

Persepsi dan Kebutuhan Mahasiswa Calon Guru Biologi terhadap Media Pembelajaran Bioteknologi

Saparuddin¹, Umie Lestari¹, Endang Suarsini¹

¹Pendidikan Biologi-Universitas Negeri Malang

INFO ARTIKEL

Riwayat Artikel:

Diterima: 09-05-2018

Disetujui: 20-05-2021

Kata kunci:

biology teacher;
multimedia;
molecular biology;
biotechnology;
guru biologi;
multimedia;
biologi molekuler;
bioteknologi

ABSTRAK

Abstract: This study aims to reveal the perceptions and needs of pre-service biology teachers on biotechnology learning and their need for instructional media, especially on the topic of basic molecular biology techniques. This descriptive quantitative study was done purposively on 42 students who have completed the biotechnology lectures in Biology Education Program, Universitas Negeri Malang. The data collection instruments consisted of a biotechnology topic difficulty survey questionnaire and a felt needs questionnaire. The questionnaire response data analyzed using descriptive statistics showed that students perceived the laboratory activity of basic molecular biology techniques as a moderate level. On average, all students performed DNA analysis techniques, and only 55% of all students performed protein analysis techniques. Overall, students have feelings, understanding, and confidence at a moderate level, while they feel they have excellent learning assistance. Even so, students feel they need learning resources in the form of research-based multimedia to support learning on the topic of practicum on molecular biology analysis techniques, especially in protein analysis techniques. Research-based protein analysis techniques multimedia that is suitable for students' university cognitive development are considered to be developed in supporting biotechnology learning for pre-service biology teachers.

Abstrak: Penelitian ini bertujuan untuk mengungkapkan persepsi dan kebutuhan calon guru biologi terhadap pembelajaran bioteknologi dan kebutuhan mereka akan media pembelajaran khususnya pada topik teknik dasar biologi molekuler. Penelitian kuantitatif deskriptif ini dilakukan secara purposive pada 42 mahasiswa yang telah menyelesaikan perkuliahan bioteknologi di Program Studi Pendidikan Biologi Universitas Negeri Malang. Instrumen pengumpulan data terdiri dari kuesioner survei kesulitan topik bioteknologi dan kuesioner kebutuhan yang dirasakan (*felt needs*). Data tanggapan angket yang dianalisis menggunakan statistik deskriptif menunjukkan bahwa tingkat kesulitan aktivitas laboratorium teknik dasar biologi molekuler dianggap dalam kategori sedang. Rata-rata semua siswa melakukan teknik analisis DNA, dan hanya 55% dari seluruh siswa yang melakukan teknik analisis protein. Secara keseluruhan, siswa memiliki perasaan, pemahaman, dan kepercayaan diri pada tingkat sedang, sementara mereka merasa memiliki bantuan belajar yang sangat baik. Meski begitu, mahasiswa merasa membutuhkan sumber belajar berupa multimedia berbasis penelitian untuk mendukung pembelajaran pada topik praktikum teknik analisis biologi molekuler khususnya teknik analisis protein. Multimedia teknik analisis protein berbasis penelitian yang sesuai untuk perkembangan kognitif mahasiswa dinilai dapat dikembangkan dalam mendukung pembelajaran bioteknologi bagi calon guru biologi.

Alamat Korespondensi:

Saparuddin
Pendidikan Biologi
Universitas Negeri Malang
Jalan Semarang 5 Malang
E-mail: sapar.kepri@gmail.ac.id

Guru mempunyai tanggungjawab besar untuk memfasilitasi siswa untuk menguasai keterampilan abad 21. Keterampilan ini diperlukan agar siswa mempunyai literasi dan skill yang memadai untuk terlibat dalam masyarakat dan sukses pada karirnya (Darling-Hammond, 2006). Pada pendidikan sains, guru diharapkan mampu mengantarkan siswa menguasai pengetahuan saintifik inti yang memadai, menguasai keterampilan untuk terlibat dalam praktik sains dan mengembangkan pengetahuan saintifik dan metode dalam penemuannya melalui pendekatan epistemic. Untuk tujuan tersebut, pendidikan sains diharapkan mampu mengintegrasikan pengetahuan sains dan praktik saintifik dengan *engineering* melalui pembelajaran yang dikenal sebagai *Sains Technology Engineering Mathematic* (STEM) Education (Gu & Belland, 2015). Pendidikan guru sains oleh karenanya harus siap bertransformasi dalam menyiapkan calon guru sains yang terlatih dan ahli (Kereluik et al., 2013) serta menguasai

keterampilan abad 21 pada saat mendapatkan pendidikan di universitas (Afandi et al., 2019). Hal krusial agar guru dapat mendesain dan melaksanakan pembelajaran secara maksimal yaitu pemahaman mendalam tentang tujuan dan isi kurikulum, yaitu materi belajar dan keterampilan melaksanakan pembelajaran yang selengkapny disebut *Technological Pedagogical Content Knowledge* (TPACK) (Rochintaniawati et al., 2019; Rosenberg & Koehler, 2015).

Bioteknologi merupakan salah satu isi kurikulum pada pendidikan sains biologi yang harus dikuasai calon guru. Bioteknologi memuat konten STEM yang terdiri dari biologi molekuler, teknologi informasi, biokimia dan sains terapan yang berkembang sangat pesat serta menyumbang perkembangan ilmu yang sangat cepat (Thieman & Palladino, 2013; Tibell & Rundgren, 2010). Standar pembelajaran bioteknologi pada program pendidikan guru sains biologi tertuang dalam capaian pembelajaran bioteknologi berdasarkan KKNi yaitu mahasiswa diharapkan menguasai konsep dan prinsip serta fenomena alam yang berkaitan dengan bioteknologi kedokteran, pertanian, peternakan, lingkungan, kelautan dan farmasi untuk penyelesaian masalah dalam bidang biologi. Capaian pembelajaran yang disusun dalam Rencana Pembelajaran Semester (RPS) matakuliah bioteknologi (Amin et al., 2016) juga mengharapkan mahasiswa mampu dan bertanggungjawab merencanakan, melaksanakan, dan mengevaluasi penelitian bioteknologi.

Pembelajaran yang memberikan pengalaman belajar baik teori dan praktik penelitian laboratorium dipertimbangkan menjadi metode yang ideal dalam perkuliahan mahasiswa calon guru biologi di program pendidikan guru. Al-Momani (2019) dan Chen (2016) berpendapat bahwa program pendidikan guru disarankan mendesain kurikulum dengan pengetahuan dan keterampilan bioteknologi terkini agar mahasiswa calon guru mempunyai pengetahuan yang luas dan mendalam untuk membangun kemampuan berpikir kritis dan kemampuan membuat keputusan. Lebih lanjut, Orhan (2018) melaporkan bahwa pembelajaran yang inovatif yang didukung dengan kegiatan *hands-on* dapat meningkatkan pengetahuan dan pengalaman laboratorium bioteknologi calon guru biologi dalam melakukan penelitian biologi molekuler yang berkaitan dengan *micropipetting* dan elektroforesis. Kegiatan laboratorium mengenai dasar-dasar teknik laboratorium pada penelitian bioteknologi berbasis biologi molekuler penting diberikan kepada mahasiswa calon guru biologi agar mereka tidak hanya mempelajari teori suatu konsep, akan tetapi mempunyai pengalaman dalam melakukan teknik penelitian secara real agar pembelajaran dapat bersifat kontekstual dan bermakna (Geng & Alani, 2015).

Beberapa praktik pembelajaran bioteknologi pada pendidikan guru biologi telah dilaporkan diantaranya menerapkan metode ceramah dan diskusi-presentation yang didukung media belajar *powerpoint*, dan bahan ajar cetak (Halimah et al., 2020) serta pembelajaran yang diperkaya dengan kegiatan kunjungan lapangan ke pusat penelitian (Subekti et al., 2019). Hasil survey yang dilakukan oleh Hayat & Rustaman (2017) menunjukkan pembelajaran bioteknologi dilakukan dengan metode inkuiri akan tetapi memperlihatkan kurangnya pengalaman kegiatan laboratorium yang dirasakan oleh mahasiswa. Mahasiswa menyatakan pembelajaran bioteknologi yang telah diselesaikannya tidak dapat melakukan dan mengamati prosedur dan teknik bioteknologi molekuler secara nyata atau secara visual (Qalbina & Ahda, 2019). Pengalaman belajar yang dialami mahasiswa pada program pendidikan guru mempengaruhi kemampuan mahasiswa dalam pembelajaran bioteknologi. Kajian yang dilakukan oleh Suryanti et al., (2018) menemukan adanya miskonsepsi mahasiswa calon guru terhadap konsep bioteknologi. Sejalan dengan kajian tersebut, Acarli (2016) & Kirbaslar (2016) juga menemukan bahwa mahasiswa calon guru tidak mempunyai struktur konseptual dan pengetahuan yang mumpuni terhadap konsep bioteknologi.

Integrasi teori dan praktikum laboratorium biologi molekuler yang merupakan tren perkembangan bioteknologi terkini menjadi tantangan pembelajaran bioteknologi pada program pendidikan guru. Faktanya, sangat sedikit laporan pelaksanaan pembelajaran yang mengintegrasikan praktikum bioteknologi modern pada program studi pendidikan guru biologi di Indonesia. Wawancara yang dilakukan terhadap dosen pengampu mata kuliah Bioteknologi di Program Studi Pendidikan Biologi Universitas Negeri Malang mengungkapkan bahwa pembelajaran bioteknologi dilaksanakan dengan metode diskusi presentasi makalah dan dilengkapi dengan praktikum teknik dasar biologi molekuler. Praktikum yang dilaksanakan adalah analisis DNA dan protein, akan tetapi tidak semua mahasiswa mendapatkan kedua topik praktikum tersebut karena keterbatasan waktu dan ruangan laboratorium. Sejalan dengan hal ini, kajian mengenai kendala dan tantangan dalam pembelajaran bioteknologi juga telah dilaporkan yaitu kurangnya sumber belajar, kurangnya kegiatan praktikum laboratorium dan kurangnya waktu dan dana sehingga mahasiswa kurang mendapatkan pengalaman belajar dan pengetahuan tentang teknik laboratorium bioteknologi yang spesifik selama di menempuh pendidikan di perguruan tinggi pendidikan guru (Borgerding et al., 2013; Steele & Aubusson, 2004; Wilson & Flowers, 2002; Yasin et al., 2018).

Media pembelajaran dapat memenuhi kebutuhan mahasiswa terhadap sumber belajar karena keterbatasan akses laboratorium biologi molekuler. Media audio visual dapat meningkatkan efektivitas pembelajaran dalam mengkonkretkan konsep dan prosedur abstrak (Dash et al., 2016). Dalam pembelajaran bioteknologi berbasis biologi molekuler, multimedia interaktif dapat meningkatkan hasil belajar (Niwangtika, 2017), pengetahuan deklaratif dan prosedural (Shegog et al., 2012) dan mengurangi beban kognitif (Yarden & Yarden, 2011). Radhamani et al., (2018) menambahkan bahwa simulasi dan visualisasi tentang konsep dan teknik biologi sel dan biologi molekuler dapat melatih keterampilan laboratorium bioteknologi. Narulita et al., (Narulita et al., 2019) menyarankan pembelajaran bioteknologi dengan bantuan virtual laboratorium dapat meningkatkan kemampuan TPACK calon guru dan memberikan pengalaman seperti laboratorium nyata khususnya bagi universitas yang mempunyai kendala dalam mengakses laboratorium bioteknologi berbasis molekuler.

Beberapa praktik baik dan permasalahan yang telah diidentifikasi, mengarahkan perlunya pengembangan media pembelajaran dalam mendukung mahasiswa calon guru menguasai teknik biologi molekuler dalam pengembangan produk bioteknologi sehingga calon guru mempunyai pengetahuan dan keterampilan yang adekuat dalam membentuk kepercayaan dirinya dalam melakukan pembelajaran. Berhubungan dengan hal tersebut, Darling-Hammond (2017) menyatakan pengembangan keterampilan calon guru harus berdasarkan atas kebutuhan mereka. Oleh karena itu, pengembangan media pembelajaran bioteknologi untuk calon guru dilakukan dengan memperhatikan kebutuhan mahasiswa di lapangan. Tujuan penelitian ini adalah untuk mengungkapkan persepsi mahasiswa terhadap kesulitan topik yang akan dijadikan pertimbangan topik prioritas dan kebutuhan dukungan media dalam pembelajaran bioteknologi mahasiswa calon guru biologi. Diharapkan temuan yang dihasilkan dapat menjadi fondasi pengembangan media pembelajaran dalam mendukung pembelajaran bioteknologi.

METODE

Penelitian kuantitatif deskriptif ini dilakukan pada 42 mahasiswa S1 Program Studi Pendidikan Biologi Jurusan Biologi FMIPA Universitas Negeri Malang. Penelitian ini merupakan studi pendahuluan pengembangan media pembelajaran bioteknologi. Sampel ditetapkan secara purposif yaitu mahasiswa yang telah mengikuti perkuliahan bioteknologi. Penelitian ini dilakukan mengadaptasi tahapan analisis dari rancangan instruksional berbasis multimedia (Lee & Owens, 2004). Tahapan penelitian terdiri dari melakukan survei kesulitan topik dan asesmen kebutuhan. Survei kesulitan topik bertujuan untuk mengetahui persepsi mahasiswa tentang tingkat kesulitan topik pada pembelajaran bioteknologi. Asesmen kebutuhan bertujuan untuk mengetahui persepsi dan kebutuhan mahasiswa dalam pembelajaran bioteknologi (Burton & Merrill, 1991; Tien & Osman, 2014).

Instrumen pengumpulan data dilakukan menggunakan angket dan tes. Survei kesulitan topik dilakukan berdasarkan topik pada RPS matakuliah Bioteknologi. Mahasiswa diminta memberikan keterangan kesulitan tiap topik bioteknologi dengan rentang 1 (sangat mudah) sampai 5 (sangat sulit). Asesmen kebutuhan kepada mahasiswa dilakukan menggunakan angket kebutuhan yang dirasakan (*felt needs*) yang diadaptasi dari Tien & Osman (2014). Ada empat indikator pada angket *felt needs* yaitu *feeling* (perasaan), *understanding* (pemahaman), *confidence* (kepercayaan diri) dan *learning aids* (bantuan belajar). Tiap indikator terdiri dari 5 pernyataan, mahasiswa diminta memberikan rating dari 1 (sangat tidak setuju) sampai 5 (sangat setuju).

Data yang didapat dari angket dianalisis secara statistik deskriptif. Respons yang diperoleh dari jawaban angket responden dijumlahkan dan dirata-ratakan. Nilai rata-rata dijadikan data untuk melakukan inferensi penelitian berdasarkan kategori (Gall et al., 2003; Leedy & Ormrod, 2015). Interpretasi nilai rata-rata dari hasil tanggapan survei kesulitan topik yaitu jika nilai rata-rata 1 – 2,33 sebagai mudah, 2,34 – 3,66 sebagai sedang dan 3,67 – 5 sebagai sulit sedangkan nilai rata-rata dari hasil angket *felt needs* jika 1 – 2,33 sebagai rendah, 2,34 – 3,66 sebagai sedang dan 3,67 – 5 sebagai tinggi (Bahri et al., 2014; Tien & Osman, 2014).

HASIL

Perkembangan bioteknologi yang pesat pada berbagai bidang membuat program pendidikan guru harus tanggap dalam memberikan pengalaman belajar dan mahasiswa harus proaktif dalam mendalami teori dan metode penelitian berdasarkan isu terkini bioteknologi. Survei telah dilakukan untuk mengetahui persepsi mahasiswa terhadap kesulitan topik pembelajaran bioteknologi serta kebutuhan media untuk mendukung pembelajaran bioteknologi. Hasil penelitian yang dilakukan disajikan sebagai berikut.

Survei Kesulitan Topik

Persepsi mahasiswa tentang kesulitan topik menjadi variabel penting yang berpengaruh pada ketertarikan mereka terhadap pembelajaran dan hal ini menjadi pertimbangan dalam menentukan prioritas strategi peningkatan pembelajaran (Li et al., 2007). Hasil survei ini digunakan untuk mempertimbangkan topik prioritas yang membutuhkan dukungan dalam peningkatan proses pembelajaran dan penyediaan media dalam pembelajaran bioteknologi. Hasil survei kesulitan topik ditampilkan pada tabel 1.

Tabel 1. Tingkatan Kesulitan Topik Bioteknologi menurut Mahasiswa

No	Topik Pembelajaran Bioteknologi	Rata-rata	SD	Tingkat Kesulitan
1.	Prinsip dan Perkembangan Bioteknologi	2.07	0.86	Mudah
2.	Peran dan Mekanisme Enzimatis Mikroba dalam Bioteknologi	2.50	0.76	Sedang
3.	Rekayasa Genetika	3.52	0.59	Sedang
4.	Bioteknologi bidang Farmasi	3.33	0.89	Sedang
5.	Bioteknologi bidang Kedokteran	3.40	0.85	Sedang
6.	Bioteknologi bidang Pertanian	2.67	0.68	Sedang
7.	Bioteknologi bidang Peternakan	2.71	0.66	Sedang
8.	Bioteknologi bidang Lingkungan	2.55	0.79	Sedang
9.	Teknologi Forensik	3.81	0.59	Sulit
10.	Bioetika dalam Bioteknologi	2.57	0.90	Sedang

11.	Teknik Dasar Biologi Molekuler (Praktikum)	3.48	0.76	Sedang
	- Melakukan Analisis DNA (98%)			
	- Melakukan Analisis Protein (Ya: 55%)			

Asesmen Kebutuhan

Hasil survei kesulitan topik mengungkapkan terdapat kesenjangan pada kegiatan praktikum yaitu 98% mahasiswa melakukan analisis DNA, sementara hanya 55% mahasiswa yang melakukan analisis protein (Tabel 1). Untuk mengonfirmasi kebutuhan dukungan media pembelajaran pada topik analisis protein maka dilakukan asesmen kebutuhan. Hasil tanggapan mahasiswa tentang persepsi mereka terhadap pembelajaran bioteknologi dan kebutuhan mereka terhadap media pembelajaran bioteknologi khususnya pada topik analisis protein berdasarkan angket *felt needs* disajikan pada tabel 2.

Tabel 2. Persepsi Mahasiswa dan Kebutuhan terhadap Media Pembelajaran Bioteknologi

Konstruk	Pernyataan	Rata-rata	SD	Interpretasi
<i>Feelings</i> (Perasaan)	1. Saya senang mengikuti perkuliahan bioteknologi	4,38	0,53	High
	2. Konsep bioteknologi sangat abstrak bagi saya	2,43	0,66	Moderate
	3. Saya takut jika saya tidak dapat mendeskripsikan teknik analisis protein dengan benar	3,24	0,97	Moderate
	4. Menurut saya topik bioteknologi membosankan	2,14	1,04	Low
	5. Saya tertarik belajar mengenai teknik analisis protein dan peranannya bagi kehidupan	4,05	0,65	High
<i>Understanding</i> (Pemahaman)	1. Saya dengan mudah dapat membedakan antara metode dan peranan bioteknologi pada berbagai bidang	3,74	0,49	High
	2. Saya tidak dapat mendeskripsikan peran teknik analisis protein (isolasi dan elektroforesis) dalam bioteknologi	2,98	0,91	Moderate
	3. Saya dapat melaksanakan teknik analisis protein (isolasi dan elektroforesis) dengan mudah	3,29	0,85	Moderate
	4. Saya menemukan masalah dalam melaksanakan praktikum bioteknologi	2,98	0,83	Moderate
	5. Saya dapat menghubungkan peranan teknik analisis protein dalam kehidupan khususnya dalam pengembangan vaksin	3,38	0,69	Moderate
<i>Confidence</i> (Kepercayaan Diri)	1. Saya akan mendapatkan nilai yang baik dalam perkuliahan bioteknologi	4,12	0,62	High
	2. Saya yakin menguasai semua konsep pada tiap topik bioteknologi	3,19	0,63	Moderate
	3. Saya yakin dapat menguasai konsep bioteknologi jika saya berusaha	4,57	0,49	High
	4. Saya yakin dapat mendeskripsikan peran teknik analisis protein dalam bioteknologi	3,43	0,73	Moderate
	5. Saya yakin lebih dapat memahami teknik dalam bioteknologi melalui praktikum daripada mendiskusikan konsep di kelas	4,36	0,65	High
<i>Learning Aids</i> (Bantuan Belajar)	1. Dosen menggunakan multimedia dalam pembelajaran bioteknologi	3,62	0,79	Moderate
	2. Saya membaca referensi untuk meningkatkan penguasaan konsep bioteknologi	3,95	0,72	High
	3. Saya membutuhkan multimedia (animasi dan simulasi) untuk memahami teknik bioteknologi	4,43	0,49	High
	4. Saya bertanya kepada dosen dan asisten praktikum untuk memahami konsep bioteknologi	4,33	0,64	High
	5. Saya senang mempelajari bioteknologi melalui animasi/simulasi berbasis penelitian untuk memahami teknik dalam bioteknologi	4,55	0,50	High

PEMBAHASAN

Survei Kesulitan Topik

Hasil survei mengungkapkan bahwa topik bioteknologi yang sulit menurut pandangan mahasiswa adalah teknologi forensik dan topik bioteknologi dengan tingkat kesulitan sedang tetapi cenderung sulit adalah rekayasa genetika, bioteknologi kedokteran, bioteknologi farmasi dan kegiatan laboratorium teknik dasar biologi molekuler. Hasil survei ini sejalan dengan penelitian yang dilakukan oleh Sukri & Purwanti (2016) yang mengungkapkan bahwa bioteknologi merupakan materi yang dipersepsikan sulit oleh mahasiswa. Fauzi & Fariantika (2018) melaporkan bahwa kesulitan materi bioteknologi menurut persepsi mahasiswa calon guru biologi dikarenakan memuat konsep abstrak, banyak istilah asing dan sulit dipahami. Hal ini dikarenakan bioteknologi berlandaskan ilmu genetika dan biokimia yang juga dipersepsikan sulit. Sejalan dengan itu, Tibell & Rundgren (2010) menyatakan bahwa ilmu biologi molekuler yang merupakan trend bioteknologi modern merupakan konten yang kompleks dan berbasis pada beragam ilmu sains murni seperti matematika, fisika dan kimia serta sains terapan seperti kedokteran dan pertanian. Korelasi dari faktor tersebut menyebabkan kurangnya pemahaman mahasiswa dan adanya miskonsepsi mengenai materi biologi molekuler dan bioteknologi (Sikumbang et al., 2019).

Sikap mahasiswa terhadap topik bioteknologi tampaknya dipengaruhi oleh pengetahuan dan keterampilan yang didapat dari pengalaman belajar yang mereka alami. Bahri et al., (2014) melaporkan bahwa literasi bioteknologi pada mahasiswa termasuk pada tingkatan sedang. Hal ini dikarenakan aplikasi bioteknologi yang terbatas di kehidupan sehari-hari menyebabkan kesulitan dalam penguatan pemahaman bioteknologi. Lebih lanjut, pengetahuan dan pemahaman mahasiswa mengenai konten dan metode bioteknologi modern dapat mempengaruhi persepsi mereka tentang kesulitan konsep bioteknologi. Sehubungan dengan ini, Klop et al., (2010) menyatakan bahwa sikap mahasiswa terhadap bioteknologi dipengaruhi oleh konsep dasar biologi dan genetika yang mereka miliki. Sikap negatif mahasiswa tentang bioteknologi berhubungan dengan kurangnya landasan pengetahuan terhadap bioteknologi modern dan aplikasinya. Kidman (2010) menyatakan pengetahuan dan sikap guru terhadap bioteknologi berpengaruh pada sikap guru dalam melakukan praktik pengajaran bioteknologi di sekolah. Faktor yang mempengaruhi kurangnya pengetahuan dan keterampilan bioteknologi diantaranya dikarenakan kurangnya materi pendukung yang dapat digunakan guru atau calon guru sebagai sumber belajar (Chen et al., 2016).

Menurut pandangan mahasiswa, praktikum teknik dasar biologi molekuler termasuk topik dengan tingkat kesulitan sedang. Hasil survei mengungkapkan setengah dari semua mahasiswa tidak melakukan kegiatan praktikum teknik dasar biologi molekuler analisis protein. Temuan ini mengkonfirmasi laporan Hayat & Rustaman (2017) yang menyatakan bahwa calon guru biologi menunjukkan mempunyai kemampuan inkuiri yang baik akan tetapi kurang terpapar pada kegiatan investigasi dan percobaan di laboratorium bioteknologi. Padahal, pengalaman inkuiri di laboratorium bioteknologi dapat meningkatkan keterampilan dan *pedagogical content knowledge* sebagai calon guru biologi (Hanegan & Bigler, 2009). Berhubungan dengan temuan ini, hasil penelitian Acarli (2016) mengungkapkan bahwa mahasiswa calon guru tidak mengetahui adanya metode analisis protein dalam menghasilkan produk bioteknologi, akan tetapi mengetahui aplikasi bioteknologi dalam penanganan penyakit di bidang kedokteran yang merupakan salah satu penerapan analisis protein. Pengetahuan mahasiswa tentang konsep dan metode bioteknologi lebih cenderung kepada teknologi DNA sebagai teknik dalam menghasilkan produk bioteknologi.

Kurangnya pengalaman guru mengenai teknologi berbasis protein dapat mempengaruhi kemampuannya dalam pemecahan masalah yang berkaitan dengan teknik biologi molekuler berbasis analisis protein. Pavlasova et al., (2017) mengungkapkan mahasiswa calon guru mempunyai permasalahan dalam menyelesaikan kasus inkuiri tentang hasil *sodium dodecyl sulphate-polyacrylamide gel electrophoresis* (SDS-PAGE) protein. Hal tersebut dapat terjadi karena mahasiswa mempunyai sedikit pengetahuan atau pengalaman dalam prinsip dan metode elektroforesis. Atmojo et al., (2014) menyatakan bahwa mahasiswa mengalami kesulitan dalam memahami bioteknologi bidang kesehatan khususnya konsep dan pengembangan vaksin, padahal pengembangan produk bioteknologi kesehatan seperti vaksin merupakan penelitian yang melibatkan serangkaian metode biologi molekuler. Kajian pengembangan vaksin tidak hanya menemukan formula untuk mencegah penyakit oleh virus, akan tetapi juga pencegahan penyakit oleh bakteri dengan melakukan analisis protein komponen sel bakteri (Ehara et al., 1987; Gerven et al., 2011; Sumarno et al., 2015). Perkembangan penelitian biologi molekuler dalam menghasilkan produk bioteknologi sudah seharusnya diketahui oleh mahasiswa calon guru Biologi sehingga menambah literasi tentang perkembangan penelitian terkini dalam aplikasi bioteknologi.

Asesmen Kebutuhan

Hasil tanggapan mahasiswa terhadap angket *felt needs* mengungkapkan mahasiswa mempunyai persepsi yang baik terhadap perkuliahan bioteknologi. Berbeda dengan laporan sebelumnya (Fauzi & Fariantika, 2018; Sukri & Purwanti, 2016; Tibell & Rundgren, 2010), temuan hasil angket ini mengungkapkan mahasiswa tidak menganggap topik bioteknologi abstrak dan membosankan untuk dipelajari. Hal ini dapat dikarenakan perkuliahan bioteknologi yang mereka lakukan telah diperkaya dengan praktikum biologi molekuler sehingga konsep dan metode bioteknologi menjadi kontekstual. Sejalan dengan temuan ini, Oto et al., (2006) melaporkan bahwa menerapkan aktivitas laboratorium akan meningkatkan perhatian mahasiswa dan memperdalam pemahaman mahasiswa sehingga dapat meningkatkan literasi tentang konsep *life science* dan bioteknologi modern. Guru harus diperkaya dengan pelatihan dalam melakukan praktik bioteknologi berbasis molekuler untuk memberikan pengalaman bermakna kepada mereka. Azis et al., (2009) juga melaporkan bahwa pelatihan kegiatan laboratorium bioteknologi meningkatkan pengetahuan, kepercayaan diri dalam mengajar dan sikap guru terhadap bioteknologi khususnya teknologi DNA. Temuan dalam asesmen kebutuhan ini juga mengungkapkan, walaupun setengah dari mahasiswa tidak melakukan teknik analisis protein di laboratorium, mereka mempunyai rasa ketertarikan yang tinggi untuk belajar teknik analisis protein. Oleh karena itu, kegiatan praktik bioteknologi berbasis biologi molekuler dipertimbangkan diberikan kepada calon guru untuk meningkatkan literasi bioteknologi mereka dan siswa mereka setelah mereka mengajar.

Hasil angket menunjukkan mahasiswa merasa mempunyai pemahaman yang sedang dalam melakukan teknik analisis protein dasar yaitu isolasi dan elektroforesis. Disamping itu, mahasiswa mempunyai kepercayaan diri pada tingkatan sedang dalam mendeskripsikan peran teknik analisis protein. Sesuai dengan penelitian oleh Gezer (2015) menemukan bahwa persepsi diri tentang kemampuan laboratorium tidak berkorelasi dengan keterampilan proses sains, tetapi dipengaruhi oleh pengalaman. Pada kegiatan laboratorium, calon guru dapat dididik lebih percaya diri, terlibat dalam penelitian untuk mengembangkan persepsi kompetensi laboratorium. Borgerding et al., (2013) menyatakan bahwa salah satu faktor pertimbangan guru tidak kompeten dalam mengajarkan bioteknologi dan metodenya dikarenakan kepercayaan diri guru yang rendah dalam menguasai konsep dan teknik bioteknologi. Fadzil & Saat (2020) juga menyatakan guru yang kurang berpengalaman mempunyai kepercayaan diri yang rendah

dalam melakukan kegiatan laboratorium. Guru biologi yang berpengetahuan dalam keterampilan ilmiah akan mampu dan terampil dalam mengembangkan kegiatan pembelajaran laboratorium.

Temuan dalam penelitian ini mengungkapkan bahwa mahasiswa menyatakan lebih dapat memahami teknik bioteknologi melalui kegiatan praktikum daripada mendiskusikan konsep di kelas. Berhubungan dengan temuan ini, Movahedzadeh et al., (2012) & Knutson et al., (2010) melaporkan bahwa pembelajaran bioteknologi yang memberikan kesempatan kepada mahasiswa untuk melakukan kegiatan laboratorium akan merangsang motivasi, pengetahuan dan kepercayaan diri dalam memahami konsep serta memberikan pengalaman dalam melakukan penelitian biologi molekuler. Melatih mahasiswa berpikir kritis dengan melakukan praktik akan memberikan penguatan konseptual dan memberikan pengalaman belajar yang sulit untuk dilupakan. Ketpichinarong et al., (2010) menyatakan pembelajaran bioteknologi berbasis inkuiri laboratorium dapat melatih calon guru dalam mengembangkan profesionalnya. Kegiatan inkuiri laboratorium dapat mengembangkan keterampilan berpikir kritis, keterampilan proses sains dan kemampuan menerapkan pengetahuan pada konteks dunia nyata. Brownel et al., (2012) berargumentasi bahwa pembelajaran bioteknologi berbasis penelitian laboratorium memberikan sikap positif terhadap penelitian autentik, kepercayaan diri dan ketertarikan dalam melakukan tugas laboratorium. Yang paling penting adalah kegiatan praktikum laboratorium bioteknologi bukan hanya memberikan peningkatan penguasaan konten yang signifikan, tetapi juga meningkatkan kemampuan pedagogis guru.

Respons mahasiswa dari hasil angket memperlihatkan bahwa mereka merasa mempunyai bantuan belajar yang tinggi. Pada perkuliahan bioteknologi, mahasiswa didukung dengan referensi, dukungan dari dosen dan asisten praktikum. Walaupun mahasiswa telah menunjukkan menggunakan multimedia dalam pembelajaran, mereka menyatakan membutuhkan sumber belajar berupa animasi dan simulasi dalam bentuk multimedia serta senang mempelajari bioteknologi dari multimedia berbasis penelitian untuk meningkatkan pengetahuan mereka terhadap teknik dalam bioteknologi. Sejalan dengan temuan ini, Bahesti et al., (2018) berargumentasi bahwa penggunaan video pada pembelajaran praktik memberikan kesempatan belajar yang fleksibel serta otonomi belajar siswa. Dash et al., (2016) menjelaskan bahwa media audio visual dapat membantu proses kognitif dan meningkatkan efektivitas dalam pembelajaran konsep abstrak seperti reaksi biokimia. Mayer (2014) juga menambahkan bahwa multimedia interaktif memaksimalkan proses kognitif mahasiswa melalui modalitas audio, visual dan kinestetik sehingga mahasiswa dapat memahami materi kompleks dan prosedur bioteknologi yang menggunakan bahan kimia yang berbahaya.

Tren penggunaan multimedia yang diperkaya dengan laboratorium virtual memberikan beragam manfaat pada pembelajaran praktik bioteknologi. Studi oleh Sasiidharakurup et al., (2015) menunjukkan penggunaan laboratorium virtual teknik biologi molekuler meningkatkan capaian pembelajaran dan interaktivitas belajar serta memungkinkan akses laboratorium kapan saja dan dimana saja. Diwakar et al., (2011) menyatakan bahwa penggunaan laboratorium virtual memungkinkan siswa dapat melakukan teknik laboratorium melalui langkah-langkah seperti pada laboratorium sesungguhnya. Sejalan dengan argumen ini, Makransky et al., (2016) menjelaskan penggunaan laboratorium virtual yang dikombinasikan dengan laboratorium sesungguhnya menunjukkan peningkatan pengetahuan dan efikasi diri, motivasi yang signifikan. Radhamani et al., (2018) juga melaporkan melalui visualisasi ilmiah menggunakan laboratorium virtual pada penelitian biologi sel dan molekuler, keterampilan laboratorium dalam penguatan pendidikan STEM dapat meningkat secara signifikan.

Hasil penelitian mengungkapkan mahasiswa menunjukkan ketertarikan dalam belajar bioteknologi melalui animasi dan simulasi multimedia berbasis penelitian dalam meningkatkan pemahaman teknik bioteknologi. Konsisten dengan temuan ini, Narulita et al., (2019) menunjukkan penggunaan buku bioteknologi berbasis penelitian yang diintegrasikan dengan laboratorium virtual memberikan kesempatan kepada calon guru mengetahui informasi perkembangan terkini penelitian bioteknologi, memberikan pengalaman praktikum nyata dan meningkatkan TPACK calon guru secara signifikan. Melalui manfaat ini, pengalaman belajar yang dilakukan dapat mengurangi miskonsepsi sehingga dapat melaksanakan pembelajaran bioteknologi dengan menekankan pemahaman yang mendalam. Argumentasi Brew (2010) memperkuat bahwa partisipasi mahasiswa dalam pembelajaran dan penelitian dapat mengembangkan pengetahuan dan keterampilan sehingga keterampilan abad 21 dapat ditanamkan kepada mahasiswa.

Hasil survei tingkat kesulitan topik dan *felt needs* yang telah dibahas mengarahkan kepada solusi dari kesenjangan bahwa dibutuhkan multimedia berbasis penelitian yang dapat mendukung pembelajaran bioteknologi khususnya praktik analisis protein pada topik teknik dasar biologi molekuler. Desain multimedia yang sesuai dengan perkembangan kognitif, melibatkan mahasiswa aktif dalam pembelajaran, menekankan pengalaman belajar yang menghasilkan memori jangka panjang (Gagne et al., 1992) dan mengurangi beban kognitif (Mayer & Moreno, 2003) dipertimbangkan untuk dikembangkan. Penyediaan media yang sesuai diharapkan dapat menguatkan dan memprioritaskan pendidikan bioteknologi dan aplikasinya pada kurikulum pendidikan guru di universitas yang selanjutnya berdampak pada pengajaran di sekolah.

SIMPULAN

Pembahasan yang telah dilakukan berdasarkan hasil temuan penelitian ini mengarahkan pada perlunya penekanan pembelajaran bioteknologi yang memberikan akses kepada calon guru biologi untuk mendapatkan pengalaman praktik dan penelitian di laboratorium biologi molekuler. Kendala yang berhubungan dengan keterbatasan fasilitas, waktu dan dana dapat diatasi dengan menyediakan media pembelajaran yang dapat memberikan pengalaman belajar seperti melakukan praktik di laboratorium nyata kepada mahasiswa. Berdasarkan kebutuhan mahasiswa dan kajian keunggulan media pembelajaran, multimedia yang memberikan pengalaman bermakna, sesuai dengan perkembangan kognitif mahasiswa dan dapat mengurangi

beban kognitif dapat dikembangkan untuk menyediakan sumber belajar pendukung pada pembelajaran bioteknologi khususnya pada praktik teknik dasar biologi molekuler. Multimedia berbasis penelitian analisis protein dalam menghasilkan produk bioteknologi perlu dikembangkan sehingga dapat menjadi solusi dalam pembelajaran praktik teknik dasar biologi molekuler pada perkuliahan bioteknologi. Penelitian sejenis dapat dilakukan untuk melihat literasi bioteknologi mahasiswa calon guru khususnya berkaitan dengan bioteknologi modern dan teknik analisis biologi molekuler. Tindak lanjut dari penelitian ini yaitu mengembangkan konten multimedia berbasis penelitian analisis protein berdasarkan kebutuhan mahasiswa.

UCAPAN TERIMA KASIH

Terimakasih kepada Lembaga Pengelola Dana Pendidikan (LPDP) Kementerian Keuangan Republik Indonesia yang telah mendukung penuh pendanaan pada penelitian ini.

DAFTAR RUJUKAN

- Acarli, D. S. (2016). Determining Prospective Biology Teachers' Cognitive Structure in Terms of "Biotechnology." *Journal of Baltic Science Education*, 15(4), 494–505.
- Afandi, Sajidan, Akhyar, M., & Suryani, N. (2019). Development Frameworks of the Indonesian Partnership 21st Century Skills Standards for Prospective Science Teachers: A Delphi Study. *Jurnal Pendidikan IPA Indonesia*, 8(1), 89–100.
- Al-Momani, F. N. (2019). Difficulties in Making Professional Science Teacher in the 21th Century . Difficulties in Making Professional Science Teacher in the 21th Century. *IOSR Journal of Research & Method in Education*, 7(1), 76–82.
- Amin, M., Suarsini, E., Lestari, U., Listyorini, D., & Maslikah, S. I. (2016). *Rencana Pembelajaran Semester Bioteknologi*. Jurusan Biologi, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Negeri Malang.
- Aziz, A. N., Tegegne, F., & Wiemers, R. W. (2009). Benefits of Hands-On Biotechnology Training Workshops for Secondary School Educators and College Students. *Journal of Biotech Research*, 1, 72–79.
- Bahri, N. M., Suryawati, E., & Osman, K. (2014). Students' Biotechnology Literacy: The Pillars of STEM Education in Malaysia. *Eurasia Journal of Mathematics, Science and Technology Education*, 10(3), 195–207.
- Beheshti, M., Tapolat, A., Kaya, O. S., & Sapanca, H. F. (2018). Characteristics of Instructional Videos. *World Journal on Educational Technology: Current Issues*, 10(1), 61–69.
- Borgerding, L. A., Sadler, T. D., & Koroly, M. J. (2013). Teachers' Concerns About Biotechnology Education. *Journal Science Education Technology*, 22, 133–147.
- Brew, A. (2010). Imperatives and Challenges in Integrating Teaching and Research. *Higher Education Research and Development*, 29(2), 139–150.
- Brownell, S. E., Kloser, M. J., Fukami, T., & Shavelson, R. (2012). Undergraduate Biology Lab Courses: Comparing the Impact of Traditionally Based "Cookbook" and Authentic Research-Based Courses on Student Lab Experiences. *Journal of College Science Teaching*, 41(4), 36–45.
- Burton, J. K., & Merrill, P. F. (1991). Needs Assessment: Goals, Needs and Priorities. In L. J. Briggs, K. L. Gustafson, & M. H. Tillman (Eds.), *Instructional Design: Principles and Applications*. Educational Technology Publications (2nd ed., pp. 17–43). Englewood Cliffs.
- Chen, S. Y., Chu, Y. R., Lin, C. Y., & Chiang, T. Y. (2016). Students' Knowledge of, and Attitudes Towards Biotechnology Revisited, 1995-2014: Changes in Agriculture Biotechnology but not in Medical Biotechnology. *Biochemistry and Molecular Biology Education*, 44(5), 475–491.
- Clark, D. D., & Edwards, D. J. (2018). Computer Software Virtual Protein Purification : A Simple Exercise to Introduce pH as a Parameter that Effects Ion Exchange Chromatography. *Biochemistry and Molecular Biology Education*, 46(1), 91–97.
- Darling-Hammond, L. (2006). Constructing 21st-Century Teacher Education. *Journal of Teacher Education*, 57(3), 300–314.
- Darling-hammond, L., Hyle, M. E., & Gardner, M. (2017). *Effective Teacher Professional Development* (Issue June).
- Dash, S., Kamath, U., Rao, G., Prakash, J., & Mishra, S. (2016). Audio-Visual Aid in Teaching "Fatty Liver." *Biochemistry and Molecular Biology Education*, 44(3), 241–245.
- Diwakar, S., Achuthan, K., Nedungadi, P., & Nair, B. (2011). Enhanced Facilitation of Biotechnology Education in Developing Nations via Virtual Labs : Analysis , Implementation and. *International Journal of Computer Theory and Engineering*, 3(1), 1–8.
- Ehara, M., Ishibashi, M., Ichinose, Y., Iwanaga, M., Shimotori, S., & Naito, T. (1987). Purification and Characterization of Fimbriae from Fimbriate *Vibrio cholerae* O1 Strain Bgd17. *Vaccine*, 5, 283–288.
- Fadzil, H. M., & Saat, R. M. (2020). Exploring Secondary School Biology Teachers' Competency in Practical Work. *Jurnal Pendidikan IPA Indonesia*, 9(1), 116–123.
- Fauzi, A., & Fariantika, A. (2018). Courses Perceived Difficult by Undergraduate Students Majoring in Biology. *Biosfer: Jurnal Pendidikan Biologi*, 11(2), 78–89.
- Gagne, R. M., Briggs, L. J., & Wager, W. W. (1992). *Principles of Instructional Design* (4th ed.). Harcourt Brace College Publishers.
- Gall, M. D., Gall, J. P., & Borg, W. R. (2003). *Educational Research: An Introduction* (Seventh). Pearson Education, Inc.

- Geng, F., & Alani, F. (2015). Biotechnology Labs Reinvented through Experiential Learning: Enhancing Student Outcomes through the “Flipped Lab.” *Proceedings of the Canadian Engineering Education Association (CEEA) Conference*.
- Gerven, N. Van, Waksman, G., & Remaut, H. (2011). Pili and Flagella: Biology, Structure, and Biotechnological Applications. In *Progress in Molecular Biology and Translational Science* (Vol. 103).
- Gezer, S. U. (2015). A Case Study on Preservice Science Teachers’ Laboratory Usage Self Efficacy and Scientific Process Skills. *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, 174, 1158–1165.
- Gu, J., & Belland, B. R. (2015). Preparing Students with 21st Century Skills : Integrating Scientific Knowledge , Skills , and Epistemic Beliefs in Middle School Science Curricula. In G. X, I. D, & S. J. (Eds.), *Emerging Technologies for STEAM Education, Educational Communications and Technology: Issues and Innovations* (pp. 39–60). Springer.
- Halimah, M., Rahmat, A., & Redjeki, S. (2020). Biotechnology Learning Profile Biology in FKIP Biology Education Study Program Pasundan University Bandung Indonesia. *Journal of Physics: Conference Series*, 151 042031.
- Hanegan, N. L., & Bigler, A. (2009). Infusing Authentic Inquiry into Biotechnology. *Journal of Science Education and Technology*, 18, 393–401.
- Hayat, M. ., & Rustaman, N. . (2017). How is the Inquiry Skills of Biology Preservice Teachers in Biotechnology Lecture ? *Journal of Physics: IOP Conf. Series*, 895 012135.
- Kereluik, K., Mishra, P., Fahnoe, C., & Terry, L. (2013). What Knowledge Is of Most Worth: Teacher Knowledge for 21st Century Learning. *Journal of Digital Learning in Teacher Education*, 29(4), 127–140.
- Ketpichainarong, W., Panijpan, B., & Ruenwongsa, P. (2010). Enhanced Learning of Biotechnology Students by an Inquiry-Based Cellulase Laboratory. *International Journal of Environmental & Science Education*, 5(2), 169–187.
- Kidman, G. (2010). What is an ‘Interesting Curriculum’ for Biotechnology Education? Students and Teachers Opposing Views. *Research in Science Education*, 40, 353–373.
- Kırbaşlar, F. G., & Barış, Ç. Ç. (2016). The Investigation of Pre-service Science Teachers’ Opinions on Some of the Biology and Biotechnology Concepts. *Journal of Educational and Social Research*, 6(1), 9–16.
- Klop, T., Severiens, S. E., Knippels, M.-C. P. J., van Mil, M. H. W., & Dam, G. T. M. Ten. (2010). Module on Attitudes towards Modern Biotechnology of Secondary School Students. *International Journal of Science Education*, 32(9), 1127–1150.
- Knutson, K., Smith, J., Wallert, M. A., & Provost, J. J. (2010). Bringing the Excitement and Motivation of Research to Students ; Using Inquiry and Research-Based Learning in a Year-Long Biochemistry Laboratory. *Biochemistry and Molecular Biology Education*, 38(5), 317–323.
- Lee, W. W., & Owens, D. L. (2004). *Multimedia-Based Instructional Design* (Second). Pfeiffer.
- Leedy, P. D., & Ormrod, J. E. (2015). *Practical Research: Planning and Design* (Eleventh). Pearson.
- Li, W., Lee, A., & Solmon, M. (2007). The Role of Perceptions of Task Difficulty in Relation to Self-Perceptions of Ability, Intrinsic Value, Attainment Value, and Performance. *European Physical Education Review*, 13(3), 301–318.
- Makransky, G., Thisgaard, M. W., & Gadegaard, H. (2016). Virtual Simulations as Preparation for Lab Exercises : Assessing Learning of Key Laboratory Skills in Microbiology and Improvement of Essential Non-Cognitive Skills. *PLoS ONE*, 11(6), e0155895.
- Mayer, R. E. (2014). Introduction to Multimedia Learning. In R. E. Mayer (Ed.), *The Cambridge Handbook of Multimedia Learning* (2nd ed.). Cambridge University Press.
- Mayer, R. E., & Moreno, R. (2003). Nine ways to Reduce Cognitive Load in Multimedia Learning. *Educational Psychologist*, 38(1), 43–52.
- Movahedzadeh, F., Patwell, R., Rieker, J. E., & Gonzalez, T. (2012). Project-Based Learning to Promote Effective Learning in Biotechnology Courses. *Education Research International*, 2012, 1–8.
- Narulita, E., Hariyadi, S., Utomo, A. P., & Fauziah, L. F. (2019). Research-Based Biotechnology Book with Virtual Laboratory for Elevating TPACK of Biology Pre-Service Teacher. *International Journal of Learning, Teaching and Educational Research*, 18(11), 297–310.
- Niwangtika, W. (2017). *Pengembangan Multimedia Interaktif Virtual Laboratory Teknik DNA Barcoding sebagai Media Pembelajaran Rekayasa Genetika*. Universitas Negeri Malang.
- Orhan, T. Y., & Sahin, N. (2018). The Impact of Innovative Teaching Approaches on Biotechnology Knowledge and Laboratory Experiences of Science Teachers. *Education Sciences*, 8(4), 213.
- Oto, M., Ono, M., & Kamada, H. (2006). Gene Literacy Education in Japan — Fostering Public Understanding through Practice of Hands-on Laboratory Activities in High Schools. *Plant Biotechnology*, 23, 339–346.
- Pavlasova, L., Janstova, V., & Lindner, M. (2017). Skills Of Pre-Service Biology Teachers to Solve an Inquiry-Based Task. In M. Rusek & K. Vojříř (Eds.), *Project-Based Education In Science Education: Empirical Texts* (pp. 74–82). Department of Chemistry and Chemistry Education, Faculty of Education, Charles University.
- Qalbina, P., & Ahda, Y. (2019). Characteristics of Biotechnology Learning Materials Generally Used by Biology Education Students in Padang City. *Journal of Physics: Conf. Series*, 1185 012154.

- Radhamani, R., Divakar, A., Nair, A. A., Sivadas, A., Mohan, G., Nizar, N., Nair, B., Achuthan, K., & Diwakar, S. (2018). Virtual Laboratories in Biotechnology are Significant Educational Informatics Tools. *International Conference on Advances in Computing, Communications and Informatics (ICACCI)*, 1547–1551.
- Rochintaniawati, D., Riandi, R., Kestianty, J., Kindy, N., & Rukayadi, Y. (2019). The Analysis of Biology Teachers' Technological Pedagogical Content Knowledge Development in Lesson Study in West Java Indonesia. *Jurnal Pendidikan IPA Indonesia*, 8(2), 201–210.
- Rosenberg, J. M., & Koehler, M. J. (2015). Context and Technological Pedagogical Content Knowledge (TPACK): A Systematic Review. *Journal of Research on Technology in Education*, 47(3), 186–210.
- Sasidharakurup, H., Radhamani, R., Kumar, D., Nizar, N., Achuthan, K., Nair, B., & Diwakar, S. (2015). Using Virtual Laboratories as Interactive Textbooks : Studies on Blended Learning in Biotechnology Classrooms. *EAI Endorsed Transactions on E-Learning*, 15, e4.
- Shegog, R., Lazarus, M. M., Murray, N. G., Diamond, P. M., Sessions, N., & Zsigmond, E. (2012). Virtual Transgenics: Using a Molecular Biology Simulation to Impact Student Academic Achievement and Attitudes. *Research in Science Education*, 42(5), 875–890.
- Sikumbang, D., Rakhmawati, I., & Suwandi, T. (2019). Investigating the Cognitive Structure of Biology Preservice Teacher about Central Dogma of Molecular Biology Through Word Association Test. *IOP Conf. Series: Journal of Physics: Conf. Series*, 1155 012047.
- Steele, F., & Aubusson, P. (2004). The Challenge in Teaching Biotechnology. *Research in Science Education*, 34, 365–387.
- Subekti, H., Susilo, H., Ibrohim, I., Suwono, H., & Purnomo, A. R. (2019). Exploration of Balai Materia Medica Batu: Field-Trip Supporting Biotechnology Learning. *Exploration of Balai Materia Medica Batu: Field-Trip Supporting Biotechnology Learning*, 95, 188–191.
- Sukri, A., & Purwanti, E. (2016). Hubungan Persepsi dan Tingkat Keaktifan dengan Hasil Belajar Mahasiswa Biologi pada Perkuliahan Bioteknologi di Universitas Muhammadiyah Malang. *Jurnal Edukasi Matematika dan Sains*, 2(1), 1–6.
- Sumarno, R. P., Avanita, A. S., Winarsih, S., Hidayat, S., & Nurhidayati, D. Y. (2015). Haemagglutination of Shigella Dysenteriae Subunit Pili Protein with Anti-Haemagglutination of S. dysenteriae Subunit Pili Protein as a Molecule Adhesion in Mouse Enterocytes. *African Journal of Microbiology Research*, 9(11), 781–787.
- Suryanti, E., Fitriani, A., Redjeki, S., & Riandi, R. (2018). Identification of Conceptual Understanding in Biotechnology Learning. *IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering*, 335 012093.
- Thieman, W., & Palladino, M. (2013). *Introduction to Biotechnology* (3rd ed.). Pearson.
- Tibell, L. A. E., & Rundgren, C. (2010). *Educational Challenges of Molecular Life Science: Characteristics and Implications for Education and Research*. 9, 25–33.
- Tien, L. T., & Osman, K. (2014). Development of Interactive Multimedia Module with Pedagogical Agent (IMMPA) in the Learning of Electrochemistry: Needs Assessment. *Research Journal of Applied Sciences, Engineering and Technology*, 7(18), 3725–3732.
- Wilson, E., & Flowers, J. (2002). Secondary Educators' Confidence in Teaching Agricultural Biotechnology after Training. *Journal of Natural Resources and Life Sciences Education*, 31, 131–135.
- Yarden, H., & Yarden, A. (2011). Studying Biotechnological Methods Using Animations: The Teacher's Role. *Journal of Science Education and Technology*, 20(6), 689–702.
- Yasin, R. M., Amin, L., & Hin, K. K. (2018). Teaching & Learning of 21st Century Biotechnology in Secondary School Additional Science. *Teaching Science*, 64(3), 43–52.