



Manajemen Laboratorium Berbasis Problem Solving Laboratory dalam Membangun Keterampilan Berpikir Kritis dan Kekaguman Ilmiah Mahasiswa Pendidikan Fisika

Amar Amrullah

amaramrullah16@uniga.ac.id

Program Studi Pendidikan Fisika, Fakultas Pendidikan Islam dan Keguruan, Universitas Garut, Garut, Indonesia

Firda Firdausatul Fuady

Program Studi Pendidikan Fisika, Fakultas Pendidikan Islam dan Keguruan, Universitas Garut, Garut, Indonesia

Artikel ini telah dipresentasikan pada kegiatan Seminar Nasional Fisika (Sinafi 12.0)

Universitas Pendidikan Indonesia, Bandung, Indonesia

08 Agustus 2026

M. Agung Candra Fauzi

Program Studi Pendidikan Fisika, Fakultas Pendidikan Islam dan Keguruan, Universitas Garut, Garut, Indonesia

Lutfi

Program Studi Pendidikan Fisika, Fakultas Pendidikan Islam dan Keguruan, Universitas Garut, Garut, Indonesia

Abstrak

Praktikum fisika dasar yang dikelola secara konvensional dengan lembar kerja prosedural bertipe *cookbook*, beban pengelolaan yang bertumpu pada dosen, dan pengendalian mutu yang tidak terdokumentasi, membatasi kesempatan mahasiswa calon guru fisika untuk merumuskan masalah, membuat prediksi, dan menafsirkan data secara mandiri, padahal ketiga aktivitas tersebut merupakan inti keterampilan berpikir kritis (KBK). Penelitian ini bertujuan mendeskripsikan transformasi manajemen laboratorium berbasis fungsi *Planning-Organizing-Actuating-Controlling* (POAC) yang diintegrasikan dengan *Problem Solving Laboratory* (PSL) pada mata kuliah Eksperimen Fisika Dasar 2 (EFD2) di Program Studi Pendidikan Fisika Universitas Garut, pola capaian mahasiswa selama implementasi, serta kemunculan kekaguman ilmiah (*scientific awe*). Penelitian menggunakan desain studi kasus tunggal deskriptif dengan strategi metode campuran konvergen berskala kecil pada satu kelas ($N = 5$, sampling jenuh) yang dikelola oleh satu dosen dan tiga asisten laboratorium. Data berupa dokumen manajerial dan modul, skor laporan praktikum pada sembilan modul, serta refleksi tertulis mahasiswa dianalisis secara tematik dan statistik deskriptif, kemudian dipadukan pada tingkat modul. Hasil menunjukkan bahwa fungsi POAC terwujud dalam aktivitas, penanggung jawab, dan dokumen kerja yang terdefinisi, yang menaungi pelaksanaan delapan tahap PSL pada sembilan modul dan secara konseptual selaras dengan lima indikator KBK Ennis. Rerata skor laporan adalah 92,33 ($SD = 4,25$), dengan rerata kelas meningkat dari 87,20 (Modul 1) menjadi 95,40 (Modul 9; kemiringan 0,97 poin/modul; $R^2 = 0,852$) dan variasi antarmahasiswa yang menyempit pada modul akhir. Empat tema kekaguman ilmiah (*perceived vastness, need for accommodation, epistemic curiosity, intellectual humility*) muncul baik pada modul berprestasi rendah maupun tinggi. Temuan ini merupakan bukti awal yang perlu diuji melalui desain komparatif dengan instrumen KBK dan kekaguman ilmiah yang tervalidasi.

Keywords: Berpikir Kritis · Kekaguman Ilmiah · Manajemen Laboratorium · POAC · *Problem Solving Laboratory*

ABSTRACT

Conventionally managed introductory physics practicums relying on procedural cookbook worksheets, lecturer-centred management, and undocumented quality control limit pre-service physics teachers' opportunities to formulate problems, make predictions, and interpret data independently, although these activities lie at the core of critical thinking skills (CTS). This study aims to describe the transformation of laboratory management based on the Planning, Organizing, Actuating, Controlling (POAC) functions integrated with the Problem Solving Laboratory (PSL) in the Basic Physics Experiment 2 course at the Physics Education Study Program, Universitas Garut, the pattern of student performance during implementation, and the emergence of scientific awe. A descriptive single case study with a small-scale convergent mixed-methods strategy was conducted in one class ($N = 5$, total sampling) managed by one

How to Cite: Amrullah, A., Fauzi, M.A.C., Fuady, F.F., & Luthfi, L. (2026). Manajemen Laboratorium Berbasis *Problem Solving Laboratory* dalam Membangun Keterampilan Berpikir Kritis dan Kekaguman Ilmiah Mahasiswa Pendidikan Fisika. *Prosiding Seminar Nasional Fisika*, 5(1), 200-214. <http://proceedings.upi.edu/index.php/sinafi>

lecturer and three laboratory assistants. Management and module documents, practicum report scores across nine modules, and students' written reflections were analysed thematically and with descriptive statistics, then merged at the module level. The results show that the POAC functions materialised as clearly defined activities, responsibilities, and working documents that supported the implementation of eight PSL stages in nine modules, conceptually aligned with Ennis's five CTS indicators. The mean report score was 92.33 ($SD = 4.25$), with the class mean rising from 87.20 (Module 1) to 95.40 (Module 9; slope 0.97 points/module; $R^2 = 0.852$) and a narrowing spread of scores in the final modules. Four scientific awe themes perceived vastness, need for accommodation, epistemic curiosity, and intellectual humility emerged in both lower- and higher-scoring modules. These findings constitute preliminary evidence that should be tested through comparative designs using validated CTS and awe instruments.

Keywords: Critical Thinking · Laboratory Management · POAC · Problem Solving Laboratory · Scientific Awe

PENDAHULUAN

Laboratorium fisika merupakan wahana strategis bagi mahasiswa calon guru fisika untuk mengonstruksi pemahaman konsep sekaligus melatih keterampilan proses sains melalui pengukuran, pengumpulan data, dan pemecahan masalah nyata (Chu et al., 2021). Di antara keterampilan abad ke-21 yang diharapkan tumbuh melalui praktikum, keterampilan berpikir kritis (KBK) menempati posisi sentral karena menjadi prasyarat untuk menganalisis fenomena fisis secara logis, mengevaluasi bukti, dan menarik kesimpulan yang dapat dipertanggungjawabkan secara ilmiah (Ennis, 2015; Griffin & Care, 2015). Kajian tren penelitian KBK dalam pendidikan fisika di Indonesia menunjukkan bahwa topik ini terus mendapat perhatian, dengan praktikum dan pembelajaran berbasis masalah sebagai perlakuan yang paling banyak diuji (Putri et al., 2024), sementara analisis empiris masih menemukan bahwa KBK fisika peserta didik belum berkembang optimal (Nori et al., 2019). Kondisi ini menegaskan bahwa kegiatan praktikum tidak dengan sendirinya menjadi ruang latihan berpikir kritis; desain dan pengelolaannya yang menentukan.

Salah satu penyebab utamanya adalah dominasi praktikum bertipe *cookbook*, yaitu mahasiswa mengikuti prosedur baku tanpa dituntut merumuskan masalah, membuat prediksi, atau menafsirkan data secara mandiri (Nugraha & Kirana, 2015). Pola ini kurang efektif menumbuhkan KBK karena mahasiswa cenderung berorientasi pada penyelesaian instruksi, bukan pada proses pemecahan masalah itu sendiri (Nisa et al., 2024). Akibatnya, tahap-tahap yang paling menuntut penalaran seperti memprediksi, merancang pengukuran, dan membandingkan prediksi dengan data justru jarang dialami mahasiswa secara bermakna.

Sebagai alternatif, *Problem Solving Laboratory* (PSL) yang dikembangkan oleh Heller dan koleganya menstrukturkan praktikum sebagai rangkaian tahap yang menuntut mahasiswa berpikir sistematis sebelum, selama, dan setelah eksperimen, yakni *Problem, Equipment, Prediction, Method Questions, Exploration, Measurement, Analysis*, dan *Conclusion* (Heller et al., 1992; Heller & Hollabaugh, 1992; Heller et al., 1997). Hal yang telah diketahui tentang pendekatan ini cukup konsisten: praktikum berbasis *problem solving* meningkatkan KBK mahasiswa fisika (Nugraha & Kirana, 2015) dan peserta didik pada topik suhu dan kalor (Malik et al., 2019), sejalan dengan temuan bahwa pembelajaran fisika berbasis masalah, kasus, maupun inkuiri termasuk yang didukung multimedia, simulasi virtual, atau modul elektronik berkontribusi pada penguatan KBK (Liana & Nursuhud, 2020; Khaeruddin & Bancong, 2022; Muliani et al., 2022; Nurmahmuddin et al., 2023; Defianti et al., 2025). Namun, studi-studi tersebut umumnya memperlakukan PSL sebagai intervensi pembelajaran dalam rentang waktu terbatas dan jarang menguraikan kondisi pengelolaan laboratorium yang memungkinkan PSL terlaksana secara konsisten, padahal KBK pada topik seperti suhu dan kalor masih memerlukan penguatan berkelanjutan (Fitriyani et al., 2022).

Di sisi lain, PSL lebih menuntut secara pengelolaan dibandingkan praktikum *cookbook*: masalah kontekstual harus dirancang, alat untuk eksplorasi harus disiapkan, dan mahasiswa memerlukan umpan balik dialogis pada tahap prediksi dan analisis. Karena itu, keberhasilan PSL tidak dapat dilepaskan dari kualitas manajemen laboratorium yang menaunginya. Fungsi manajemen *Planning, Organizing, Actuating, dan Controlling* (POAC) (Terry, 1953) dilaporkan meningkatkan efektivitas dan akuntabilitas program akademik (Narindro et al., 2020), dan keberhasilan inovasi pembelajaran bergantung pada keselarasan kurikulum dengan sistem pembelajaran yang dikelola secara terencana (Amrullah et al., 2024). Hal yang telah diketahui tentang manajemen laboratorium di perguruan tinggi adalah bahwa lemahnya perencanaan, pembagian tugas, pelaksanaan, dan pengawasan menjadi akar rendahnya kualitas layanan praktikum, mulai dari ketersediaan alat dan bahan (Gusmanto, 2023) hingga keterlaksanaan praktikum fisika secara keseluruhan (Annisa et al., 2023; Husnari, 2024), serta bahwa pendampingan asisten yang terlatih meningkatkan kualitas pembelajaran praktikum (AJ et al., 2025). Akan tetapi, kajian-kajian tersebut umumnya berfokus pada aspek administratif dan sarana inventaris, jadwal, dan pemeliharaan alat dan jarang mengaitkan fungsi manajerial dengan model pembelajaran tertentu maupun dengan pengalaman belajar mahasiswa.

Dengan demikian, kedua kelompok literatur tersebut berkembang secara paralel: penelitian PSL mengandaikan kondisi pengelolaan yang memadai, sedangkan penelitian manajemen laboratorium belum menjadikan model pembelajaran sebagai sasaran tata kelola. Hal yang belum diketahui adalah bagaimana setiap fungsi POAC dioperasionalkan secara konkret siapa melakukan apa, dengan dokumen apa, dan melalui mekanisme pengendalian apa untuk menaungi siklus PSL secara utuh sepanjang satu semester, serta pola capaian dan pengalaman belajar seperti apa yang menyertainya. Kesenjangan ini penting karena tiga alasan. Pertama, tanpa tata kelola yang eksplisit, tahap-tahap PSL yang paling menuntut penalaran berisiko disederhanakan kembali menjadi prosedur *cookbook* ketika sumber daya terbatas, sehingga manfaat PSL yang dilaporkan dalam studi eksperimental sulit dipertahankan dalam praktik rutin. Kedua, keterbatasan tenaga pengelola laboratorium kerap menjadi tantangan pada program studi kependidikan di perguruan tinggi swasta daerah, sehingga model pembagian peran dosen–asisten yang terdokumentasi memiliki nilai praktis langsung. Ketiga, mahasiswa calon guru fisika kelak akan mengelola laboratorium sekolah, sehingga pengalaman mengikuti praktikum yang dikelola secara sistematis sekaligus menjadi contoh tata kelola yang dapat mereka adaptasi.

Luaran yang ditelusuri dalam integrasi POAC–PSL tidak terbatas pada capaian kognitif, tetapi juga mencakup dimensi afektif yang relevan dengan berpikir kritis. Kekaguman ilmiah (*scientific awe*) didefinisikan sebagai respons emosional terhadap stimulus yang dipersepsikan luas atau kompleks (*perceived vastness*) dan menuntut penyesuaian skema kognitif (*need for accommodation*) (Keltner & Haidt, 2003). Kecenderungan mengalami kekaguman berkaitan dengan dogmatisme yang lebih rendah dan keterbukaan terhadap penjelasan ilmiah (Gottlieb et al., 2018), kekaguman mendorong pencarian penjelasan (Valdesolo et al., 2017), serta meningkatkan kesadaran akan kesenjangan pengetahuan dan minat sains (McPhetres, 2019). Kekaguman juga dapat dimanfaatkan secara pedagogis untuk memperkuat pembelajaran sains (Jones et al., 2022) dan dilaporkan oleh ilmuwan profesional sebagai bagian dari proses penemuan ilmiah (Cuzzolino, 2021; De Cruz, 2020). Struktur PSL secara inheren menghadapkan mahasiswa pada prediksi yang tidak terbukti, pola tersembunyi dalam data, dan keteraturan hukum alam kondisi yang secara teoretis berpotensi memicu kekaguman ilmiah namun kemunculannya dalam praktikum PSL yang dikelola secara terstruktur belum banyak didokumentasikan.

Konteks penelitian ini adalah mata kuliah Eksperimen Fisika Dasar 2 (EFD2), mata kuliah wajib berbobot 2 SKS praktik pada semester 2 Program Studi Pendidikan Fisika, Fakultas Pendidikan Islam dan Keguruan (FPIK), Universitas Garut (UNIGA), yang menargetkan kemampuan merancang praktikum berbasis PSL, menghitung ketidakpastian pengukuran, melaksanakan eksperimen secara

berkelompok, serta menyusun dan mempresentasikan laporan ilmiah secara sistematis. Sembilan topik praktikum mekanika, kalor, optik, serta listrik dan magnet yaitu Kalorimeter, Lensa Cembung, Hukum Ohm, Induksi Elektromagnetik, Rheostat, Resistor, Lampu Pijar, Pesawat Atwood, dan Trafo perlu dikelola secara terstruktur agar setiap sesi melatih penalaran, bukan sekadar keterampilan teknis mengoperasikan alat. Kebaruan penelitian ini terletak pada pendeskripsian utuh integrasi POAC–PSL, yaitu bagaimana setiap fungsi manajemen dirancang untuk menaungi tahap-tahap PSL melalui pembagian peran eksplisit antara dosen pengampu dan tiga asisten laboratorium, yang dipadukan dengan pola capaian mahasiswa dan pengalaman kekaguman ilmiah mereka dalam satu kasus. Tujuan penelitian ini adalah (1) mendeskripsikan desain transformasi manajemen laboratorium berbasis POAC pada mata kuliah EFD2; (2) mendeskripsikan integrasi struktur PSL ke dalam modul praktikum dan keselarasannya dengan indikator berpikir kritis; (3) mendeskripsikan pola capaian mahasiswa selama implementasi sebagai indikasi awal keterlaksanaan model; dan (4) mendeskripsikan tema kekaguman ilmiah yang muncul dalam refleksi tertulis mahasiswa serta keterkaitannya secara deskriptif dengan pola capaian per modul.

METODE

Penelitian ini menggunakan desain studi kasus tunggal (*single case study*) yang bersifat deskriptif (Yin, 2018) dengan strategi metode campuran konvergen berskala kecil (*convergent mixed methods*) (Creswell & Plano Clark, 2018). Kasus yang dikaji adalah implementasi manajemen laboratorium berbasis POAC–PSL pada satu kelas EFD2 sebagai unit analisis. Data kualitatif (dokumen manajerial dan refleksi tertulis mahasiswa) menjadi bukti utama untuk menjawab bagaimana transformasi dirancang dan dilaksanakan serta bagaimana kekaguman ilmiah muncul. Data kuantitatif (skor laporan praktikum) diposisikan sebagai bukti pendukung yang menggambarkan pola capaian selama implementasi; data ini dianalisis secara deskriptif dan tidak digunakan untuk menguji hipotesis maupun melakukan generalisasi statistik. Kedua jenis data dikumpulkan secara paralel sepanjang semester, dianalisis secara terpisah, lalu dipadukan pada tahap interpretasi. Keterkaitan antara tujuan penelitian, sumber data, teknik analisis, dan posisi setiap jenis bukti dalam temuan disajikan pada Tabel 1.

Tabel 1. Matriks Tujuan Penelitian, Sumber Data, Teknik Analisis, dan Posisi Bukti

Tujuan Penelitian	Sumber Data/Instrumen	Teknik Analisis	Posisi dalam Temuan
(1) Desain transformasi manajemen berbasis POAC	RPS, deskripsi tugas dosen asisten, jadwal pendampingan, catatan pelaksanaan dan refleksi mingguan tim	Analisis dokumen: reduksi, penyajian, penarikan simpulan (Miles & Huberman, 1994)	Bukti utama (kualitatif); Tabel 2
(2) Integrasi PSL dan indikator KBK	Modul praktikum EFD2 dan rubrik penilaian laporan	Analisis isi dan pemetaan konseptual terhadap indikator Ennis (2015)	Bukti utama (kualitatif); Tabel 3
(3) Pola capaian mahasiswa	Skor laporan praktikum pada 9 modul (rubrik empat aspek)	Statistik deskriptif (rerata, SD, rentang) dan tren linear sederhana	Bukti pendukung (kuantitatif); Tabel 4–6, Gambar 1
(4) Tema kekaguman ilmiah	Refleksi tertulis mahasiswa	Analisis tematik deduktif (Braun & Clarke, 2006), dipadukan per modul dengan skor	Bukti utama (kualitatif) dan integrasi; Tabel 7

Waktu, Tempat, dan Subjek Penelitian

Penelitian dilaksanakan pada semester Genap Tahun Akademik 2025/2026 di Laboratorium Fisika Program Studi Pendidikan Fisika, Fakultas Pendidikan Islam dan Keguruan, Universitas Garut, bersamaan dengan perkuliahan EFD2 yang berlangsung selama 16 kali pertemuan (termasuk UTS dan UAS) mengikuti Rencana Pembelajaran Semester (RPS) bernomor dokumen FAA-UNIGA-001 (Universitas Garut, 2026). Subjek penelitian adalah seluruh mahasiswa peserta mata kuliah EFD2 pada semester berjalan ($N = 5$) yang ditentukan melalui teknik sampling jenuh (*total sampling*) mengingat populasi kelas yang kecil sebagai konsekuensi struktur akademik program studi pada semester tersebut. Pengelolaan pembelajaran dilaksanakan oleh satu dosen pengampu selaku koordinator laboratorium dan tiga asisten laboratorium yang mendampingi sembilan sesi praktikum. Dosen pengampu sekaligus berperan sebagai peneliti; posisi ganda ini disadari sebagai potensi bias dan dibahas pada bagian keterbatasan. Identitas mahasiswa disamarkan menggunakan kode P1–P5.

Desain Transformasi Manajemen Laboratorium

Transformasi manajemen laboratorium dirancang mengikuti empat fungsi POAC (Terry, 1953) yang diadaptasi ke dalam konteks pengelolaan praktikum (Narindro et al., 2020). Pada fungsi *Planning*, dosen pengampu menyusun RPS yang memetakan Capaian Pembelajaran Lulusan (CPL), Capaian Pembelajaran Mata Kuliah (CPMK), dan Sub-CPMK ke dalam sembilan modul praktikum berbasis PSL (Muhajir, 2025) beserta rubrik penilaiannya. Pada fungsi *Organizing*, ditetapkan pembagian peran eksplisit antara dosen pengampu dan tiga asisten laboratorium yang mencakup penyiapan alat dan bahan, pendampingan kelompok pada tahap eksplorasi, dan penilaian. Pada fungsi *Actuating*, seluruh modul dilaksanakan mengikuti siklus PSL. Pada fungsi *Controlling*, keterlaksanaan dipantau melalui penilaian laporan praktikum dan refleksi mingguan antara dosen dan tim asisten. Selain itu, kuis *pretest* konsep dan observasi keterampilan proses (mengukur, kerja sama, prosedur, serta keselamatan dan kesehatan kerja/K3) digunakan sebagai alat pengendalian formatif, yakni untuk memberikan umpan balik segera kepada mahasiswa dan menyesuaikan pendampingan pada sesi berikutnya. Kedua alat formatif tersebut dideskripsikan sebagai bagian dari desain manajerial yang dikaji, tetapi tidak dianalisis sebagai data penelitian karena tidak dirancang untuk menjawab tujuan penelitian; data penelitian dibatasi pada sumber yang tercantum dalam Tabel 1.

Modul PSL dan Instrumen Penelitian

Modul praktikum disusun mengikuti kerangka PSL yang terdiri atas delapan tahap: *Problem* (masalah kontekstual sehari-hari), *Equipment* (pengenalan alat dan variabel ukur), *Prediction* (prediksi awal berbasis konsepsi mahasiswa), *Method Questions* (pertanyaan pemandu perancangan prosedur), *Exploration* (eksplorasi alat dan rentang pengukuran), *Measurement* (pengumpulan dan pengolahan data), *Analysis* (analisis data dan perbandingan dengan prediksi), serta *Conclusion* (penarikan simpulan) (Heller et al., 1997). Penyusunan instrumen penilaian mengacu pada prinsip evaluasi pembelajaran fisika, yaitu keselarasan antara indikator penilaian, capaian pembelajaran, dan karakteristik aktivitas praktikum (Muhajir et al., 2025).

Instrumen kuantitatif penelitian adalah rubrik penilaian laporan praktikum individual yang dikembangkan dosen pengampu dari Sub-CPMK dalam RPS (Universitas Garut, 2026) melalui tiga langkah: (1) menurunkan aspek penilaian dari Sub-CPMK dan tahap-tahap PSL; (2) merumuskan deskriptor tingkat capaian untuk setiap aspek; dan (3) menetapkan bobot sesuai penekanan capaian pembelajaran. Rubrik memuat empat aspek, yaitu Data dan Analisis (bobot 40%) yang merepresentasikan tahap *Measurement* dan *Analysis*; Pemecahan Masalah (30%) yang merepresentasikan tahap *Problem*, *Prediction*, dan *Conclusion*; Sistematika (20%); serta Bahasa (10%). Setiap aspek diberi skor pada skala 0–100 berdasarkan deskriptornya, kemudian skor akhir laporan

dihitung sebagai jumlah berbobot, yaitu $\text{Skor} = 0,40(\text{DA}) + 0,30(\text{PM}) + 0,20(\text{S}) + 0,10(\text{B})$. Dengan demikian, 70% skor laporan berasal dari aspek yang paling dekat dengan penalaran ilmiah dan pemecahan masalah, sedangkan 30% sisanya mencerminkan kualitas komunikasi ilmiah.

Validitas isi rubrik ditelaah oleh dua orang Dosen terhadap kesesuaian aspek, deskriptor, dan bobot dengan Sub-CPMK. Laporan praktikum dinilai oleh asisten laboratorium dengan konsistensi penskoran sesuai rubrik penilaian.

Instrumen Refleksi Kekaguman Ilmiah (*Scientific Awe*)

Data afektif dikumpulkan melalui refleksi tertulis yang disusun mahasiswa setelah modul-modul tertentu, berisi pengalaman subjektif mereka saat menemukan pola dalam data, mengalami kejutan konseptual, atau menyadari keluasan hukum fisis yang dipelajari. Kerangka analisis mengacu pada dua dimensi appraisal inti kekaguman (Keltner & Haidt, 2003; Gottlieb et al., 2018), yaitu *perceived vastness* (persepsi keluasan atau kompleksitas objek yang diamati) dan *need for accommodation* (kebutuhan menyesuaikan skema kognitif akibat pengalaman yang melampaui kerangka berpikir sebelumnya), yang diperluas dengan dua tema turunan yang relevan dengan pembelajaran sains, yaitu *epistemic curiosity* (McPhetres, 2019; Valdesolo et al., 2017) dan *intellectual humility* yang berakar pada konsep *small self* (Piff et al., 2015).

Teknik Analisis dan Integrasi Data

Analisis dilakukan melalui tiga jalur yang kemudian dipadukan. Pertama, data dokumen (RPS, modul, rubrik, deskripsi tugas, dan catatan pelaksanaan) dianalisis melalui reduksi, penyajian, dan penarikan simpulan (Miles & Huberman, 1994) untuk menjawab tujuan (1) dan (2). Kedua, skor laporan praktikum dianalisis secara deskriptif rerata, simpangan baku (SD), dan rentang per modul maupun per mahasiswa dilanjutkan dengan regresi linear sederhana rerata skor kelas (dan skor tiap mahasiswa) terhadap urutan modul, yang digunakan semata untuk meringkas arah dan konsistensi tren melalui nilai kemiringan (*slope*) dan R^2 , bukan untuk pengujian signifikansi. Ketiga, refleksi mahasiswa dianalisis melalui pengodean tematik deduktif (Braun & Clarke, 2006) berdasarkan empat tema pada kerangka di atas; setiap satuan makna diberi kode tema beserta modul asalnya.

Skor dikategorikan menggunakan kriteria penilaian acuan patokan lima kategori berinterval sama pada skala 0–100, yaitu 81–100 (Sangat Baik), 61–80 (Baik), 41–60 (Cukup), 21–40 (Kurang), dan 0–20 (Sangat Kurang). Karena kategori tersebut bersifat absolut dan intervalnya relatif lebar, interpretasi tidak bertumpu pada label kategori, melainkan pada nilai rerata, variasi, dan tren skor.

Integrasi data kuantitatif dan kualitatif dilakukan pada tahap interpretasi dengan modul praktikum sebagai unit penghubung: tema kekaguman yang muncul pada suatu modul disandingkan dengan rerata dan SD skor modul yang sama (Tabel 5 dan Tabel 7), kemudian dicermati apakah kedua jenis bukti saling menguatkan (konvergen), saling melengkapi, atau berbeda arah (divergen) (Creswell & Plano Clark, 2018). Kredibilitas temuan diupayakan melalui triangulasi sumber (dokumen, skor, dan refleksi) serta penyajian kutipan asli mahasiswa. Mengingat jumlah subjek yang kecil ($N = 5$), seluruh analisis diarahkan pada deskripsi pola sebagai temuan awal (*pilot findings*), bukan pada inferensi statistik.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil

Desain Transformasi Manajemen Laboratorium Berbasis POAC

Transformasi manajemen laboratorium EFD2 menghasilkan matriks aktivitas konkret pada setiap fungsi POAC sebagaimana disajikan pada Tabel 2. Ciri utama transformasi ini adalah pembagian peran yang

eksplisit antara dosen pengampu dan tiga asisten laboratorium pada setiap fungsi manajemen, sebagai pengganti pola pengelolaan konvensional yang menumpukan fungsi manajerial pada dosen.

Tabel 2. Matriks Transformasi Manajemen Laboratorium EFD2 Berbasis POAC

Fungsi Manajemen	Aktivitas Konkret	Penanggung Jawab	Output/Dokumen
<i>Planning</i>	Pemetaan CPL–CPMK–Sub-CPMK; penyusunan 9 modul praktikum berbasis PSL; penjadwalan 16 pertemuan	Dosen pengampu	RPS (FAA-UNIGA-001); Modul PSL
<i>Organizing</i>	Pembagian peran dosen dan 3 asisten lab; penetapan rasio pendampingan kelompok	Dosen & asisten lab	Deskripsi tugas asisten; jadwal pendampingan
<i>Actuating</i>	Pelaksanaan siklus 8 tahap PSL pada 9 sesi praktikum; diskusi kelompok; pendampingan asisten	Dosen & asisten lab	Modul PSL; catatan pelaksanaan
<i>Controlling</i>	Penilaian laporan praktikum; refleksi mingguan tim; kuis <i>pretest</i> dan observasi keterampilan proses (formatif)	Dosen & asisten lab	Rubrik dan skor laporan; catatan refleksi tim; umpan balik formatif

Struktur pada Tabel 2 menunjukkan bahwa setiap fungsi manajemen diterjemahkan ke dalam aktivitas dan dokumen yang konkret serta dapat diverifikasi, sehingga pelaksanaan praktikum mengikuti alur kerja yang direncanakan sejak awal semester dan tidak bergantung pada inisiatif situasional dosen maupun asisten. Pada fungsi *Controlling*, penilaian laporan dan refleksi mingguan tim menjadi mekanisme pengendalian utama, sedangkan kuis *pretest* dan observasi keterampilan proses berperan sebagai umpan balik formatif.

Integrasi Struktur PSL dan Indikator Berpikir Kritis

Kesembilan modul praktikum EFD2 disusun mengikuti delapan tahap PSL yang secara konseptual dipetakan terhadap lima indikator berpikir kritis Ennis (2015). Untuk keperluan pemetaan, tahap-tahap yang berlangsung berurutan dan memiliki fungsi kognitif serupa dikelompokkan, sehingga delapan tahap tersebut tersaji dalam enam baris pada Tabel 3. Sebagai ilustrasi, pada modul Kalorimeter mahasiswa dihadapkan pada masalah kontekstual mengenai kapasitas panas minuman (tahap *Problem*), kemudian merumuskan prediksi awal sebelum mengukur suhu campuran (tahap *Prediction*); pada modul Lensa Cembung, mahasiswa merumuskan masalah penentuan titik fokus lensa okuler dan objektif teleskop sebelum menyusun rangkaian optik dan menguji prediksinya.

Tabel 3. Pemetaan Tahap PSL terhadap Indikator Berpikir Kritis Ennis (2015)

Tahap PSL	Aktivitas Mahasiswa	Indikator KBK (Ennis, 2015)
<i>Problem</i>	Mengidentifikasi masalah kontekstual sehari-hari (mis. kapasitas panas cappuccino, fokus lensa teleskop)	<i>Elementary clarification</i>
<i>Equipment & Prediction</i>	Mengenali alat/variabel ukur dan merumuskan dugaan awal	<i>Basic support</i>
<i>Method Questions</i>	Menyusun langkah kerja dan mencari rujukan konsep (mis. Asas Black)	<i>Inference</i>

Tahap PSL	Aktivitas Mahasiswa	Indikator KBK (Ennis, 2015)
<i>Exploration & Measurement</i>	Mengumpulkan dan menghitung data hasil pengukuran	<i>Inference</i>
<i>Analysis</i>	Membandingkan prediksi dengan hasil dan mengevaluasi sumber	<i>Advanced clarification</i>
<i>Conclusion</i>	Menyimpulkan dan merefleksikan temuan	<i>Strategy and tactics</i>

Pemetaan pada Tabel 3 menunjukkan bahwa struktur PSL tidak hanya menjadi kerangka teknis pelaksanaan praktikum, tetapi secara konseptual juga berfungsi sebagai *scaffolding* bagi kelima indikator berpikir kritis secara berurutan dalam satu sesi praktikum. Pemetaan ini bersifat analitis berdasarkan dokumen modul dan belum diukur secara langsung pada mahasiswa.

Gambaran Capaian Mahasiswa

Data kuantitatif capaian mahasiswa peserta EFD2 (N = 5) diperoleh dari skor laporan praktikum pada sembilan modul PSL yang dilaksanakan berurutan selama satu semester. Skor setiap partisipan (P1–P5) pada setiap modul disajikan pada Tabel 4.

Tabel 4. Skor Laporan Praktikum Mahasiswa EFD2 per Modul (Skala 0–100)

Modul	P1	P2	P3	P4	P5
Modul 1 Kalorimeter	87	87	88	89	85
Modul 2 Lensa Cembung	88	90	97	88	83
Modul 3 Hukum Ohm	86	96	98	92	87
Modul 4 Induksi Elektromagnetik	94	94	94	87	87
Modul 5 Rheostat	95	95	97	88	90
Modul 6 Resistor	93	94	95	86	96
Modul 7 Lampu Pijar	96	98	99	94	94
Modul 8 Pesawat Atwood	91	93	97	95	95
Modul 9 Trafo	98	95	97	93	94

Rekapitulasi rerata, simpangan baku (SD), dan rentang skor kelas pada tiap modul disajikan pada Tabel 5, sedangkan rerata dan SD capaian tiap mahasiswa sepanjang sembilan modul disajikan pada Tabel 6.

Tabel 5. Rerata, Simpangan Baku, dan Rentang Skor Kelas per Modul

Modul	Rerata (x)	SD	Rentang	Kategori
Modul 1 – Kalorimeter	87,20	1,48	85–89	Sangat Baik
Modul 2 – Lensa Cembung	89,20	5,07	83–97	Sangat Baik
Modul 3 – Hukum Ohm	91,80	5,31	86–98	Sangat Baik
Modul 4 – Induksi Elektromagnetik	91,20	3,83	87–94	Sangat Baik
Modul 5 – Rheostat	93,00	3,81	88–97	Sangat Baik
Modul 6 – Resistor	92,80	3,96	86–96	Sangat Baik

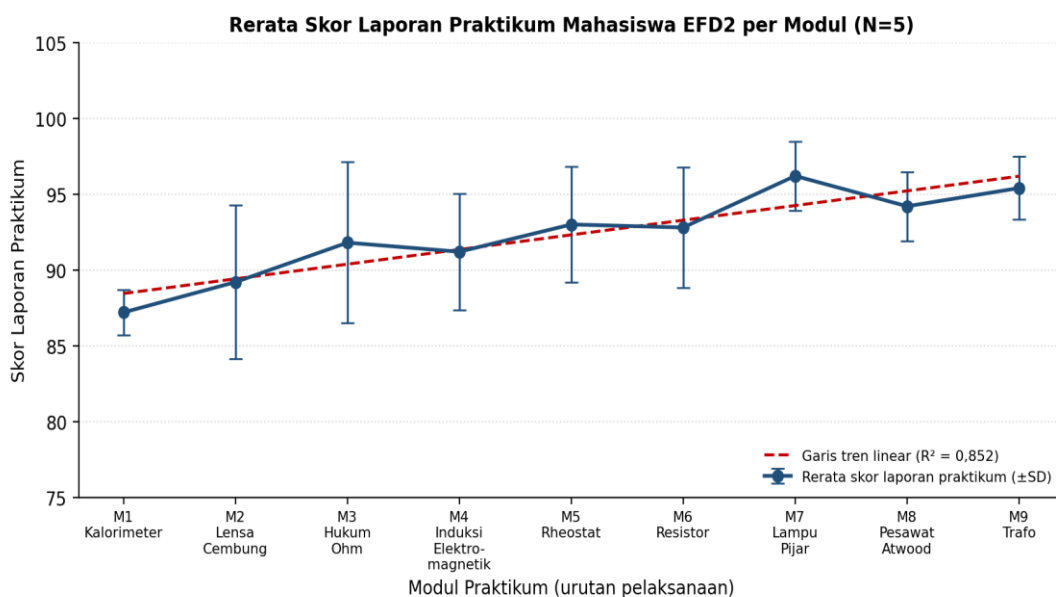
Modul	Rerata ($\bar{x}$)	SD	Rentang	Kategori
Modul 7 – Lampu Pijar	96,20	2,28	94–99	Sangat Baik
Modul 8 – Pesawat Atwood	94,20	2,28	91–97	Sangat Baik
Modul 9 – Trafo	95,40	2,07	93–98	Sangat Baik

Tabel 6. Rerata dan Simpangan Baku Capaian Tiap Mahasiswa (9 Modul)

Kode Partisipan	Rerata ($\bar{x}$)	SD	Keterangan
P1	92,00	4,24	Rentang skor keseluruhan 83–99; rerata kelas 92,33 (SD 4,25)
P2	93,56	3,28	
P3	95,78	3,27	
P4	90,22	3,31	
P5	90,11	4,81	

Secara keseluruhan, rerata skor seluruh mahasiswa pada seluruh modul adalah 92,33 (SD = 4,25) dengan rentang 83–99; berdasarkan kriteria yang dijelaskan pada bagian Metode, seluruh skor berada pada kategori Sangat Baik. Pada tingkat individu, P3 mencatatkan rerata tertinggi (95,78), diikuti P2 (93,56), P1 (92,00), P4 (90,22), dan P5 (90,11). Tingginya skor sejak modul awal mengindikasikan adanya efek plafon (*ceiling effect*) pada rubrik, sehingga perbedaan capaian lebih informatif dibaca melalui rerata, variasi, dan tren skor daripada melalui label kategori.

Pola yang lebih informatif tampak pada tren rerata skor kelas dari modul ke modul, sebagaimana divisualisasikan pada Gambar 1. Rerata skor meningkat dari 87,20 pada Modul 1 (Kalorimeter) menjadi 95,40 pada Modul 9 (Trafo), atau selisih 8,20 poin. Regresi linear sederhana terhadap rerata skor kelas sepanjang sembilan modul menghasilkan kemiringan 0,97 poin per modul dengan $R^2 = 0,852$, yang menggambarkan tren peningkatan yang cukup konsisten meskipun tidak monoton (rerata sempat menurun pada Modul 4, Modul 6, dan Modul 8). Pada tingkat individu, kelima mahasiswa menunjukkan kemiringan tren positif, dengan kenaikan terbesar pada P5 (1,58 poin/modul) dan P1 (1,20 poin/modul), sedangkan P2, P4, dan P3 berkisar 0,65–0,75 poin/modul. SD kelas juga menyempit pada modul-modul akhir (SD Modul 7–9 berkisar 2,07–2,28) dibandingkan modul-modul tengah (SD Modul 2–6 berkisar 3,81–5,31), yang menunjukkan capaian antarmahasiswa semakin merata menjelang akhir semester.



Gambar 1. Tren Rerata Skor Laporan Praktikum Mahasiswa EFD2 per Modul (N=5)

Kekaguman Ilmiah (Scientific Awe) dalam Refleksi Mahasiswa

Analisis tematik terhadap refleksi tertulis mahasiswa menghasilkan empat tema kekaguman ilmiah yang muncul pada modul-modul yang berbeda, sebagaimana disajikan pada Tabel 7. Keempat tema tersebut tersebar pada modul dan tahap PSL yang berlainan, yang mengindikasikan bahwa kekaguman ilmiah dapat muncul di berbagai titik sepanjang siklus praktikum, bukan hanya pada satu momen tertentu.

Tabel 7. Tema Kekaguman Ilmiah (*Scientific Awe*) dalam Refleksi Tertulis Mahasiswa

Tema Kekaguman Ilmiah	Modul (Konteks)	Kutipan Ilustratif Mahasiswa	Ref.
<i>Perceived Vastness</i>	Modul 1 – Kalorimeter	“Saya tersadar bahwa rumus yang sedang kami hitung ... adalah rumus yang sama yang menjaga keseimbangan energi termal di seluruh galaksi... Keteraturan ini terasa begitu megah dan indah.”	a
<i>Perceived Vastness</i>	Modul 9 – Trafo	“Saya membayangkan trafo kecil di meja praktikum kami bekerja dengan prinsip kemagnetan tersembunyi yang sama persis dengan jaringan mega-transformator yang mengalirkan listrik ke seluruh kota...”	a
<i>Need for Accommodation</i>	Modul 7 – Lampu Pijar	“Prediksi awal saya... hubungan tegangan dan arus pasti akan linier sempurna sesuai hukum Ohm... Namun, grafik yang terbentuk justru melengkung tidak linier! Detik itu saya terperangah. Teori pribadi saya runtuh...”	b
<i>Epistemic Curiosity</i>	Modul 4 – Induksi Elektromagnetik	“Menyaksikan energi gerak mekanik saya berubah seketika menjadi energi listrik tanpa sentuhan fisik... memicu rasa penasaran yang luar biasa... Saya terus mencoba membalik kutub magnet dan menambah lilitan...”	c

Tema Kekaguman Ilmiah	Modul (Konteks)	Kutipan Ilustratif Mahasiswa	Ref.
<i>Intellectual Humility</i>	Modul 2 – Lensa Cembung	“Menghitung titik fokus lensa membuat saya merasa sangat kecil. Semakin kita menguliti hukum-hukum optik yang presisi ini, semakin kita disadarkan bahwa kecerdasan manusia tidak ada apa-apanya...”	d

Keterangan rujukan tema: (a) *perceived vastness* mengacu pada Keltner dan Haidt (2003) serta Gottlieb et al. (2018); (b) *need for accommodation* mengacu pada Keltner dan Haidt (2003); (c) *epistemic curiosity* mengacu pada McPhetres (2019) dan Valdesolo et al. (2017); (d) *intellectual humility/small self* mengacu pada Piff et al. (2015).

Tema *perceived vastness* muncul pada modul di awal dan akhir semester (Modul 1 dan Modul 9), masing-masing dipicu oleh kesadaran bahwa hukum fisis yang dipelajari berlaku universal (Asas Black) dan bahwa prinsip kerja alat laboratorium berskala kecil identik dengan sistem infrastruktur berskala kota. Tema *need for accommodation* muncul pada Modul 7 (Lampu Pijar), tepat ketika prediksi awal mahasiswa mengenai hubungan tegangan–arus yang linier tidak terbukti oleh data empiris yang menunjukkan kurva non-linier ilustrasi konkret dari tahap *Analysis* dalam kerangka PSL (Tabel 3). Tema *epistemic curiosity* pada Modul 4 (Induksi Elektromagnetik) ditandai eksplorasi mandiri mahasiswa di luar instruksi baku (membalik kutub magnet dan menambah lilitan), sedangkan tema *intellectual humility* pada Modul 2 (Lensa Cembung) menunjukkan kesadaran reflektif mahasiswa akan keterbatasan kognisi manusia di hadapan presisi hukum optik.

Pembahasan

Tren peningkatan rerata skor laporan dari 87,20 (Modul 1) menjadi 95,40 (Modul 9), dengan kemiringan 0,97 poin per modul ($R^2 = 0,852$), mengindikasikan bahwa performa mahasiswa dalam menerapkan tahapan PSL cenderung membaik seiring pengalaman menjalani siklus yang sama secara berulang. Pola ini sejalan dengan argumen Heller dan Hollabaugh (1992) bahwa kerangka pemecahan masalah yang eksplisit dan terstruktur, bukan sekadar instruksi prosedural yang menjadi prasyarat tumbuhnya penalaran tingkat tinggi dalam praktikum kelompok, karena keterpaparan berulang pada struktur *Problem–Equipment–Prediction–Method Questions–Exploration–Measurement–Analysis–Conclusion* memberi mahasiswa kesempatan berlatih bernalar secara konsisten. Arah temuan ini juga sejalan dengan Nugraha dan Kirana (2015), yang menemukan peningkatan seluruh aspek KBK versi Ennis setelah perkuliahan eksperimen fisika berbasis *problem solving* pada 15 mahasiswa, serta Malik et al. (2019) pada topik suhu dan kalor. Penyempitan SD pada modul akhir (2,07–2,28 pada Modul 7–9 dibandingkan 3,81–5,31 pada Modul 2–6), yang disertai kemiringan tren individual terbesar pada P5 mahasiswa dengan rerata terendah mengindikasikan bahwa struktur PSL yang konsisten berpotensi membantu mahasiswa yang semula tertinggal untuk mengejar performa kelompoknya.

Meskipun demikian, tren tersebut perlu dimaknai secara hati-hati. Skor diperoleh dari laporan praktikum dengan topik yang berbeda pada setiap modul, bukan dari tes KBK identik dalam kondisi *pretest–posttest*, sehingga peningkatannya tidak setara dengan *N-Gain* pada penelitian-penelitian di atas. Setidaknya terdapat tiga penjelasan alternatif yang tidak dapat dikesampingkan oleh desain ini, yaitu perbedaan tingkat kesulitan antartopik, meningkatnya keterbiasaan mahasiswa terhadap format laporan dan kriteria rubrik, serta kemungkinan bias penilai karena penilaian dilakukan oleh tim pengajar yang juga terlibat dalam implementasi. Oleh karena itu, peningkatan skor lebih tepat dimaknai sebagai indikasi menguatnya penerapan keterampilan pemecahan masalah dan penalaran ilmiah dalam laporan seiring keterbiasaan dengan kerangka PSL, bukan sebagai bukti langsung peningkatan KBK.

Dari sisi manajerial, dokumen pelaksanaan menunjukkan bahwa kesembilan sesi praktikum terlaksana mengikuti siklus PSL dengan pembagian peran yang telah ditetapkan. Kerangka POAC dalam

hal ini berfungsi sebagai kondisi pendukung (*enabling condition*): *Planning* memastikan setiap modul memiliki masalah kontekstual dan rubrik yang selaras dengan Sub-CPMK, *Organizing* mendistribusikan beban pendampingan kepada tiga asisten, dan *Controlling* melalui refleksi mingguan tim menyediakan ruang penyesuaian dari sesi ke sesi. Namun, karena penelitian ini tidak melibatkan kelas pembanding dan tidak menguji signifikansi, kontribusi POAC terhadap keterlaksanaan PSL maupun terhadap pola capaian tidak dapat diisolasi dan hanya dapat dimaknai sebagai keterkaitan kontekstual. Dalam batas tersebut, temuan ini sejalan dengan Gusmanto (2023) dan Husnari (2024) yang menempatkan lemahnya perencanaan dan pengawasan sebagai akar rendahnya kualitas layanan laboratorium, serta dengan Narindro et al. (2020) mengenai manfaat fungsi POAC dalam pengelolaan program akademik. Pembagian peran dosen dan asisten juga relevan dengan temuan AJ et al. (2025) bahwa penguatan kapasitas asisten laboratorium meningkatkan kualitas pendampingan praktikum. Rasio pendampingan yang kecil yakni satu dosen dan tiga asisten untuk lima mahasiswa memungkinkan umpan balik yang lebih personal pada tahap *Method Questions* dan *Analysis*, dua tahap PSL yang paling menuntut interaksi dialogis; namun, rasio ini sekaligus merupakan kondisi khusus yang membatasi keteralihan model ke kelas berukuran besar.

Pemaduan data kekaguman ilmiah dengan capaian per modul menghasilkan pola yang tidak seragam. Konvergensi tampak pada Modul 7 (Lampu Pijar), tempat tema *need for accommodation* muncul ketika prediksi hubungan tegangan–arus yang linier tidak terbukti oleh kurva non-linier hasil pengukuran; modul ini sekaligus memiliki rerata kelas tertinggi (96,20) dengan SD yang kecil (2,28). Hal serupa tampak pada Modul 9 (Trafo), tempat tema *perceived vastness* kedua muncul dengan rerata 95,40. Kesesuaian ini sejalan dengan Gottlieb et al. (2018) yang mengaitkan kekaguman dengan keterbukaan berpikir, serta dengan Cuzzolino (2021) yang menempatkan kekaguman sebagai bagian dari proses ilmiah. Sebaliknya, divergensi tampak pada tema *perceived vastness* di Modul 1 (rerata terendah, 87,20), *intellectual humility* di Modul 2 (89,20; SD 5,07), dan *epistemic curiosity* di Modul 4 (91,20; rerata yang sempat menurun), yang muncul pada modul dengan capaian relatif lebih rendah. Divergensi ini menunjukkan bahwa kekaguman ilmiah tidak semata menyertai performa tinggi; kekaguman dapat muncul justru ketika mahasiswa berhadapan dengan hal yang belum mereka kuasai, sejalan dengan McPhetres (2019) bahwa kekaguman meningkatkan kesadaran akan kesenjangan pengetahuan. Dengan demikian, kekaguman ilmiah lebih tepat dipandang sebagai pengalaman afektif yang dapat dipicu oleh berbagai tahap PSL seperti pengamatan keteraturan, runtuhnya prediksi, maupun eksplorasi mandiri, dan berpotensi dimanfaatkan secara pedagogis (Valdesolo et al., 2017; Jones et al., 2022), bukan sebagai penanda capaian. Karena hanya didasarkan pada lima kutipan reflektif tanpa instrumen yang tervalidasi, pola ini bersifat ilustratif dan belum dapat digeneralisasikan.

Penelitian ini memiliki sejumlah keterbatasan. Pertama, jumlah subjek sangat kecil ($N = 5$) sebagai konsekuensi struktur akademik program studi, sehingga hasil tidak dapat digeneralisasikan secara statistik. Kedua, skor laporan praktikum bukan ukuran langsung KBK dan belum didukung instrumen tes berpikir kritis maupun kekaguman ilmiah yang tervalidasi secara psikometrik; skor yang tinggi sejak awal juga menunjukkan efek plafon. Ketiga, tidak adanya kelas pembanding membuat kontribusi POAC dan PSL tidak dapat dipisahkan dari faktor lain, seperti perbedaan topik dan keterbiasaan terhadap rubrik. Keempat, keterlibatan tim pengajar sebagai penilai sekaligus peneliti berpotensi menimbulkan bias, dan refleksi yang diminta secara terarah dapat mendorong mahasiswa menuliskan pengalaman yang dianggap diharapkan. Sejalan dengan rekomendasi Nisa et al. (2024) dan Putri et al. (2024) mengenai perlunya instrumen dan desain yang lebih kuat dalam kajian pemecahan masalah dan berpikir kritis pada pendidikan fisika di Indonesia, penelitian lanjutan disarankan menggunakan desain kuasi-eksperimen *pretest–posttest* dengan kelas pembanding, instrumen KBK dan kekaguman ilmiah yang tervalidasi, penilaian laporan oleh penilai independen disertai uji reliabilitas antarpemilai, serta populasi lintas angkatan atau kelas paralel.

SIMPULAN

Transformasi manajemen laboratorium EFD2 berbasis POAC terwujud dalam aktivitas, penanggung jawab, dan dokumen kerja yang terdefinisi pada setiap fungsi manajemen, dengan pembagian peran eksplisit antara dosen pengampu dan tiga asisten laboratorium. Kerangka tersebut menaungi pelaksanaan delapan tahap PSL pada sembilan modul praktikum yang secara konseptual selaras dengan lima indikator berpikir kritis Ennis. Selama implementasi, mahasiswa ($N = 5$) mencapai rerata skor laporan 92,33 ($SD = 4,25$), dengan rerata kelas meningkat dari 87,20 pada Modul 1 menjadi 95,40 pada Modul 9 (kemiringan 0,97 poin/modul; $R^2 = 0,852$) dan variasi antarmahasiswa yang menyempit pada modul akhir. Refleksi tertulis mahasiswa memuat empat tema kekaguman ilmiah (*scientific awe*) *perceived vastness*, *need for accommodation*, *epistemic curiosity*, dan *intellectual humility* yang muncul baik pada modul bercapaian rendah maupun tinggi, sehingga kekaguman ilmiah lebih tepat dipandang sebagai pengalaman afektif yang dipicu oleh berbagai tahap PSL daripada sebagai penanda capaian. Secara keseluruhan, temuan ini memberikan indikasi awal bahwa integrasi POAC–PSL dapat dilaksanakan secara konsisten dan disertai pola capaian yang membaik dalam konteks kelas kecil. Sebagai studi kasus tunggal tanpa kelas pembandingan dan instrumen tervalidasi, temuan ini belum dapat digeneralisasikan; replikasi dengan desain kuasi-eksperimen, instrumen berpikir kritis dan kekaguman ilmiah yang tervalidasi, serta populasi yang lebih besar diperlukan sebelum model ini diterapkan pada mata kuliah praktikum lain di program studi kependidikan.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis menyampaikan terima kasih kepada Program Studi Pendidikan Fisika, Fakultas Pendidikan Islam dan Keguruan, Universitas Garut atas dukungan fasilitas laboratorium, serta kepada seluruh mahasiswa peserta mata kuliah Eksperimen Fisika Dasar 2 atas partisipasi aktifnya selama penelitian berlangsung.

DAFTAR PUSTAKA

- AJ, S., Raudhatussyah, R., Kriswantoro, K., & Arisha, B. (2025). Pelatihan kalorimetri terintegrasi Cassy Lab bagi asisten laboratorium pendidikan fisika. *Jurnal Abdimas Indonesia*, 5(1), 177–184. <https://doi.org/10.34697/jai.v5i1.1331>
- Amrullah, A., Firdaus, A., Adawiyah, L. R., Hasanah, A., & Arifin, B. S. (2024). The curriculum and learning systems at Muhammadiyah Boarding School Syamsul Ulum Bandung. *Bulletin of Science Education*, 4(2), 205–213. <https://attractivejournal.com/index.php/bse/index>
- Annisa, A., Farhana Haris, N., Vannes Farawasi, S., Junus, M., & Mutmainah, O. (2023). Evaluasi pengelolaan laboratorium fisika di Kota Samarinda. *Jurnal Literasi Pendidikan Fisika*, 4(1), 52–62. <https://doi.org/10.30872/jlpf.v4i1.1654>
- Braun, V., & Clarke, V. (2006). Using thematic analysis in psychology. *Qualitative Research in Psychology*, 3(2), 77–101. <https://doi.org/10.1191/1478088706qp063oa>
- Chu, S. K. W., Reynolds, R. B., Tavares, N. J., Notari, M., & Lee, C. W. Y. (2021). 21st century skills development through inquiry-based learning: From theory to practice. Springer International Publishing.
- Creswell, J. W., & Plano Clark, V. L. (2018). *Designing and conducting mixed methods research* (3rd ed.). SAGE Publications.
- Cuzzolino, M. P. (2021). “The awe is in the process”: The nature and impact of professional scientists’ experiences of awe. *Science Education*, 105(4), 681–706. <https://doi.org/10.1002/sce.21625>
- De Cruz, H. (2020). Awe and wonder in scientific practice: Implications for the relationship between science and religion. In M. Fuller, D. Evers, A. Runehov, K.-W. Sæther, & B. Michollet (Eds.), *Issues in science and theology: Nature – and beyond* (pp. 155–168). Cham: Springer.



- Defianti, A., Sutarno, S., & Johan, H. (2025). Developing undergraduate critical thinking skills in mechanics through the use of case method-based teaching materials with QR code videos. *Jurnal Penelitian & Pengembangan Pendidikan Fisika*, 11(1).
- Ennis, R. H. (2015). Critical thinking: A streamlined conception. In M. Davies & R. Barnett (Eds.), *The Palgrave handbook of critical thinking in higher education* (pp. 31–47). Palgrave Macmillan. https://doi.org/10.1057/9781137378057_2
- Fitriyani, D., Malik, A., & Chusni, M. M. (2022). Analysis of students' critical thinking ability in temperature and heat. *Jurnal Riset Fisika Edukasi dan Sains*, 9(2), 48–52. <https://doi.org/10.22202/jrfes.2022.v9i2.5867>
- Gottlieb, S., Keltner, D., & Lombrozo, T. (2018). Awe as a scientific emotion. *Cognitive Science*, 42(6), 2081–2094. <https://doi.org/10.1111/cogs.12648>
- Griffin, P., & Care, E. (2015). The ATC21S method. In P. Griffin & E. Care (Eds.), *Assessment and teaching of 21st century skills: Methods and approach* (pp. 3–33). Dordrecht: Springer. https://doi.org/10.1007/978-94-017-9395-7_1
- Gusmanto, R. (2023). Manajemen pengelolaan alat dan bahan di laboratorium Fakultas Tarbiyah dan Ilmu Keguruan (FTIK) IAIN Kerinci. *Leader: Jurnal Manajemen Pendidikan Islam*, 1(2), 112–121. <https://doi.org/10.32939/ljmpi.v1i2.3084>
- Heller, P., Foster, T., & Heller, K. (1997). Cooperative group problem solving laboratories for introductory classes. *AIP Conference Proceedings*, 399(1), 913–934. <https://doi.org/10.1063/1.53106>
- Heller, P., & Hollabaugh, M. (1992). Teaching problem solving through cooperative grouping. Part 2: Designing problems and structuring groups. *American Journal of Physics*, 60(7), 637–644. <https://doi.org/10.1119/1.17118>
- Heller, P., Keith, R., & Anderson, S. (1992). Teaching problem solving through cooperative grouping. Part 1: Group versus individual problem solving. *American Journal of Physics*, 60(7), 627–636. <https://doi.org/10.1119/1.17117>
- Husnari, S. (2024). Pelaksanaan pengelolaan laboratorium fisika di IAIN Palangka Raya. *Leader: Jurnal Manajemen Pendidikan Islam*, 2(1), 186–206.
- Jones, M. G., Nieuwsma, J., Rende, K., Carrier, S., Refvem, E., Delgado, C., Grifenhagen, J., & Huff, P. (2022). Leveraging the epistemic emotion of awe as a pedagogical tool to teach science. *International Journal of Science Education*, 44(16), 2485–2504. <https://doi.org/10.1080/09500693.2022.2133557>
- Keltner, D., & Haidt, J. (2003). Approaching awe, a moral, spiritual, and aesthetic emotion. *Cognition and Emotion*, 17(2), 297–314. <https://doi.org/10.1080/02699930302297>
- Khaeruddin, K., & Bancong, H. (2022). STEM education through PhET simulations: An effort to enhance students' critical thinking skills. *Jurnal Ilmiah Pendidikan Fisika Al-Biruni*, 11(1), 35–45. <https://doi.org/10.24042/jipfalbiruni.v11i1.10998>
- Liana, Y. R., & Nursuhud, P. I. (2020). Problem-based learning approach with supported interactive multimedia in physics learning: Its effects on critical thinking ability. *Jurnal Ilmu Pendidikan Fisika*, 5(2), 88–97. <https://doi.org/10.26737/jipf.v5i2.1765>
- Malik, A., Novita, Y., & Nuryantini, A. Y. (2019). Enhancing critical thinking skills of students related to temperature and heat topics through problem solving-laboratory model. *Jurnal Penelitian & Pengembangan Pendidikan Fisika*, 5(1), 9–20. <https://doi.org/10.21009/1.05102>
- McPhetres, J. (2019). Oh, the things you don't know: Awe promotes awareness of knowledge gaps and science interest. *Cognition and Emotion*, 33(8), 1599–1615. <https://doi.org/10.1080/02699931.2019.1585331>
- Miles, M. B., & Huberman, A. M. (1994). *Qualitative data analysis: An expanded sourcebook* (2nd ed.). Sage Publications.
- Muhajir. (2025). *Modul Eksperimen Fisika Dasar 2*. Garut: FPIK Universitas Garut.



- Muhajir, S. N., Mustika, M., Makiyah, Y. S., Theasy, Y., Amrullah, A., & Sari, D. K. (2025). Evaluasi pembelajaran fisika. Garut: PT Sigufi Artha Nusantara.
- Muliani, M., Siska, D., & Hasri, A. (2022). Pengembangan LKS (lembar kerja siswa) berbasis virtual lab berbantuan simulasi PhET untuk meningkatkan keterampilan berpikir kritis siswa pada materi getaran harmonik. *Relativitas: Jurnal Riset Inovasi Pembelajaran Fisika*, 5(1), 59–68.
- Narindro, L., Hardyanto, W., Raharjo, T. J., & Utomo, C. B. (2020). Analysis of implementation of POAC model and management information system for academic performance. In *Proceedings of the International Conference on Science and Education and Technology (ISET 2019)* (pp. 493–497). Atlantis Press. <https://doi.org/10.2991/assehr.k.200620.097>
- Nisa, K., Putri, S. A., & Kuswanto, H. (2024). A systematic literature review: Problem-solving skills in physics teaching. *Jurnal Penelitian & Pengembangan Pendidikan Fisika*, 10(1), 173–184. <https://doi.org/10.21009/1.10115>
- Nori, A., Zulirfan, & Ma'aruf, Z. (2019). An analysis of student's critical thinking skills in physics lesson in SMA 8 Pekanbaru. *Jurnal Geliga Sains: Jurnal Pendidikan Fisika*, 7(1), 11–17. <https://doi.org/10.31258/jgs.7.1.11-17>
- Nugraha, M. G., & Kirana, K. H. (2015). Profil keterampilan berpikir kritis mahasiswa fisika dalam perkuliahan eksperimen fisika berbasis problem solving. *Prosiding Seminar Nasional Fisika 2015*, IV, 201–204.
- Nurmahmuddin, A., Nana, & Rizal, R. (2023). The influence of e-module based on guided inquiry learning model on students' critical thinking skills in the topic of work and energy. *Gravity: Jurnal Ilmiah Penelitian dan Pembelajaran Fisika*, 9(2), 144–154.
- Piff, P. K., Dietze, P., Feinberg, M., Stancato, D. M., & Keltner, D. (2015). Awe, the small self, and prosocial behavior. *Journal of Personality and Social Psychology*, 108(6), 883–899. <https://doi.org/10.1037/pspi0000018>
- Putri, S. A., Nisa, K., & Kuswanto, H. (2024). Trends of physics critical thinking skill research in Indonesia: A systematic literature review. *Jurnal Penelitian & Pengembangan Pendidikan Fisika*, 10(1), 1–14. <https://doi.org/10.21009/1.10101>
- Terry, G. R. (1953). *Principles of management*. Richard D. Irwin.
- Universitas Garut, Program Studi Pendidikan Fisika. (2026). Rencana Pembelajaran Semester mata kuliah Eksperimen Fisika Dasar 2 (Kode Dokumen FAA-UNIGA-001) [Dokumen internal tidak diterbitkan]. Fakultas Pendidikan Islam dan Keguruan, Universitas Garut.
- Valdesolo, P., Shtulman, A., & Baron, A. S. (2017). Science is awe-some: The emotional antecedents of science learning. *Emotion Review*, 9(3), 215–221. <https://doi.org/10.1177/1754073916673212>
- Yin, R. K. (2018). *Case study research and applications: Design and methods* (6th ed.). SAGE Publications.