

Tantangan dan Peluang Pembelajaran Biologi di Masa Pasca Pandemi Covid-19: Tinjauan Pustaka Sistematis dan Sintesis Tematik

Challenges and Opportunities of Learning Biology in the Post-Covid-19 Pandemic: A Systematic Literature Review and Thematic Synthesis

Hidayati Maghfiroh¹, Siti Zubaidah^{2*}, Susriyati Mahanal³, Hendra Susanto⁴

^{1,2,3,4} Program Studi Pendidikan Biologi, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Negeri Malang, Jalan Semarang No. 5, Sumber Sari, Kec. Lowokwaru, Kota Malang 65145

Abstrak

Pandemi COVID-19 telah membawa perubahan yang signifikan dalam pembelajaran Biologi, terutama dengan dominansi pembelajaran *online* berbasis digital. Namun, pelaksanaan pembelajaran Biologi secara *online* cenderung dilaksanakan dengan tergesa-gesa. Akibatnya, pembelajaran direncanakan dengan kurang maksimal sehingga berdampak pada penerapan pembelajaran Biologi digital yang berpusat pada guru. Dengan demikian, tujuan penelitian ini adalah untuk: 1) mengeksplorasi peluang pembelajaran Biologi berbasis digital yang berpusat pada siswa di masa pasca COVID-19, dan 2) menguraikan tantangan pembelajaran Biologi berbasis digital. Metode penelitian ini dilakukan secara sistematis dengan mengikuti prosedur *systematic literature review* (SLR) untuk melacak artikel yang relevan. Prosedur SLR dilakukan dengan bantuan *software* Publish or Perish dan Mendeley. Kemudian, artikel relevan yang diperoleh dianalisis dengan teknik *thematic synthesis* menggunakan NVivo 12 *software*. Hasil dari proses SLR diperoleh 46 artikel yang relevan untuk dianalisis. Berdasarkan analisis *thematic synthesis* diperoleh beberapa tema yang menggambarkan peluang dan tantangan pembelajaran Biologi digital yang berpusat pada siswa. Berdasarkan tujuan pertama, diperoleh tiga tema analitis, antara lain: 1) *virtual learning environments*, 2) *blended learning approach*, dan 3) *innovative blended learning approach*. Berdasarkan tujuan kedua, diperoleh dua tema analitis, yaitu: 1) *inadequately motivation of learning*, dan 2) *inequality digital technology*. Pembelajaran Biologi berbasis digital di masa pasca COVID-19 berpeluang memanfaatkan berbagai *platform* digital dengan mengintegrasikan lingkungan belajar *online* dan *offline*. Peluang pembelajaran yang didominasi *platform* digital menimbulkan tantangan, sehingga persiapan yang maksimal dibutuhkan dalam merancang pembelajaran Biologi digital. Penelitian ini diharapkan dapat memberikan wawasan dan membantu dalam merancang pembelajaran Biologi digital yang relevan dan berpusat bagi siswa di pasca COVID-19.

Kata Kunci: Pasca-COVID-19; Pembelajaran Biologi Digital; Sintesis Tematik; Tinjauan Pustaka Sistematis

Abstract

The COVID-19 pandemic has brought significant changes in biology learning, especially digital-based learning. However, Biology learning that is carried out in a hurry causes less learning planning, so it has an impact on teacher-centered digital learning. Thus, the objectives of this study are to 1) explore the opportunities for learner-centered digital-based Biology learning in the post-COVID-19 era and 2) outline the challenges of digital-based Biology learning. This research method systematically follows a systematic literature review (SLR) procedure to track relevant articles. The SLR procedure was carried out with the help of Publish or Perish and Mendeley software. Then, the relevant articles obtained were analyzed by thematic synthesis technique using NVivo 12 software. The results obtained from the SLR procedure are 46 articles. Furthermore, based on the thematic synthesis analysis, several themes were obtained that describe the opportunities and challenges of digital-based Biology learning. Based on the first objective, three analytical themes were obtained, including 1) *virtual learning environments*, 2) *blended learning approaches*, and 3) *innovative blended learning approaches*. Then, based on the second objective, two analytical themes were obtained: 1) *the inadequacy of motivation for learning* and 2) *the inequality of digital technology*. Digital-based Biology learning in the post-COVID-19 era has the opportunity to integrate online and offline learning by utilizing digital platforms. Learning opportunities that are dominated by digital platforms pose challenges. This research is expected to provide insight and assist in designing digital-based Biology learning relevant and centered for students in the post-COVID-19 era.

Keywords: Digital Biology Learning; Post-COVID-19; Systematic Literature Review; Thematic Synthesis

Article History

Received: April 4th, 2022 ;Accepted: August 18th, 2022 ;Published: August 26th, 2022

Corresponding Author*

Siti Zubaidah, Program Studi Pendidikan Biologi, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Negeri Malang, E-mail: siti.zubaidah.fmipa@um.ac.id

© 2022 Authors. This is an open-access article under the CC BY-SA 4.0 license (<https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/>)

PENDAHULUAN

Pada masa pasca COVID-19 pertumbuhan eksponensial Teknologi Informasi dan Komunikasi (TIK) membantu keterlaksanaan pembelajaran *online*, termasuk dalam pembelajaran Biologi (Muth et al., 2021). Pandemi COVID-19 juga mempercepat proses digitalisasi pembelajaran Biologi, sehingga beberapa proses Biologi yang abstrak dapat dijelaskan secara konkret (Ashri & Sahoo, 2021). Para pendidik Biologi telah berupaya secara proaktif dan cepat untuk melakukan perubahan pada sistem pembelajaran akibat kedatangan pandemi COVID-19 yang tidak terduga (Zhao & Watterston, 2021). Perubahan besar telah diupayakan dalam sistem pembelajaran dengan melakukan transformasi pembelajaran berbasis teknologi digital (Kang, 2021).

Pendidik berusaha beradaptasi dengan melakukan pergeseran lingkungan belajar berbasis digital, agar siswa tidak kehilangan waktu untuk belajar. Pergeseran lingkungan belajar dilakukan dari *traditional learning* menjadi *online learning* (Almaiah et al., 2020). *Traditional learning* memiliki karakteristik pelaksanaan pembelajaran dilakukan pada tempat dan waktu yang sama. Berbeda dengan *online learning* yang cenderung memiliki fleksibilitas terhadap tempat maupun waktu. Salah satu sistem yang sering digunakan dalam *online learning* adalah *Learning Management Systems* (LMSs). LMSs merupakan salah satu contoh perangkat lunak yang dapat berfungsi untuk memudahkan aksesibilitas administrasi, menyediakan kurikulum terstruktur, dan memudahkan penyampaian materi kepada siswa (Back et al., 2016). Krisis pandemi COVID-19 tidak hanya berimplikasi dalam menciptakan peluang untuk melakukan adaptasi terhadap teknologi digital, tetapi juga menimbulkan tantangan dalam pengembangan inovasi pembelajaran Biologi (Teras et al., 2020).

Pandemi COVID-19 yang terjadi secara besar-besaran, membuka peluang inovasi sekaligus tantangan bagi pendidik Biologi secara global. Kemajuan TIK memberikan peluang bagi para pendidik untuk memikirkan kembali rancangan pembelajaran digital yang berpusat bagi siswa. Namun, pembelajaran saat ini belum terstruktur dengan baik, sebagian besar pendidik tidak tahu apa yang harus dilakukan dalam *online learning*. Akibatnya, rencana pembelajaran Biologi berbasis digital kurang disiapkan sehingga menyebabkan pembelajaran berpusat pada siswa (Siswati, et al., 2021). Pandemi telah memaksa pendidik untuk mendesain kembali rencana pembelajaran dari *traditional learning* menjadi *online learning* yang didominasi penggunaan teknologi digital (Sun et al., 2020).

Pandemi COVID-19 telah memberikan ruang bagi pendidik Biologi untuk mempercepat kemajuan dan inovasi dengan merubah rencana pembelajaran berbasis digital. Namun, perubahan rencana pembelajaran Biologi digital yang dilakukan belum menunjukkan perubahan esensial yang diperlukan di masa depan. Perubahan atau inovasi yang diterapkan lebih menangani kebutuhan mendesak untuk menjangkau siswa belajar dari rumah. Meskipun perubahan rencana belajar yang dilakukan dapat menjangkau pendidikan dalam jangka pendek, akan tetapi perubahan ini belum berdampak untuk pendidikan jangka panjang. Perubahan rencana belajar yang diharapkan dapat mengadopsi dua kekuatan besar, yaitu lingkungan belajar *offline* dan *online* (Teras et al., 2020).

Pembelajaran yang dilakukan dengan menggabungkan lingkungan belajar *offline* dan *online* dikenal dengan *blended learning*. Pandemi telah mendorong inovasi praktik pembelajaran Biologi berbasis teknologi digital yang umumnya digunakan saat *online learning*. Mode penyampaian dalam pengajaran ditingkatkan dengan memanfaatkan *platform* digital. Namun, pendidik harus memahami bahwa media sumber daya digital hanya berperan untuk menyampaikan informasi, dan tidak sendirinya menyebabkan pengajaran yang berpusat pada siswa. Pendekatan pedagogis tetap dibutuhkan agar siswa dapat secara mandiri dalam mempelajari konten pembelajaran digital (Muth et al., 2021).

Keadaan darurat COVID-19 telah memaksa sekolah di seluruh dunia untuk mengatur kembali kegiatan pengajaran menggunakan mode pembelajaran digital. Teknologi telah mengubah cara kerja individu dengan meningkatkan aktivitas kerja yang lebih efisien. Saat ini, berbagai tren pembelajaran dilakukan dengan memasukkan teknologi digital ke dalam pembelajaran karena bermanfaat bagi siswa dan guru. Namun, digitalisasi pada kegiatan belajar juga menciptakan beberapa kekhawatiran terhadap perubahan layanan pendidikan. Kenyataan menunjukkan bahwa penggunaan teknologi juga dapat berdampak bagi siswa dan guru. Penggunaan teknologi digital yang kurang bijak dapat menimbulkan masalah fisik, sosial, dan psikologis (Fernandez-Batanero et al., 2021).

Transformasi digital memberikan peluang dan tantangan bagi pendidik Biologi untuk merancang praktik pembelajaran yang lebih interaktif dan menarik. Pendidik dapat mendesain kegiatan belajar yang berpusat pada siswa sehingga dapat meningkatkan motivasi dan hasil belajar siswa (Secundo et al., 2021). Keadaan pasca-COVID-19 yang lebih menantang merupakan kesempatan penting untuk merenungkan kembali desain rancangan belajar berbasis teknologi digital yang memfasilitasi keterlibatan siswa. Atas dasar inilah, penelitian ini bertujuan untuk: 1) mengeksplorasi peluang pembelajaran Biologi berbasis digital yang berpusat pada siswa di masa pasca COVID-19, dan 2) menguraikan tantangan pembelajaran Biologi berbasis digital.

METODE

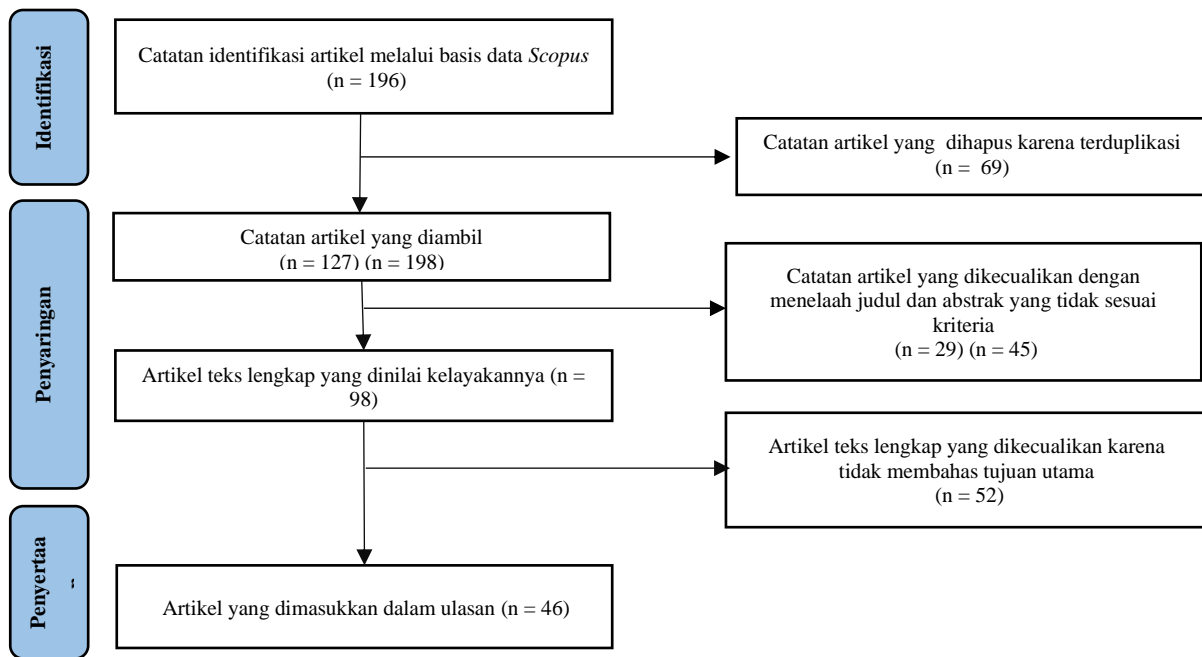
Penelitian ini dilakukan menggunakan metode *systematic literature review* dengan teknik analisis data *thematic synthesis* (Neely et al., 2014). Teknik analisis data *thematic synthesis* dilakukan bertujuan untuk menyintesis penelitian kualitatif secara transparan dengan membuat tema baru sehingga dihasilkan kategori tematik tingkat tinggi. Sebelum melaksanakan analisis data *thematic synthesis*, prosedur *systematic literature review* dilakukan untuk melacak artikel yang relevan. Prosedur *systematic literature review* mengikuti Xiao & Watson (2012) yang terdiri dari tiga tahap utama, yaitu, perencanaan, pelaksanaan, dan pelaporan. Berikut penjelasan masing-masing tahapannya.

Perencanaan

Perencanaan dilakukan untuk menentukan hal-hal berikut: a) penentuan tujuan penelitian, b) penentuan database, c) penentuan kriteria inklusi, dan d) penentuan kriteria eksklusi. Tujuan melakukan prosedur *systematic literature review* adalah untuk: 1) mengeksplorasi peluang pembelajaran Biologi berbasis digital yang berpusat pada siswa di masa pasca COVID-19, dan 2) menguraikan tantangan pembelajaran Biologi berbasis digital. Selanjutnya, *database* yang digunakan dalam melacak artikel yang relevan dengan tujuan penelitian ini yaitu *Scopus database*. Lalu, penentuan kriteria inklusi dan eksklusi untuk menyaring artikel yang memenuhi syarat. Kriteria inklusi merupakan kriteria artikel yang memenuhi syarat dalam penelitian ini, meliputi: 1) rentang tahun artikel 2017 sampai 2021, 2) artikel ditulis dalam bahasa Inggris, 3) studi berkaitan dengan pembelajaran Biologi, 4) subyek penelitian siswa dari jenjang sekolah menengah pertama sampai perguruan tinggi dan pendidik biologi. Kemudian, penentuan kriteria eksklusi yaitu kriteria artikel yang tidak memenuhi syarat dalam penelitian. Kriteria eksklusi dalam penelitian ini adalah penelitian yang tidak sesuai dengan tujuan *systematic literature review* ini.

Pelaksanaan

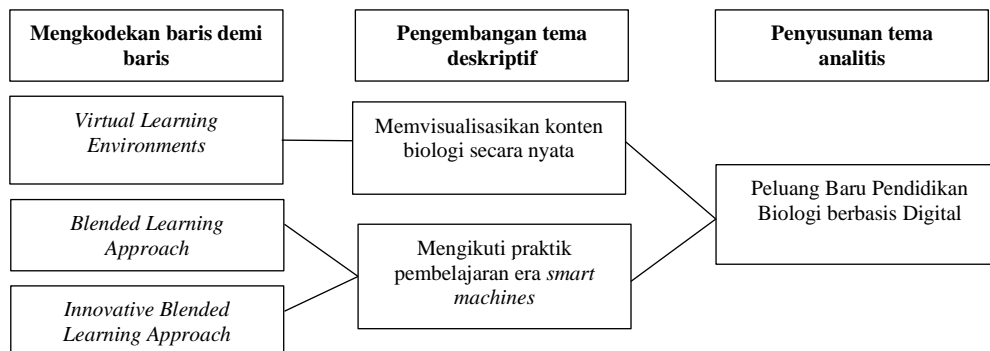
Pelaksanaan prosedur *systematic literature review* dilakukan dengan tiga tahap utama, yaitu identifikasi, penyaringan, dan penyertaan yang disajikan pada Gambar 1. *Pertama*, identifikasi artikel dilakukan melalui *Scopus database* menggunakan *Publish or Persih software*. Hasil tahap pertama diperoleh 196 artikel yang sesuai dengan kriteria inklusi. *Kedua*, artikel yang diperoleh dari tahap pertama dimasukkan dalam *Mendeley software* untuk dihapus artikel yang terduplikasi. Hasil dari tahap kedua diperoleh 127 artikel yang tidak terduplikasi. *Ketiga*, penyaringan artikel dilakukan dengan meninjau berdasarkan judul dan abstrak. Hasil dari tahap ketiga, artikel sebanyak 29 dihapus karena tidak sesuai dengan kriteria inklusi. *Keempat*, penyaringan berdasarkan artikel teks lengkap dengan mempertimbangkan kriteria eksklusi sehingga diperoleh 46 artikel relevan. *Kelima*, merangkum setiap artikel pada templat ekstraksi yang mencakup komponen berikut: 1) penulis dan tahun publikasi, 2) tujuan/fokus artikel, 3) konteks, dan 4) subyek penelitian, 5) metode setiap artikel yang disajikan pada Tabel 1.



Gambar 1. Diagram Alir berbagai Tahapan *Systematic Literature Review*

Pelaporan

Pelaporan dilakukan dengan *thematic synthesis* untuk menemukan tema baru di luar isi deskriptif artikel dengan bantuan NVivo 12 software. Pedoman *thematic synthesis* mengikuti protokol Thomas & Harden (2008) yang diuraikan dalam tiga tahapan. *Pertama*, mengkodekan data dari artikel baris demi baris dari menurut makna dan isi. Praktik pembelajaran biologi dikodekan untuk mencerminkan hubungan peluang baru pendidikan biologi. *Kedua*, pengembangan tema deskriptif dilakukan dengan mengelompokkan kode yang sama dan mendeskripsikan setiap tema dari kode baris demi baris. *Ketiga*, penyusunan tema analitis dilakukan dengan menghubungkan tema deskriptif dengan tujuan penelitian ini. Identifikasi perbedaan dan persamaan tema dapat menyintesis temuan ke dalam kerangka konseptual baru yang menggambarkan peluang baru pendidikan Biologi. Berikut salah satu contoh tema analitis yang menggambarkan peluang baru pendidikan biologi pasca-COVID-19 yang disajikan pada Gambar 2.



Gambar 2. Contoh Tema Pengkodean dan Analisis Data

Tabel 1. Ringkasan Artikel yang Ditinjau

No	Penulis, tahun	Tujuan Penelitian	Konteks	Subyek	Metode
1	Thisgaard, & Makransky (2017)	Membandingkan <i>Virtual Learning Simulation</i> pada topik evolusi dan untuk membelajarkan STEM.	<i>Virtual learning simulations, e-learning, career development, STEM, self-efficacy.</i>	18	<i>Crossover Repeated Measures</i>
2	Albedyll, et al (2017)	Mengembangkan bahan ajar berbasis ekosistem berbasis <i>hands-on</i> elemen.	<i>Hands-on materials, out-of-school learning, motivation, and enjoyment of learning.</i>	13-17	<i>Research & Development</i>
3	Rahmat & Chanunan (2018)	Mengetahui pengaruh <i>Open Inquiry</i> terhadap keterampilan metakognitif pada akademik berbeda.	<i>Metacognitive skills, retention, academic ability, open inquiry, learning journal.</i>	16-17	<i>Quasi-Experimental</i>
4	Ibrahim, et al (2018)	Pengembangan pembelajaran <i>Integrative Curriculum</i> untuk menerapkan nilai islam.	<i>Integrative Curriculum.</i>	13-14	<i>Research & Development</i>
5	McEneaney & Nieswandt (2018)	Menganalisis hubungan sumber daya pada <i>models of engineering design content learning</i> .	<i>Cognitive, social, affective, group, models of engineering design content learning.</i>	14-15	<i>Mixed-Methods</i>
6	Kısoglu (2018)	Mengetahui motivasi siswa terhadap biologi.	<i>Motivation & attitude for learning biology.</i>	14-18	<i>Relational</i>
7	Mutakinati, et al (2018)	Menginvestigasi keterampilan berpikir kritis dengan penerapan <i>STEM-Project Based Learning</i> .	<i>STEM, Project-Based Learning, critical thinking.</i>	11-14	<i>Descriptive Research</i>
8	Shen, et al. (2018)	Mengkaji hubungan antara <i>strategies of learning biology, epistemic, dan conceptions of biology</i> .	<i>Strategies of learning biology, epistemic, dan conceptions of learning biology.</i>	16-18	<i>Relational</i>
9	Kangloan, et al (2018)	Mengembangkan <i>mixed media</i> berbasis <i>internet-based multi-instruction</i> .	<i>The mixed media, internet-based, multi-instruction,.</i>	15-16	<i>Instructional Design</i>
10	Burgin, et al (2018)	Meningkatkan minat terhadap model molekuler melalui program <i>Visual Molecular Dynamics</i> .	<i>Molecular graphics and representations, molecular visualization.</i>	14-16	<i>Instructional Design</i>
11	Molla & Muche (2018)	Mengevaluasi <i>Cooperative Learning Achievement Division</i> pada prestasi akademik dan laboratorium.	<i>Cooperative Learning Achievement Division, academic, laboratory proficiency</i>	14-15	<i>Quasi-Experimental</i>
12	Dipuja, et al (2018)	Mengembangkan lembar kerja yang berorientasi <i>accelerated learning on plantae and ecosystems</i> .	<i>Motivation and learning activities</i>	15-16	<i>Research & Development</i>
13	Sukarso, et al (2019)	Mengidentifikasi potensi disposisi kreatif dalam pembelajaran biologi.	<i>Motivation, worksheet, creative disposition as a perspective to develop creative teaching.</i>	15-16	<i>Qualitative</i>
14	Sugiharto, et al (2019)	Menginvestigasi kesiapan calon guru pada <i>Blended Collaborative Problem Based Learning model</i> .	<i>Internet access, increasing bandwidth, internet network, and policies BCPBL class.</i>	19-23	<i>Exploratory Survey</i>
15	Ardi, et al (2019)	Mendeskripsikan pelaksanaan pembelajaran Kurikulum 2013 di Kabupaten Pesisir Selatan.	<i>Planning, learning implementation, assessment.</i>	Guru	<i>Descriptive</i>
16	Boleng & Lumowa (2019)	Mengetahui respon guru dalam memanfaatkan sumber alam lokal sebagai media biologi.	<i>Local natural resources in the air, waters, and inland as learning media</i>	Guru	<i>Survey</i>

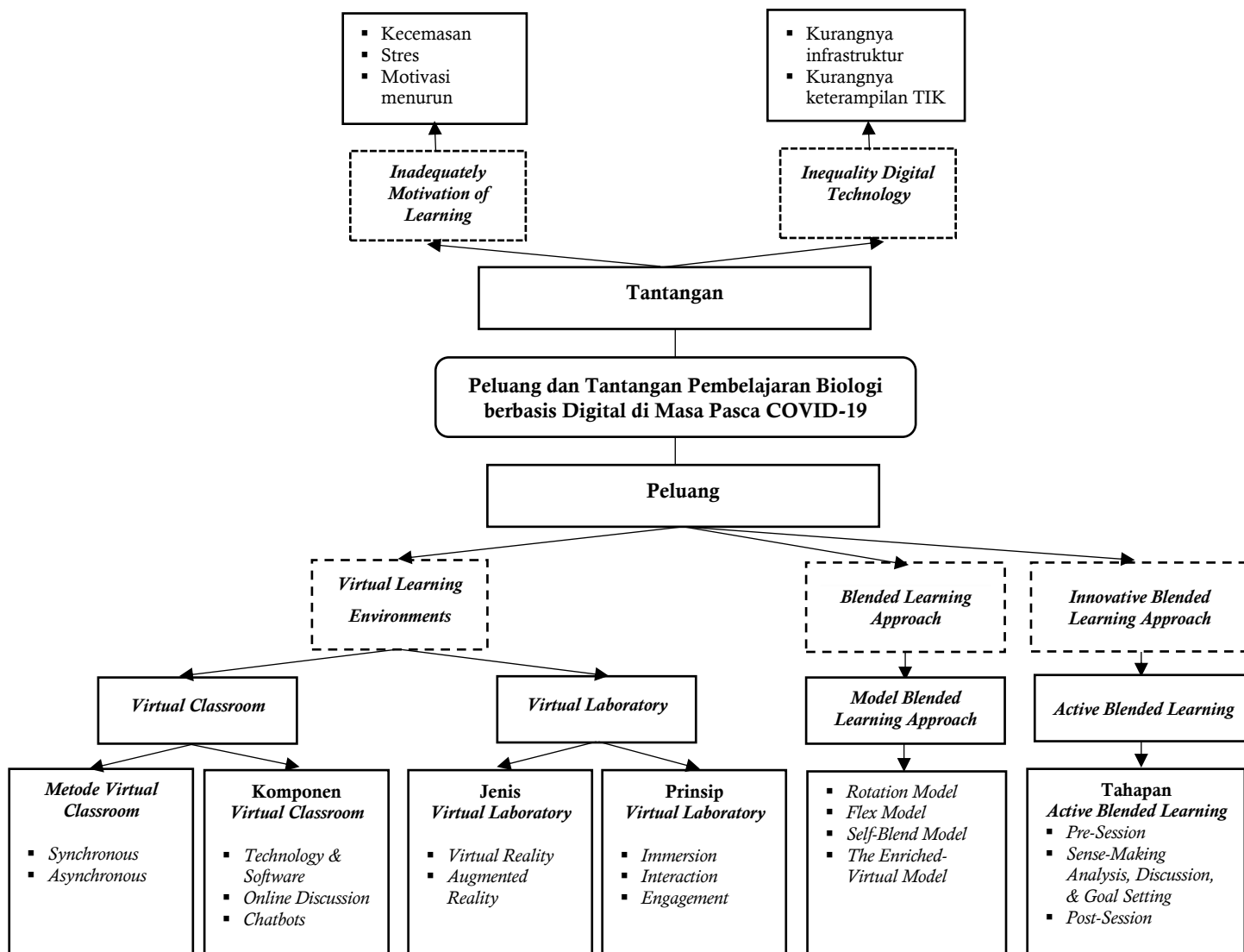
17	Firmansah & Suryadarma (2019)	Mengetahui pengaruh model <i>Outdoor Learning</i> terhadap peningkatan sikap peduli lingkungan.	<i>Outdoor learning model, environmental care attitude.</i>	15-16	Quasi-Experimental
18	As'ari, et al. (2019)	Mengkaji keterkaitan <i>concept map structure</i> pada biologi.	<i>Concept Map Structure, Existing Learning.</i>	15-16	Relational
19	Feyzioglu (2019)	Menguji hubungan <i>inquiry-based self-efficacy, achievement goal orientation, and inquiry skills.</i>	<i>Inquiry-based self-efficacy, achievement goal orientation, the inquiry skills.</i>	12-14	Instructional Design
20	Orizasativa, et al. (2019)	Mengungkap pendapat ahli tentang kontinum pembelajaran materi genetika ditinjau dari materi.	<i>Learning Continuum, pedagogic materials, cognitive level more complex.</i>	Guru	Survey
21	Diepreye & Odukoya (2019)	Mengetahui pengaruh metode pengajaran pasif dan aktif terhadap pembelajaran biologi di Yenagoa.	<i>Active learning, learning.</i>	13-18	Quasi-Experimental
22	Suwarno & Suratsih (2019)	Mengembangkan <i>bio-monopoli, educational game as learning media of human musculoskeletal.</i>	<i>Bio-Monopoli, educational game, learning motivation.</i>	16-17	Research & Development
23	Webb, et al (2019)	Menyelidiki penambahan <i>haptics (virtual touch) ke simulasi virtual reality 3D.</i>	<i>Haptic-Enabled Virtual Reality Simulation 3D, Interactive Learning Science.</i>	12-13	Research & Development
24	Rao & Saha (2019)	Mendesain <i>An Immersive Learning Platform (computer-based learning platform).</i>	<i>Immersive Learning, computer-assisted learning, intelligent tutor, content delivery.</i>	16-17	Quasi-Experimental
25	Angriani & Nurcahyo (2019)	Mengembangkan <i>media e-learning berbasis Moodle materi sistem imun.</i>	<i>Moodle-based e-learning, self-directed learning.</i>	16-17	Research & Development
26	Dash (2019)	Menggunakan <i>Google Classroom as a Learning Management System.</i>	<i>LMS, virtual classrooms, immediate feedback, cost-effectiveness, cloud.</i>	19-23	Instructional Design
27	Pietarinen, et al (2018)	Menguji pengaruh <i>collaborative inquiry learning berbasis web Virtual Baltic Sea Explorer.</i>	<i>Collaborative inquiry learning, web Virtual Baltic Sea Explorer, dampak teknologi.</i>	16-19	Relational
28	Pratama, et al (2019)	Mengembangkan buku berbasis pembelajaran menggunakan <i>3D pageflip.</i>	<i>3D pageflip, competence standard, lab work, technology in learning.</i>	12-13	Descriptive Research
29	Sukenda, et al (2019)	Mengembangkan media <i>object-based method with the waterfall model</i> pada pembelajaran biologi.	<i>Visualization, dynamic, interactive multimedia-based learning method.</i>	11-14	Research & Development
30	Saptarani, et al (2019)	Mendeskripsikan persepsi siswa pada STEM.	<i>STEM, interest, readiness, career, challenge.</i>	15-18	Descriptive Research
31	Ramos & Comendador (2019)	Mengembangkan <i>ARTitser</i> sebagai alat pendukung untuk belajar Biologi.	<i>Augment Reality, realistic representation, performance.</i>	11-14	Research & Development
32	Andic, et al (2020)	Menguji kontribusi dari <i>Dichotomous Mobile Key</i> dan <i>Dichotomous Printed Key</i> terhadap prestasi.	<i>Dichotomous mobile key, dichotomous printed key, constructivist approach.</i>	13-14	Quasi-Experimental

33	Sunarto, et al (2020)	Mengembangkan <i>Web and Android-based learning application MoLearn.</i>	<i>Web and Android-based learning application, attractive, internet support</i>	15-18	<i>Research & Development</i>
34	Kurniawati, et al. (2020)	Memperkenalkan <i>Virtual Reality</i> sebagai sarana pembelajaran.	<i>Virtual Reality, learner engagement, smartphone, Google Cardboard, constructivist learning.</i>	16-17	<i>Research & Development</i>
35	Utomo, et al. (2020)	Mengetahui keefektifan <i>STEAM based module equipped with flash animation.</i>	<i>STEAM, module equipped flash animation, readability, clarity of presentation.</i>	17-18	<i>Quasi-Experimental</i>
36	Almuqbil (2020)	Mengetahui kesadaran guru biologi terhadap pentingnya <i>Virtual Laboratory.</i>	<i>Virtual laboratories, awareness.</i>	Guru	<i>Descriptive</i>
37	Yelianti, et al. (2020)	Mengembangkan electronic learning media using <i>3D Pageflip</i> materi pokok Klasifikasi Makhluk Hidup.	<i>Electronic learning media 3D Pageflip, feasible.</i>	12-13	<i>Research & Development</i>
38	Perkasa, et al (2020)	Mendeskripsikan persepsi guru terhadap <i>sustainable development-based learning.</i>	<i>Sustainable development-based learning.</i>	Guru	<i>Descriptive Research</i>
39	Almareta, & Paidi (2020)	Mengetahui <i>suitability of learning plans in ICT-based RPP</i> oleh guru biologi.	<i>Information and communication technology.</i>	Guru	<i>Descriptive Research</i>
40	Suwono & Dewi (2021)	Mengembangkan <i>Problem-Based Instruction blended with online interaction.</i>	<i>PBI blended with online, motivation, scientific communication and HOTS.</i>	16-17	<i>Research & Development</i>
41	Ebrahim & Naj (2021)	Mendiskusikan pengaruh <i>Flipped Learning Method</i> untuk meningkatkan interaksi sosial saat belajar.	<i>Flipped Learning Method, technological gadgets, laboratory and fast internet.</i>	15-16	<i>Quasi-Experimental</i>
42	Jiang, et al (2021)	Mengeksplorasi <i>student learning with a mobile AR technology in science laboratories.</i>	<i>Mobile Augmented Reality, science lab, navigation patterns, multiple representation, scientific reasoning.</i>	15-18	<i>Quasi-Experimental</i>
43	Chau & Nasir (2021)	Menginvestigasi <i>digital game called Grey Plague visual novel</i> untuk meningkatkan motivasi belajar .	<i>Visual novel application digital game called Grey Plague, visual novel computing education programs, learning motivation.</i>	17	<i>Quantitative Research</i>
44	Zukmadini & Rochman (2021)	Meningkatkan hasil belajar dengan menerapkan <i>collaborative biology learning.</i>	<i>Lesson study, collaborative biology learning, learning outcomes.</i>	16-17	<i>Classroom Action Research</i>
45	Anita, et al. (2021)	Mendeskripsikan profil keterampilan argumentasi siswa biologi.	<i>Argumentation skills, learning model and strategy.</i>	17-18	<i>Quantitative Descriptive</i>
46	Siswati, et al (2021)	Mendeskripsikan kelayakan <i>gamification-based biology learning.</i>	<i>Gamification-based biology learning</i>	15-18	<i>Research & Development</i>

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil

Berdasarkan hasil *systematic literature review* diperoleh artikel sebanyak 196. Setelah proses penyaringan didapat artikel sebanyak 46. Berdasarkan hasil *thematic synthesis*, setiap tujuan penelitian menghasilkan tema analitis yang menggambarkan tantangan dan peluang pendidikan Biologi. Berdasarkan tujuan pertama tentang mengeksplorasi peluang pembelajaran Biologi digital pasca-COVID-19, diperoleh tiga tema analitis, yaitu: 1) *virtual learning environments*, 2) *blended learning approach*, dan 3) *innovative blended learning approach*. Berdasarkan tujuan kedua tentang menguraikan dampak transformasi digital terhadap kegiatan belajar Biologi, diperoleh dua tema analitis, yaitu: 1) *inadequately motivation of learning*, dan 2) *inequality digital technology*. Selanjutnya, hasil dari argumen sintesis tema-tema tersebut dikembangkan menjadi model konseptual secara ringkas. Model konseptual tentang peluang dan tantangan pembelajaran Biologi digital di masa pasca COVID-19 yang direpresentasikan dalam bentuk grafis pada Gambar 3.



Gambar 3. Model konseptual tentang peluang dan tantangan pembelajaran Biologi digital di masa pasca COVID-19

Model konseptual peluang dan tantangan pembelajaran Biologi digital di masa pasca COVID-19 menunjukkan bahwa peluang bagi pendidik untuk melakukan inovasi pembelajaran sangat besar. Pembelajaran juga dapat difokuskan pada siswa dengan membimbing dan memfasilitasi siswa dengan *platform* digital. Meskipun berbagai peluang ditemukan, namun tantangan dan keterbatasan dalam menerapkan pembelajaran Biologi digital juga perlu dipertimbangkan. Lebih lanjut, hasil interpretatif masing-masing tema diuraikan secara kritis sebagai berikut.

A. Peluang Pembelajaran Biologi berbasis Digital di Masa Pasca COVID-19

Seluruh sistem pendidikan di dunia telah berupaya melakukan transisi pembelajaran akibat pandemi COVID-19, salah satunya dengan mempromosikan digitalisasi pendidikan. Adanya konsep transisi dalam pendidikan Biologi memunculkan tren pembelajaran digital yang secara praktis dapat mendukung kegiatan belajar siswa. Tren *digital learning* yang bertujuan agar siswa dapat bersaing di era *smart-machines*, antara lain: 1) *virtual learning environments*, 2) *blended learning approach*, dan 3) *innovative blended learning approach*.

1. *Virtual Learning Environments*

Berdasarkan hasil studi *thematic synthesis* pada masa, selama, dan pasca COVID-19 menunjukkan *virtual learning environments* akan menjadi tren baru pasca COVID-19. Pembelajaran Biologi di era pasca COVID-19 dapat mengadopsi salah satu *virtual learning system*, yaitu *virtual classroom* atau *virtual laboratory* atau mengintegrasikan keduanya. *Virtual classroom* memiliki variasi metode *online learning* yang meliputi *synchronous* and *asynchronous*. Setelah teknologi *video conference* semakin canggih, banyak fitur yang dikembangkan seperti suara dan video *real-time*, *slides presentation*, *whiteboard*, interaksi berbasis teks, dan sarana untuk memberikan komentar langsung kepada siswa. Dengan demikian, fitur dalam *virtual classroom* lebih banyak dibanding kelas *face-to-face*.

Adapun komponen *virtual classroom*, meliputi 1) *virtual classroom technology & software*, 2) *online discussion*, dan 3) *chatbots*. *Virtual classroom* dapat didukung dengan *technology & software*. Pembelajaran *virtual classroom* dilakukan dengan mengombinasikan teknologi jarak jauh seperti *software videoconferencing* dan *learning management systems (LMSs)*. *Virtual classroom* secara *asynchronous* dapat menggunakan bantuan teknologi teks atau video yang direkam. Akan tetapi, *virtual classroom* secara *synchronous* menggunakan bantuan *software videoconferencing*, seperti *Microsoft Teams*, *Google Meet*, *Zoom*, *Adobe Connect*, *Webex*, *Skype*, *EduMeet*, dan *Big Blue Button*. *Videoconferencing* merupakan perangkat lunak yang berfungsi menghubungkan guru dan siswa untuk berkomunikasi dua arah dengan suara dan penglihatan walaupun berada di lokasi yang berbeda.

Selanjutnya, *online discussion* (OD) merupakan strategi yang mendorong siswa untuk terlibat, berkolaborasi, dan memperoleh pemahaman mendalam dalam pengajaran *online*. OD memiliki dua tipe, yaitu *Asynchronous Online Discussion* (AOD) dan *Synchronous Online Discussion* (SOD). AOD merupakan strategi yang memungkinkan siswa dan guru saling berdiskusi dengan waktu yang lebih banyak sehingga lebih tepat mendiskusikan topik kompleks. Kelebihan AOD yaitu dapat menelusuri semua percakapan dalam diskusi sehingga dapat memahami topik secara mendalam. Berbeda dengan AOD, SOD merupakan strategi yang memungkinkan siswa dan guru saling berdiskusi pada waktu yang sama sehingga lebih tepat digunakan untuk saling bertukar informasi seperti perencanaan proyek dan mengungkapkan *feedback*. Kemudian, *chatbots* merupakan sistem digital yang dapat mengotomatisasi percakapan manusia ke dalam perangkat lunak, seperti *online platforms* dan *digital assistants*. *Chatbots* memiliki beberapa manfaat, antara lain: meningkatkan keterampilan, memotivasi siswa, efisiensi informasi administratif dan logistik, dan memberikan dukungan untuk membimbing

Pembelajaran tradisional yang memanfaatkan laboratorium Biologi manual masih melakukan eksperimen dengan melibatkan guru dan buku cetak. Dalam dekade terakhir, perkembangan teknologi *virtual reality* dan *augmented reality* telah mendorong penerapan eksperimen pembelajaran biologi secara virtual yang dikenal dengan *virtual laboratory* (VL). VL adalah laboratorium virtual yang di lengkapi alat, bahan, dan set laboratorium yang berada dalam komputer berfungsi untuk memfasilitasi siswa melakukan eksperimen tetapi tidak memiliki realitas fisik secara langsung. VL memiliki beberapa kelebihan yang tidak dimiliki pada laboratorium tradisional yang perlu untuk dipertimbangkan. VL memiliki tiga tahapan dasar yang memudahkan siswa memahami konsep dengan memanfaatkan teknologi, antara lain: 1) *immersion* yaitu siswa memiliki pengalaman sendiri untuk melakukan dan menghasilkan data dari percobaan, 2) *interaction* yaitu siswa didorong dari pemikir pasif menjadi pemikir aktif, dan 3) *engagement* yaitu siswa dapat mengontrol percobaan secara canggih melalui komputer. Penerapan VL dapat dilakukan dengan membuat *virtual reality*, *augmented reality*, atau mengintegrasikan keduanya.

Virtual Reality (VR) adalah penggunaan perangkat lunak untuk menciptakan lingkungan simulasi imersif dengan memasang *head-mounted display* sehingga pengguna dapat berinteraksi dengan lingkungan dan karakter virtual dengan cara yang nyata. Penggunaan teknologi VR dalam pendidikan meningkat karena kontekstualitas, intuitif dari presentasi pengetahuan, dan interaktivitas yang mendalam. *Augmented Reality* (AR) adalah teknologi yang mengintegrasikan informasi digital ke dalam lingkungan dunia nyata pengguna dengan tujuan untuk meningkatkan pengalaman. Teknologi AR didefinisikan sebagai penggabungan informasi digital, seperti model 3D, gambar, video, dan audio, ke dalam dunia nyata.

2. *Blended Learning Approach*

Transformasi pembelajaran Biologi pasca-COVID-19 akan membentuk lingkungan baru dengan menggabungkan dua kekuatan besar, yaitu *face-to-face* dan *online learning* yang dikenal dengan *blended learning*. Ketika akan merencanakan skenario *blended learning* disarankan mempertimbangkan tiga dimensi kunci pembelajaran, yaitu desain kurikulum, desain pembelajaran, dan desain penilaian. Perencanaan yang baik dalam menerapkan pendekatan *blended learning* dapat mendukung pembelajaran Biologi digital yang berpusat pada siswa.

Berdasarkan hasil analisis sintesis tematik ada beberapa model *blended learning* yang dapat diterapkan. Model pertama, yaitu *the rotation model* dimana siswa berputar pada jadwal modalitas belajar dengan prinsip terdiri atas tahapan instruksi yang dipimpin guru, kegiatan kolaborasi dalam kelompok, dan instruksi online. Prinsip *the rotation model* diterapkan dengan model yang berbeda-beda, seperti *station rotation model*, *lab rotation model*, *flipped-classroom model*, dan *individual rotation model*. Model kedua, yaitu *the flex model* dimana penyampaian konten dan instruksi dilakukan secara *online*, namun guru secara fleksibel membimbing siswa dalam proyek kelompok dan bimbingan individu secara *offline*. Model ketiga, yaitu *the self-blend model* di mana siswa mengambil satu atau lebih kursus *online* untuk melengkapi kursus *offline*. Model keempat, yaitu *the enriched-virtual model* di mana siswa membagi waktu mereka antara menghadiri kelas dan belajar dari jarak jauh secara *online*.

3. *Innovative Blended Learning Approach*

Pendekatan model *blended learning* dapat dikembangkan dengan mengintegrasikan model lainnya untuk menciptakan model inovatif, seperti *Active Blended Learning (ABL)*. ABL merupakan pendekatan pedagogis yang menggabungkan antara kegiatan pembelajaran dengan berfokus pada konten, teman sebaya, dan tutor dalam kegiatan belajar. ABL bersifat konstruktivis dengan fokus melibatkan siswa membangun pengetahuan dan keterampilan mereka sendiri untuk mencapai hasil belajar. ABL memiliki karakteristik pembelajaran berpusat pada siswa dengan mendukung pengembangan pengetahuan dan pemahaman materi pembelajaran, pembelajar mandiri, dan kefasihan digital.

Konseptualisasi dari *blended learning* sering kurang mendapat perhatian. Tiga dimensi belajar yang penting, seperti kurikulum, pembelajaran, dan penilaian kurang diterapkan. ABL sering dipahami sebagai peningkatan jumlah kegiatan. Akan tetapi, kegiatan ABL sebaiknya lebih terfokus, bermakna, menarik, dan selaras dengan hasil belajar. Selanjutnya, prinsip penting ABL bukan hanya konten pelajaran, melainkan berfokus pada kegiatan yang dilakukan oleh siswa. ABL dapat menjadi salah satu contoh model inovasi dari pendekatan *blended learning*.

B. Tantangan Pembelajaran Biologi berbasis Digital di Masa Pasca COVID-19

Pandemi COVID-19 telah mendorong transformasi digital dalam kegiatan belajar yang berdampak terhadap perbedaan layanan pendidikan. *Online learning* cenderung dilakukan dengan memanfaatkan berbagai *platform* digital. Namun, penerapan transformasi digital pada sistem pembelajaran juga memiliki keterbatasan yang penting untuk diperhatikan. Keterbatasan dalam penerapan *online learning* yang diidentifikasi, yaitu kekhawatiran terhadap menurunnya motivasi belajar siswa dan ketimpangan dalam teknologi digital yang digunakan.

1. *Inadequately Motivation of Learning*

Pandemi COVID-19 telah memaksa guru dan siswa untuk beralih dari *traditional learning* menjadi *online learning*. Pandemi membuat adanya perkembangan baru yaitu krisis kesehatan masyarakat, isolasi sosial, dan resesi ekonomi yang berakibat timbulnya kecemasan dan stres. Dalam situasi ini, berbagai tantangan muncul sehingga perlu untuk merefleksi kegiatan belajar biologi secara *online learning*. Penerapan *online learning* sangat bergantung pada kemampuan siswa dalam mengatur dirinya dan guru dalam membanagun motivasi belajar. Siswa diharapkan dapat mengembangkan pemahaman konseptual, *self-regulation*, *motivation*, dan *positive learning* dalam *online learning*. Selain itu, penguasaan pedagogis juga dibutuhkan untuk menerapkan berbagai teori motivasi sehingga dapat mengoptimalkan keterlibatan siswa.

2. *Inequality Digital Technology*

Pandemi telah menyebabkan kebutuhan mendesak untuk memperluas akses digital dan membekali keterampilan digital. Dampak pandemi menyebabkan kesenjangan digital yang tidak hanya terjadi pada negara yang kurang maju, tetapi juga terjadi antara negara yang maju. Siswa yang memiliki masalah finansial akan lebih sulit mempertahankan konektivitas internet dan mengakses perangkat dalam *online learning*. Ketidaksetaraan penguasaan digital ditinjau dari dua hal, yaitu: ketersediaan infrastruktur untuk mengakses lingkungan belajar digital, dan ketrampilan pengajar dalam mengoperasikan perangkat digital. Ketidaksetaraan penguasaan digital membutuhkan upaya berbagai pihak untuk menyetarakannya.

Pembahasan

Berdasarkan hasil penelitian, peluang pembelajaran Biologi digital pasca-COVID-19, didominasi dengan penerapan: 1) *virtual learning environments*, 2) *blended learning approach*, dan 3) *innovative blended learning approach*. Pertama, berdasarkan hasil penelitian menunjukkan bahwa *virtual learning environments* menjadi peluang dalam penerapan pembelajaran Biologi digital pasca COVID-19. Penggunaan sumber daya digital semakin meningkat karena memiliki peranan besar dalam pembelajaran *online* (Sidpra et al., 2020). Pembelajaran dengan *virtual classroom* juga telah membantu pengajaran Biologi secara efektif. Penelitian Thisgaard & Makransky (2017) membuktikan bahwa *virtual learning simulations* dapat meningkatkan pengetahuan evolusi secara

signifikan, dibandingkan dengan pembelajaran tradisional. Intervensi *virtual learning simulations* dapat meningkatkan *self-efficacy* secara signifikan. Hasil temuan tersebut menunjukkan bahwa *virtual learning simulations* memiliki *tools* yang berguna dalam meningkatkan minat siswa. Temuan ini mendukung rekomendasi Wollny et al., (2021) yang menekankan untuk menggabungkan beberapa komponen *virtual classroom*. Lebih lanjut, *virtual classroom* dapat diadakan secara *synchronous*, *asynchronous*, atau *blended* dengan menggunakan *Learning Management Systems* (LMSs), seperti *Moodle*, *Canvas*, *Blackboard*, dan *Desire2Learn* (Zhou et al., 2020).

Selanjutnya, ada beberapa komponen yang mendukung *virtual classroom* antara lain: *technology & software*, *online discussion*, *chatbots*. LMSs merupakan perangkat lunak yang berfungsi agar siswa dapat mengakses presensi, tugas, kuis, konten pelajaran, dan tautan Zoom yang dapat diakses secara cepat dan terstruktur (Back et al., 2016). LMSs dapat memfasilitasi siswa dan guru untuk melakukan *online discussion* secara pembelajaran jarak jauh. *Online discussion* berfungsi agar siswa dapat mengomunikasikan ide, eksplorasi ide, pengembangan keterampilan literasi, dan refleksi (Lyons & Evans, 2013). Kelebihan *synchronous online discussion* adalah diskusi *online* yang terjadi secara *real time* dan dapat memotivasi siswa karena adanya kontak langsung antara siswa dan guru (Hrastinski et al., 2010).

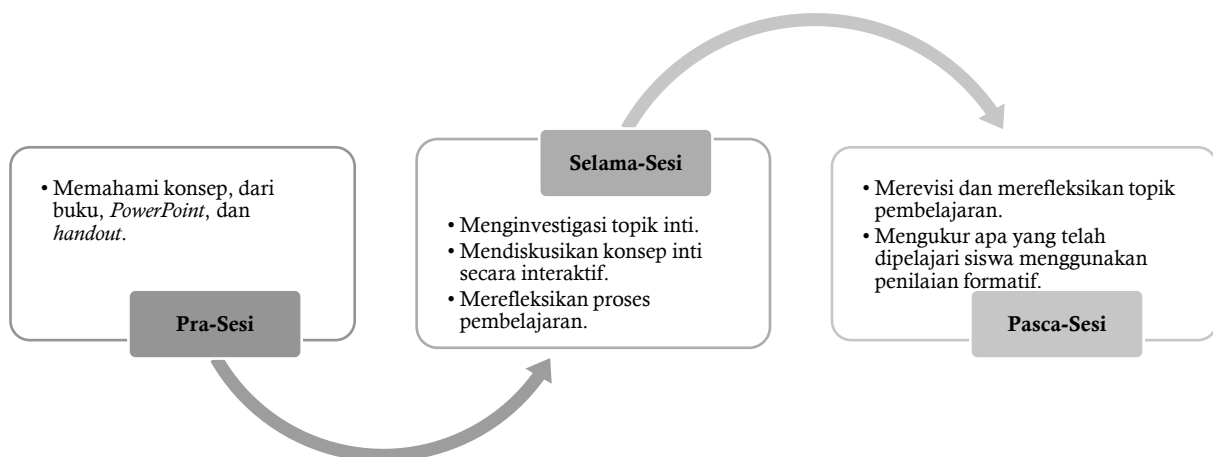
Virtual classroom dalam pembelajaran Biologi juga didukung dengan aplikasi *Chatbots*. Penelitian Mokmin & Ibrahim (2021) mengungkapkan bahwa *chatbots* memiliki potensi yang signifikan sebagai agen percakapan untuk meningkatkan literasi kesehatan di kalangan pelajar. *Chatbots health advice* adalah teknologi baru terintegrasi dengan aplikasi dan platform yang berfungsi untuk mencari tahu informasi medis seperti penyakit, gejala, dan perawatan pada penyakit umum sebagai informasi pendukung keputusan sebelum mengunjungi dokter. Sistem manajemen pembelajaran digital menunjukkan telah membantu pendidik sains untuk membuka kelas pada *online learning* secara *virtual*. Selain itu, *virtual learning* juga berkontribusi untuk melaksanakan eksperimen dari jarak jauh (Sidpra et al., 2020).

Virtual Laboratory (VL) dapat dijadikan solusi untuk melakukan eksperimen pada *online learning*. Eksperimen yang dilakukan lebih aman, cepat, dan hemat biaya dan meminimalkan kesalahan (Trindade et al., 2002). Selain itu, VL dapat digunakan untuk menggantikan eksperimen laboratorium yang berbahaya bagi lingkungan (Kocijancic & O'Sullivan, 2004). Penerapan VL didukung dengan teknologi *Virtual Reality* (VR) dan *augmented reality* (AR). VR dapat memfasilitasi siswa untuk melakukan eksperimen di lingkungan *virtual* sehingga melatih siswa mengingat, memahami, dan meningkatkan kemampuan mereka dalam menganalisis dan memecahkan masalah. Penelitian Markowitz et al., (2018) menunjukkan bahwa penggunaan VR imersif memiliki peluang untuk membelajarkan lingkungan dan mendorong pencarian informasi tentang masalah sosial seperti perubahan iklim. Selain itu, beberapa penelitian menunjukkan bahwa penggunaan AR secara signifikan meningkatkan pengalaman belajar dan meningkatkan

pemahaman mereka tentang materi. Penelitian Weng et al., (2020) mengintegrasikan teknologi AR ke dalam unit bioteknologi menunjukkan bahwa menggunakan teknologi AR memiliki potensi untuk meningkatkan hasil belajar siswa dan melatih keterampilan berpikir tingkat tinggi. Siswa mengungkapkan bahwa penggunaan AR efektif dalam hal meningkatkan pembelajaran Biologi (Garzon et al., 2017).

Kedua, berdasarkan hasil penelitian menunjukkan bahwa *blended learning approach* menjadi peluang dalam penerapan pembelajaran Biologi digital pasca COVID-19. Beberapa penelitian menunjukkan keuntungan dan hambatan pembelajaran berbasis *blended learning*. Adapun keuntungan *blended learning*, antara lain: lebih efektif atau setidaknya sama efektifnya dengan instruksi tradisional untuk akuisisi pengetahuan, mampu menjembatani kekurangan *face-to-face* dan *online learning*, membantu menjembatani kesenjangan antara teori dan praktek dalam kegiatan pembelajaran (Rowe et al., 2012). Terlepas dari berbagai keuntungan dan kemajuan teknologi tersebut, integrasi *online* dan *traditional learning* ke dalam kurikulum dalam bentuk *blended learning* memiliki beberapa hambatan, misalnya: pendidik tidak terbiasa akan *online* dan *blended learning* akan membutuhkan biaya lebih untuk membuat materi berkualitas tinggi, dan siswa dikhawatirkan tidak terbiasa dan tidak menyelesaikan materi *online* (Boyle et al., 2016).

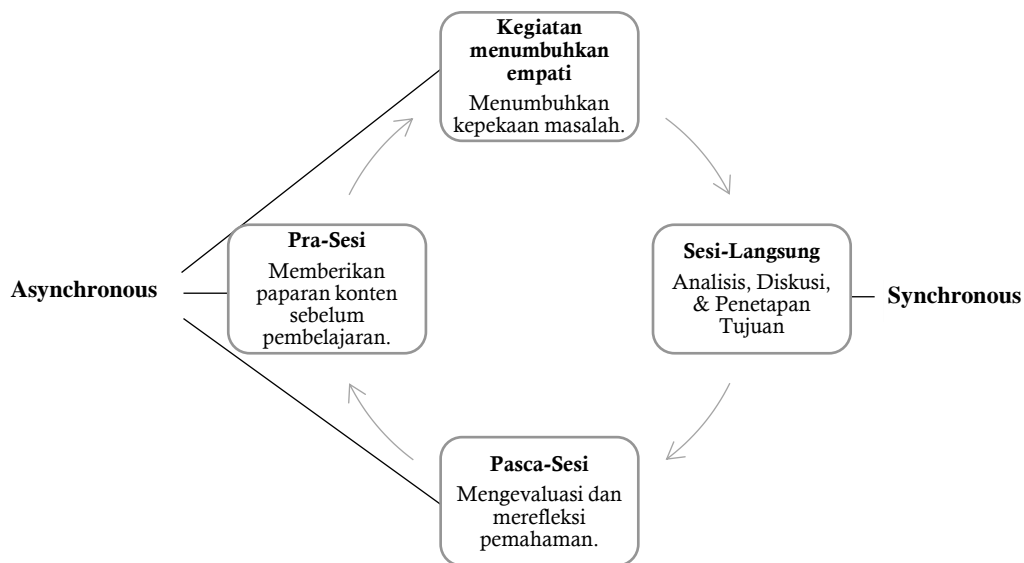
Adapun tahapan dalam *blended learning* mengacu pada Sarkar et al. (2021) dan Brown et al. (2022) terdiri atas tiga tahapan utama yang disajikan pada Gambar 4. Tahap *pra-sesi*, para siswa diberikan materi pembelajaran dalam bentuk cetak atau *pdf*, buku referensi, *handouts*, dan presentasi *PowerPoint*. *Selama sesi*, kelompok besar menyelidiki topik inti yang diperoleh dari *pra-sesi*, berdiskusi tentang konsep inti dari topik yang sedang dibahas, sesi tanya jawab interaktif, dan melakukan refleksi proses pembelajaran. *Pasca-sesi*, kelompok besar setiap siswa merevisi dan merefleksikan topik secara mandiri di rumah. Selain itu, siswa diminta mengerjakan penilaian formatif menggunakan pertanyaan berbasis pilihan ganda yang diberikan melalui *Google form*.



Gambar 4. Tahapan Penerapan *Blended Learning*
(Diadaptasi dari Sarkar et al., 2021 dan Brown et al., 2022)

Ketiga, berdasarkan hasil penelitian menunjukkan bahwa *innovative blended learning approach* menjadi peluang dalam penerapan pembelajaran Biologi digital pasca COVID-19. Ada dua dimensi utama dari pendekatan pedagogis ABL, yaitu *active* dan *blended*. Dimensi *active learning* bertujuan mengubah pengalaman belajar pasif menjadi aktif sehingga siswa dapat mencapai pengetahuan yang luas (Schmidt et al., 2015). Siswa didorong untuk mengonstruksi pengetahuan mereka sendiri. Tugas yang diberikan berasal dari kasus kehidupan nyata untuk mengembangkan keterampilan sosial, pemikiran kritis, dan pemecahan masalah (Armellini & Rodriguez, 2021).

Kerangka kerja yang digunakan di University of Northampton dapat berfungsi sebagai panduan untuk perencanaan dan implementasi ABL. Adapun empat tahapan dalam ABL yang mengacu pada Armellini & Rodriguez (2021) (Gambar 5), antara lain: *pre-session exposure to content*, yaitu tahapan memberikan pemaparan konten sebelum pembelajaran; *sense-making activities*, yaitu kegiatan menumbuhkan kepekaan terhadap permasalahan; *analysis, discussion, & goal setting*, yaitu tahapan analisis, diskusi, dan merencanakan strategi untuk mencapai tujuan; dan *post-session consolidation & evaluation*; yaitu tahapan menggabungkan pemahaman dan mengevaluasi.



Gambar 5. Tahapan *Active Blended Learning* (diadaptasi dari Armellini & Rodriguez, 2021)

Berdasarkan hasil penelitian, tantangan pembelajaran Biologi digital pasca-COVID-19, didominasi dengan: 1) *inadequately motivation of learning*, dan 2) *inequality digital technology*. Pertama, penerapan *online learning* pada pandemi COVID-19 dapat menyebabkan kurangnya motivasi belajar siswa. Hal ini sejalan dengan Pekrun et al., (2017) mengungkapkan bahwa pandemi dapat memicu adanya kecemasan dan stres yang menyebabkan dengan mudah dalam menurunkan motivasi belajar siswa. Dengan demikian, kegiatan belajar selama pandemi diharapkan dapat memanfaatkan teori motivasi untuk menurunkan tingkat kecemasan dan stres (Senko et al., 2011).

Beberapa teori motivasi belajar yang dapat diterapkan, seperti *achievement goal theory* (Senko et al., 2011), *control-value theory* (Pekrun et al., 2017), *self-determination theory* (Ryan & Deci, 2020). Adaptasi berbagai teori motivasi belajar menjadi perhatian mengingat meningkatkan motivasi siswa merupakan dimensi penting yang perlu diperhatikan dalam *distance learning* (Ryan & Deci, 2020).

Kedua, tantangan penerapan *online learning* pada pandemi COVID-19 disebabkan ketimpangan teknologi digital. Hal ini sejalan dengan Katz (2021) yang menyatakan ada ketidaksetaraan tingkat pengetahuan dan keterampilan digital pada mahasiswa sarjana yang memasuki perguruan tinggi. Hargittai & Micheli (2019) mengungkapkan strategi meningkatkan penguasaan digital bagi guru maupun siswa, antara lain: menumbuhkan kesadaran terhadap kemampuan teknologi digital, menggunakan teknologi digital untuk berkomunikasi, membuat konten untuk berpartisipasi dalam lingkungan digital, dan menyelesaikan masalah dengan memanfaatkan sumber daya digital. Dengan demikian, strategi tersebut diharapkan dapat dipromosikan dalam pembelajaran di era digital.

Secara umum, masa depan desain pendidikan Biologi digital perlu dirancang kembali agar dapat mendukung proses belajar yang berpusat pada siswa. Model konseptual dalam penelitian ini menunjukkan peluang dan tantangan dalam desain pendidikan biologi di pasca-COVID-19. Penelitian selanjutnya dapat mengadopsi model konseptual penelitian ini untuk memandu kegiatan belajar yang intensif atau menguji potensinya. Kerangka kerja dalam penelitian ini juga menawarkan beberapa variabel desain pendidikan Biologi digital yang sangat dibutuhkan dalam pembelajaran sains. Keterbatasan dalam penelitian ini yaitu masih menyajikan peluang dan tantangan model konseptual pembelajaran dari sudut pandang teknologi digital. Penelitian lanjut dapat melakukan tinjauan pustaka sistematis terkait peluang dan tantangan desain kurikulum maupun desain evaluasi.

SIMPULAN

Berdasarkan hasil *thematic synthesis* pembelajaran Biologi digital di masa COVID-19, membawa peluang dan tantangan untuk mendesain kembali pembelajaran Biologi digital yang berpusat pada siswa. Beberapa peluang yang dapat dilakukan dalam pembelajaran Biologi pasca COVID-19, yaitu: 1) penerapan *virtual learning environments* dapat dilakukan dengan mengadopsi salah satu atau menggabungkan antara *virtual classroom* atau *virtual laboratory*, 2) *blended learning approach* dapat diterapkan dengan meninjau kembali keuntungan dan hambatan setiap model, 3) *innovative blended learning approach* dapat dilakukan dengan menggabungkan model *blended learning* dengan *learning model* lainnya yang mendukung pengembangan siswa di era *smart machines*. Namun, praktik pembelajaran Biologi berbasis digital juga menimbulkan beberapa tantangan, yaitu: 1) *inadequately motivation of learning* disebabkan stres dan kecemasan yang memicu

menurunnya motivasi belajar siswa, dan 2) *inequality digital technology* disebabkan ketidaksetaraan tingkat teknologi digital, seperti akses digital, keterampilan digital, dan konstruksi teoretis dengan digital. Penelitian ini diharapkan dapat memberikan wawasan dan membantu dalam merancang pembelajaran Biologi digital yang relevan dan berpusat bagi siswa di pasca COVID-19.

REFERENSI

- Albedyll, A., Fritsch, A., & Dreesmann, D. (2017). "I Learned It through the Grapevine...": Exploring Atypical Ecosystems in Schools as a New Out-of-School Learning Site. *The American Biology Teacher*, 79(5), 351–364. <https://doi.org/10.1525/abt.2017.79.5.351>
- Almaiah, M. A., Al-Khasawneh, A., & Althunibat, A. (2020). Exploring the critical challenges and factors influencing the E-learning system usage during COVID-19 pandemic. *Education and Information Technologies*, 25. <https://doi.org/10.1007/s10639-020-10219-y>
- Almareta, R., & Paidi. (2020). The Suitability of Planning and Implementing ICT-based Learning by Biology Teachers in Senior High School. *Proceedings of the 4th International Conference on Learning Innovation and Quality Education*. <https://doi.org/10.1145/3452144.3452244>
- Almuqbil, N. S. M. (2020). A Proposal for Virtual Laboratories in Learning Biology for Secondary School Curriculum. *Journal of Educational and Social Research*, 10(6), 323. <https://doi.org/10.36941/jesr-2020-0130>
- Andic, B., Cvjetičanin, S., Lavicza, Z., Maričić, M., Novović, T., & Stešević, D. (2020). Mobile and printed dichotomous keys in constructivist learning of biology in primary school. *Research in Science & Technological Education*, 1–28. <https://doi.org/10.1080/02635143.2020.1763290>
- Angriani, P., & Nurcahyo, H. (2019). The influence of moodle-based e-learning on self-directed learning of senior high school students. *International Conference on Biology and Applied Science (ICOBAS)*. <https://doi.org/10.1063/1.5115707>
- Anita, Afandi, Tenriawaru, A. B., & Putra, D. A. (2021). Profile of Argumentation Skills using Toulmin's Argumentation Pattern (TAP) in Senior High School Students in Biology Learning: Preliminary Research. *Journal of Physics: Conference Series*, 1842(1), 012065. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1842/1/012065>
- Ardi, Rahmi, Y. L., & Amazan, H. M. (2019). An analysis of the implementation 2013 curriculum of the learning biology in senior high school at pesisir selatan. *Journal of Physics: Conference Series*, 1317(1), 012198. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1317/1/012198>
- Armellini, A., & Rodriguez, B. C. P. (2021). Active Blended Learning. *Cases on Active Blended Learning in Higher Education*, 1–22. <https://doi.org/10.4018/978-1-7998-7856-8.ch001>

- As'ari, F. N., Widoretno, S., & Dwiastuti, S. (2019). Cross-link in the structure of senior high school student concept map in existing biology learning. *AIP Conference Proceedings*. <https://doi.org/10.1063/1.5139741>
- Ashri, D., & Sahoo, B. P. (2021). Open Book Examination and Higher Education During COVID-19: Case of University of Delhi. *Journal of Educational Technology Systems*, 004723952101378. <https://doi.org/10.1177/0047239521013783>
- Back, D. A., Behringer, F., Haberstroh, N., Ehlers, J. P., Sostmann, K., & Peters, H. (2016). Learning management system and e-learning tools: an experience of medical students' usage and expectations. *International Journal of Medical Education*, 7, 267–273. <https://doi.org/10.5116/ijme.57a5.f0f5>
- Boleng, D. T., & Lumowa, S. V. T. (2019). Responses of biology teachers of senior high school about utilization the local natural resources as learning media at Samarinda city. *International Conference on Biology and Applied Science (ICOBAS)*. <https://doi.org/10.1063/1.5115701>
- Boyle, J., Quail, N., Loo, X. Y., & Linn, A. (2016). Flipping the classroom: is it worth the bother? *The Clinical Teacher*, 14(2), 137–138. <https://doi.org/10.1111/tct.12533>
- Brown, M., Skerritt, C., Shevlin, P., McNamara, G., & O'Hara, J. (2022). Deconstructing the challenges and opportunities for blended learning in the post emergency learning era. *Irish Educational Studies*, 41(1), 71–84. <https://doi.org/10.1080/03323315.2021.2022526>
- Burgin, S. R., Oramous, J., Kaminski, M., Stocker, L., & Moradi, M. (2018). High school biology students use of visual molecular dynamics as an authentic tool for learning about modeling as a professional scientific practice. *Biochemistry and Molecular Biology Education*, 46(3), 230–236. <https://doi.org/10.1002/bmb.21113>
- Chau, K. T., & Nasir, N. A. S. B. A. (2021). The Effect of A Visual Novel Application on Students' Learning Motivation in Biology for Secondary School in Malaysia. *2021 6th International Conference on Multimedia and Image Processing*. <https://doi.org/10.1145/3449388.3449399>
- Dash, S. (2019). Google classroom as a learning management system to teach biochemistry in a medical school. *Biochemistry and Molecular Biology Education*, 47(4), 404–407. <https://doi.org/10.1002/bmb.21246>
- Dipuja, D. A., Lufri, L., & Ahda, Y. (2018). Development Biology Worksheet Oriented Accelerated Learning on Plantae and Ecosystems for 10th-Grade Senior High School Students. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 335, 012092. <https://doi.org/10.1088/1757-899x/335/1/012092>
- Ebrahim, A. H., & Naji, S. A. B. (2021). The Influence of Flipped Learning Methods on High School Learners' Biology Attainment and Social Intelligence in Kuwait. *Eurasia Journal of*

- Mathematics, Science and Technology Education*, 17(8), em1987.
<https://doi.org/10.29333/ejmste/10997>
- Fernandez-Batanero, J.-M., Román-Graván, P., Reyes-Rebollo, M.-M., & Montenegro-Rueda, M. (2021). Impact of Educational Technology on Teacher Stress and Anxiety: A Literature Review. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 18(2), 548.
<https://doi.org/10.3390/ijerph18020548>
- Feyzioglu, B. (2019). The role of inquiry-based self-efficacy, achievement goal orientation, and learning strategies on secondary-school students' inquiry skills. *Research in Science & Technological Education*, 37(3), 366–392. <https://doi.org/10.1080/02635143.2019.1579187>
- Firmansah, & Gusti Putu Suryadarma, I. (2019). The Influence of Outdoor Learning Model in Biology Instruction on the Environmental Care Attitude of the Senior High School Student. *Journal of Physics: Conference Series*, 1233(1), 012012.
<https://doi.org/10.1088/1742-6596/1233/1/012012>
- Funmilayo Diepreye, F., & Adedayo Odukoya, J. (2019). The Impact of Passive and Active Teaching Methods on Students' Learning Among Secondary School Students in Yenagoa, Bayelsa State. *Journal of Physics: Conference Series*, 1378, 022099.
<https://doi.org/10.1088/1742-6596/1378/2/022099>
- Hargittai, E., & Micheli, M. (2019). Internet Skills and Why They Matter. *Society and the Internet*, 109–124. <https://doi.org/10.1093/oso/9780198843498.003.0007>
- Hrastinski, S., Keller, C., & Carlsson, S. A. (2010). Design exemplars for synchronous e-learning: A design theory approach. *Computers & Education*, 55(2), 652–662.
<https://doi.org/10.1016/j.compedu.2010.02.025>
- Ibrahim, Yusoff, N., Awang, M. I., & Marwan. (2018). Learning of reproduction system with an integrative curriculum approach in junior high school. *Journal of Physics: Conference Series*, 1088, 012013. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1088/1/012013>
- Jiang, S., Tatar, C., Huang, X., Sung, S. H., & Xie, C. (2021). Augmented Reality in Science Laboratories: Investigating High School Students' Navigation Patterns and Their Effects on Learning Performance. *Journal of Educational Computing Research*, 073563312110387. <https://doi.org/10.1177/07356331211038764>
- Kang, B. (2021). How the COVID-19 Pandemic Is Reshaping the Education Service. *The Future of Service Post-COVID-19 Pandemic, Volume 1*, 15–36. https://doi.org/10.1007/978-981-33-4126-5_2
- Kangloan, P., Chayaburakul, K., & Santiboon, T. (2018). Using the mixed media according to internet-based on the instructional multimedia for developing students' learning achievements in biology course on foundational cell issue of secondary students at the 10th

- grade level in Rangsit University demonstration school. *AIP Conference Proceedings*.
<https://doi.org/10.1063/1.5019516>
- Katz, V. S., Jordan, A. B., & Ognyanova, K. (2021). Digital inequality, faculty communication, and remote learning experiences during the COVID-19 pandemic: A survey of U.S. undergraduates. *PLOS ONE*, 16(2), e0246641.
<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0246641>
- Kisoglu, M. (2018). An Examination of Science High School Students' Motivation towards Learning Biology and Their Attitude Towards Biology Lesson. *International Journal of Higher Education*, 7(1), 151. <https://doi.org/10.5430/ijhe.v7n1p151>
- Kocijancic, S., & O'Sullivan, C. (2004). Real or Virtual Laboratories in Science Teaching - is this Actually a Dilemma? *Informatics in Education*, 3(2), 239–250.
<https://doi.org/10.15388/infedu.2004.17>
- Kurniawati, A., Abdullah, F. F., Agustiono, W., Warninda, S. S., & Kusumaningsih, A. (2020). Introduction Virtual Reality for Learning Media in Schools in Indonesia. *Journal of Physics: Conference Series*, 1569, 022065. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1569/2/022065>
- Lyons, T., & Evans, M. M. (2013). Blended Learning to Increase Student Satisfaction: An Exploratory Study. *Internet Reference Services Quarterly*, 18(1), 43–53.
<https://doi.org/10.1080/10875301.2013.800626>
- Markowitz, D. M., Laha, R., Perone, B. P., Pea, R. D., & Bailenson, J. N. (2018). Immersive Virtual Reality Field Trips Facilitate Learning About Climate Change. *Frontiers in Psychology*, 9. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2018.02364>
- Mokmin, N. A. M., & Ibrahim, N. A. (2021). The evaluation of chatbot as a tool for health literacy education among undergraduate students. *Education and Information Technologies*, 26(5), 6033–6049. <https://doi.org/10.1007/s10639-021-10542-y>
- Molla, E., & Muche, M. (2018). Impact of Cooperative Learning Approaches on Students' Academic Achievement and Laboratory Proficiency in Biology Subject in Selected Rural Schools, Ethiopia. *Education Research International*, 2018, 1–9.
<https://doi.org/10.1155/2018/6202484>
- Mutakinati, L., Anwari, I., & Kumano, Y. (2018). Analysis of Students' Critical Thinking Skill of Middle School through STEM Education Project-Based Learning. *Jurnal Pendidikan IPA Indonesia*, 7(1), 54–65. <https://doi.org/10.15294/jpii.v7i1.10495>
- Muth, L. T., Jenkins Sánchez, L. R., Claus, S., Salvador Lopez, J. M., & Van Bogaert, I. (2021). A toolbox for digitally enhanced teaching in synthetic biology. *FEMS Microbiology Letters*, 368(17). <https://doi.org/10.1093/femsle/fnab115>

- Neely, E., Walton, M., & Stephens, C. (2014). Young people's food practices and social relationships. A thematic synthesis. *Appetite*, 82, 50–60. <https://doi.org/10.1016/j.appet.2014.07.005>
- Orizasativa, L., Subali, B., & Paidi. (2019). Developing a Learning Continuum of the Pedagogic Materials of Genetics Aspects from Elementary School to Senior High School Level Based on the Opinions of Biology Education Experts. *Journal of Physics: Conference Series*, 1397(1), 012051. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1397/1/012051>
- Pekrun, R., Lichtenfeld, S., Marsh, H. W., Murayama, K., & Goetz, T. (2017). Achievement Emotions and Academic Performance: Longitudinal Models of Reciprocal Effects. *Child Development*, 88(5), 1653–1670. <https://doi.org/10.1111/cdev.12704>
- Perkasa, M., Irwansyah, M., Annafi, N., Khairunnisa, & Jaharudin. (2020). Teacher's perception on the implementation of education for sustainable development-based learning in senior high school. *Journal of Physics: Conference Series*, 1521(4), 042110. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1521/4/042110>
- Pietarinen, T., Vauras, M., Laakkonen, E., Kinnunen, R., & Volet, S. (2018). High school students' perceptions of affect and collaboration during virtual science inquiry learning. *Journal of Computer Assisted Learning*, 35(3), 334–348. <https://doi.org/10.1111/jcal.12334>
- Pratama, D. J., Ranti, S., Usmeldi, U., & Syafriani, S. (2019). Preliminary analysis of learners in developing student book oriented research based learning models using 3D pageflip professionals on science lessons junior high school. *Journal of Physics: Conference Series*, 1185, 012125. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1185/1/012125>
- Rahmat, I., & Chanunan, S. (2018). Open Inquiry in Facilitating Metacognitive Skills on High School Biology Learning: An Inquiry on Low and High Academic Ability. *International Journal of Instruction*, 11(4), 593–606. <https://doi.org/10.12973/iji.2018.11437a>
- Ramos, M. J. H., & Comendador, B. E. V. (2019). ARTitser. *Proceedings of the 2019 5th International Conference on Education and Training Technologies-ICETT*. <https://doi.org/10.1145/3337682.3337700>
- Rao, D. C. H., & Saha, S. K. (2019). An Immersive Learning Platform for Efficient Biology Learning of Secondary School-Level Students. *Journal of Educational Computing Research*, 57(7), 1671–1694. <https://doi.org/10.1177/0735633119854031>
- Rowe, M., Frantz, J., & Bozalek, V. (2012). The role of blended learning in the clinical education of healthcare students: A systematic review. *Medical Teacher*, 34(4), e216–e221. <https://doi.org/10.3109/0142159x.2012.642831>
- Ryan, R. M., & Deci, E. L. (2020). Intrinsic and extrinsic motivation from a self-determination theory perspective: Definitions, theory, practices, and future directions. *Contemporary Educational Psychology*, 61(1), 101860. <https://doi.org/10.1016/j.cedpsych.2020.101860>

- Saptarani, D., Widodo, A., & Purwianingsih, W. (2019). Biology teachers and high school students perceptions about STEM learning. *Journal of Physics: Conference Series*, 1157, 042007. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1157/4/042007>
- Sarkar, S., Sharma, S., & Raheja, S. (2021). Implementation of Blended Learning Approach for Improving Anatomy Lectures of Phase I MBBS Students – Learner Satisfaction Survey. *Advances in Medical Education and Practice, Volume 12*, 413–420. <https://doi.org/10.2147/amep.s301634>
- Schmidt, H. G., Wagener, S. L., Smeets, G. A. C. M., Keemink, L. M., & van der Molen, H. T. (2015). On the Use and Misuse of Lectures in Higher Education. *Health Professions Education*, 1(1), 12–18. <https://doi.org/10.1016/j.hpe.2015.11.010>
- Secundo, G., Mele, G., Vecchio, P. D., Elia, G., Magherita, A., & Ndou, V. (2021). Threat or opportunity? A case study of digital-enabled redesign of entrepreneurship education in the COVID-19 emergency. *Technological Forecasting and Social Change*, 166, 120565. <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2020.120565>
- Senko, C., Hulleman, C. S., & Harackiewicz, J. M. (2011). Achievement Goal Theory at the Crossroads: Old Controversies, Current Challenges, and New Directions. *Educational Psychologist*, 46(1), 26–47. <https://doi.org/10.1080/00461520.2011.538646>
- Shen, K.-M., Li, T.-L., & Lee, M.-H. (2018). Learning biology as “Increase ones” knowledge and understanding’: studying Taiwanese high school students’ learning strategies in relation to their epistemic views and conceptions of learning in biology. *International Journal of Science Education*, 40(17), 2137–2157. <https://doi.org/10.1080/09500693.2018.1522013>
- Sidpra, J., Gaier, C., Reddy, N., Kumar, N., Mirsky, D., & Mankad, K. (2020). Sustaining education in the age of COVID-19: a survey of synchronous web-based platforms. *Quantitative Imaging in Medicine and Surgery*, 10(7), 1422–1427. <https://doi.org/10.21037/qims-20-714>
- Siswati, B. H., Prihatin, J., Kuswati, Damayanti, A. F., & Nafisah, L. (2021). Developing gamification based biology learning materials for senior high school students in industrial agricultural area in jember, indonesia. *Journal of Physics: Conference Series*, 1839(1), 012021. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1839/1/012021>
- Sugiharto, B., Corebima, A. D., Susilo, H., & Ibrohim, I. (2019). The Pre-Service Biology Teacher Readiness in Blended Collaborative Problem Based Learning (BCPBL). *International Journal of Instruction*, 12(4), 113–130. <https://doi.org/10.29333/iji.2019.1248a>
- Sukarso, A., Widodo, A., Rochintaniawati, D., & Purwianingsih, W. (2019). The potential of students’ creative disposition as a perspective to develop creative teaching and learning for senior high school biological science. *Journal of Physics: Conference Series*, 1157, 022092. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1157/2/022092>

- Sukenda, Dr., Anjani, M., & Yustim, B. (2019). Learning Media for Biology Subject Based on Multimedia in Junior High School Level. *Universal Journal of Educational Research*, 7(4A), 43–51. <https://doi.org/10.13189/ujer.2019.071407>
- Sun, L., Tang, Y., & Zuo, W. (2020). Coronavirus pushes education online. *Nature Materials*. <https://doi.org/10.1038/s41563-020-0678-8>
- Sunarto, M. J. D., Hariadi, B., Sagirani, T., Amelia, T., & Lemantara, J. (2020). MoLearn, a Web and Android-Based Learning Application as an Alternative for Teaching-Learning Process in High Schools. *International Journal of Instruction*, 13(1), 53–70. <https://doi.org/10.29333/iji.2020.1314a>
- Suwarno, R. N., & Suratsih. (2019). Development of Bio-Monopoli of Human Musculoskeletal System as Learning Media for High School Students. *Journal of Physics: Conference Series*, 1241(1), 012039. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1241/1/012039>
- Suwono, H., Permana, T., Saefi, M., & Fachrunnisa, R. (2021). The problem-based learning (PBL) of biology for promoting health literacy in secondary school students. *Journal of Biological Education*, 1–15. <https://doi.org/10.1080/00219266.2021.1884586>
- Teras, M., Suoranta, J., Teräs, H., & Curcher, M. (2020). Post-Covid-19 Education and Education Technology “Solutionism”: a Seller’s Market. *Postdigital Science and Education*, 2. <https://doi.org/10.1007/s42438-020-00164-x>
- Thisgaard, M., & Makransky, G. (2017). Virtual Learning Simulations in High School: Effects on Cognitive and Non-cognitive Outcomes and Implications on the Development of STEM Academic and Career Choice. *Frontiers in Psychology*, 8. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2017.00805>
- Thomas, J., & Harden, A. (2008). Methods for the thematic synthesis of qualitative research in systematic reviews. *BMC Medical Research Methodology*, 8(1). <https://doi.org/10.1186/1471-2288-8-45>
- Trindade, J., Fiolhais, C., & Almeida, L. (2002). Science learning in virtual environments: a descriptive study. *British Journal of Educational Technology*, 33(4), 471–488. <https://doi.org/10.1111/1467-8535.00283>
- Utomo, A. P., Hasanah, L., Hariyadi, S., Narulita, E., Suratno, S., & Umamah, N. (2020). The Effectiveness of STEAM-Based Biotechnology Module Equipped with Flash Animation for Biology Learning in High School. *International Journal of Instruction*, 13(2), 463–476. <https://doi.org/10.29333/iji.2020.13232a>
- Vega Garzon, J. C., Magrini, M. L., & Galembeck, E. (2017). Using augmented reality to teach and learn biochemistry. *Biochemistry and Molecular Biology Education*, 45(5), 417–420. <https://doi.org/10.1002/bmb.21063>

- Webb, M., Tracey, M., Harwin, W., Tokatli, O., Hwang, F., Johnson, R., Barrett, N., & Jones, C. (2021). Haptic-enabled collaborative learning in virtual reality for schools. *Education and Information Technologies*, 27(1), 937–960. <https://doi.org/10.1007/s10639-021-10639-4>
- Weng, C., Otanga, S., Christiano, S. M., & Chu, R. J.-C. (2020). Enhancing Students' Biology Learning by Using Augmented Reality as a Learning Supplement. *Journal of Educational Computing Research*, 58(4), 747–770. <https://doi.org/10.1177/0735633119884213>
- Wollny, S., Schneider, J., Di Mitri, D., Weidlich, J., Rittberger, M., & Drachsler, H. (2021). Are We There Yet? - A Systematic Literature Review on Chatbots in Education. *Frontiers in Artificial Intelligence*, 4. <https://doi.org/10.3389/frai.2021.654924>
- Xiao, Y., & Watson, M. (2017). Guidance on Conducting a Systematic Literature Review. *Journal of Planning Education and Research*, 39(1), 93–112. <https://doi.org/10.1177/0739456x17723971>
- Yelianti, U., Anggereini, E., & Irfan, M. K. (2020). Developing Electronic Learning Media Using 3d Pageflip On The Material Of Classification Of Living Thingsfor the 7th Grade Students Of Junior High School. *Journal of Physics: Conference Series*, 1464(1), 012039. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1464/1/012039>
- Zhao, Y., & Watterston, J. (2021). The changes we need: Education post COVID-19. *Journal of Educational Change*. <https://doi.org/10.1007/s10833-021-09417-3>
- Zhou, X., Tang, L., Lin, D., & Han, W. (2020). Virtual & augmented reality for biological microscope in experiment education. *Virtual Reality & Intelligent Hardware*, 2(4), 316–329. <https://doi.org/10.1016/j.vrih.2020.07.004>
- Zukmadini, A. Y., & Rochman, S. (2021). Lesson study at Bengkulu Iqro IT High School to improve learning outcomes and the role of teachers in supporting Biology learning. *Journal of Physics: Conference Series*, 1731(1), 012012. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1731/1/012012>