinking in design innovation education. *Frontiers in Education*, *9*(June), 1–16. <https://doi.org/10.3389/feduc.2024.1358431>
- Pellas, N., Mystakidis, S., & Kazanidis, I. (2021). Immersive Virtual Reality in K-12 and Higher Education: A systematic review of the last decade scientific literature. *Virtual Reality*, *25*(3), 835–861. <https://doi.org/10.1007/s10055-020-00489-9>
- Rahmahani, D., Suyoto, & Pranowo. (2020). The effect of gamified student response system on students' perception and achievement. *International Journal of Engineering Pedagogy*, *10*(2), 45–58. <https://doi.org/10.3991/ijep.v10i2.11698>
- Rahmatan, H., Liliyasi, & Redjeki, S. (2013). Pembelajaran berbasis multimedia interaktif pada topik katabolisme karbohidrat untuk meningkatkan penguasaan konsep mahasiswa calon guru biologi. *Jurnal Pendidikan IPA Indonesia*, *2*(1), 1–7. <https://doi.org/10.15294/jpii.v2i1.2502>
- Rapanta, C., Botturi, L., Goodyear, P., Guàrdia, L., & Koole, M. (2021). Balancing Technology, Pedagogy and the New Normal: Post-pandemic Challenges for Higher Education. *Postdigital Science and Education*, *3*(3), 715–742. <https://doi.org/10.1007/s42438-021-00249-1>
- Rodriguez, J. M. G., & Towns, M. H. (2021). Analysis of biochemistry students' graphical reasoning using misconceptions constructivism and fine-grained constructivism: Why assumptions about the nature and structure of knowledge matter for research and teaching. *Chemistry Education Research and Practice*, *22*(4), 1020–1034. <https://doi.org/10.1039/d1rp00041a>
- Salame, I. I., Abid, M., & Simms, S. (2022). Examining some of the Challenges that Students Face in Learning about Metabolic Pathways in a Traditional Biochemistry Course. *International Journal of Instruction*, *15*(4), 277–292. <https://doi.org/10.29333/iji.2022.15416a>
- Salselas, I., Penha, R., & Bernardes, G. (2021). Sound design inducing attention in the context of audiovisual immersive environments. *Personal and Ubiquitous Computing*, *25*(4), 737–748. <https://doi.org/10.1007/s00779-020-01386-3>
- Sasan, J. M. V., Sasan, J. M. V., & Rabillas, A. (2022). Multimedia English Teaching Approach Based on Constructivist Learning Theory. *ELTALL: English Language Teaching, Applied Linguistic and Literature*, *3*(2), 51–65. <https://doi.org/10.21154/eltall.v3i2.4607>
- Schneider, S., Beege, M., Nebel, S., Schnaubert, L., & Rey, G. D. (2022). The Cognitive-Affective-Social Theory of Learning in digital Environments (CASTLE). In *Educational Psychology Review* (Vol. 34, Issue 1). Educational Psychology Review. <https://doi.org/10.1007/s10648-021-09626-5>

- Septiani, I. A. nisa N. S., Septiani, I., Rejekiningsih, T., Triyanto, & Rusnaini. (2020). Development of interactive multimedia learning courseware to strengthen students' character. *European Journal of Educational Research*, 9(3), 1267–1279. <https://doi.org/10.12973/eu-jer.9.3.1267>
- Seritan, S., Wang, Y., Ford, J. E., Valentini, A., Gold, T., & Martínez, T. J. (2021). InteraChem: Virtual Reality Visualizer for Reactive Interactive Molecular Dynamics. *Journal of Chemical Education*, 98(11), 3486–3492. <https://doi.org/10.1021/acs.jchemed.1c00654>
- Simanjuntak, M. P., Hutahaean, J., Marpaung, N., & Ramadhani, D. (2021). Effectiveness of problem-based learning combined with computer simulation on students' problem-solving and creative thinking skills. *International Journal of Instruction*, 14(3), 519–534. <https://doi.org/10.29333/iji.2021.14330a>
- Simon, E. J., Dickey, J. L., Hogan, K. A., & Reece, J. B. (2017). *Campbell Intisari Biologi*. Erlangga.
- Surapaneni, K. M. (2023). “METAPAD” (METAbolic PATHways Decoded) – a gaming innovation to ease the complexity of metabolic pathways by promoting self-directed, active, participatory learning in small groups. *BMC Medical Education*, 23(1), 1–23. <https://doi.org/10.1186/s12909-023-04587-5>
- Tang, T., Vezzani, V., & Eriksson, V. (2020). Developing critical thinking, collective creativity skills and problem solving through playful design jams. *Thinking Skills and Creativity*, 37(May), 100696. <https://doi.org/10.1016/j.tsc.2020.100696>
- Teplá, M., Teplý, P., & Šmejkal, P. (2022). Influence of 3D models and animations on students in natural subjects. *International Journal of STEM Education*, 9(1). <https://doi.org/10.1186/s40594-022-00382-8>
- Terrell, C. R., Nickodem, K., Bates, A., Kersten, C., & Mernitz, H. (2021). Game-based activities targeting visual literacy skills to increase understanding of biomolecule structure and function concepts in undergraduate biochemistry. *Biochemistry and Molecular Biology Education*, 49(1), 94–107. <https://doi.org/10.1002/bmb.21398>
- Thornhill-Miller, B., Camarda, A., Mercier, M., Burkhardt, J. M., Morisseau, T., Bourgeois-Bougrine, S., Vinchon, F., El Hayek, S., Augereau-Landais, M., Mourey, F., Feybesse, C., Sundquist, D., & Lubart, T. (2023). Creativity, Critical Thinking, Communication, and Collaboration: Assessment, Certification, and Promotion of 21st Century Skills for the Future of Work and Education. *Journal of Intelligence*, 11(3). <https://doi.org/10.3390/jintelligence11030054>
- Torrance, E. P. (1972). Predictive Validity of the Torrance Tests of Creative Thinking. *The Journal of Creative Behavior*, 6(4), 236–262. <https://doi.org/10.1002/j.2162-6057.1972.tb00936.x>
- Tsai, Y. L., & Tsai, C. C. (2020). A meta-analysis of research on digital game-based science learning. *Journal of Computer Assisted Learning*, 36(3), 280–294. <https://doi.org/10.1111/jcal.12430>
- Tzenios, N. (2020). Clustering Students for Personalized Health Education Based on Learning Styles. *Sage Science Review of Educational Technology*, 3(1), 22–36. <https://journals.sagescience.org/index.php/ssret/article/view/22>
- Vagg, T., Balta, J. Y., Bolger, A., & Lone, M. (2020). Multimedia in Education:

- What do the Students Think? *Health Professions Education*, 6(3), 325–333. <https://doi.org/10.1016/j.hpe.2020.04.011>
- Van Ede, F., & Nobre, A. C. (2023). Turning Attention Inside Out: How Working Memory Serves Behavior. *Annual Review of Psychology*, 74, 137–165. <https://doi.org/10.1146/annurev-psych-021422-041757>
- Villafañe, S. M., Minderhout, V., Heyen, B. J., Lewis, J. E., Manley, A., Murray, T. A., Tienson-Tseng, H., & Loertscher, J. (2021). Design and implementation of a tool to assess students' understanding of metabolic pathways dynamics and regulation. *CBE Life Sciences Education*, 20(3), 1–15. <https://doi.org/10.1187/cbe.20-04-0078>
- Voet, D., Voet, J. G. ., & Pratt, C. W. (2013). Fundamentals of Biochemistry. In *John Wiley & Sons Inc.* https://doi.org/10.7326/0003-4819-14-8-1452_1
- Wang, Y. H. (2020). Design-based research on integrating learning technology tools into higher education classes to achieve active learning. *Computers and Education*, 156(May), 103935. <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2020.103935>
- Welter, V. D. E., Herzog, S., Harms, U., Steffensky, M., & Großschedl, J. (2022). School subjects' synergy and teacher knowledge: Do biology and chemistry teachers benefit equally from their second subject? *Journal of Research in Science Teaching*, 59(2), 285–326. <https://doi.org/10.1002/tea.21728>
- Yakob, M., Saiman, Sofiyan, Sari, R. P., & El Islami, R. A. Z. (2020). The effectiveness of science experiment through multimedia teaching materials to improve students' critical thinking. *Journal of Physics: Conference Series*, 1567(4). <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1567/4/042018>
- Yang, F. Y., & Wang, H. Y. (2023). Tracking visual attention during learning of complex science concepts with augmented 3D visualizations. *Computers and Education*, 193(October 2022), 104659. <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2022.104659>
- Yılmaz, A. (2021). The effect of technology integration in education on prospective teachers' critical and creative thinking, multidimensional 21st century skills and academic achievements. *Participatory Educational Research*, 8(2), 163–199. <https://doi.org/10.17275/per.21.35.8.2>
- Zhao, Y., Jiang, J., Chen, Y., Liu, R., Yang, Y., Xue, X., & Chen, S. (2022). Metaverse: Perspectives from graphics, interactions and visualization. *Visual Informatics*, 6(1), 56–67. <https://doi.org/10.1016/j.visinf.2022.03.002>