JURNAL RISET DAN INOVASI PENDIDIKAN SAINS (JRIPS)
Vol. 5 No. 2 (2026) pp. 167-175
http://jurnal.umb.ac.id/index.php/JRIPS/
p-ISSN: 2809-5200 e-ISSN: 2809-5219

Analisis Kemampuan TPACK Mahasiswa dalam Visualisasi Biodiversitas Lokal melalui Media Poster Infografis

Silvia Syeptiani[1]*, Annisa Puji Astuti[2]
[1,2] Pendidikan IPA, Universitas Bengkulu

Coresponden Author : ssyeptiani@unib.ac.id

ABSTRAK

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis profil kemampuan *Technological, Pedagogical and Content Knowledge* (TPACK) mahasiswa dalam memvisualisasikan biodiversitas lokal melalui media poster infografis pada mata kuliah Budidaya tanaman lokal. Penelitian deskriptif kuantitatif ini melibatkan 28 mahasiswa. Data dikumpulkan melalui asesmen autentik terhadap produk poster infografis menggunakan rubrik penilaian berbasis kerangka kerja TPACK yang mencakup enam aspek utama. Hasil penelitian menunjukkan bahwa rata-rata kemampuan TPACK mahasiswa berada pada kategori Sangat Tinggi dengan skor 84,01. Capaian tertinggi ditemukan pada aspek gambar dan struktur visual, sementara skor terendah terdapat pada aspek informasi teknologi dengan skor 75,7. Tingginya capaian ini dipengaruhi oleh pengalaman awal (*prior experience*) mahasiswa dalam penggunaan platform desain digital serta pendekatan etnosains yang memberikan pengalaman terhadap objek penelitian. Penugasan proyek berbasis kearifan lokal efektif dalam meningkatkan literasi digital dan kesadaran konservasi mahasiswa, sekaligus menjadi instrumen dokumentasi biodiversitas daerah yang inovatif.

Kata Kunci: Biodiversitas lokal, Infografis, TPACK

PENDAHULUAN

Pelestarian lingkungan hidup tidak hanya bertumpu pada data modern, tetapi juga pada penggalian kembali kearifan lokal (*local wisdom*) terkait kekayaan flora di suatu daerah. Dalam mata kuliah Budidaya tanaman lokal, mahasiswa memiliki peran strategis untuk mendokumentasikan pengetahuan tradisional mengenai tanaman lokal yang didapat dari daerah asalnya masing-masing. Informasi yang bersifat lisan dan turun temurun ini merupakan data etnosains yang berharga, namun seringkali belum didokumentasikan dengan baik dalam format yang sistematis dan menarik visual.

Biodiversitas merupakan konsep yang merujuk pada keseluruhan variasi makhluk hidup di bumi, yang mencakup keragaman pada tingkat gen , spesies dan ekosistem. Konsep ini tidak hanya mencakup keberagaman organisme, tetapi juga hubungan ekologis yang terjadi di antar organisme tersebut dalam suatu lingkungan

(Convention on Biological Diversity, 1992). Biodiversitas memiliki peran penting dalam menjaga keseimbangan ekosistem serta mendukung keberlangsungan kehidupan manusia. Keanekaragaman hayati berkontribusi terhadap penyediaan sumber daya alam, seperti pangan, obat-obatan serta jasa lingkungan lainnya, termasuk pengaturan iklim dan siklus (Primack, 2014).

Dalam konteks pendidikan, pemahaman tentang biodiversitas sangat penting untuk menumbuhkan kesadaran ekologis dan sikap konservasi. Pendidikan lingkungan yang berbasis biodiversitas dapat membantu peserta didik memahami keterkaitan antara manusia dan lingkungan serta mendorong partisipasi aktif dalam upaya pelestarian lingkungan (Tilbury,1995). Pemahaman mahasiswa mengenai biodiversitas lokal merupakan salah satu capaian esensial dalam mata kuliah budidaya tanaman lokal. Mahasiswa diharapkan tidak hanya memiliki kemampuan untuk mengidentifikasi jenis-jenis flora di lingkungannya, tetapi juga mampu mengkomunikasikan informasi tersebut sebagai upaya edukasi dan pelestarian lingkungan.

Tantangan bagi mahasiswa dalam tugas ini adalah melakukan transformasi dari pengetahuan lisan yang diperolehnya berdasarkan hasil wawancara dan observasi menjadi informasi saintifik yang akurat, seperti penyertaan nama ilmiah dan klasifikasi botaninya. Proses ini menuntut mahasiswa untuk menerapkan kemampuannya dalam mengintegrasikan teknologi, pedagogi dan konten pengetahuan atau TPACK (*Technological, Pedagogical Content Knowledge*). Studi terbaru menunjukkan bahwa kemampuan TPACK sangat berkaitan dengan kemampuan memilih dan menggunakan sumber belajar digital dengan tepat, yang secara langsung mempengaruhi capaian pembelajaran mahasiswa (Gonscherowski & Rott, 2025).

Integrasi TPACK juga mendukung pengembangan pembelajaran berbasis keberlanjutan (*Education for Sustainable Development*) yang menekankan pentingnya keterkaitan antara pengetahuan ilmiah dan praktik nyata dalam kehidupan sehari-hari (Purwaningsih et al, 2022). Dalam konteks ini, TPACK tidak hanya berfungsi sebagai panduan pengembangan, tetapi juga digunakan sebagai kerangka evaluasi kualitas pembelajaran berbasis teknologi, termasuk dalam analisis produk pembelajaran seperti media digital dan desain pembelajaran (Gonscherowski & Rott, 2025). Oleh karena itu, poster infografis dipilih sebagai media inovasi karena mampu menyatukan elemen visual dengan teks informasi yang lugas, sekaligus menjadi instrumen untuk mengukur sejauh mana mahasiswa mampu mentransformasikan kearifan lokal menjadi media edukasi yang ilmiah dan inovatif.

Mahasiswa diharapkan mampu memastikan materi informasi (CK) yang disajikan memiliki kebenaran ilmiah dan faktualitas, meskipun sumber awal pengetahuan berasal dari pengetahuan lokal. Konsep *Technological Pedagogical Content Knowledge* dikembangkan oleh Mishra dan Matthew sebagai bentuk integrasi antara pengetahuan teknologi, pedagogi dan konten dalam proses pembelajaran. TPACK tidak hanya sekedar menggabungkan ketiga jenis pengetahuan tersebut, tetapi menekankan pada integrasi antara ketiganya dalam menciptakan pembelajaran yang efektif. Oleh karena itu, kemampuan mengajar

dengan teknologi menuntut pemahaman yang mendalam mengenai hubungan kompleks antara materi, strategi pembelajaran dan teknologi yang digunakan (Mishra & Koehler, 2006)

Poster infografis dipilih sebagai media inovasi karena mampu menyatukan elemen visual dengan teks informasi yang lugas. Penggunaan aplikasi digital memungkinkan mahasiswa untuk mengilustrasikan data tanaman lokal dengan struktur visual yang menarik. Semua integrasi tersebut diakhiri pada aspek kreativitas dan orisinalitas, dimana mahasiswa menciptakan media literasi yang unik dan belum pernah ditampilkan sebelumnya untuk mengedukasi masyarakat mengenai potensi tanaman daerah asal mereka.

Adapun rumusan masalah yang diangkat dalam penelitian ini antara lain (1) Bagaimana profil kemampuan TPACK mahasiswa dalam memvisualisasikan kearifan lokal tanaman daerah melalui poster infografis?; (2) Bagaimana kemampuan mahasiswa dalam mengintegrasikan pengetahuan tradisional dari tokoh masyarakat dengan validitas data ilmiah (nama latin dan klasifikasi) dalam produk?; (3) Komponen manakah dalam rubrik penilaian yang memiliki rata-rata skor terendah dan tertinggi pada hasil karya mahasiswa.

Urgensi penelitian ini didasarkan pada fenomena mulai pudarnya pengetahuan lokal di kalangan generasi muda, dimana banyak jenis tanaman di sekitar mereka yang memiliki manfaat ekonomi serta obat yang hanya diketahui oleh orang tua atau tetua secara lisan. Tanpa adanya dokumentasi yang sistematis dan menarik secara visual, pengetahuan tentang tanaman tersebut tidak diturunkan dan hilang ditelan zaman.

Kerangka kerja TPACK telah banyak dibahas dalam berbagai literatur pendidikan, namun sebagian besar dari penelitian-penelitian terdahulu lebih berfokus pada evaluasi kemampuan pedagogis guru di dalam kelas secara umum, sehingga masih sangat terbatas penelitian yang secara khusus membedah kemampuan TPACK melalui analisis kualitas produk media digital yang dihasilkan langsung oleh mahasiswa dalam topik spesifik seperti biodiversitas lokal. Penelitian ini mengisi kekosongan tersebut dengan menitikberatkan pada aspek visualisasi kearifan lokal, dimana setiap mahasiswa membawa karakteristik flora yang unik dari latar belakang geografis berbeda. Transformasi data etnosains ke dalam bentuk poster infografis digital bukan sekadar pemenuhan tugas akademik untuk mata kuliah budidaya tanaman lokal saja, melainkan upaya strategis untuk mengumpulkan data terkait tanaman lokal dan digitalisasi kearifan lokal agar tetap relevan. Dengan penerapan pendekatan ini diharapkan dapat terungkap bagaimana integrasi teknologi dapat memperkuat pemahaman konten sekaligus literasi visual mahasiswa dalam upaya pelestarian biodiversitas lokal secara inovatif.

METODE PENELITIAN

Penelitian ini merupakan penelitian deskriptif kuantitatif yang bertujuan untuk menganalisis dan mendeskripsikan profil kemampuan TPACK mahasiswa dalam memvisualisasikan data biodiversitas lokal. Fokus utama penelitian ini adalah mengevaluasi kualitas produk berupa poster infografis yang dihasilkan oleh mahasiswa melalui pendekatan asesmen autentik yang dikonversi menjadi data

numerik. Subjek penelitian ini adalah 28 orang mahasiswa yang menempuh mata kuliah budidaya tanaman lokal. Data dikumpulkan melalui penugasan proyek yang terdiri dari beberapa tahapan, yaitu :

1. Tahapan observasi, pada tahapan ini mahasiswa melakukan identifikasi tanaman lokal dengan melakukan penelusuran, observasi dan wawancara untuk mengetahui tanaman lokal di daerah asal;
2. Tahapan transformasi data, pada tahapan ini mahasiswa melakukan verifikasi ilmiah terhadap data lapangan (menentukan nama latin dan klasifikasi botani) dan merancang narasi edukasi;
3. Tahapan pengembangan produk, pada tahapan ini mahasiswa menyusun poster infografis menggunakan berbagai perangkat lunak desain digital (seperti canva, atau sejenisnya);
4. Tahap evaluasi, pada tahapan ini peneliti melakukan penilaian produk akhir menggunakan instrumen rubrik penilaian poster infografis.

Adapun instrumen dalam penelitian ini adalah rubrik penilaian poster infografis yang dirancang berdasarkan kerangka kerja TPACK. Sebelum digunakan, instrumen ini telah melalui tahap validasi isi (*Content validity*) melalui penilaian ahli, yang dalam hal ini divalidasi oleh dua orang dosen ahli di bidang pendidikan sains dan media pembelajaran. Hasil penilaian dari kedua validator tersebut menunjukkan nilai rata-rata persentase kelayakan sebesar 91,5%, sehingga instrumen dinyatakan sangat valid dan layak digunakan sebagai alat pengumpul data utama dalam penelitian.

Instrumen ini terdiri dari 6 aspek penilaian, yaitu (1) Teks informasi dengan bobot 10%, (2) Materi informasi dengan bobot 25%, (3) Gambar atau Grafik dengan bobot 15%, (4) Struktur visual dengan bobot 10%, (5) Kreativitas/orisinalitas dengan bobot 25% dan (6) Informasi teknologi dengan bobot 15%. Masing-masing aspek memiliki beberapa indikator. Penilaian untuk tiap indikator menggunakan skala likert dengan rentang skor dari 0 sampai 5 berdasarkan kriteria yang terpenuhi.

Poster infografis digunakan sebagai objek analisis karena produk ini mencerminkan proses integrasi antara pengetahuan konten, pedagogi, dan teknologi yang menjadi landasan dalam kerangka TPACK. Menurut Mishra dan Koehler (2006), TPACK tidak sekadar menunjukkan penguasaan terhadap masing-masing komponen pengetahuan secara terpisah, tetapi juga kemampuan untuk memadukan ketiganya dalam merancang pembelajaran yang bermakna dan efektif. Dalam pengembangan poster infografis, mahasiswa dituntut memahami dan menyeleksi informasi biodiversitas lokal yang relevan serta akurat, mengemas informasi tersebut dalam bentuk yang komunikatif dan mudah dipahami oleh audiens, serta memanfaatkan berbagai perangkat dan aplikasi digital untuk menghasilkan visualisasi yang menarik dan informatif. Oleh karena itu, kualitas poster yang dihasilkan dapat digunakan untuk menggambarkan bagaimana mahasiswa mengintegrasikan aspek konten, pedagogi dan teknologi dalam konteks visualisasi biodiversitas lokal.

Analisis data dilakukan sepenuhnya secara statistik deskriptif, yaitu dengan:

(1) skoring, menghitung nilai akhir setiap mahasiswa berdasarkan akumulasi skor mentah yang telah dikalikan dengan bobot aspek; (2) mean dan standar deviasi, menghitung rata-rata capaian untuk setiap komponen TPACK untuk melihat tren kemampuan; (3) distribusi frekuensi, mengkategorikan kemampuan mahasiswa ke dalam empat tingkatan yaitu sangat tinggi, tinggi, sedang dan rendah berdasarkan persentase skor akhir; (4) mengurutkan skor rata-rata dari keenam aspek diatas untuk menentukan aspek mana yang paling dikuasai mahasiswa secara kuantitatif.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Berdasarkan analisis terhadap produk poster infografis biodiversitas lokal, diperoleh gambaran kemampuan TPACK mahasiswa sebagaimana tersaji pada tabel berikut :

Tabel 1. Rekapitulasi skor rata-rata dan standar deviasi per aspek TPACK

No	Aspek Penilaian	Komponen TPACK	Skor rata-rata	Standar Deviasi	Kategori
1	Teks Informasi	PK	87,8	9,9	Sangat Tinggi
2	Materi Informasi	CK	82,8	7,1	Sangat Tinggi
3	Gambar/Grafik	TPK	90,7	10,1	Sangat Tinggi
4	Struktur Visual	TPK	90	10,1	Sangat Tinggi
5	Kreativitas & Originalitas	TPCK	77,1	7,1	Tinggi
6	Informasi Teknologi	TK	75,7	8,3	Tinggi

Berdasarkan tabel 1, dapat dilihat bahwa profil kemampuan TPACK mahasiswa dalam memvisualisasikan biodiversitas lokal didominasi oleh kategori Sangat tinggi. Capaian tertinggi ditemukan pada aspek Gambar/Grafik (TPK) dengan skor 90,7 dan aspek struktur visual (TPK) dengan skor 90. Hal ini menunjukkan bahwa mahasiswa memiliki kemampuan yang sangat baik dalam mengintegrasikan teknologi desain dengan pemilihan media visual yang relevan. Mahasiswa juga telah mampu menyelaraskan estetika struktur poster infografis dengan konten biodiversitas sehingga informasi yang disampaikan menjadi lebih menarik dan mudah dipahami secara visual. Contoh hasil poster infografis dapat dilihat pada gambar dibawah ini :

Gambar 1. Contoh hasil project

Berdasarkan hasil analisis, mahasiswa menunjukkan kemampuan yang baik dalam menghubungkan pengetahuan yang berasal dari masyarakat dengan informasi ilmiah yang dapat dipertanggungjawabkan. Hal ini terlihat pada infografis yang disusun, dimana mahasiswa tidak hanya menampilkan nama lokal tanaman yang diperoleh dari hasil wawancara seperti daun salam rimba, tetapi juga melakukan penelusuran lebih lanjut untuk menentukan identitas ilmiahnya sebagai *Syzygium polyanthum*. Selain itu, mahasiswa melengkapi informasi tersebut dengan karakteristik morfologi dan berbagai data pendukung yang bersumber dari literatur ilmiah.

Kemampuan serupa juga tampak pada proses verifikasi informasi mengenai pemanfaatan tanaman sebagai obat tradisional. Informasi yang diperoleh dari masyarakat terkait manfaat tanaman untuk membantu mengatasi diabetes dan hipertensi tidak langsung diterima sebagai fakta, melainkan dikaji kembali melalui sumber-sumber ilmiah yang relevan. Langkah ini menunjukkan bahwa mahasiswa mampu melakukan proses konfirmasi antara pengetahuan lokal dengan hasil-hasil penelitian yang telah dipublikasikan.

Temuan tersebut mengindikasikan bahwa mahasiswa telah memiliki kemampuan untuk mengintegrasikan pengalaman empiris masyarakat dengan perspektif ilmiah secara seimbang. Penguasaan *Content Knowledge* (CK) yang ditunjukkan tidak hanya tercermin dari pemahaman konsep-konsep sains tetapi juga dari kemampuan mengevaluasi dan menginterpretasikan informasi berdasarkan bukti yang tersedia. Oleh karena itu, infografis yang dihasilkan tidak hanya berfungsi sebagai media penyajian informasi, tetapi juga sebagai bentuk komunikasi ilmiah yang menggabungkan kearifan lokal dengan pengetahuan sains modern.

Tingginya capaian skor TPACK mahasiswa ini dipengaruhi oleh pengalaman awal (*Prior experience*) mahasiswa yang sudah terbiasa membuat media publikasi digital berupa poster infografis pada aktivitas akademik sebelumnya. Hal ini menyebabkan aspek *Technological Knowledge* (TK) bukan lagi menjadi kendala teknis yang menghambat, melainkan telah menjadi alat pendukung utama. Pengalaman menggunakan platform desain digital memungkinkan mahasiswa untuk lebih fokus pada penguatan aspek isi (*Content Knowledge*) dan cara penyajiannya secara edukatif (PK). Hal ini membuktikan bahwa literasi digital yang telah terbentuk sebelumnya mempermudah integrasi komponen TPACK secara konsisten.

Selaras dengan tingginya capaian pada tiap aspek tersebut, hasil akumulasi nilai akhir mahasiswa secara keseluruhan juga menunjukkan hasil yang sangat positif. Secara statistik, capaian rata-rata nilai kelas adalah 84,01 yang secara kualitatif diklasifikasikan dalam kategori sangat tinggi. Kualitas hasil belajar ini tergolong sangat baik dengan capaian nilai tertinggi atau nilai maksimum sebesar 90 dan nilai terendah atau nilai minimum sebesar 72.

Selain itu, kemampuan mahasiswa pada kelas ini juga tergolong merata, hal ini dibuktikan dengan kecilnya nilai standar deviasi yaitu 4,90. Hal ini menunjukkan bahwa penugasan proyek pembuatan poster infografis tentang

biodiversitas lokal dalam mata kuliah ini mampu meminimalkan kesenjangan kemampuan mahasiswa. Meskipun setiap mahasiswa mengangkat jenis tanaman yang berbeda dari daerah asalnya masing-masing, mereka terbukti mampu mengkomunikasikan data ilmiah lingkungan tersebut ke dalam bentuk media digital dengan kualitas yang baik. Penggunaan ICT dalam tugas ini menjadi sarana yang efektif bagi mahasiswa untuk menunjukkan penguasaan TPACK mereka secara merata. Gambaran sebaran kategori kemampuan mahasiswa tersebut dalam dilihat pada tabel 2 berikut :

Tabel 2. Distribusi Frekuensi Kategori Nilai Akhir TPACK Mahasiswa

No	Kategori	Rentang Skor	Frekuensi	Persentase
1	Sangat Tinggi	81-100	22	78,57%
2	Tinggi	61-80	6	21,43%
3	Sedang	41-60	0	0%
4	Rendah	<40	0	0%
Total			28	100%

Keberhasilan mahasiswa dalam mencapai kategori sangat tinggi pada sebagian besar aspek penilaian menunjukkan bahwa penggunaan infografis merupakan strategi yang efektif dalam mengkonumikasikan konsep-konsep dalam mata kuliah budidaya tanaman lokal. Literasi visual dan penguasaan ICT yang baik membantu mahasiswa dalam mengorganisasi ide-ide kompleks tentang ekosistem menjadi lebih konkret. Sejalan dengan hal tersebut, perkembangan teknologi yang pesat saat ini memang menuntut pendidik untuk memiliki literasi digital yang kuat sebagai dasar dalam mengembangkan TPACK, mengingat tantangan integrasi teknologi dalam praktik pembelajaran yang masih sering dialami oleh banyak guru (Siregar,et al.2024)

Keberhasilan ini juga tidak lepas dari pendekatan kontekstual yang diterapkan,dimana mahasiswa mengeksplorasi tanaman dari daerah asal masing-masing. Pengangkatan tema biodiversitas lokal ini menciptakan pembelajaran yang bermakna, karena mahasiswa memiliki kedekatan emosional dan pengetahuan awal terhadap objek yang mereka tampilkan. Kondisi ini secara langsung memperkuat aspek *Content Knowledge* (CK) mahasiswa, selain itu dengan kegiatan ini diharapkan mahasiswa mengenal lebih jauh tentang tanaman lokal daerahnya masing-masing sehingga menanamkan rasa ketertarikan dan rasa mencintai serta keinginan untuk menjaga serta melestarikan tanaman lokal di daerahnya.

Perkembangan teknologi digital telah memberikan kontribusi yang signifikan dalam berbagai bidang ilmu, termasuk dalam kegiatan perkuliahan. Dalam kajian biodiversitas terutama dalam mendukung proses pemantauan, pengumpulan dan analisis data spesies secara lebih akurat dan efisien. Selain itu, integrasi teknologi dalam kegiatan ini juga berperan penting dalam mendukung upaya konservasi yang lebih efektif dan berkelanjutan (Jetz et al, 2019)

Secara keseluruhan, penggabungan antara penguasaan materi lingkungan dan keterampilan teknologi ini menunjukkan sebaran kemampuan yang merata di dalam kelas. Penggunaan rubrik TPACK yang jelas sebagai panduan tugas memastikan bahwa mahasiswa tetap mampu menghasilkan karya dengan standar

kualitas yang setara, terlepas dari perbedaan jenis tanaman yang mereka kaji. Hal ini menegaskan bahwa penugasan berbasis proyek dalam memanfaatkan ICT tidak hanya meningkatkan keterampilan teknis mahasiswa saja, tetapi juga mampu menumbuhkan kesadaran serta kepedulian terhadap potensi biodiversitas daerahnya melalui penyajian informasi yang edukatif dan inovatif.

Hasil penelitian ini memberikan implikasi yang luas, baik secara teoritis, praktis maupun sosial dalam konteks pendidikan tinggi. Secara teoritis, temuan ini memperkuat posisi kerangka kerja TPACK sebagai alat penilaian yang menyeluruh, serta membuktikan bahwa integrasi antara kearifan lokal dengan teknologi digital dapat menjadi strategi efektif dalam menjaga kelestarian pengetahuan tradisional. Kegiatan pembelajaran ini menawarkan solusi pembelajaran mandiri dimana eksplorasi biodiversitas di lingkungan asal mahasiswa dapat menjadi alternatif yang efektif untuk mengatasi keterbatasan akses laboratorium atau kunjungan lapangan.

KESIMPULAN

Kemampuan TPACK mahasiswa pada mata kuliah Budidaya Tanaman Lokal dalam memvisualisasikan biodiversitas daerah berada pada kategori sangat tinggi. Integrasi kearifan lokal dengan teknologi digital tidak hanya meningkatkan keterampilan teknis, tetapi juga memperkuat pemahaman mahasiswa terhadap potensi flora di daerah asalnya.

DAFTAR PUSTAKA

Convention on Biological Diversity. (1992). *Text of the convention on biological diversity*. United Nations.

Gonscherowski, P., & Rott, B. (2025). A systematic review of the literature on TPACK instruments used with pre-service teachers from 2017 to 2023 focused on selecting digital resources. *Journal of Computers in Education,1-38*. Advance online publication,. https://doi.org/10.1007/s40692-025-00379-6

Jetz, W., McGeoch, M. A., Guralnick, R., Ferrier, S., Beck, J., Costello, M. J., Fernandez, M., Geller, G. N., Keil, P., Merow, C., Meyer, C., Muller-Karger, F. E., Pereira, H. M., Regan, E. C., Schmeller, D. S., & Turak, E. (2019). Essential biodiversity variables for mapping and monitoring species populations. *Nature Ecology & Evolution, 3*, 539–551. https://doi.org/10.1038/s41559-019-0826-1

Mishra, P., & Koehler, M. J. (2006). Technological pedagogical content knowledge: A framework for teacher knowledge. *Teachers College Record, 108*(6), 1017–1054.

Primack, R. B. (2014). *Essentials of conservation biology* (6th ed.). Sinauer Associates.

Purwianingsih, W., Novidsa, I., & Riandi, R. (2022). Program for integrating education for sustainable development (ESD) into prospective biology teachers' technological pedagogical content knowledge (TPACK). *Jurnal*

Pendidikan IPA Indonesia, 11(2), 219–228. https://doi.org/10.15294/jpii.v11i2.34772

Siregar, V. V., Rajab, R., Hermansyah, H., Ardinal, E., Hidayatullah, R., & Alimudin, N. (2024). Analyzing the influence of digital literacy and pedagogical knowledge on TPACK in elementary school teachers. *Jurnal Ilmiah Sekolah Dasar, 8*(3), 476–486. https://doi.org/10.23887/jisd.v8i3.53414

Tilbury, D. (1995). Environmental education for sustainability: Defining the new focus of environmental education. *Environmental Education Research, 1*(2), 195–212.