



Research Article



Pengembangan Buku Ajar Biologi Berbasis STEM education-PjBL Pada Materi Plantae

Trio Ageng Prayitno¹, Nuril Hidayati^{2*}, Noventianus Umbu Ranja Uma³

^{1,3}Pendidikan Biologi, Universitas Insan Budi Utomo, Malang, Jawa Timur, Indonesia

²Pendidikan Biologi, Universitas Nahdlatul Ulama Pasuruan, Pasuruan, Jawa Timur, Indonesia

Email: trioageng@gmail.com , hidayatnuril20@gmail.com*, umbuyulius48@gmail.com

Penerbit	ABSTRACT
Program Studi Pendidikan Biologi Universitas Negeri PGRI Kediri	<p>STEM education (Science, Technology, Engineering, and Mathematics) based textbooks and Project Based Learning (PjBL) learning models have never been developed by school educators. STEM education-PjBL can provide meaningful learning for students in understanding concepts and exploring through project activities. The aim of the research is to produce a biology textbook based on STEM education-PjBL on Plantae material that meets valid criteria. This type of research is development research and uses the Thiagarajan 4D development model consisting of define, design, develop, and disseminate. However, this research is limited to the develop stage. The research instruments used were a needs analysis questionnaire, a material expert validation questionnaire, and a learning media expert validation questionnaire. The results of the research show that the STEM education-PjBL-based biology textbook on Plantae material is declared very valid and appropriate in terms of material (91%) and learning media (99%). This STEM education-PjBL based biology textbook can be recommended as a learning resource in biology learning and a reference for teachers and other researchers if they want to develop a book by integrating learning approaches and models where the learning approach or model is integrated with the subject matter.</p> <p>Keywords: Development; Plantae; STEM-PjBL</p>
	<p>ABSTRAK</p> <p>Buku ajar berbasis STEM education (Science, Technology, Engineering, dan Mathematics) dan model pembelajaran Project Based Learning (PjBL) belum pernah dikembangkan oleh pendidik di sekolah. Padahal, STEM education-PjBL dapat memberikan pembelajaran bermakna bagi siswa dalam memahami konsep dan bereksplorasi melalui sebuah kegiatan proyek. Tujuan penelitian adalah menghasilkan buku ajar biologi berbasis STEM education-PjBL pada materi Plantae yang memenuhi kriteria valid. Jenis penelitian ini adalah penelitian pengembangan dan menggunakan model pengembangan 4D Thiagarajan terdiri define, design, develop, dan disseminate. Namun, pada penelitian ini dibatasi sampai tahap develop. Instrumen penelitian yang digunakan adalah angket analisis kebutuhan, angket validasi ahli materi, dan angket validasi ahli media pembelajaran. Hasil penelitian menunjukkan buku ajar biologi berbasis STEM education-PjBL pada materi Plantae dinyatakan sangat valid dan layak dari aspek materi (91%) dan media pembelajaran (99%). Buku ajar biologi berbasis STEM education-PjBL ini dapat direkomendasikan menjadi sumber belajar dalam pembelajaran biologi dan referensi kepada guru dan peneliti lainnya jika ingin mengembangkan buku dengan mengintegrasikan pendekatan dan model pembelajaran dimana pendekatan atau model pembelajaran tersebut menyatu dengan materi pelajaran.</p> <p>Kata kunci: Pengembangan; Plantae, STEM-PjBL</p>

PENDAHULUAN

Teknologi di era revolusi industri 4.0 telah menjadi basis dalam kehidupan manusia (Lase, 2019). Perkembangan internet dan teknologi digital mengakibatkan segala hal menjadi tidak terbatas (Subekti et al., 2018). Era revolusi industri ini telah mempengaruhi banyak aspek kehidupan baik di bidang ekonomi, politik, kebudayaan, seni, dan pendidikan (Destiana, 2019). Pendidikan 4.0 merupakan respons terhadap kebutuhan revolusi industry 4.0 dimana manusia dan teknologi diselaraskan untuk menciptakan peluang-peluang baru dengan kreatif (Risdiyanto, 2019). Perubahan era revolusi industri 4.0 ini tidak dapat dihindari oleh siapapun sehingga dibutuhkan persiapan yang matang agar siap menghadapi tantangan jaman dan mampu bersaing dalam skala global (Purwandini & Irwansyah, 2018).

Salah satu persiapan yang perlu dilakukan adalah peningkatan kualitas sumber daya manusia melalui jalur pendidikan mulai dari pendidikan dasar dan menengah hingga ke perguruan tinggi, hal ini merupakan salah satu kunci untuk mampu mengikuti perkembangan era revolusi industri 4.0 (Lase, 2019). Perkembangan ilmu pengetahuan dan teknologi yang semakin pesat menjadi tuntutan revolusi yang terus meningkat yang menandai adanya revolusi industri 4.0 (Cholily et al., 2019). Era revolusi industri 4.0 ini menjadi tantangan bagi pendidik dalam pembelajaran yaitu pendidik harus menyiapkan siswa yang berkualitas dan pandai menggunakan teknologi informasi sehingga siswa mampu bersaing secara global (Syamsuar & Reflianto, 2019). Kualitas siswa dapat ditumbuhkan melalui pembelajaran yang terfokus pada literasi informasi, keterampilan riset, belajar berbasis kehidupan, dan pembelajaran terintegrasi STEM (Subekti et al., 2018).

Pendidik memiliki peran yang sangat penting di era revolusi industri 4.0 sebab keberadaannya sangat menentukan keberhasilan pembelajaran dan berperan penting dalam membimbing dan memfasilitasi proses pembelajaran agar siswa mampu mencapai tujuan pembelajaran (Susilawati et al., 2018). Seorang pendidik yang profesional diharuskan mengembangkan buku ajar yang merupakan unsur penting dalam pembelajaran (Narhamidah & Nurhafizah, 2019). Implementasi Kurikulum oleh Pemerintah Indonesia, sebenarnya telah menyediakan buku ajar bagi sekolah (Ningsih, 2018). Namun, pertanyaan mendasar yang perlu dijawab pendidik adalah apakah buku tersebut telah memenuhi kebutuhan siswa. Jika dilihat dari kemampuan siswa saat ini bisa berbeda-beda dan kebutuhan siswa bisa jadi sangat beragam (Pujaningsih, 2012). Oleh karena itu, pengembangan buku ajar ini sangat penting untuk dilakukan oleh pendidik, mengingat buku ajar yang tersedia belum tentu sesuai dengan kebutuhan siswa, baik dilihat dari segi keluasan, kedalaman, tingkat kesulitan, maupun karakteristik siswa.

Hasil analisis kebutuhan di SMA Negeri 3 Borong menunjukkan bahwa buku biologi yang digunakan pada pembelajaran biologi masih menggunakan buku paket dari pemerintah. Belum pernah ada inovasi pengembangan buku ajar pada materi biologi berdasarkan karakteristik siswa. Pembelajaran biologi berlangsung dengan model diskusi. Belum pernah ada variasi penggunaan pendekatan pembelajaran seperti pendekatan STEM education (Science, Technology, Engineering, dan Mathematics). Belum pernah ada variasi penggunaan model pembelajaran seperti Project Based Learning (PjBL). Beberapa siswa terlihat aktif dalam pembelajaran biologi, sedangkan lainnya merasa kurang minat belajar dan merasa bosan. Materi biologi yang dirasa luas dan cukup sulit untuk memahami konsepnya adalah materi Plantae. Berdasarkan permasalahan di atas, agar pembelajaran biologi menjadi bermakna, lebih mengaktifkan siswa dalam proses pembelajaran, serta memudahkan pemahaman konsep melalui

eksplorasi dengan kegiatan proyek maka diperlukan sebuah solusi, yaitu pengembangan buku ajar berbasis STEM education-PjBL pada materi Plantae.

Buku ajar biologi berbasis STEM education-PjBL pada materi Plantae dikembangkan berdasarkan karakteristik dan kebutuhan siswa, dirancang untuk menciptakan pembelajaran bermakna bagi siswa, menstimulasi siswa agar lebih aktif dan bersemangat untuk belajar, dan membantu siswa memahami konsep melalui eksplorasi dengan kegiatan proyek. Pembelajaran biologi dengan menggunakan pendekatan STEM education dan PjBL atau integrasi keduanya dapat meningkatkan penguasaan konsep, aktivitas siswa, motivasi dan minat belajar siswa, kreativitas siswa, hasil belajar siswa, literasi sains, dan keterampilan proses sains (Astuti et al., 2019; Herak & Lamanepa, 2019; Afriana et al., 2016; Lutfi et al., 2018; Maula et al., 2014; Roziqin et al., 2018).

Fokus penelitian ini adalah mengembangkan buku biologi dengan mengintegrasikan pendekatan STEM education dengan model pembelajaran PjBL (STEM education-PjBL), materi biologi yang menjadi fokus penelitian ini adalah materi Plantae, model pengembangan yang digunakan dalam penelitian adalah model Thiagarajan, dan subjek penelitian adalah siswa kelas X Sekolah Menengah Atas. Keunikan dari penelitian ini adalah buku biologi berbasis STEM education-PjBL mampu menampilkan langkah-langkah pembelajaran STEM education-PjBL (reflection, research, discovery, application, dan communication) yang langsung menyatu dengan materi Plantae. Keunikan ini sangat jarang ditemukan pada buku ajar biologi, dan yang sering kita temukan pada buku ajar adalah penggunaan pendekatan, model pembelajaran atau integrasi keduanya tertuang pada lembar kerja siswa (terpisah dengan materi pelajaran). Pasti penelitian ini sangat berbeda dengan penelitian terdahulu dimana penggunaan STEM education-PjBL untuk mengetahui peningkatan penguasaan konsep dan aktivitas belajar melalui metode kuasi eksperimen (Astuti et al., 2019). STEM education-PjBL diterapkan untuk mengetahui peningkatan literasi sains yang ditinjau dari gender melalui metode kuasi eksperimen (Afriana et al., 2016). STEM education-PjBL untuk mengetahui peningkatan literasi sains, kreativitas, dan hasil belajar siswa pada materi pencemaran lingkungan melalui metode kuasi eksperimen (Lutfi et al., 2018). Dengan demikian, tujuan penelitian ini adalah menghasilkan buku ajar biologi berbasis STEM education-PjBL pada materi Plantae yang memenuhi kriteria valid atau layak. Hasil penelitian diharapkan mampu menjadi referensi bagi guru jika ingin mengembangkan buku ajar biologi dengan mengintegrasikan pendekatan dan model pembelajaran dimana pendekatan dan model pembelajaran itu menyatu dengan materi pelajaran dan tidak terpisah pada bagian tertentu.

METODE PENELITIAN

Penelitian ini adalah penelitian pengembangan (research and development) dengan pendekatan kuantitatif non-eksperimental yang bertujuan menghasilkan buku ajar berbasis STEM education-PjBL pada materi Plantae yang memenuhi kriteria valid atau layak. Model pengembangan yang digunakan adalah 4D Thiagarajan yang terdiri define, design, develop, dan disseminate. Namun pada penelitian ini dibatasi sampai tahap develop karena tujuan utamanya adalah menghasilkan buku biologi berbasis STEM education-PjBL yang yang memenuhi kriteria valid dari penilaian ahli materi dan media pembelajaran serta alasan lain adalah keterbatasan waktu penelitian.

Tempat penelitian adalah SMA Negeri 3 Borong Desa Golo Kantar, Kecamatan Borong, Kabupaten Manggarai Timur, Provinsi Nusa Tenggara Timur. Materi pelajaran yang menjadi fokus penelitian adalah

materi Plantae untuk kelas X. Populasi dan sekaligus sampel penelitian yang digunakan adalah 30 siswa kelas X SMA Negeri 3 Borong dan satu guru mata pelajaran biologi. Instrumen penelitian yang digunakan adalah angket analisis kebutuhan, angket validasi ahli materi, dan angket validasi ahli media pembelajaran.

Prosedur penelitian sebagai berikut. (1) define, dilakukan analisis kurikulum SMA Negeri 3 Borong, analisis siswa, analisis konsep, dan analisis tugas. (2) design, dilakukan kegiatan pemilihan media, pemilihan format, dan desain awal media yang telah ditetapkan. (3) develop, dilakukan penilaian buku biologi berbasis STEM education-PjBL kepada ahli materi dan media pembelajaran serta dilakukan kegiatan revisi.

Data penelitian yang diperoleh berupa data kuantitatif dan kualitatif berupa deskripsi saran dan masukan para ahli. Analisis data penelitian dilakukan dengan melakukan perhitungan rata-rata skor data hasil validasi para ahli pada setiap aspek (item) pertanyaan dan melakukan perubahan dalam bentuk persentase menggunakan rumus berikut.

$$P = (\sum X) / (\sum Xi) \times 100\%$$

Keterangan

P = Persentase

$\sum X$ = Jumlah skor ahli

$\sum Xi$ = jumlah skor maksimal

Selanjutnya, Selanjutnya hasil persentase dari perhitungan di atas, akan disesuaikan dengan kriteria kevalidan (Iswadi et al., 2015) yang dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1 Kriteria Kevalidan Hasil Validasi

Skor (%)	Kriteria Kelayakan	Keterangan
81–100	Sangat valid	Layak dan tidak perlu revisi
60–80	Valid	Layak dan perlu revisi
41–60	Cukup valid	Cukup layak dan perlu revisi
21–40	Tidak valid	Kurang layak dan revisi besar
0-20	Sangat tidak valid	Tidak layak

HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

Hasil tahap define menunjukkan bahwa siswa mengalami kejenuhan terhadap bahan ajar cetak yang disediakan oleh sekolah, guru tidak pernah mengembangkan suatu media pembelajaran biologi yang mengintegrasikan pendekatan dan model pembelajaran, pembelajaran dilakukan dengan model diskusi sehingga siswa terlihat malas dalam mengikuti pembelajaran. Oleh karena itu, perlu dikembangkan bahan ajar berupa buku biologi berbasis STEM education-PjBL. Buku biologi ini dikembangkan berdasarkan kompetensi yang akan dicapai. Materi biologi yang akan menjadi fokus dari buku ini adalah Plantae dengan kompetensi yang dicapai yaitu mengelompokkan tumbuhan ke dalam divisio berdasarkan ciri-ciri umum, serta mengaitkan peranannya dalam kehidupan. Sehingga aktivitas siswa, dapat mengidentifikasi ciri-ciri umum Plantae, membedakan tumbuhan lumut, paku, dan biji berdasarkan ciri-cirinya, mengklasifikasi pada tumbuhan lumut, tumbuhan paku, dan tumbuhan biji, menjelaskan cara

perkembangbiakan lumut, paku dan biji, dan menemukan peranan berbagai jenis *Plantae* tertentu yang ada di lingkungannya terhadap ekonomi dan lingkungannya melalui percobaan dan pengamatan. Siswa yang menjadi objek penelitian berusia 15 sampai 19 tahun dimana mereka sudah dapat berpikir abstrak and memecahkan masalah. Minat belajar siswa berkurang karena kurangnya variasi media dan model pembelajaran sehingga tampak siswa kurang aktif di kelas. Siswa lebih senang belajar jika proses pembelajaran dilakukan dengan menggunakan pendekatan dan model yang bervariasi serta materi yang disampaikan ringkas dan mudah dipahami serta tidak menimbulkan rasa bosan.

Hasil di atas sejalan dengan hasil penelitian Kurniawati (2015), bahwa di tahap *define* harus ditemukan kebutuhan-kebutuhan yang diperlukan dalam proses pembelajaran sehingga pembelajaran berjalan lancar dan efektif, salah satunya kebutuhan buku ajar yang dikembangkan oleh guru. Buku ajar yang akan dikembangkan harus sesuai dengan tujuan pembelajaran (Wilujeng & Rohman, 2021). Buku ajar yang dikembangkan harus mengikuti langkah-langkah pengembangan seperti mengidentifikasi perilaku awal dan karakteristik siswa, menganalisis pembelajaran, memilih materi pembelajaran, dan mengidentifikasi tujuan pembelajaran (Sukerni, 2014). Selain itu, jika peneliti ingin mengembangkan buku ajar maka kegiatan awal yang harus dilakukan oleh peneliti adalah harus melakukan analisis kebutuhan, analisis kurikulum, dan analisis sumber belajar siswa dengan tujuan untuk memastikan bahwa buku ajar yang dikembangkan tersebut sesuai dengan urgensi kebutuhan (Fitriani et al., 2018; Prayitno & Hidayati, 2020; Hidayati & Irmawati, 2019; Prayitno & Hidayati, 2021).

Hasil tahap *design* menunjukkan bahwa berdasarkan hasil tahap *define* sebelumnya media yang akan dikembangkan adalah buku biologi berbasis STEM education-PjBL. Penyusunan buku ajar biologi berbasis STEM education-PjBL disesuaikan dengan karakteristik siswa yaitu siswa akan termotivasi untuk belajar jika bahan ajar disajikan secara menarik. Buku ini memiliki keunikan yaitu terdapat langkah-langkah pembelajaran STEM education-PjBL (*reflection, research, discovery, application, dan communication*) yang langsung menyatu dengan materi pelajaran yaitu materi *Plantae* (Gambar 1). Desain buku ajar biologi berbasis STEM education-PjBL dilakukan berdasarkan diskusi bersama ahli, kajian tentang tampilan pada berbagai buku pelajaran, dan pertimbangan efisiensi dan efektivitas penyampaian informasi materi kepada siswa melalui STEM education-PjBL.

Galeri

Kelembihan

Kelembihan adalah suatu sifat yang dimiliki oleh suatu organisme yang berkaitan dengan kemampuan organisme tersebut untuk mempertahankan diri terhadap perubahan lingkungan yang tidak menguntungkan. Kelembihan adalah suatu sifat yang dimiliki oleh suatu organisme yang berkaitan dengan kemampuan organisme tersebut untuk mempertahankan diri terhadap perubahan lingkungan yang tidak menguntungkan.

Hidayat, 2008

hanya, dan dapat. Karena sifat tersebut, maka jika tidak termasuk ke dalam Kingdom Plantae, akan tetapi termasuk Kingdom Protista. Walaupun demikian, jika dari tumbuhan memiliki kekerabatan yang dekat. Tumbuhan dan jika juga memiliki **klonasi** b sebagai suatu pangen akusentris. Diikuti akusentris tumbuhan karena klonasi tersebut tidak diikuti oleh organisme eukariotik lainnya. Secara eskanistik klonasi merupakan **klonasi** a sebagai pangen yang terlibat secara langsung dalam klonasi yang selalu menjadi orang tua.

Mayor semua jenis tumbuhan adalah tumbuhan darat (terrestrial). Namun, ada juga tumbuhan yang hidup di air (akuatik) Gambar 1.3. Beberapa contoh tumbuhan darat adalah memang gondok, lumut, dan kangkung. Perbedaan karakteristik habitat darat dan air akan mendorong timbulnya perbedaan adaptasi struktural, fisiologi, dan reproduksi. Di habitat darat, sumber daya yang diperlukan organisme eukariotik tumbuh di darat seperti yang sangat berbeda. Cahaya dan karbon dioksida sebagai hasil terakumulasi tanah, sementara air dan nutrisi mineral sebagian besar berada di dalam tanah. Dengan demikian, habitat tumbuhan yang kompleks memerlukan tingkat kompleksitas struktural yang berbeda-beda pada organ-organ yang berada di bawah tanah, yaitu akar, dan yang di atas permukaan tanah yaitu batang yang akan menjadi daun. Pada sebagian besar tumbuhan, perkecambahan biji dan organ-organ lainnya akan tumbuh ke atas yang berlawanan dengan arah gravitasi (melihat dalam), yaitu perkecambahan yang melalui perkecambahan.

Reproduksi tumbuhan berkecambah secara **generatif** dan **vegetatif**. Tumbuhan merupakan darat atau udara hidup yang disebut **pergiliran generatif** atau **metagenesis** meliputi gametofit haploid (gametofit) dan generasi diploid (sporofit). Perhatikan Gambar 1.2. Klonasi generatif

Buku Biologi Berbasis STEM education-Project Based Learning Untuk SMA Kelas 8 Semester 2

Gambar 1.2. Pergiliran generasi tumbuhan

tersebut saling bergantian dan masing-masing saling menghasilkan. **Gametofit** merupakan gametofit dengan dua pembelahan mitosis dan **sporofit** merupakan sporofit melalui pembelahan meiosis. **Spora** adalah bentuk sebagai suatu sel reproduktif yang berkembang secara langsung menjadi suatu organisme tanpa harus menyelar dengan sel-sel lainnya. Sedangkan **gamet** adalah sel-selnya tidak dapat berkembang secara langsung menjadi organisme tetapi harus melalui penggabungan terlebih dahulu. Sel sperma (gamet jantan) merupakan sel telur (gamet betina) membentuk zigot dan zigot akan berkembang menjadi organisme, yaitu suatu sporofit baru.

Pada siklus hidup semua tumbuhan sporofit dan gametofit adalah heteroseksual, artinya sporofit dan gametofit berbeda dalam hal morfologi atau bentuknya. Pada lumut dan karah dikebnya, **gametofit** (gametofit haploid) adalah tumbuhan yang lebih besar dan sukar dan merupakan suatu talus yang amersoy dapat kita lihat secara langsung realisasi fase gametofit darat. Akan tetapi, pada kelompok tumbuhan **selain lumut** (paku-pakuan, berbunga seperti Pinus, dan tumbuhan berbunga) **sporofit** (gametofit diploid) adalah talus dominan, yang dapat kita amati sebagai serbuk sari, serbuk sari, maupun pollen.

Buku Biologi Berbasis STEM education-Project Based Learning Untuk SMA Kelas 8 Semester 2

Berdasarkan bentuk sporenya (bila ukurannya kecil), tumbuhan dapat dikelompokkan menjadi kelompok tumbuhan **tidak berbunga** dan kelompok tumbuhan **berbunga**. Tumbuhan tidak berbunga terdiri dari lumut dan paku-pakuan. Seder tumbuhan tersebut berkembang baik secara generatif dengan bentuk yang disebut **spora** sehingga disebut kelompok **tumbuhan tingkat rendah**. Sedangkan tumbuhan yang berkembang baik dengan dengan bentuk yang berupa biji disebut **tumbuhan tingkat tinggi**. Tumbuhan tingkat tinggi terdiri dari tumbuhan berbunga berbiji terbuka dan tumbuhan berbunga tertutup. Tumbuhan berbunga berbiji terbuka memiliki struktur yang disebut **strobilus** dan tumbuhan berbunga tertutup memiliki struktur yang disebut **bunga**. Keduanya berperan dalam pembentakan biji sebagai alat perkembangbiakan.

B. TUMBUHAN LUMUT (BRYOPHYTES)

Tumbuhan lumut adalah tumbuhan perantara yang beradaptasi dengan lingkungan darat, menyesuaikan diri dengan lingkungan darat yang lebih baik. Karena merupakan perantara dari habitat air ke habitat darat, maka tumbuhan lumut disebut pula **tumbuhan perantara** (amphibious plant). Tumbuhan ini tergolong ke kelompok Orytophytes, yaitu kelompok tumbuhan yang alat perkembangbiakannya berair.

Tingkat perkembangbiakan lumut lebih maju dari karah dikebnya, yaitu alga. Hal tersebut disebabkan oleh sifat hidupnya yang sebagian besar sudah berada di **darat**. Selain itu, pada lumut yang berkecambah seperti tumbuhan tingkat tinggi, dalam hidupnya sudah ada sel-sel yang berfungsi sebagai **salah pengangkut**. Lumut juga sudah memiliki **rizoid** (struktur menyerupai akar pada tumbuhan tingkat tinggi) sebagai alat penyangga dan pelekuk.

Persekitaran lumut memerlukan adanya kelembaban atau terdapat air yang terakumulasi di sekitar tempat tinggal karena akan memerlukan lapisan tipis seperti belahan yang merupakan kumpulan lumut.

Gambar 1.3. Tumbuhan lumut hijau pada permukaan air yang lembab

Buku Biologi Berbasis STEM education-Project Based Learning Untuk SMA Kelas 8 Semester 2

(Gambar 1.5) Musang lumut merupakan terapan yang lebih dari karah di kebnya karena sifat berkecambah tumbuhan tersebut menimbulkan air untuk melakukan pembuahan. Tanpa air sel-sel kelamin jantan tidak bisa mencapai sel-sel kelamin betina.

1. Ciri-ciri Lumut

Lumut memiliki ciri-ciri yang membedakannya dengan tumbuhan lain. Lumut merupakan tumbuhan dengan ukuran relatif kecil, tingginya 2 sampai 50 cm. Tumbuhnya tidak memiliki akar batang, dan daun yang sebenarnya, tetapi mempunyai bagian yang menyerupai akar (rizoid), batang, dan daun. Pada beberapa jenis lumut biji atau lumut tidak tumbuhnya sudah berupa biji (berbiji). Perhatikan Gambar 1.4.

Gambar 1.4. Struktur tubuh lumut

Rizoid adalah struktur menyerupai karah atau batang-batang yang berfungsi untuk melekatkan tubuh pada tempat tumbuhnya dan menyerap air serta garam-garam mineral. Rizoid ini terdiri dari satu deret sel yang menyempit, terdistribusi dengan sifat yang tidak sempurna.

Batang dan daun lumut bukan memiliki floem-marginal sylem, sel-sel penyusun tubuhnya memiliki dinding sel yang tebal dan selulosa. Lumut tidak memiliki ukuran perkecambahan yang khusus untuk mengangkut air dan mineral organik, sehingga pertumbuhan perkecambahan ini berjalan lambat yaitu secara difusi. Daun lumut umumnya memiliki lebar sel-sel sel-sel 1-1,5 mm, kecuali itu tidak dapat yang menyempit lebih dari 1 ul. Sel-selnya sangat panjang, kecil, dan menyempit. Morfologi yang bervariasi seperti jila.

Gambar 1.5. Spora tumbuhan lumut

Buku Biologi Berbasis STEM education-Project Based Learning Untuk SMA Kelas 8 Semester 2

Tumbuhan lumut dengan bagian-bagian mereka berbeda-beda sebagai gametofit. Setelah dewasa, lumut akan membentuk sporofit. Sporofit adalah struktur tubuh lumut yang terdiri atas bagian-bagian tertentu yaitu kapsula, kaliptra, dan sokoroni. Perhatikan Gambar 15. Kapsula adalah bagian sporofit yang terdiri dari kaliptra yang melindungi atau melindungi sel-selnya, serta Oospora, dan apofisis yaitu organ atau yang akan menjadi, yang merupakan perantara antara satu dengan ketiak spora (episperma). Kaliptra adalah tudang yang berasal dari dinding anteroposterior setelah atau menjadi tudang ketiak spora. Sedangkan sokoroni adalah jaringan yang tidak ikut mengambil bagian dalam pembentukan spora. Sporofit tumbuhan lumut tumbuh berkembang pada gametofit yang hijau menyempit dan sporofit ini sendiri sendiri, sehingga dapat berfotosintesis. Namun, tumbuhan lumut juga bisa mendapatkan makanan dari gametofit tempatnya melekat.

Struktur lumut adalah tempat-tempat yang memiliki kelentihan yang tinggi. Di lingkungan sekitar, kita bisa melihat berbagai jenis lumut yang menempel pada halaman, tembok, kayu, dan permukaan batu bata. Selain itu, tumbuhan lumut banyak dijumpai di hutan yang lebat, di atas tanah atau di atas batu. Tumbuhan lumut juga hidup

Galeri
Lumut Epit

Lumut epifit adalah sebuah bentuk tumbuhan lumut yang hidup pada permukaan tumbuhan lain tanpa menempel pada kulit pohon yang hidup epifit. Di hutan, terutama hutan lumut, lumut epifit meliputi hampir semua bagian hutan, mulai dari pangkal pohon di dekat permukaan tanah hingga permukaan kanopi hutan. Keanekaragaman lumut epifit sangat tinggi karena mereka mempunyai kemampuan untuk beradaptasi dengan lingkungan yang beragam.

Gambar 14. Hamparan lumut yang menutupi permukaan dari hutan.

pada kayu-kayu yang lapuk atau menempel pada kulit pohon sebagai epifit. Di daerah pegunungan diresmi suatu sebagai yang banyak didominasi oleh lumut sehingga disebut hutan lumut (Gambar 16).

Hutan hujan tropis kita mempunyai salah satu ekosistem yang kaya akan berbagai jenis lumut. Berbagai jenis lumut juga ditemukan di daerah dengan iklim yang ekstrim. Ada lumut yang hidup di daerah kering atau gurun, di dalam kempis, dan dalam esnya. Lumut juga dapat dijumpai di daerah kutub utara (Arktik) dan di daerah kutub selatan (Antarktika).

2. Siklus Hidup Lumut

Bahan hidup lumut berbeda dengan siklus hidup tumbuhan yang lain karena siklus hidup lumut didominasi oleh gametofit. Gametofit menghasilkan organ kelamin jantan dan betina dan organ kelamin betina atau arkegonium. Apabila arkegonium dan arkegonium dibuahi oleh satu gametofit (atau individu lumut) maka jenis tumbuhan disebut lumut berumah satu atau kormotok. Sedangkan apabila kelaminnya dibuahi oleh gametofit yang berbeda maka jenis tumbuhan disebut lumut berumah dua atau heterotok. Perhatikan Gambar 17.

Gambar 17. Lumut berumah satu dan lumut berumah dua. (a) Lumut berumah satu. (b) Lumut berumah dua.

Dalam pembahasan ini kita akan menggunakan istilah siklus hidup pada lumut dan Perhatikan Gambar 18. Sebagian besar spesies lumut dan bentuk kormotok. Gametofit jantan membentuk arkegonium dan gametofit betina membentuk arkegonium. Sporangium arkegonium dengan perantaraan air berenang menuju ke telur di dalam arkegonium kemudian terjadi

peleburan yang menghasilkan zigot. Zigot yang bermetabolisme akan mengalami mitosis dan berkembang menjadi sporofit embriotik di dalam arkegonium. Pada ujung batang sporofit yang menyanggah terdapat sporangium yaitu kapsul tempat spora haploid berkembang. Sporangium juga berfungsi sebagai tempat terjadinya pembelahan mitosis. Setelah masak, kapsul spora pecah dan spora terlepas keluar. Spora-spora tersebut apabila menemukan tempat yang memiliki kelentihan yang sesuai akan berkecambah membentuk protomezema (jantung dan protomezema) kecil yang berwarna hijau. Protomezema bakal tumbuh dan berfotosintesis sehingga membentuk gametofit. Gametofit dewasa akan membentuk gametangium yang akan berkembang dan berbuah menjadi siklus utopia.

Gambar 18. Siklus hidup lumut dan

Perkawinan antara gamet jantan dan betina betina membentuk spora merupakan peleburan seksual (gametif). Selain itu, peleburan seksual gametofit, lumut

juga berkembang baik secara vegetatif. Bagian gametofit lumut yang paku dan terbagi atas organ atau batang yang mencar halan atau bisa tumbuh apabila jatuh di tempat-tempat yang lembab. Berbagai jenis lumut juga sangat mudah berbuah tua-tua atau gemma. Gemma merupakan tubuh kecil atau atau banyak, sanggup mengucup dari jaringan gametofit dimana pada batang, daun, atau protomezema. Gemma dapat secara aktif membentuk perakaran dalam waktu singkat. Contohnya terdapat pada *Calyptopogon immanis* dan *Marchantia polymorpha*. Jenis yang pertama tersebut adalah anggotanya lumut daun yang mempunyai gemmae *leaf* pada bagian ujung daunnya, sedangkan jenis yang lainnya mempunyai lumut hati yang mempunyai gemmae *cup* pada permukaan lobanya. Perhatikan Gambar 19.

3. Klasifikasi Lumut

Di dalam Dunia Tumbuhan, lumut diklasifikasikan ke dalam Divisi Bryophyta. Kata Bryophyta dari bahasa Yunani, yaitu *bryon* (lumut) dan *phyton* (tumbuhan). Divisi tersebut berdasarkan bentuk gametofit dan sporofitnya, dibagi menjadi 3 kelas, yaitu: Kelas Bryophyta atau lumut daun, Kelas Hepaticophyta atau lumut hati, dan Kelas Anthocerotophyta atau lumut tanduk.

a. Lumut Daun (Bryophyta)

Lumut daun merupakan tumbuhan lumut yang paling banyak. Hamparan lumut daun terdiri dari satu tumbuhan lumut daun yang tumbuh dalam kelompok yang padat, sehingga satu

Gambar 19. Gemma pada tumbuhan lumut. (a) *Calyptopogon immanis* (b) *Marchantia polymorpha*

Qina lumut itu saling menyempang dan merupakan Himpitan ke arah satu sisi seperti karet busa yang bisa menyempang dan memulihkan diri. Contoh lumut daun adalah *Jakelovus sp* (lumut gambut), *Asplen sp* (kapuk di tembok atau batuan yang lembab), dan *Anadytes flagellata* (kapuk setinggi 2000 di hutan). Perhatikan Gambar 110.



Gambar 110: *Asplen sp*

Tubuh lumut daun bisa dibedakan menjadi rizoid, batang, dan daun. Rizoid merupakan dumbo sel yang memotong atas filamen suber, menyempang agar pada tumbuhan tingkat tinggi. Mula-mula rizoid ini lumut daun dapat melekat pada benda tempat hidupnya, misalnya apa pohon, batang, atau bebatuan. Sementara, fotosintesis terjadi pada bagian atau rizoid yang menyempang batang atau daun. Nantinya pada tingkat, jika ada rizoid batang, daun, maupun akar (rizoid) lumut daun tidak akan pernah berkembang dengan tumbuhan tingkat lain.

b. Lumut Hati (*Hepatopsida*)

Lumut hati merupakan lumut yang lumut menyempang penyempangannya bisa dibedakan dengan lumut daun. Tubuh strobil terbagi ke dalam (strobil) yang terbagi atau berbentuk lobus. Bentuknya akan menyempang pada lobus hati pada hewan. Karena itu lumut ini dinamakan lumut hati. Contoh lumut hati adalah *Marchantia polymorpha* dan *Porella sp*. (Gambar 111).



Gambar 111: *Marchantia polymorpha* adalah salah satu contoh lumut hati.

Mula-mula lumut hati sangat mirip dengan akar kapuk lumut daun, yaitu pertumbuhan secara aksial dan terminal. Di dalam sporangia, beberapa lumut hati mempunyai sel berbetuk karang, disebut elaters, yang memuai dari kapuk filamen ini akan terbelah ketika kapuk terbuka, sehingga spora akan terpelebar keluar dari kapuk. Selain itu, lumut hati juga dapat...

berbentuknya secara aksial (terminal). Sel yang berpelebar adalah betuk-betuk ini akan yang disebut dengan elaters. Oleh karena itu, lumut ini dapat menyempang keluar dan mengembang (strobil) yang ada pada permukaan gametofit. Akibatnya, jika gamut jatuh di tempat yang basah, gamut tersebut akan membentuk individu baru.

c. Lumut Tanduk (*Anthocerotopsida*)

Lumut tanduk mempunyai kemiripan dengan lumut hati, yakni pada gametofitnya. Bedanya, lumut tanduk memiliki sporofil yang bentuk kapuk yang menyempang dan terbelah seperti tanduk dan mempunyai gametofit. Contoh lumut tanduk adalah *Anthoceros lucas* dan *Antroceros lucas*. Perhatikan Gambar 112.



Gambar 112: *Anthoceros lucas*

Setelah kalian mencari dan mengumpulkan informasi, berdiskusilah dengan teman-teman kelompok kalian untuk memulihkan kegiatan proyek atau memulihkan pengamatan kalian!

Setelah melakukan pengamatan atau tugas proyek kalian yang pertama kali, sudah menyimpulkan apa itu lumut yang akan kalian gunakan atau sudah bisa memulihkan kegiatan ini setelah selesai melakukan kegiatan ini?

Jika kalian memulihkan kembali dalam melakukan penelitian, mulailah kembali atau ulangi dari garis kalian!

Selamat bekerja! 🙌🙌🙌



Buku Biologi Berbasis STEM education - Project Based Learning Untuk SMA Kelas X Semester 2 11

Buku Biologi Berbasis STEM education - Project Based Learning Untuk SMA Kelas X Semester 2 12

Discovery

Ayo bedakan dan berdiskusilah dengan teman-teman kelompok kalian untuk memulihkan tugas proyek yang akan kalian lanjutkan!

D. Hasil pengamatan

1. Tabel pengamatan

No.	Terdapat Lumut	Akar (Rizoid)	Batang	Daun	Sporangium	Antrodium	Antropogonium
1.	Lumut hati						
2.	Lumut tanduk						
3.	Lumut daun						

Tuliskan semua apa saja yang kalian ketahui atau yang kalian temukan selain yang ada pada tabel diatas terkait tumbuhan lumut di lingkungan sekitar kalian di rumah ini?

1. _____
2. _____
3. _____

4. _____

5. _____

6. _____

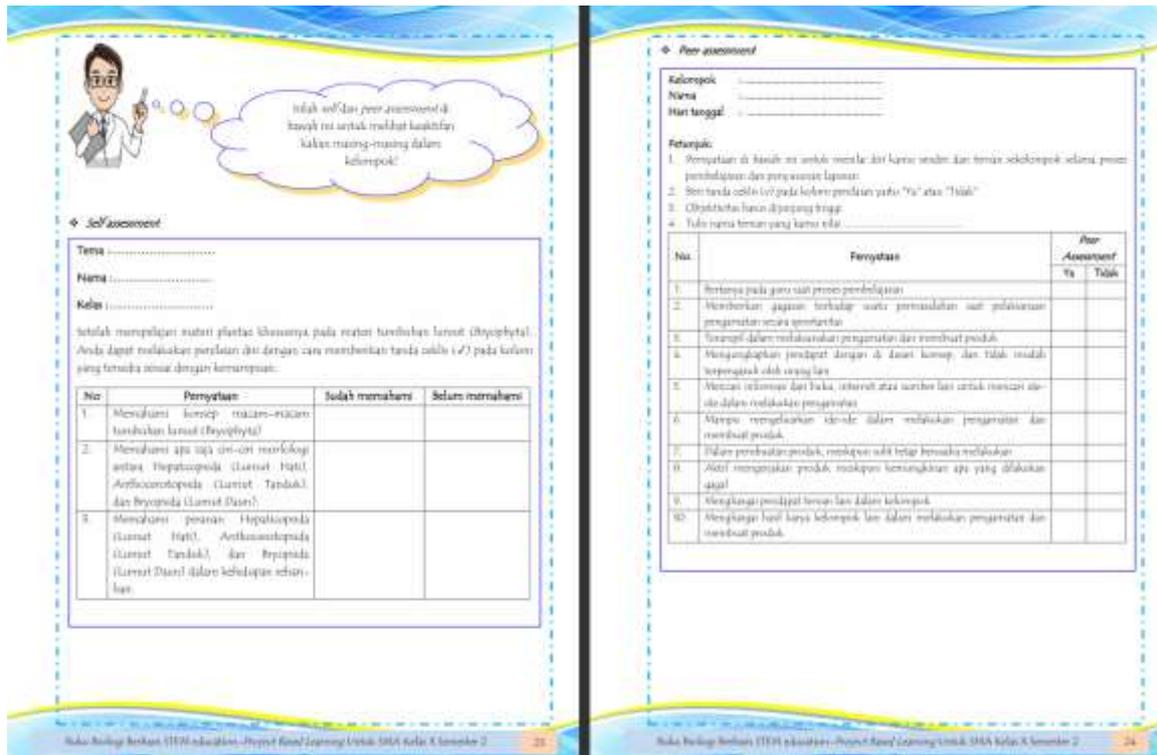
7. **Gambar Pengamatan**

a. *Hepatopsida* (Lumut Hati)

Buku Biologi Berbasis STEM education - Project Based Learning Untuk SMA Kelas X Semester 2 13

Buku Biologi Berbasis STEM education - Project Based Learning Untuk SMA Kelas X Semester 2 14

c. Discovery



Gambar 1. Layout Buku Ajar Biologi berbasis STEM education-PjBL dengan Langkah Pembelajaran (a) Reflection, (b) Research, (c) Discovery, (d) Application, dan (e) Communication

Pada tahap design dilakukan beberapa langkah penting untuk merancang suatu media yang baik, menarik, dan efektif sesuai dengan temuan tahap define sebelumnya. Pernyataan tersebut sejalan dengan hasil penelitian Fajri & Taufiqurrahman (2017), bahwa tahap design harus dilakukan dengan tujuan untuk merancang perangkat pembelajaran salah satunya buku ajar. Pemilihan media harus sesuai dengan karakter materi dan tujuan pembelajaran. Tampilan buku ajar yang dikembangkan harus tersusun sistematis dan menarik sehingga memotivasi siswa untuk semangat belajar. Pentingnya kegiatan design pada buku ajar yang dikembangkan adalah bertujuan untuk menampilkan buku ajar semenarik mungkin dan unik sehingga meningkatkan minat belajar siswa (Prayitno, 2017).

Hasil tahap develop menunjukkan bahwa buku ajar biologi berbasis STEM education-PjBL telah divalidasi oleh ahli materi dan media pembelajaran. Hasil validasi oleh ahli materi dapat dilihat pada Tabel 2, sedangkan hasil validasi oleh ahli media pembelajaran dapat dilihat pada Tabel 3.

Tabel 2. Hasil Validasi oleh Ahli Materi

No	Aspek	Indikator	Skor Maksimal	Skor Validator
1	Kelengkapan materi	2	8	8
2	Kekuatan materi	2	8	6
3	Penyajian materi	3	12	12
4	Kebenaran konsep Plantae	2	8	7
5	Kebenaran konsep tumbuhan lumut	20	80	71
6	Kebenaran konsep tumbuhan paku	12	48	35
7	Kebenaran konsep tumbuhan berbiji	33	132	128
8	Kebenaran konsep peranan tumbuhan	10	40	39
	Jumlah		336	306
	Kelayakan			91%
	Kriteria			Sangat valid

Tabel 3. Hasil Validasi oleh Ahli Media Pembelajaran

No	Aspek	Indikator	Skor Maksimal	Skor Validator
1	Visualisasi buku	2	8	8
2	Desain buku	4	16	16
3	Tipografi buku	2	8	8
4	Ilustrasi buku	1	4	4
5	Desain isi buku	6	24	24
6	Tipografi isi buku	2	8	7
7	Ilustrasi multimedia	3	12	12
8	Kelayakan Bahasa	4	16	16
9	Kelengkapan penyajian	3	12	12
	Jumlah		108	107
	Kelayakan Kriteria			99% Sangat valid

Tabel 2 menunjukkan bahwa persentase kelayakan buku ajar biologi berbasis STEM education-PjBL sebesar 91% (sangat valid) dari aspek kelengkapan materi, kekuatan materi, penyajian materi, kebenaran konsep plantae, kebenaran konsep lumut, kebenaran konsep tumbuhan paku, kebenaran konsep tumbuhan berbiji, dan kebenaran konsep peranan tumbuhan. Saran dan masukan dari ahli materi sebagai berikut. (1) Buku ajar biologi berbasis STEM education-PjBL sudah bagus dan dapat digunakan pada pembelajaran. (2) Masih banyak tulisan yang salah ketik. (3) Semua istilah asing harus dicetak miring dan jangan sampai ada ejakan yang salah. Perhatian lebih perlu ditujukan pada kebenaran konsep materi jika melakukan pengembangan buku ajar, sebab kebenaran konsep materi menjadi penting untuk diberikan kepada siswa agar tidak mengalami miskonsepsi sehingga pembelajaran dapat mencapai kompetensi yang diharapkan (Azizah et al., 2018; Hidayati & Irmawati, 2019). Kesalahan dalam penyampaian konsep materi pada buku ajar dapat menyebabkan pembaca mengalami kegagalan dalam belajar (Prayitno & Hidayati, 2020; Prayitno & Hidayati, 2022).

Tabel 3 menunjukkan bahwa persentase kelayakan buku ajar biologi berbasis STEM education-PjBL sebesar 99% (sangat valid) dari aspek visualisasi buku, desain buku, tipografi buku, ilustrasi buku, desain isi buku, tipografi isi buku, ilustrasi multimedia, kelayakan Bahasa, dan kelengkapan penyajian. Saran dan masukan dari ahli media pembelajaran sebagai berikut. (1) Buku ajar biologi berbasis STEM education-PjBL sudah sangat baik, tersusun sistematis, dan menarik. (2) Penyajian materi jelas dan mudah dipahami sesuai dengan pendekatan dan model pembelajaran. (3) Pemilihan warna dan keterpaduan warna sudah sangat baik dan menarik.

Buku ajar biologi berbasis STEM education-PjBL pada materi Plantae dikembangkan sesuai dengan langkah-langkah STEM education-PjBL dan didesain semenarik mungkin yang didalamnya memuat materi, gambar-gambar penguat materi, lembar pengamatan yang menstimulasi siswa bekerja sama dengan siswa lainnya, uji kempotensi dan terdapat kata motivasi yang menambah semangat belajar serta dapat mendukung pembelajaran bermakna dalam memahami konsep dan bereksplorasi melalui sebuah kegiatan proyek sehingga siswa terlibat aktif dalam proses pembelajaran dan membentuk sikap kreatif siswa. Pernyataan di atas sejalan dengan hasil penelitian Afriana et al. (2016) bahwa proses pembelajaran dengan menggunakan STEM-PjBL dapat meningkatkan motivasi, minat belajar siswa, dan membentuk sikap kreatif siswa. Pembelajaran yang dilakukan sangat bermakna karena STEM-PjBL mengajak siswa untuk memahami konsep melalui eksplorasi dalam kegiatan proyek (Jauhariyyah et al.,

2017). Menurut beberapa peneliti, bahwa pembelajaran menggunakan STEM education dapat melatih siswa untuk memecahkan masalah dalam kehidupan mereka (Torlakson, 2014; Yuliati & Saputra, 2019). Begitu juga pembelajaran PjBL dapat meningkatkan motivasi, kolaborasi, kemampuan pemecahan masalah, keterampilan komunikasi, dan memberikan pembelajaran yang bermakna (Nurfitriyanti, 2016; Hartini (2017).

SIMPULAN

Buku ajar biologi berbasis STEM education-PjBL pada materi Plantae dinyatakan sangat valid dan layak dari aspek materi (91%) dan media pembelajaran (99%) sehingga dapat digunakan dalam pembelajaran biologi. Buku ajar biologi berbasis STEM education-PjBL yang telah dikembangkan mendapatkan komentar positif dari ahli materi dan media pembelajaran seperti buku ini sudah bagus dan layak, tersusun sistematis, serta menarik bagi pengguna. Buku ajar biologi berbasis STEM education-PjBL dapat mengaktifkan siswa secara mandiri dan berkelompok melalui kegiatan reflection, research, discovery, application, and communication. Buku ajar biologi berbasis STEM education-PjBL ini dapat direkomendasikan menjadi referensi kepada guru dan peneliti lainnya jika ingin mengembangkan buku dengan mengintegrasikan pendekatan dan model pembelajaran dimana pendekatan atau model pembelajaran tersebut menyatu dengan materi pelajaran dan tidak terpisah pada bagian tertentu seperti lembar kerja siswa. Selanjutnya, buku ajar biologi berbasis STEM education-PjBL ini masih perlu dilakukan uji efektifitas terhadap keterampilan abad 21 siswa pada penelitian berikutnya.

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terimakasih diberikan kepada pihak SMA Negeri 3 Borong Kabupaten Manggarai Timur, Nusa Tenggara Timur karena telah memberikan izin dan tempat penelitian serta pihak lain yang mendukung dan membantu pelaksanaan penelitian.

RUJUKAN

- Afriana, J., Permanasari, A., & Fitriani, A. (2016). Penerapan project based learning terintegrasi STEM untuk meningkatkan literasi sains siswa ditinjau dari gender. *Jurnal Inovasi Pendidikan IPA*, 2(2), 202–212. <https://doi.org/10.21831/jipi.v2i2.8561>
- Astuti, I. D., Toto, & Yulisma, L. (2019). Model project based learning (pjl) terintegrasi STEM untuk meningkatkan penguasaan konsep dan aktivitas belajar siswa. *Quangga*, 11(2), 93–98. <https://journal.uniku.ac.id/index.php/quagga/article/view/1915>
- Azizah, Z. F., Kusumaningtyas, A. A., & Anugraheni, A. D. (2018). Validasi preliminary product fung-cube pada pembelajaran fungi untuk siswa SMA. *Jurnal BIOEDUKATIKA*, 6(1), 15–21. <https://doi.org/10.26555/bioedukatika.v6i1.7364>
- Cholily, Y. M., Putri, W. T., & Kusgiarohmah, P. A. (2019). Pembelajaran di era revolusi industri 4.0. Seminar Nasional Penelitian Pendidikan Matematika (SNP2M) 2019 UMT, 1–6. <https://jurnal.umt.ac.id/index.php/cpu/article/view/1674>
- Destiana. (2019). Pengaruh teknologi informasi berbasis android (smartphone) dalam pendidikan industry 4.0. *Prosiding Semnas Pendidikan Program Pascasarjana Universitas PGRI Palembang Tahun 2019*, 190–197. <https://jurnal.univpgri-palembang.ac.id/index.php/Prosidingpps/article/view/2528>
- Fajri, K., & Taufiqurrahman. (2017). Pengembangan Buku Ajar Menggunakan Model 4D dalam Peningkatan Keberhasilan Pembelajaran Pendidikan Agama Islam. *Jurnal Pendidikan Islam Indonesia*, 2(1), 1–15. <https://doi.org/10.35316/jpii.v2i1.56>

- Fitriani, U., Adisyahputra, & Komala, R. (2018). Pengembangan eco-friendly website dalam pembelajaran biologi berbasis proyek pada materi pencemaran lingkungan. *BIOSFER: Jurnal Pendidikan Biologi*, 11(1), 32–46. <https://doi.org/10.21009/biosferjpb.11-1.4>
- Hartini, A. (2017). Pengembangan Perangkat Pembelajaran Model Project Based Learning Untuk Meningkatkan Kemampuan Berpikir Kritis Siswa Sekolah Dasar. *Elementary School Education Journal*, 1(2a), 6–16. <https://journal.um-surabaya.ac.id/pgsd/article/view/1038>
- Herak, R., & Lamanepa, G. H. (2019). Meningkatkan kreatifitas siswa melalui STEM dalam pembelajaran IPA. *EduMatSains: Jurnal Pendidikan, Matematika Dan Sains*, 4(1), 89-98. <http://ejournal.uki.ac.id/index.php/edumatsains/article/view/1047>
- Hidayati, N., & Irmawati, F. (2019). Developing digital multimedia of human anatomy and physiology material based on STEM education. *JPBI (Jurnal Pendidikan Biologi Indonesia)*, 5(3), 497–510. <https://doi.org/10.22219/jpbi.v5i3.8584>
- Iswadi, M., Harlin, & Santosa, M. A. (2015). Pengembangan media pembelajaran menggunakan di program studi Pendidikan Teknik Mesin Universitas Sriwijaya. *Jurnal Pendidikan Teknik Mesin*, 2(2), 82–96. <https://ejournal.unsri.ac.id/index.php/ptm/article/view/5337>
- Jauhariyyah, F. R., Suwono, H., & Ibrohim. (2017). Science, technology, engineering and mathematics project based learning (STEM-PjBL) pada pembelajaran sains. *Pros. Seminar Pend. IPA Pascasarjana UM*, 2, 432-436. <https://core.ac.uk/outputs/267023960/>
- Kurniawati, F. E. (2015). Pengembangan bahan ajar aqidah ahklak di Madrasah Ibtidaiyah. *Jurnal Penelitian*, 9(2), 367–388. <https://doi.org/10.21043/jupe.v9i2.1326>
- Lase, D. (2019). Pendidikan di era revolusi industri 4.0. *Jurnal Sundermann*, 1(1), 28–43. <https://doi.org/10.36588/sundermann.v1i1.18>
- Lutfi, Ismail, & Azis, A. A. (2018). Pengaruh project based learning terintegrasi stem terhadap literasi sains, kreativitas dan hasil belajar peserta didik. *Prosiding Seminar Nasional Biologi dan Pembelajarannya*, 189–194. <https://ojs.unm.ac.id/semnasbio/article/view/6984/0>
- Maula, M. M., Prihatin, J., & Fikri, K. (2014). Pengaruh model pjbl (project based learning) terhadap kemampuan berpikir kreatif dan hasil belajar siswa pada materi pengelolaan lingkungan. *Artikel Penelitian Mahasiswa, Universitas Jember*. <https://repository.unej.ac.id/handle/123456789/63447>
- Ningsih, N. M. (2018). Pembelajaran bahasa indonesia dalam kurikulum 2013 berbasis teks yang berorientasi pada pendekatan saintifik. *Edukasi Lingua Sastra*, 15(2), 31–42. <https://doi.org/10.47637/elsa.v15i2.65>
- Nurfitriyanti, M. (2016). Model pembelajaran project based learning terhadap kemampuan pemecahan masalah matematika. *Jurnal Formatif*, 6(2), 149-160. <https://www.neliti.com/publications/234872/>
- Nurhamidah, N., & Nurhafizah, N. (2019). Profesionalisme guru paud di era digital. *Jurnal Pendidikan Tambusai*, 3(1), 666–675. <https://doi.org/10.31004/jptam.v3i2.264>
- Pujaningsih. (2012). Pemenuhan kebutuhan siswa yang beragam melalui jalinan kemitraan sekolah. *Fakultas Ilmu Pendidikan dan Psikologi (FIPP)*. <http://eprints.uny.ac.id/id/eprint/4228>
- Purwandini, D. A., & Irwansyah. (2018). Komunikasi korporasi pada era industri 4.0. *JURNAL ILMU SOSIAL*, 17(1), 53–63. <https://doi.org/10.14710/jis.17.1.2018.53-63>
- Prayitno, T. A. (2017). Pengembangan petunjuk praktikum mikrobiologi program studi Pendidikan Biologi. *Jurnal Biota*, 3(1), 31–37. <http://jurnal.radenfatah.ac.id/index.php/biota/article/view/tap>
- Prayitno, T. A., & Hidayati, N. (2020). Multimedia development based on science technology engineering and mathematics in microbiology learning. *JPBIO (Jurnal Pendidikan Biologi)*, 5(2), 234–247. <https://doi.org/10.31932/jpbio.v5i2.879>
- Prayitno, T. A., & Hidayati, N. (2021). Developing multimedia with stem education in university: Needs analysis in microbiology learning. *Proceeding Biology Education Conference*, 17(1), 13–21. <https://jurnal.uns.ac.id/prosbi/article/view/54037>

- Prayitno, T. A., & Hidayati, N. (2022). Development of web-based general biology content on the GEN-BIO platform. *Edubiotik: Jurnal Pendidikan, Biologi Dan Terapan*, 7(02), 107-121. <https://doi.org/10.33503/ebio.v7i02.2160>
- Risdianto, E. (2019). Analisis pendidikan indonesia di era revolusi industri 4.0. Januari, 1–16. <https://www.researchgate.net/publication/332415017>
- Subekti, H., Taufiq, M., Susilo, H., Ibrohim, & Suwono, H. (2018). Mengembangkan literasi informasi melalui belajar berbasis kehidupan terintegrasi STEM untuk menyiapkan calon guru sains dalam menghadapi era revolusi industri 4.0: Review literatur. *Education and Human Development*, 3(1), 81-90. <https://doi.org/10.33086/ehdj.v3i1.90>
- Susilawati, Anriani, N., & Hendrayana, A. (2018). Pengembangan bahan ajar berbasis kompetensi abad 21 untuk guru matematika (SMP/MTs) pada materi peluang. *Prosiding Seminar dan Diskusi Nasional Pendidikan Dasar*, 529–533. <https://journal.unj.ac.id/unj/index.php/psdspd/article/view/10201>
- Sukerni, P. (2014). Pengembangan buku ajar pendidikan ipa kelas iv semester i sd no. 4 kaliuntu dengan model dick and carey. *JPI (Jurnal Pendidikan Indonesia)*, 3(1), 386–396. <https://doi.org/10.23887/jpi-undiksha.v3i1.2920>
- Syamsuar, & Reflianto. (2019). Pendidikan dan tantangan pembelajaran berbasis teknologi informasi di era revolusi industri 4.0. *E-Tech: Jurnal Ilmiah Teknologi Pendidikan*, 6(2), 1–13. <https://ejournal.unp.ac.id/index.php/e-tech/article/view/101343>
- Torlakson, T. (2014). *Innovate: A blueprint for science, technology, engineering, and mathematics in California Public Education*. Californians Dedicated to Education Foundation. Californians Dedicated to Education Foundation All. <https://www.cde.ca.gov/pd/ca/sc/documents/innovate.pdf>
- Wilujeng, I., & Rohman, A. (2021). Pengembangan buku ajar fisika modern berbasis self-regulated learning untuk pembelajaran dalam jaringan. *Jurnal Ilmiah Pendidikan Fisika*, 5(03), 477-486. <https://ppjp.ulm.ac.id/journals/index.php/jipf/article/view/4122>
- Yuliati, Y., & Saputra, D. S. (2019). Pembelajaran sains di era revolusi industri 4.0. *Jurnal Cakrawala Pendas*, 5(2), 167–171. <http://dx.doi.org/10.31949/jcp.v5i2.1389>