

**PEMETAAN TIPOLOGI PEMAHAMAN KONSEPTUAL MAHASISWA
DALAM PENENTUAN BASIS LOGARITMA
PADA INDEKS SHANNON-WIENER**

***MAPPING TYPOLOGIES OF STUDENTS' CONCEPTUAL UNDERSTANDING
IN DETERMINING THE LOGARITHM BASE
OF THE SHANNON-WIENER INDEX***

Lia Auliandari^{1*)}, Marlina Ummas Genisa²⁾

^{1*)}Program Studi Pendidikan Biologi, Fakultas Keguruan dan Ilmu Pendidikan,
Universitas Muhammadiyah Palembang, Sumatera Selatan, Indonesia,
email: lia_auliandari@um-palembang.ac.id (email korespondensi)

²⁾Magister Pendidikan Biologi, Program Pascasarjana, Universitas Muhammadiyah Palembang,
Sumatera Selatan, Indonesia, email: linagenisa@yahoo.com

Diterima: April 2026; Disetujui: Agustus 2026; Diterbitkan: September 2026

Abstrak

Pemahaman terhadap basis logaritma pada Indeks Shannon-Wiener merupakan prasyarat penting bagi interpretasi kuantitatif keanekaragaman hayati, namun aspek ini masih jarang dikaji dari perspektif literasi matematis-biologis mahasiswa. Penelitian ini bertujuan menganalisis pemahaman konseptual mahasiswa dalam menentukan dan memaknai basis logaritma pada Indeks Shannon-Wiener sebagai representasi literasi matematis-biologis. Penelitian menggunakan pendekatan kualitatif eksploratif terhadap mahasiswa yang telah menempuh mata kuliah Ekologi atau materi terkait keanekaragaman hayati. Data dikumpulkan melalui kuesioner terbuka-terarah dan dianalisis menggunakan analisis tematik, kemudian diverifikasi melalui *focus group discussion* bersama ekolog dan matematikawan serta analisis dokumen. Hasil penelitian menunjukkan bahwa disparitas literasi tidak hanya berupa kesenjangan antara kemampuan prosedural dan pemahaman konseptual, tetapi membentuk tiga tipologi profil mahasiswa, yaitu Praktisi Prosedural (68,29%), Pembelajar dengan Literasi Terbatas (19,51%), dan Konseptualis Terputus (12,20%). Mayoritas mahasiswa mampu menggunakan rumus Indeks Shannon-Wiener secara prosedural, tetapi belum memahami dasar matematis pemilihan basis logaritma, makna satuan entropi, maupun keterkaitannya dengan *Effective Species Numbers* (ESN). Temuan ini memberikan kontribusi berupa pemetaan profil pemahaman konseptual mahasiswa sebagai dasar pengembangan pembelajaran ekologi kuantitatif yang lebih adaptif. Secara pedagogis, penelitian ini merekomendasikan rekonstruksi silabus melalui integrasi eksplisit konsep logaritma, entropi, dan ESN, disertai aktivitas berbasis interpretasi data dan pemecahan masalah biodiversitas agar pembelajaran bergeser dari orientasi prosedural menuju literasi kuantitatif yang konseptual dan aplikatif.

Kata kunci: pemahaman konseptual, Indeks Shannon-Wiener, *effective species numbers*, tipologi profil mahasiswa

Abstract

Understanding the logarithmic base of the Shannon-Wiener Index is a fundamental prerequisite for the quantitative interpretation of biodiversity, yet this aspect has received limited attention from the perspective of students' mathematical-biological literacy. This study aimed to analyze students' conceptual understanding of selecting and interpreting the logarithmic base in the Shannon-Wiener Index as a representation of mathematical-biological literacy. An exploratory qualitative approach was employed involving undergraduate students who had completed Ecology or biodiversity-related courses. Data were collected through an open-ended questionnaire and analyzed using thematic analysis, followed by verification through focus group discussions with ecologists and mathematicians as well as document analysis. The findings reveal that the observed literacy disparity extends beyond a gap between procedural ability and conceptual understanding, forming three distinct typologies of student profiles: The Blind Proceduralist (68.29%), The Limited-Literacy Learner (19.51%), and The Disconnected Conceptualist (12.20%). The majority of students were able to apply the Shannon-Wiener Index formula procedurally but had not yet developed an understanding of the mathematical basis for selecting the logarithm base, the meaning of entropy units, or their relationship to Effective Species Numbers (ESN). These findings contribute to the mapping of students' conceptual understanding profiles as a basis for

developing more adaptive quantitative ecology instruction. Pedagogically, the study recommends reconstructing the syllabus through the explicit integration of logarithms, entropy, and ESN, accompanied by data-interpretation and biodiversity problem-solving activities, to shift learning from a procedural computation toward conceptual and applicable quantitative literacy.

Keywords: *conceptual understanding, Shannon-Wiener index, effective species numbers, typology of students' profile*

Didaktika Biologi: Jurnal Penelitian Pendidikan Biologi

p-ISSN 2549-5267

e-ISSN 2579-7352

Pendahuluan

Keanekaragaman hayati merupakan aset fundamental bagi stabilitas ekosistem global, di mana pengukurannya yang presisi menjadi krusial dalam merumuskan kebijakan konservasi yang berbasis bukti. Di Indonesia, sebagai negara megabiodiversitas, Indeks Shannon-Wiener telah lama mendominasi instrumen kuantitatif dalam laporan ekologi dan penilaian dampak lingkungan (Auliandari & Genisa, 2026). Indeks keanekaragaman Indeks Shannon-Wiener merupakan salah satu ukuran kuantitatif yang paling luas digunakan dalam ekologi untuk merepresentasikan struktur komunitas biologis melalui integrasi kekayaan spesies (*species richness*) dan keseragaman distribusi individu (*evenness*) (Krebs, 2009; Miller & Spoolman, 2009; Latimer, 2014; Magurran, 2005; Morris et al., 2014; Tuomisto, 2010). Namun, di balik popularitasnya, terdapat problematika mendasar terkait pemahaman konseptual terhadap struktur matematis indeks tersebut.

Indeks Shannon-Wiener berakar pada konsep Entropi Informasi yang diperkenalkan oleh Claude Shannon (Shannon, 1948; Spellerberg & Fedor, 2003), sehingga secara matematis melibatkan probabilitas relatif spesies serta transformasi logaritmik dalam perhitungannya. Dengan demikian, penggunaan Indeks Shannon-Wiener tidak hanya memerlukan pemahaman ekologis, tetapi juga literasi matematis yang mencakup konsep probabilitas dan logaritma (Daly et al., 2018; Morrison & Rosenberg, 2023). Karakteristik Indeks Shannon-Wiener yang berasal dari teori entropi secara konseptual tidak selalu memiliki interpretasi biologis yang langsung. Beberapa penelitian menyebutkan bahwa indeks ini memiliki

keterbatasan dalam komparabilitas dan interpretasi lintas studi karena sifatnya yang sensitif terhadap struktur data dan spesies langka (Abou-Moustafa, 2014). Selain itu, penggunaan indeks ini dalam literatur menunjukkan adanya inkonsistensi metodologis, termasuk dalam aspek dasar seperti pemilihan basis logaritma.

Pemilihan basis logaritma merupakan aspek matematis fundamental dalam perhitungan Indeks Shannon-Wiener yang sering diabaikan. Secara teoretis, indeks ini dapat dihitung menggunakan berbagai basis logaritma, seperti logaritma natural ($\ln$), logaritma basis 2 ($\log_2$), maupun basis 10 ($\log$) (Jost, 2006; Tuomisto, 2010; Chao et al., 2020). Meskipun perbedaan basis logaritma tidak mengubah makna konseptual indeks, nilai numerik yang dihasilkan akan berbeda dan berimplikasi pada interpretasi kuantitatif serta komparabilitas antar penelitian (Barrantes & Sandoval, 2009; Morrison & Rosenberg, 2023). Kajian empiris menunjukkan bahwa sekitar 58% studi menggunakan logaritma natural, sementara sebagian lainnya menggunakan basis berbeda atau bahkan tidak melaporkan basis logaritma yang digunakan, sehingga berpotensi menimbulkan bias interpretasi (Dušek & Popelková, 2012; Strong, 2016). Dalam konteks pendidikan tinggi, kondisi ini mengindikasikan adanya permasalahan mendasar dalam literasi matematis-biologis mahasiswa (Auliandari & Genisa, 2026).

Literasi matematis tidak hanya mencakup kemampuan melakukan prosedur perhitungan, tetapi juga pemahaman terhadap makna konseptual dari operasi matematis yang digunakan dalam suatu model ilmiah. Tanpa landasan konseptual yang kuat, mahasiswa cenderung terjebak pada penguasaan prosedural yang dangkal, di mana mereka mampu mengoperasikan

angka namun gagal mengidentifikasi logika yang membangun prosedur tersebut (Crooks & Alibali, 2014; Rittle-Johnson et al., 2015). Berbagai studi menunjukkan bahwa mahasiswa sering kali mampu melakukan perhitungan secara prosedural tanpa memahami makna matematis maupun konteks aplikatifnya, yang mencerminkan lemahnya literasi matematis dalam pemecahan masalah ilmiah (OECD, 2019). Fenomena perhitungan secara prosedural di kalangan mahasiswa biologi menunjukkan kecenderungan di mana kemampuan prosedural dalam menghitung angka keanekaragaman tidak diimbangi dengan literasi matematis-biologis yang memadai (Speth et al., 2010), terutama dalam menentukan dan memaknai penggunaan basis logaritma. Ketidaktahuan mengenai perbedaan fungsional antara logaritma natural, logaritma basis 2, dan basis 10 bukan sekadar masalah teknis, melainkan cerminan dari disparitas pengetahuan yang dapat menyebabkan bias interpretasi pada satuan entropi dan status suatu ekosistem (Jost, 2006; Tuomisto, 2010; Chao et al., 2020).

Survei terhadap ekolog (*ecologist*) muda juga menunjukkan kekurangan pelatihan matematika-kuantitatif. Sebanyak 75% merasa pemahaman model matematika mereka kurang, dan 90% menginginkan lebih banyak kelas matematika serta statistik dalam kurikulum ekologi dan menyarankan agar materi teoretis dan model statistik dikaitkan dengan masalah ekologi terapan untuk meningkatkan keterampilan kuantitatif (Barraquand et al., 2014). Ini sejalan dengan fakta nasional berdasarkan PISA 2022, siswa Indonesia rata-rata di bawah rata-rata OECD dalam literasi matematika (OECD, 2023). Ramadhan et al. (2025) menemukan bahwa literasi numerasi calon guru biologi masih dalam kategori *requiring special intervention* (perlu intervensi khusus). Dengan demikian, gambaran luas menunjukkan perlunya memperkuat literasi matematika di lintas jenjang, termasuk bagi mahasiswa yang mempelajari biologi atau ekologi dan bidang yang relevan dengan keanekaragaman hayati.

Lebih jauh, integrasi antara konsep probabilitas, logaritma, dan entropi dalam Indeks Shannon-Wiener menjadikan indeks

ini sebagai representasi konkret dari literasi lintas disiplin. Ketidakmampuan mahasiswa dalam memahami atau menentukan basis logaritma menunjukkan bahwa permasalahan yang terjadi bukan sekadar kesalahan teknis, melainkan mencerminkan disparitas yang lebih luas antara literasi matematis dan biologis. Disparitas ini berimplikasi pada rendahnya kemampuan analisis kuantitatif mahasiswa dalam konteks ekologi, yang pada akhirnya dapat memengaruhi kualitas interpretasi data dan pengambilan keputusan berbasis sains (Oliveira et al., 2025). Meskipun berbagai penelitian telah mengkaji kompleksitas indeks keanekaragaman dan miskonsepsi terkait biodiversitas, kajian yang secara spesifik menelaah pemahaman mahasiswa terhadap aspek matematis mendasar, khususnya dalam penentuan basis logaritma pada Indeks Shannon-Wiener, masih sangat terbatas. Padahal, aspek ini memiliki peran krusial dalam memastikan validitas interpretasi hasil serta konsistensi penggunaan indeks dalam penelitian ilmiah.

Berdasarkan latar belakang permasalahan yang telah dijelaskan, penelitian ini berbeda dari berbagai penelitian sebelumnya karena menelaah secara spesifik pemahaman epistemik mahasiswa terhadap basis logaritma sebagai komponen matematis fundamental Indeks Shannon-Wiener, bukan sekadar kemampuan menghitung indeks keanekaragaman. Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk menganalisis secara konseptual pemahaman mahasiswa dalam menentukan dan memaknai basis logaritma pada Indeks Shannon-Wiener sebagai representasi dari literasi matematis-biologis, sebagai kelanjutan dari studi sebelumnya yang mengevaluasi pengetahuan dosen pada domain yang sama (Auliandari & Genisa, 2026). Dengan mengungkap pola pemahaman dan miskonsepsi yang terjadi, penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi terhadap pengembangan pendekatan pembelajaran yang lebih integratif antara matematika dan biologi, serta memperkuat kompetensi analisis kuantitatif mahasiswa dalam bidang ekologi.

Metode Penelitian

Metode dan Partisipan Penelitian

Penelitian dilakukan melalui metode kualitatif eksploratif dengan responden penelitian adalah mahasiswa aktif yang telah mendapatkan materi Ekologi atau yang relevan dengan keanekaragaman hayati di perguruan tinggi negeri dan swasta. Pemilihan responden dilakukan secara *purposive sampling* supaya mendapatkan *information-rich cases* yang akan mempercepat tercapainya saturasi karena jawaban yang diberikan relevan (Palinkas et al., 2015). Kriteria untuk *purposive sampling* responden adalah: 1) berstatus mahasiswa aktif di perguruan tinggi negeri atau swasta (data di PDDikti) minimal semester 4 di Tahun Akademik Genap 2023/2024 dan Ganjil 2024/2025, 2) mahasiswa yang telah mendapatkan paparan materi mengenai indeks keanekaragaman, dan 3) bersedia berpartisipasi dalam mengisi kuesioner penelitian. Jumlah responden penelitian berdasarkan prinsip *data saturation*, yaitu proses rekrutmen responden dihentikan ketika data yang ada sudah cukup kuat untuk memberikan jawaban bermakna dalam konteks penelitian yang dilakukan (Rahimi & Khatooni, 2024). Kategori demografi responden penelitian ditampilkan dalam Tabel 1.

Tabel 1. Demografi Responden Penelitian

Kategori	Subkategori	Jumlah (%)
Status Institusi	Perguruan Tinggi Swasta (PTS)	65,12
	Perguruan Tinggi Negeri (PTN)	34,88
Program Studi	Pendidikan Biologi	51,16
	Biologi	18,60
	Kehutanan / Konservasi Sumberdaya Hutan	11,63
	Konservasi Biodiversitas Tropika	11,63
	Ilmu Lingkungan	6,98
Sebaran Wilayah	Sumatera	67,44
	Bali & Nusa Tenggara	13,95
	Jawa	11,63
	Sulawesi	6,98

Instrumen Penelitian

Instrumen penelitian yang digunakan adalah kuesioner terbuka-terarah, dikembangkan berdasarkan kajian teoretis mengenai pengukuran keanekaragaman

hayati. Bentuk kuesioner ini dipilih untuk memperoleh gambaran yang mendalam mengenai pemahaman konseptual responden dengan tetap mengarahkan jawaban pada konstruk yang telah ditetapkan. Konstruk kuesioner mencakup empat indikator utama, yaitu: (1) spesies sebagai unit pengukuran keanekaragaman hayati, (2) pemilihan rumus Indeks Shannon-Wiener beserta basis logaritma yang digunakan, (3) interpretasi satuan entropi yang dihasilkan oleh Indeks Shannon-Wiener, dan (4) pengetahuan mengenai *Effective Species Numbers* (ESN) atau *Hill Numbers* sebagai transformasi nilai entropi menjadi jumlah spesies efektif yang lebih intuitif diinterpretasikan secara ekologis. Pengembangan indikator didasarkan pada landasan konseptual bahwa pengukuran keanekaragaman hayati tidak hanya mencakup kemampuan menghitung indeks, tetapi juga pemahaman terhadap makna ekologis dan interpretasi hasil pengukurannya (Chao et al., 2014; Jost, 2006; Magurran, 2004).

Validitas kuesioner sebagai instrumen penelitian dilakukan melalui *content validity* (kesesuaian isi) dan *face validity* (kejelasan bahasa) secara kualitatif menggunakan pendekatan *expert judgment* (penilaian ahli). Validasi secara kualitatif lazim digunakan khususnya pada instrumen penelitian yang bersifat terbuka atau eksploratif dan penilaian ahli merupakan pendekatan yang umum digunakan untuk memastikan bahwa setiap butir instrumen telah merepresentasikan konstruk yang hendak diukur sebelum diimplementasikan dalam penelitian (Adillah et al., 2022; Elangovan & Sundaravel, 2021; Luque-Vara et al., 2020).

Proses validasi kuesioner penelitian ini melibatkan tiga validator, dipilih secara purposif berdasarkan dua kriteria kompetensi yang saling melengkapi, yaitu keilmuan substantif di bidang keanekaragaman hayati/ekologi dan penguasaan metodologi asesmen dan pengembangan instrumen penelitian. Validator menelaah setiap butir berdasarkan kesesuaiannya dengan indikator yang diukur, ketepatan konsep ilmiah, kejelasan redaksi, serta kemampuannya mengungkap pemahaman konseptual responden. Hasil validasi menunjukkan bahwa ketiga validator secara konsisten menyatakan

kuesioner layak digunakan tanpa revisi, yang dicapai melalui kesepakatan (konsensus) di antara para validator setelah menelaah kesesuaian setiap butir dengan tujuan dan pertanyaan penelitian.

Analisis Data Penelitian

Analisis data dalam penelitian ini dilakukan secara kualitatif dengan menggunakan teknik analisis tematik (*thematic analysis*), mengikuti 4 tahapan yang direkomendasikan Creswell (2013). Tahap pertama adalah *organizing data*, mengumpulkan seluruh jawaban kuesioner dan mentranskripsikannya ke dalam format analisis untuk memastikan konsistensi dan keterbacaan data. Tahap kedua, *reading and memoing*, yaitu membaca data secara menyeluruh guna memperoleh pemahaman awal mengenai pola/konsep yang muncul, disertai pencatatan memo reflektif sebagai dasar kategorisasi. Tahap ketiga, *describing, classifying, and interpreting (coding & theming)*, yakni mengidentifikasi bagian-bagian bermakna (membuat kode) dari jawaban responden, kemudian mengelompokkan kode menjadi tema (fokus analisis) dan subtema yang merepresentasikan jawaban responden yang selaras dengan tujuan penelitian. Tahap akhir, *representing and visualizing data*, yaitu menyajikan hasil analisis tematik dalam bentuk tabel yang memastikan bahwa tema yang dihasilkan sesuai dengan indikator penelitian.

Untuk meningkatkan kredibilitas temuan penelitian, dilakukan triangulasi terhadap hasil analisis tematik melalui *focus group discussion* (FGD) bersama ekolog dan matematikawan sebagai verifikasi komunikatif, serta analisis dokumen dan kajian teori yang relevan sebagai verifikasi teoretis. Proses verifikasi ini bertujuan memastikan bahwa tema dan interpretasi

yang dihasilkan konsisten dengan konsep ilmiah dari perspektif ekologi dan matematika serta didukung oleh literatur. Berdasarkan hasil verifikasi tersebut, temuan dinilai kredibel dan layak dilanjutkan ke tahap *representing and visualizing data* sebagai tahap akhir analisis tematik. Perspektif ahli dan penggunaan berbagai sumber data untuk memverifikasi temuan penelitian merupakan bentuk triangulasi yang meningkatkan kredibilitas penelitian kualitatif (Denzin, 2012; Creswell 2013).

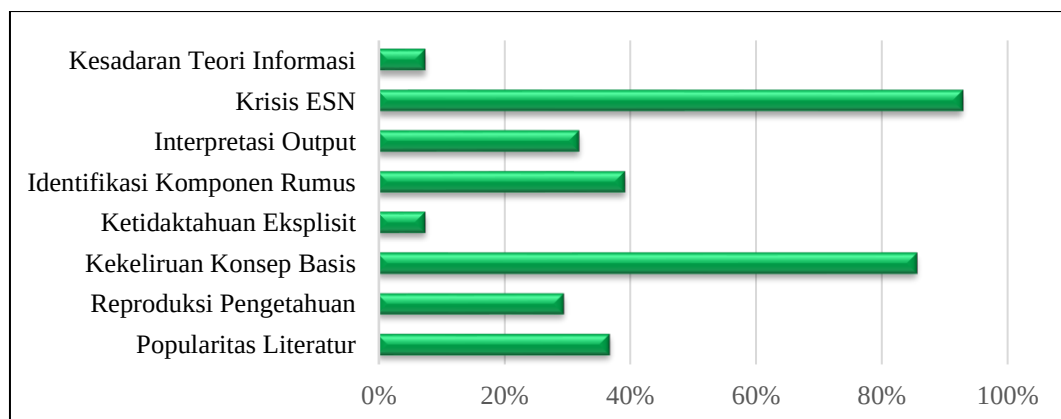
Hasil dan Pembahasan

Analisis kualitatif terhadap respon mahasiswa mengungkap adanya disparitas yang signifikan antara kemampuan prosedural matematis dan pemahaman konseptual biologis dalam konteks ekologi kuantitatif. Fenomena ini teridentifikasi melalui kategorisasi alasan pemilihan basis logaritma pada Indeks Shannon-Wiener (H') yang dikonfrontasikan dengan tingkat pemahaman mengenai Jumlah Spesies Efektif (*Effective Species Numbers* (ESN) atau *Hill Numbers*). Data menunjukkan bahwa mayoritas responden terjebak dalam penggunaan logaritma natural ($\ln$) sebagai sebuah kotak hitam (*black box*), mahasiswa mampu mengoperasikan rumus secara prosedural namun gagal memaknai fungsinya sebagai instrumen transformasi informasi. Secara sistematis, keterkaitan antara orientasi pemilihan basis, fragmentasi kognitif, dan hambatan dalam mengadopsi metrik modern (*Hill Numbers*) diringkas dalam empat tema yang disajikan pada Tabel 2. Keempat tema tersebut merupakan hasil penyimpulan dari subtema-subtema yang telah teridentifikasi, sedangkan subtema sendiri disusun berdasarkan frekuensi kemunculan jawaban responden (dalam persentase), dapat dilihat pada Gambar 1.

Tabel 2. Sintesis Tematik Disparitas Pemahaman Konseptual dalam Ekologi Kuantitatif

No	Tema (Fokus Analisis)	Subtema	Contoh Kutipan Responden (Verbatim)
1	Ketergantungan pada Konvensi (Heuristik) (Dominasi Literasi Prosedural)	Popularitas Literatur: Memilih logaritma natural ($\ln$) karena otoritas tekstual tanpa paham esensi matematisnya.	"Sering dijumpai di jurnal" "Logaritma natural paling umum digunakan" "Paling dikenal dan paling banyak digunakan"

No	Tema (Fokus Analisis)	Subtema	Contoh Kutipan Responden (Verbatim)
2	Fragmentasi Pemahaman Matematis (<i>The Black Box Problem</i>)	Reproduksi Pengetahuan: Mengikuti instruksi pengajaran sebagai prosedur baku (hafalan).	"Ngikut rumus" "Sudah diajarkan di ekologi" "Sudah dipelajari di kelas"
		Kekeliruan Konsep Basis: Menganggap logaritma natural (ln) mudah hanya karena faktor kebiasaan (<i>familiarity</i>).	"Lebih mudah dipahami" "Karena itu yang paling mudah" "Paling dikenal" "Logaritma natural lebih umum digunakan dalam analisis ekologi"
3	Upaya Rekonstruksi & Analisis (Literasi Biologis Deskriptif)	Ketidaktahuan Eksplisit: Absensi dasar logika dalam pengambilan keputusan matematis.	"Tidak tau 😊" "Kurang faham" "Saya belum paham"
		Identifikasi Komponen Rumus: Mampu menyebutkan variabel (pi), namun bersifat mekanistik.	" $H = -\sum p_i \ln(p_i)$ " " Σ berarti jumlah, ln adalah log natural, pi adalah proporsi komunitas" " $p_i = n/N$, proporsi jumlah individu spesies pada jumlah spesies teramati" "Semakin tinggi indeksinya maka semakin tinggi keanekaragamannya" "Mengetahui bahwa spesies berada pada tingkat tinggi, sedang, maupun rendah" "Nilai yang lebih tinggi menunjukkan keanekaragaman yang lebih besar"
4	Anomali & Literasi Modern (ESN) (<i>The Missing Link to Hill Numbers</i>)	Interpretasi Output: Fokus pada nilai indeks (H') tanpa mengaitkan dengan fungsi logaritmanya.	"Tidak (tahu ESN)" "Belum, tapi ini menarik" "Kurang mengetahui" "Mau akses <i>free</i> untuk referensinya 🙏"
		Krisis Jumlah Spesies Efektif (ESN): Kegagalan menghubungkan basis logaritma dengan angka nyata biologis.	"log ₂ lebih intuitif untuk interpretasi" "Bingung antara ln atau log ₂ "
		Kesadaran Teori Informasi: Minoritas yang memahami basis lain (log ₂) sebagai satuan informasi (bit).	



Gambar 1. Frekuensi kemunculan setiap subtema berdasarkan total responden (dalam persentase).

Hubungan antar tema pada Tabel 2 dapat digambarkan sebagai rantai literasi yang putus, ditunjukkan melalui 3 hal, yaitu *input*, *proses*, dan *output*. Rantai literasi

yang putus ini menunjukkan bahwa mahasiswa seringkali bisa menghitung (kemampuan prosedural) tapi tidak bisa memaknai (pemahaman konsep). Hal

tersebut dapat menyebabkan kesenjangan pembelajaran dalam analisis kuantitatif ekologi dan juga berpotensi menjadi tantangan nyata dalam pengembangan kapasitas analitis calon peneliti biodiversitas di masa depan (Auliandari & Genisa, 2026).

Pada *input* (Tema 1 dan 2), sebagai penyebab (*causal factors*) mengapa Tema 4 menjadi rendah. Mahasiswa masuk dengan pemahaman prosedural. Mahasiswa mengetahui rumus (pemilihan logaritma natural/ $\ln$), tetapi alasannya bersifat eksternal (mengikuti buku, jurnal, atau dosen). Untuk proses (Tema 3), mahasiswa mencoba melakukan interpretasi biologis, namun hanya sebatas "angka tinggi = bagus".

Output/hambatan (Tema 4), mahasiswa gagal (rantai putus) ketika dihadapkan pada konsep *Effective Species Numbers* (ESN). Untuk memahami $E^{H'}$, mahasiswa harus memahami terlebih dulu bahwa $\ln$ adalah logaritma berbasis e . Karena di tahap awal (Tema 1) hanya ikut-ikutan memilih $\ln$, mahasiswa kehilangan

kunci matematis untuk membuka pemahaman ESN.

Kredibilitas temuan tematik pada Tabel 2 diperkuat melalui mekanisme triangulasi data (Tabel 3), di mana disparitas pemahaman konseptual yang ditemukan pada respon mahasiswa (data empiris) dikonfrontasikan dengan analisis dokumen (Magurran (2004), Michael (1995), dan Odum (1993)) dan teori informasi (Shannon, 1948) (verifikasi teoretis). Hasil triangulasi menunjukkan bahwa ketergantungan mahasiswa pada pilihan basis logaritma natural bersifat heuristik, yang secara ekologi-kuantitatif berdasarkan verifikasi komunikatif melalui FGD Ahli), berimplikasi pada kegagalan dalam menstandarisasi satuan entropi. Sinkronisasi antara ketiga sudut pandang (data empiris, verifikasi teoretis, dan verifikasi komunikatif) ini mengonfirmasi bahwa kesenjangan antara kemampuan prosedural dan pemahaman konseptual merupakan masalah sistemik dalam pendidikan ekologi kuantitatif saat ini.

Tabel 3. Analisis Cross-Check Triangulasi Temuan pada Respon Mahasiswa

Indikator	Temuan pada Respon Mahasiswa (Data Empiris)	Status Verifikasi melalui Triangulasi
Spesies sebagai Unit Pengukuran Keanekaragaman Hayati	Tema 3: Fokus pada kekayaan spesies sebagai variabel primer (π).	Terverifikasi (Analisis Dokumen & Teori): Sesuai dengan literatur standar (Magurran, 2004) mengenai unit dasar biodiversitas sebagai titik awal literasi kuantitatif mahasiswa.
Pemilihan Rumus Indeks Shannon-Wiener beserta Basis Logaritmanya	Tema 1 dan 2: Mahasiswa memilih Indeks Shannon-Wiener dengan $\ln$ karena kebiasaan atau sudah di buku/jurnal (heuristik).	Terverifikasi (FGD Ahli dan Analisis Dokumen & Teori): Sesuai dengan verifikasi FGD ahli matematika tentang konsekuensi matematis dan analisis dokumen yang menjadi sumber asal kebiasaan tersebut.
Interpretasi Satuan Entropi	Tema 3: Mahasiswa menganggap indeks sebagai skor/skala (misal: H' tinggi = bagus) tanpa memahami satuan informasi.	Terverifikasi (Analisis Dokumen & Teori): Langsung berbenturan dengan Teori Informasi Shannon (1948). Mahasiswa gagal memahami perbedaan <i>bits</i> , <i>nats</i> , dan <i>decits</i> yang seharusnya divalidasi secara teoretis.
Pengetahuan tentang ESN atau Hill Numbers	Tema 1 dan 4: Mahasiswa mahir menghitung secara prosedural namun gagal mengonversi ke angka nyata (ESN).	Terverifikasi (Data Empiris dan FGD Ahli): Pola rantai putus yang ditemukan pada mahasiswa dikonfirmasi melalui FGD untuk menghasilkan rekomendasi perbaikan pedagogis bagi kurikulum biologi.

Analisis *cross-check* melalui triangulasi pada Tabel 3 mengungkapkan bahwa disparitas pemahaman konseptual yang ditemukan pada mahasiswa bukan

sekadar fenomena tunggal, melainkan hasil dari interaksi antara kebiasaan pedagogis dan fragmentasi kognitif. Berdasarkan verifikasi teoretis, ketergantungan

mahasiswa pada logaritma natural ($\ln$) tanpa alasan fundamental merupakan refleksi dari dominasi literatur yang menyajikan rumus Indeks Shannon-Wiener sebagai entitas statis. Hal ini dikonfirmasi melalui verifikasi komunikatif dalam FGD bersama ahli, di mana ekolog dan matematikawan mengidentifikasi adanya mata rantai yang putus dalam memahami fungsi invers logaritma. Ketidakmampuan mahasiswa dalam menghubungkan basis logaritma dengan konsep *Effective Species Numbers* (ESN) menunjukkan bahwa pengetahuan yang dimiliki masih bersifat tekstual-deskriptif dan belum mencapai level fungsional-analitis sebagaimana yang disyaratkan oleh standar Magurran (2004) dan Jost (2006).

Sinkronisasi antara data empiris, verifikasi ahli, dan tinjauan teoretis memberikan landasan kuat untuk memetakan tipologi pemahaman konseptual mahasiswa ke dalam kategori yang lebih spesifik. Penemuan pola di mana responden mampu menghitung secara prosedural namun gagal memaknai hasil secara konseptual (satuan entropi) menjadi indikator utama dalam diferensiasi profil. Dengan mengacu pada bagaimana responden menavigasi hubungan antara pemilihan basis logaritma (Tema 1 dan 2) dan urgensi spesies efektif (Tema 4), maka populasi penelitian ini dapat diklasifikasikan ke dalam tiga profil. Profil-profil ini merepresentasikan spektrum kompetensi, mulai dari penguasaan teknis yang terisolasi hingga keterbatasan literasi kuantitatif secara menyeluruh. Tipologi profil pemahaman konseptual mahasiswa berdasarkan penentuan dan pemaknaan basis logaritma pada Indeks Shannon-Wiener sebagai representasi literasi matematis-biologis adalah sebagai berikut.

Praktisi Prosedural (The Blind Proceduralist)

Profil ini merupakan profil dengan porsi terbesar dalam sampel penelitian, yaitu sebesar 68,29%, merepresentasikan kelompok mahasiswa yang memiliki kemampuan operasional tinggi namun terjebak dalam literasi prosedural "kotak hitam" (*black box*). Berdasarkan data empiris, mahasiswa secara konsisten

memilih logaritma natural ($\ln$) namun hanya didasarkan pada alasan heuristik seperti kebiasaan di jurnal atau instruksi dosen/buku teks. Secara teoretis, kelompok ini menunjukkan fenomena *Lower Order Thinking Skills* (LOTS) (Barumbun, & Kharisma, 2022; Braithwaite & Sprague, 2021), di mana rumus dianggap sebagai mantra statistik statis tanpa pemahaman fungsi logaritma sebagai pengukur ketidakpastian informasi. Hasil FGD Ahli memperingatkan bahwa profil ini berisiko tinggi melakukan kesalahan interpretasi data jika dihadapkan pada skala data yang berbeda, karena mereka tidak memahami hubungan antara basis logaritma dan satuan entropi (*nats*, *bits*, atau *decits*). Argumen ini sejalan dengan kritik Jost (2006) yang menekankan bahwa indeks keanekaragaman sering disalahpahami sebagai keanekaragaman itu sendiri, padahal ia hanyalah entitas matematis yang perlu dikonversi. Kritis Jost (2006) ini menunjukkan bahwa kegagalan membedakan indeks keanekaragaman sebagai fungsi matematis dengan keanekaragaman sebagai realitas biologis sering kali berakar pada metodologi pengajaran yang terlalu prosedural. Oleh karena itu diperlukan rekomendasi pedagogis berupa pergeseran dari pembelajaran berbasis rumus ke pembelajaran berbasis fenomena (*phenomenon-based learning*) untuk memahami asal-usul fungsi logaritma.

Konseptualis Terputus (The Disconnected Conceptualist)

Profil mahasiswa ini, sebesar 12,20%, memiliki pengetahuan nominal mengenai konsep-konsep ekologi modern seperti *Effective Species Numbers* (ESN), namun mengalami fragmentasi kognitif saat harus menghubungkannya dengan fondasi matematika. Melalui data empiris, mahasiswa mampu menjawab "tahu" tentang spesies efektif, tetapi gagal dalam menjelaskan bagaimana fungsi invers eksponensial (e^H') bekerja untuk mengonversi nilai Indeks Shannon-Wiener saat diminta, sesuai dengan penekanan dalam FGD Ahli (verifikasi komunikatif) bahwa pentingnya memahami *inverse function* (logaritma vs eksponensial) sebagai

jembatan berpikir. Secara teoretis, profil ini mencerminkan adanya *knowledge compartmentalization*, di mana biologi dan matematika disimpan dalam ruang mental yang terpisah sehingga gagal membentuk literasi kuantitatif yang fungsional. Hal ini memperkuat proposisi Ellison (2010) bahwa penggunaan metrik biodiversitas tanpa pemahaman mendalam tentang partisi matematisnya akan menghambat kemampuan analisis dalam melakukan sintesis ekologi yang bermakna.

Pembelajar dengan Literasi Terbatas (The Limited-Literacy Learner)

Sebesar 19,51% sampel penelitian termasuk dalam *The Low-Literacy Respondent*. Profil ini mencakup mahasiswa yang mengalami hambatan literasi kuantitatif secara menyeluruh, baik pada tingkat dasar maupun aplikasi. Secara empiris, hal ini terlihat dari ketidakmampuan menentukan basis logaritma dan ketidaktahuan total terhadap konsep spesies efektif, yang sering kali disertai dengan sikap apatis terhadap akses literatur (seperti hanya meminta akses gratis tanpa mendalami konten). Berdasarkan triangulasi teoritis, kelompok ini belum memenuhi ambang batas literasi kuantitatif yang disyaratkan oleh Magurran (2004), terutama dalam memahami unit spesies sebagai basis data keanekaragaman hayati (biodiversitas). FGD Ahli menekankan pada literasi data dasar sebelum masuk ke analisis multivariat, karena profil ini tidak hanya lemah dalam komputasi, tetapi juga dalam logika aritmatika dasar yang menjadi prasyarat utama dalam riset ekologi kuantitatif dan konservasi hayati (Barraquand et al., 2014).

Dengan merujuk pada Jost (2006) dan Tuomisto (2010), dapat disimpulkan bahwa profil mahasiswa saat ini masih didominasi

oleh kelompok *proceduralist* yang mengalami kebutaan matematis terhadap alat analisis yang mereka gunakan sendiri. Tanpa integrasi literasi matematis dalam penentuan basis logaritma, mahasiswa gagal memahami bahwa Indeks Shannon-Wiener hanyalah ukuran ketidakpastian (entropi) yang tidak memiliki satuan biologis linear. Akibatnya, mahasiswa tidak mampu melakukan konversi krusial menuju *Effective Species Numbers* (ESN) atau *Hill Numbers*, yang secara matematis merupakan fungsi eksponensial dari indeks tersebut ($e^{H'}$). Padahal, ESN adalah metrik yang memungkinkan perbandingan keanekaragaman antar ekosistem secara intuitif dan konsisten. Jika disparitas literasi ini menetap, upaya Indonesia dalam pelaporan keanekaragaman hayati yang kini menuntut standar interpretasi berbasis jumlah spesies riil daripada sekadar angka indeks abstrak, akan berimplikasi pada terjadinya kesenjangan pembelajaran dalam ranah analisis kuantitatif ekologi, serta berpotensi menghadirkan tantangan tersendiri bagi pengembangan kompetensi analitis generasi peneliti biodiversitas selanjutnya.

Tipologi profil mahasiswa yang diperoleh dari penelitian ini berimplikasi dengan merekomendasikan desain instruksional dan integrasi kurikulum ekologi kuantitatif (termasuk biostatistika) yang disajikan dalam bentuk tabel terstruktur (Tabel 4). Penataan ini dirancang untuk memudahkan pemetaan antara masalah mendasar pada setiap tipologi mahasiswa dengan solusi pembelajaran konkret yang dapat diterapkan di kelas. Melalui kerangka ini, setiap intervensi memiliki fokus kegiatan dan luaran kognitif yang jelas guna memangkas disparitas pemahaman konseptual mahasiswa.

Tabel 4. Rekomendasi Desain Instruksional dan Integrasi Kurikulum Ekologi Kuantitatif Berdasarkan Tipologi Mahasiswa

Tipologi Mahasiswa	Masalah Utama Literasi	Strategi dan Fokus Pembelajaran	Desain Aktivitas Instruksional Konkret	Contoh Integrasi Modul/Tugas Ekologi Kuantitatif
Praktisi Prosedural (<i>The Blind Proceduralist</i>)	Menghitung secara prosedural, terbiasa menggunakan rumus tanpa paham makna	Membuka logika komputasi dan menguji batas	Simulasi <i>Log-Shift</i> : Mahasiswa menghitung data komunitas yang sama	Modul Modifikasi R/Excel: Mewajibkan mahasiswa

Tipologi Mahasiswa	Masalah Utama Literasi	Strategi dan Fokus Pembelajaran	Desain Aktivitas Instruksional Konkret	Contoh Integrasi Modul/Tugas Ekologi Kuantitatif
– 68,29%	matematis basis logaritma ($\ln$, $\log_{10}$, $\log_2$) dan satuan entropi (<i>nats, decits, bits</i>)	rumus (<i>Glass-Box Computation & Boundary Testing</i>)	menggunakan 3 basis logaritma berbeda, lalu mendiskusikan mengapa nilai indeksnya berubah namun kondisi biologis lapangannya tetap sama.	menuliskan fungsi penghitungan manual dan mendefinisikan parameter basis logaritma secara eksplisit, bukan sekadar memakai perintah otomatis.
Konseptualis Terputus (<i>The Disconnected Conceptualist</i>) –12,20%	Mengetahui istilah <i>Effective Species Numbers</i> (ESN), tetapi tidak paham hubungan fungsi eksponensial ($e^{H'}$) untuk mengonversi indeks menjadi jumlah spesies riil	Menjembatani rumus abstrak ke representasi visual dan kasus nyata (<i>Visual-Axiomatic Bridging</i>)	1. Eksperimen Gambar <i>Equally-Abundant Equivalent</i> : Mengonversi nilai H' komunitas tak seimbang ke nilai ESN ($e^{H'}$), lalu menggambarkan sebagai "hutan ideal" berpohon seimbang. 2. Studi Kasus Prioritas Konservasi: Membandingkan dua hutan menggunakan selisih angka H' vs perbandingan kelipatan ESN untuk mengambil keputusan konservasi.	Tugas Analisis Keputusan Ekologi: Studi kasus berbasis problem (<i>Problem-Based Learning</i>) yang meminta mahasiswa mempresentasikan alasan mengapa nilai ESN lebih intuitif dipakai dalam pelaporan keanekaragaman hayati internasional.
Pembelajar dengan Literasi Terbatas (<i>The Limited-Literacy Learner</i>) –19,51%	Mengalami hambatan ganda: tidak paham logika matematika dasar (proporsi/logaritma) dan tidak tahu konsep ESN.	Pembelajaran bertahap dari benda nyata ke rumus (<i>Tiered Scaffolding & Concrete-to-Abstract (C-A)</i>)	Simulasi Manik-Manik/Kelereng: Menggunakan stoples berisi manik-manik warna-warni untuk melatih pemahaman proporsi (p_i) dan ketidakpastian secara langsung sebelum masuk ke rumus logaritma.	Templat Latihan Berkolom (<i>Scaffolded Sheet</i>): Menyediakan <i>spreadsheet</i> Excel interaktif yang memecah rumus kompleks menjadi kolom-kolom kecil bertahap ($n_i \rightarrow p_i \rightarrow \ln(p_i) \rightarrow p_i \ln(p_i)$)

Simpulan

Penelitian ini menunjukkan bahwa literasi mahasiswa dalam penggunaan Indeks Shannon-Wiener tidak hanya ditandai oleh kesenjangan antara kemampuan prosedural dan pemahaman konseptual, tetapi juga membentuk tiga tipologi profil yang berbeda, yaitu Praktisi Prosedural (*The Blind Proceduralist*), Konseptualis Terputus (*The Disconnected Conceptualist*), dan Pembelajar dengan Literasi Terbatas (*The Limited-Literacy Learner*). Profil Praktisi

Prosedural merupakan kelompok yang paling dominan (68,29%), menunjukkan bahwa sebagian besar mahasiswa mampu menerapkan rumus secara prosedural, tetapi belum memahami dasar matematis pemilihan basis logaritma, makna satuan entropi, maupun hubungan Indeks Shannon-Wiener dengan *Effective Species Numbers* (ESN). Temuan ini memberikan kontribusi berupa pemetaan profil pemahaman konseptual mahasiswa yang dapat digunakan

sebagai dasar pengembangan pembelajaran ekologi kuantitatif yang lebih adaptif.

Implikasi pedagogis dari temuan ini adalah perlunya rekonstruksi silabus mata kuliah terkait ekologi kuantitatif (termasuk Biostatistika) melalui integrasi eksplisit konsep logaritma, entropi, dan ESN ke dalam capaian pembelajaran, disertai aktivitas berbasis perbandingan basis logaritma, interpretasi makna biologis indeks, serta analisis kasus menggunakan data biodiversitas nyata. Pendekatan tersebut diharapkan mampu menggeser pembelajaran dari orientasi prosedural menuju literasi kuantitatif yang konseptual dan aplikatif. Penelitian ini masih terbatas pada kajian terhadap Indeks Shannon-Wiener, sehingga penelitian selanjutnya perlu memperluas analisis ke indeks keanekaragaman lain, seperti Simpson, Rényi, maupun *Hill Numbers*, untuk memperoleh gambaran yang lebih komprehensif mengenai perkembangan literasi matematis-biologis dalam ekologi kuantitatif.

Pernyataan Penggunaan AI Generatif dalam Proses Penulisan

Selama penulisan naskah ini, penulis menggunakan chatGPT dan Google Gemini untuk mengkode jawaban responden dan memvisualisasikan hubungan antar tema. Setelah menggunakan alat/layanan tersebut, penulis meninjau dan menyunting kembali isi naskah sesuai kebutuhan serta bertanggung jawab sepenuhnya atas seluruh isi artikel ini.

Pernyataan Konflik Kepentingan

Penulis menyatakan bahwa tidak terdapat kepentingan finansial maupun hubungan pribadi yang dapat atau berpotensi memengaruhi hasil penelitian yang dilaporkan dalam artikel ini.

Ucapan Terima Kasih

Peneliti mengucapkan terima kasih atas dukungan dana penelitian yang diberikan oleh Majelis Pendidikan Tinggi, Penelitian, dan Pengembangan (Diktilitbang) Pimpinan Pusat (PP) Muhammadiyah melalui Hibah Riset Muhammadiyah (RisetMu) Batch VII Skema Penelitian Fundamental Reguler II. Peneliti juga mengucapkan terima kasih yang sebesar-

besarnya kepada Dr. Bambang Suprihatin, M.Si. (Universitas Sriwijaya), Dr. Irham Falahudin, M.Si. (Universitas Islam Negeri Raden Fatah), dan Dr. Astrid Sri Wahyuni Sumah, M.Si. (Universitas Muhammadiyah Palembang) yang telah memvalidasi hasil penelitian ini melalui *focus group discussions* (FGD).

Daftar Pustaka

- Abou-Moustafa, K. T. (2014). On the use of divergence measures as diversity indices. *arXiv preprint arXiv:1408.2863*.
<https://doi.org/10.48550/arXiv.1408.2863>
- Adillah, G., Ridwan, A., & Rahayu, W. (2022). Content validation through expert judgement of an instrument on the self-assessment of mathematics education student competency. *International Journal of Multicultural and Multireligious Understanding*, 9(3), 780–790.
<http://dx.doi.org/10.18415/ijmmu.v9i3.3738>
- Auliandari, L., & Genisa, M. U. (2026). Beyond the Shannon-Wiener index: Disparities in lecturers' conceptual knowledge of effective species numbers. *Jurnal Pendidikan MIPA (JPMIPA)*, 27(1), 522-538.
<https://doi.org/10.23960/jpmipa.v27i1.pp522-538>
- Barrantes, G., & Sandoval, L. (2009). Conceptual and statistical problems associated with the use of diversity indices in ecology. *Revista de Biología Tropical*, 57(3), 451–460.
<https://doi.org/10.15517/rbt.v57i3.5467>
- Barraquand, F., Kennicutt, M. C., Baliga, N., Steinberg, P. D., Moore, J. A., Shima, J. S., Navarrete, S. A., & Levin, S. A. (2014). Lack of quantitative training among early-career ecologists: A survey of the problem and potential solutions. *PeerJ*, 2, e285.
<https://peerj.com/articles/285/>
- Barumbun, M., & Kharisma, D. (2022). Procedural knowledge or conceptual knowledge? Developing the so-called proceptual knowledge in mathematics learning. *Beta: Jurnal Tadris*

- Matematika*, 15(2), 167–180.
<https://doi.org/10.20414/betajtm.v15i2.472>
- Braithwaite, D. W., & Sprague, L. (2021). Conceptual knowledge, procedural knowledge, and metacognition in routine and nonroutine problem solving. *Cognitive Science*, 45(10), e13048.
<https://doi.org/10.1111/cogs.13048>
- Crooks, N. M., & Alibali, M. W. (2014). Defining and measuring conceptual knowledge in mathematics. *Developmental Review*, 34, 344–362.
<https://doi.org/10.1016/j.dr.2014.10.001>
- Chao, A., Chiu, C-H., & Jost, L. (2014). Unifying species diversity, phylogenetic diversity, functional diversity, and related similarity and differentiation measures through Hill numbers. *Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics*, 45, 297–324. <https://doi.org/10.1146/annurev-eolsys-120213-091540>
- Chao, A., Kubota, Y., Zelený, D., Chiu, C. H., Li, C. F., Kusumoto, B., Yasuhara, M., Thorn, S., Wei, C. L., Costello, M. J., & Colwell, R. K. (2020). Quantifying sample completeness and comparing diversities among assemblages. *Ecological Research*, 35(2), 292–314.
<https://doi.org/10.1111/1440-1703.12102>
- Creswell, J. W. (2013). *Qualitative inquiry and research design: Choosing among five approaches* (3rd ed.). SAGE Publications, Inc.
- Daly, A. J., Baetens, J. M., & De Baets, B. (2018). Ecological diversity: Measuring the unmeasurable. *Mathematics*, 6(7), 119.
<https://doi.org/10.3390/math6070119>
- Denzin, N. K. (2012). Triangulation 2.0. *Journal of Mixed Methods Research*, 6(2), 80–88.
<https://doi.org/10.1177/1558689812437186>
- Dušek, R., & Popelková, R. (2012). Theoretical view of the Shannon index in the evaluation of landscape diversity. *AUC Geographica*, 47(2), 5–13.
<http://hdl.handle.net/20.500.11956/167033>
- Elangovan, N., & Sundaravel, E. (2021). Method of preparing a document for survey instrument validation by experts. *MethodsX*, 8, Article 101326.
<https://doi.org/10.1016/j.mex.2021.101326>
- Ellison A. M. (2010). Partitioning diversity. *Ecology*, 91(7), 1962–1963.
<https://doi.org/10.1890/09-1692.1>
- Jost, L. (2006). Entropy and diversity. *Oikos*, 113(2), 363–375.
<https://doi.org/10.1111/j.2006.0030-1299.14714.x>
- Krebs, C. J. (2009). *Ecology: The experimental analysis of distribution and abundance* (6th ed.). Pearson Benjamin Cummings.
- Latimer, A. M. (2014). Species diversity. In *Wiley StatsRef: Statistics Reference Online*. Wiley.
<https://doi.org/10.1002/9781118445112.stat05151.pub2>
- Luque-Vara, T., Linares-Manrique, M., Fernández-Gómez, E., Martín-Salvador, A., Sánchez-Ojeda, M. A., & Enrique-Mirón, C. (2020). Content validation of an instrument for the assessment of school teachers' levels of knowledge of diabetes through expert judgment. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 17(22), Article 8605.
<https://doi.org/10.3390/ijerph17228605>
- Magurran, A. E. (2004). *Measuring biological diversity*. Blackwell Publishing.
- Magurran A. E. (2005). Biological diversity. *Current Biology (CB)*, 15(4), R116–R118.
<https://doi.org/10.1016/j.cub.2005.02.006>
- Michael, P. (1995). *Metode ekologi untuk penyelidikan ladang dan laboratorium* (Y. R. Koestoer, Trans.). UI Press.
- Miller, G. T., Jr., & Spoolman, S. E. (2009). *Living in the environment: Concepts, connections, and solutions* (16th ed.). Brooks/Cole.
- Morris, E. K., Caruso, T., Buscot, F., Fischer, M., Hancock, C., Maier, T.

- S., Meiners, T., Müller, C., Obermaier, E., Prati, D., Socher, S. A., Sonnemann, I., Wäschke, N., Wubet, T., Wurst, S., & Rillig, M. C. (2014). Choosing and using diversity indices: Insights for ecological applications from the German Biodiversity Exploratories. *Ecology and Evolution*, 4(18), 3514–3524. <https://doi.org/10.1002/ece3.1155>
- Morrison, M. L., & Rosenberg, N. A. (2023). Mathematical bounds on Shannon entropy given the abundance of the ith most abundant taxon. *Journal of Mathematical Biology*, 87, article number 76. <https://doi.org/10.1007/s00285-023-01997-3>
- Odum, E. P. (1993). *Dasar-dasar ekologi* (T. Samingan, Trans.). Gadjah Mada University Press.
- OECD (2019). *PISA 2018 results (volume I): What students know and can do*. OECD Publishing. <https://doi.org/10.1787/5f07c754-en>
- OECD. (2023). *PISA 2022 results (volume I and II): Country note – Indonesia*. OECD Publishing. https://www.oecd.org/content/dam/oecd/en/publications/reports/2023/11/pisa-2022-results-volume-i-and-ii-country-notes_2fca04b9/indonesia_0e09c072/c2e1ae0e-en.pdf
- Oliveira, A. P., Paramés, A., Bajanca, A., & Martinez-Perez, C. (2025). Higher education students' biodiversity knowledge. *Education Sciences*, 15(4), article number 499. <https://doi.org/10.3390/educsci15040499>
- Palinkas, L. A., Horwitz, S. M., Green, C. A., Wisdom, J. P., Duan, N., & Hoagwood, K. (2015). Purposeful sampling for qualitative data collection and analysis in mixed method implementation research. *Administration and Policy in Mental Health*, 42(5), 533–544. <https://doi.org/10.1007/s10488-013-0528-y>
- Rahimi, S., & Khatooni, M. (2024). Saturation in qualitative research: An evolutionary concept analysis. *International Journal of Nursing Studies Advances*, 6, Article 100174. <https://doi.org/10.1016/j.ijnnsa.2024.100174>
- Ramadhan, F., Purnomo, M., Ruron, A. T. T., & Tampubolon, J. (2025). Analisis literasi numerasi mahasiswa pendidikan biologi berdasarkan asesmen kompetensi minimum. *Biocaster: Jurnal Kajian Biologi*, 5(4), 836–846. <https://doi.org/10.36312/biocaster.v5i4.680>
- Rittle-Johnson, B., Schneider, M., & Star, J. R. (2015). Not a one-way street: Bidirectional relations between procedural and conceptual knowledge. *Educational Psychology Review*, 27(4), 587–597. <https://doi.org/10.1007/s10648-015-9302-x>
- Shannon, C. E. (1948). A mathematical theory of communication. *The Bell System Technical Journal*, 27(3), 379–423. <https://doi.org/10.1002/j.1538-7305.1948.tb01338.x>
- Spellerberg, I. F., & Fedor, P. J. (2003). A tribute to Claude Shannon (1916–2001) and a plea for more rigorous use of species richness, species diversity and the ‘Shannon–Wiener’ Index. *Global Ecology and Biogeography*, 12(3), 177–179. <https://doi.org/10.1046/j.1466-822X.2003.00015.x>
- Speth, E. B., Momsen, J. L., Moyerbrailean, G. A., Ebert-May, D., Long, T. M., Wyse, S., & Linton, D. (2010). 1, 2, 3, 4: Infusing quantitative literacy into introductory biology. *CBE—Life Sciences Education*, 9(3), 323–332. <https://doi.org/10.1187/cbe.10-03-0033>
- Strong, W. L. (2016). Biased richness and evenness relationships within Shannon–Wiener index values. *Ecological Indicators*, 67, 703–713. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2016.03.043>
- Tuomisto, H. (2010). A consistent terminology for quantifying species diversity? Yes, it does exist. *Oecologia*, 164(4), 853–860.

<https://doi.org/10.1007/s00442-010-1812-0>