

Pengembangan dan Uji Kelayakan Buku Panduan Pengoperasian Alat Four Point Probe Berbasis Model ADDIE untuk Karakterisasi Sifat Kelistrikan Material

Rodhotul Muttaqin^{*1}, Heru Saputra², Upik Nurbaiti³, Natalia Erna Setyaningsih⁴,
Danang Subarkah Hadikawuryan⁵

^{1, 2, 3, 4}Laboratorium Fisika, FMIPA, Universitas Negeri Semarang, Indonesia

⁵Laboratorium Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Semarang, Indonesia

Email: ¹muttaqinfisika@mail.unnes.ac.id, ²herusaputra6@gmail.com,

³upik_nurbaiti@mail.unnes.ac.id, ⁴nataliaerna@mail.unnes.ac.id, ⁵danangsh@mail.unnes.ac.id

Abstrak

Four Point Probe (FPP) merupakan alat karakterisasi sifat kelistrikan material yang digunakan di Laboratorium Fisika Universitas Negeri Semarang (UNNES). Penggunaan FPP belum didukung oleh buku panduan pengoperasian yang sistematis, sehingga mahasiswa mengalami kesulitan dalam memahami prinsip kerja dan prosedur pengukuran. Penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan buku panduan pengoperasian alat *Four Point Probe* berbasis model ADDIE yang praktis, informatif, dan mudah dipahami. Penelitian ini merupakan penelitian dan pengembangan (*Research and Development*) yang meliputi tahapan analisis, desain, pengembangan, implementasi, dan evaluasi. Hasil analisis kebutuhan menunjukkan bahwa 86% mahasiswa memerlukan panduan pengoperasian FPP. Uji validitas oleh ahli materi, bahasa, dan media memperoleh skor rata-rata 79 dengan kategori valid, sedangkan uji kelayakan oleh mahasiswa memperoleh skor rata-rata 75 dengan kategori layak. Hasil tersebut menunjukkan bahwa buku panduan yang dikembangkan memenuhi standar kualitas isi dan penyajian serta memiliki tingkat keberterimaan yang baik di kalangan mahasiswa. Pengembangan buku panduan pengoperasian FPP diharapkan dapat mendukung pembelajaran dan penelitian dalam bidang karakterisasi material khususnya film tipis.

Kata kunci: buku panduan, four point probe, model ADDIE, sifat kelistrikan material.

Abstract

The Four Point Probe (FPP) is an instrument used for the electrical characterization of materials at the Physics Laboratory of Universitas Negeri Semarang (UNNES); however, its utilization has not been supported by a systematic operating manual, resulting in difficulties among students in understanding its working principles and measurement procedures. This study aimed to develop an operating manual for the Four Point Probe instrument based on the ADDIE model that is practical, informative, and easy to comprehend. The research employed a Research and Development (R&D) approach consisting of the stages of analysis, design, development, implementation, and evaluation. The needs analysis indicated that 86% of students required an FPP operating manual. The validity assessment conducted by subject-matter, language, and media experts yielded an average score of 79, categorized as valid, while the feasibility test conducted by students resulted in an average score of 75, categorized as feasible. These findings demonstrate that the developed manual meets standards of content quality and presentation and exhibits a high level of acceptability among students. The development of the Four Point Probe operating manual is therefore expected to support learning and research activities in the field of materials characterization, particularly in thin film studies.

Keywords: manual book, four point probe, ADDIE model, electrical properties of materials.

1. PENDAHULUAN

Penguasaan metode karakterisasi material merupakan kompetensi esensial dalam fisika maupun pendidikan fisika. Kompetensi tersebut menunjang pemahaman konsep sains material sekaligus keterampilan praktikum di laboratorium (Chetehouna & Viola, 2024). Mahasiswa dituntut untuk

memahami konsep teoretis serta mampu mengoperasikan instrumen secara sistematis, akurat, dan sesuai dengan prosedur standar. Ketidakjelasan prosedur pengoperasian praktikum dapat menyebabkan kesalahan pengukuran, inkonsistensi data, rendahnya efektivitas eksperimen maupun pembelajaran (Witanto *et al.*, 2025; Yoldan *et al.*, 2025). Ketersediaan panduan pengoperasian yang terstruktur dan berbasis desain instruksional sangat diperlukan untuk meningkatkan kualitas penelitian dan pembelajaran laboratorium (Diola, 2023; Mercado, 2020; Seery *et al.*, 2024).

Perkembangan teknologi film tipis yang pesat meningkatkan urgensi penguasaan teknik karakterisasi material. Kebutuhan industri terhadap material dengan karakteristik khusus seperti transparansi optik, konduktivitas listrik, dan ketahanan terhadap korosi, mendorong pengembangan film tipis yang disesuaikan dengan sifat material yang diinginkan (Sharpe *et al.*, 2024; Hossain & Mansour, 2023). Perkembangan film tipis sudah menggunakan berbagai metode deposisi, seperti *Physical Vapor Deposition* (PVD), *Chemical Vapor Deposition* (CVD), dan teknik turunannya, yang memungkinkan rekayasa sifat material secara presisi (Garg *et al.*, 2024; Escorcia-Díaz *et al.*, 2023; Oke & Jen, 2022). Material film tipis banyak dimanfaatkan dalam berbagai aplikasi antara lain pembuatan sensor gas (Tian *et al.*, 2023), sel surya (Gulkowski & Krawczak, 2020), aplikasi biomedis (Beline *et al.*, 2019; Khojier & Moradi, 2021), elektroda superkapasitor (Oh & Kim, 2025), pemisahan air secara fotoelektrokimia (Almohammed *et al.*, 2021), serta pelapis fungsional (Kim *et al.*, 2019).

Laboratorium Fisika Universitas Negeri Semarang telah mengembangkan berbagai penelitian tentang film tipis. Material ZnO:Mg dibuat menggunakan metode sol-gel untuk mengkaji struktur, morfologi, dan sifat optiknya (Astuti *et al.*, 2021). Metode lain seperti *microwave-assisted spray pyrolysis* digunakan untuk menumbuhkan lapisan tipis *Zinc Oxide* pada substrat kaca (Sulhadi *et al.*, 2021). Selain itu, material ZnO:Ga juga dibuat pada substrat *corning glass* menggunakan metode DC *Magnetron Sputtering* (Colibaba *et al.*, 2021). Perkembangan tersebut menuntut kesiapan mahasiswa dalam melakukan karakterisasi sifat kelistrikan secara tepat.

Salah satu parameter utama dalam karakterisasi film tipis adalah resistivitas listrik (ρ) yang dinyatakan pada Persamaan (1). Pada persamaan tersebut, ρ (*rho*) adalah resistivitas dengan satuan $\Omega \cdot \text{m}$, R adalah resistensi dalam satuan ohm (Ω), A adalah luas penampang material dalam meter persegi (m^2), dan l adalah panjang material dalam meter (m).

$$\rho = R \frac{A}{l} \quad (1)$$

Dengan R merupakan resistansi, A merupakan luas penampang, dan l merupakan panjang material. Pada material film tipis, resistansi lembaran (*sheet resistance*, R_s) menjadi parameter yang lebih relevan karena berkaitan dengan resistivitas dan ketebalan lapisan (t) melalui Persamaan (2).

$$R_s = \frac{\rho}{t} \quad (2)$$

Resistansi lembar (*sheet resistance*) merupakan resistansi per satuan persegi (*square*) pada lembaran tipis tanpa memperhitungkan dimensi aktual panjang dan lebar. Parameter ini memudahkan estimasi resistansi material tipis tanpa bergantung pada ukuran geometrisnya. Resistansi lembar dapat diukur menggunakan alat *four point probe* (Kang *et al.*, 2025; Naftaly *et al.*, 2021). *Four point probe* (FPP) merupakan perangkat yang umum digunakan untuk mengukur resistivitas lapisan material elektronik maupun logam dalam bentuk film tipis (Pedersen *et al.*, 2020). Metode ini menggunakan empat titik kontak (*probe*) yang ditempatkan pada permukaan material untuk melakukan pengukuran (Rani, 2022).

Laboratorium Fisika UNNES telah menggunakan alat *Four Point Probe* dalam kegiatan praktikum dan penelitian. Namun hingga saat ini, belum tersedia panduan pengoperasian yang sistematis dan kontekstual terhadap alat yang digunakan. Hasil analisis kebutuhan menunjukkan bahwa mahasiswa mengalami kesulitan dalam memahami prinsip kerja alat, prosedur pengukuran yang benar, serta teknik pengolahan data hasil eksperimen. Ketiadaan panduan yang terstruktur menimbulkan kesenjangan

antara ketersediaan fasilitas laboratorium dan perangkat pembelajaran yang mendukung pemanfaatannya secara optimal (Anggereni *et al.*, 2021; Tanzillal *et al.*, 2024).

Sebagian besar penelitian mengenai *Four Point Probe* (FPP) berfokus pada aspek teknis dan hasil karakterisasi material (Hossain & Mansour, 2023). Berbagai studi menekankan akurasi pengukuran dan performa material, tetapi masih sedikit yang membahas aspek pedagogis atau pengembangan panduan praktis untuk pengoperasian alat di laboratorium Fisika (Lehesvuori *et al.*, 2023; Walsh *et al.*, 2022). Padahal, perangkat pembelajaran yang terstruktur sangat memengaruhi pemahaman konseptual dan keterampilan prosedural mahasiswa. Sementara itu, pengembangan bahan ajar dan panduan laboratorium berbasis desain instruksional terbukti meningkatkan kejelasan prosedur, konsistensi pelaksanaan praktikum, dan pencapaian tujuan penelitian maupun pembelajaran (Rahayu & Sandiana, 2023). Model ADDIE (*Analysis, Design, Development, Implementation, Evaluation*) merupakan kerangka sistematis yang efektif dalam pengembangan bahan ajar dan perangkat pembelajaran, menghasilkan produk yang valid, praktis, dan layak digunakan (Cahyadi, 2019; Gusmawati & Montessori, 2022). Pendekatan ini menekankan analisis kebutuhan yang komprehensif, perancangan berbasis tujuan pembelajaran, validasi ahli, serta evaluasi berkelanjutan, sehingga sangat relevan untuk menyusun panduan pengoperasian FPP yang mendukung proses pembelajaran di laboratorium (Kurniawan *et al.*, 2025).

Penelitian ini mengadaptasi model ADDIE untuk mengembangkan buku panduan pengoperasian *Four Point Probe* (FPP) yang sistematis, terstruktur, dan sesuai kebutuhan mahasiswa. Kebaruan penelitian ini terletak pada panduan yang dikembangkan dirancang khusus untuk alat merk Osilla milik Laboratorium Fisika UNNES. Hingga saat ini, belum tersedia buku panduan lokal yang dikembangkan secara ilmiah melalui analisis kebutuhan dan divalidasi secara menyeluruh oleh ahli materi, bahasa, serta media. Berdasarkan latar belakang tersebut, penelitian ini bertujuan mengembangkan buku panduan pengoperasian FPP berbasis model ADDIE serta menganalisis validitas dan kelayakan produknya melalui penilaian ahli dan uji respon mahasiswa. Hasilnya diharapkan berupa perangkat pembelajaran laboratorium yang kontekstual, terstruktur, dan teruji secara akademik.

2. METODE PENELITIAN

Penelitian Pengembangan buku panduan ini menggunakan model ADDIE terdiri dari lima tahapan yaitu: (1) *Analysis* (2) *Design* (3) *Development*, (4) *Implementation* dan (5) *Evaluation*. Model ADDIE dapat diterapkan dalam berbagai konteks pengajaran yang menggunakan desain instruksional (Cahyadi, 2019).

Sesuai dengan tujuan penelitian, maka penelitian ini tergolong dalam penelitian pengembangan (*Research and Development*) dengan menggunakan ADDIE Model. Perangkat yang dikembangkan dalam penelitian ini meliputi:

1. Buku Panduan Pengoperasian Alat *Four Point Probe* dalam Pengujian Sifat Kelistrikan Material
2. Video Panduan untuk memperjelas instruksi kerja pada buku panduan.

Instrumen Penelitian meliputi :

1. Lembar validasi ahli materi
2. Lembar validasi ahli media
3. Lembar validasi ahli bahasa
4. Angket respon mahasiswa terhadap kelayakan Buku Panduan

2.1. Variabel Penelitian

Variabel penelitian ini sebagai berikut:

- a. Respon ahli materi terhadap Buku Panduan yang dikembangkan
- b. Respon ahli media terhadap buku panduan yang dikembangkan
- c. Respon ahli bahasa terhadap buku panduan yang dikembangkan
- d. Respon mahasiswa dengan indikator pendapat terhadap kelayakan buku panduan yang dikembangkan

2.2. Prosedur Pengembangan

Penelitian Pengembangan buku panduan ini menggunakan model ADDIE terdiri dari lima tahapan yaitu: (1) *Analysis* (2) *Design* (3) *Development*, (4) *Implementation* dan (5) *Evaluation* (Shakeel *et al.*, 2023). Model ADDIE dapat diterapkan dalam berbagai konteks pengajaran yang menggunakan desain instruksional (Cahyadi, 2019). Pelaksanaan setiap tahap dilakukan sebagai berikut:

- Analisis mengidentifikasi kebutuhan pengembangan buku panduan melalui observasi *Four Point Probe* dan wawancara mahasiswa tentang kesulitan prosedur pengukuran kelistrikan.
- Desain mencakup perancangan struktur isi, penetapan tujuan, penyusunan sistematika materi, serta instrumen validasi dan angket mahasiswa.
- Pengembangan dilakukan dengan penyusunan draft buku panduan dan video, validasi oleh ahli, serta revisi hingga produk valid.
- Implementasi meliputi uji coba terbatas pada mahasiswa dan pengumpulan data respons terkait kelayakan buku panduan.
- Evaluasi formatif menggunakan validasi ahli dan respons mahasiswa untuk penyempurnaan produk akhir.

2.3. Subjek Penelitian

Subjek penelitian terdiri atas satu ahli materi, satu ahli media, satu ahli bahasa, dan mahasiswa Program studi Fisika sebagai responden uji kelayakan. Validator dipilih sesuai kompetensi akademik dan pengalaman di bidang masing-masing. Setiap bidang divalidasi oleh satu validator karena penelitian ini merupakan tahap pengembangan awal yang fokus pada validasi isi (*expert judgment*) sebelum implementasi lebih luas.

2.4. Teknik Pengumpulan Data

Teknik pengumpulan data yang digunakan menggunakan metode:

- Angket: digunakan untuk memperoleh data respon dari ahli bahasa, ahli media, dan ahli materi terhadap Buku Panduan yang dikembangkan.
 - Wawancara: digunakan untuk mendukung data kelayakan buku yang diujikan kepada mahasiswa.
- Instrumen penilaian menggunakan skala *Likert* 4 tingkat yaitu: 1 = tidak sesuai, 2 = kurang sesuai, 3 = sesuai, dan 4 = sangat sesuai. Penggunaan skala 4 tingkat bertujuan menghindari netralitas dan menegaskan penilaian kualitas produk.

2.4. Teknik Analisis Data

Teknik analisis data yang digunakan dalam penelitian ini adalah analisis data statistik deskriptif persentase. Teknik ini dipilih karena penelitian bertujuan menilai validitas dan kelayakan produk bukan menguji hipotesis atau melakukan generalisasi (Widiana *et al.*, 2020).

2.4.1. Data Validitas Bahasa, Media dan Materi Modul Digital

Validitas produk hasil penelitian dinilai oleh validator yang ahli media, materi dan bahasa. Data penilaian validitas media, materi dan bahasa pada Buku Panduan Pengoperasian Alat *Four Point Probe* dalam Pengukuran Sifat Kelistrikan Material dihitung persentase perolehan skor dengan rumus sebagai berikut :

$$P = \frac{f}{N} \times 100\%$$

Keterangan :

P : angka persentase pada penilai

f : frekuensi (jumlah skor yang diperoleh)

N : *Number of Cases* (jumlah skor maksimal)

Persentase data dari instrumen penilaian validitas tampilan media, materi dan bahasa kemudian dikonversikan ke dalam kriteria yang disajikan pada Tabel 1.

Tabel 1. Kriteria validitas media, materi dan bahasa pada Buku Panduan Pengoperasian Alat Four Point Probe dalam Pengukuran Sifat Kelistrikan Material

Interval persentase skor	Kriteria
$25\% < P \leq 44\%$	Tidak valid
$45\% \leq P \leq 63\%$	Cukup valid
$64\% \leq P \leq 81\%$	Valid
$82\% \leq P \leq 100\%$	Sangat valid

2.4.2. Data Kelayakan

Kelayakan produk hasil penelitian diperoleh dari angket respon mahasiswa dihitung persentase perolehan skor dengan rumus sebagai berikut:

$$P = \frac{f}{N} \times 100\%$$

Hasil persentase kemudian dikonversi ke dalam kriteria yang dijadikan pada Tabel 2. Produk dinyatakan layak digunakan apabila memperoleh minimal kategori valid pada hasil validasi ahli dan kategori layak pada respon mahasiswa.

Tabel 2. Kriteria Kelayakan Buku Panduan Pengoperasian Alat Four Point Probe dalam Pengukuran Sifat Kelistrikan Material

Interval persentase skor	Kriteria
$25\% < P \leq 44\%$	Tidak layak
$45\% \leq P \leq 63\%$	Cukup layak
$64\% \leq P \leq 81\%$	Layak
$82\% \leq P \leq 100\%$	Sangat layak

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1. Hasil Penelitian

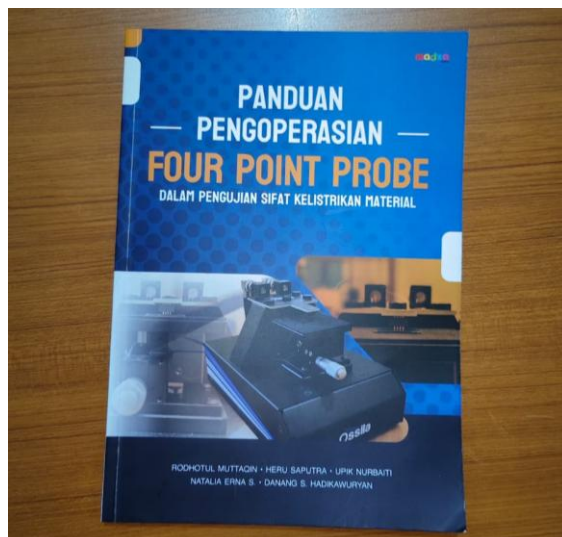
Penelitian ini menghasilkan Buku Panduan Pengoperasian Alat *Four Point Probe* yang telah melalui tahap review dan penyempurnaan akhir. Buku panduan dikembangkan melalui seluruh tahapan metode ADDIE yang telah dideskripsikan pada bagian pendahuluan. Hasil cetak buku panduan ditunjukkan pada Gambar 1.

3.2. Uji Validitas

Validasi buku panduan dilakukan oleh ahli materi, ahli bahasa, dan ahli media. Hasil penilaian dari ahli terhadap buku panduan yang dikembangkan ditunjukkan pada Tabel 3. Hasil asesmen ahli menunjukkan rata-rata skor 79 dengan kategori valid secara substansi materi. Nilai tertinggi diperoleh pada aspek ketepatan judul bab (82%) dan kejelasan contoh (83%). Namun, skor aspek kejelasan deskripsi materi (74%) dan kesesuaian ilustrasi (76%) relatif lebih rendah. Bagian tersebut memerlukan revisi minor untuk memperkuat konsistensi antara konsep teoritis dan prosedur pengoperasian.

Hasil penilaian ahli bahasa ditunjukkan pada Tabel 4. Rata-rata skor yang diperoleh 83 dan termasuk dalam kategori valid. Buku panduan memenuhi kaidah bahasa baku dan komunikatif sehingga instruksi jelas dan tidak multitafsir. Sementara itu, aspek bahasa yang merangsang keingintahuan pembaca (75%) berada pada kategori valid. Buku panduan efektif secara instruksional, namun daya tarik

pedagogis masih perlu ditingkatkan. Dalam perspektif desain instruksional, bahasa yang memotivasi meningkatkan keterlibatan mahasiswa selama praktikum (Huang *et al.*, 2025).



Gambar 1. Hasil cetak buku panduan pengoperasian alat *Four Point Probe*

Tabel 3. Hasil Asesmen dari Ahli Materi (konten)

No	Aspek Penilaian	Persentase Skor	Kategori
1	Ketepatan judul bab dengan isi materi di setiap bab	82	Sangat Valid
2	Kesesuaian antara konsep dan konten	80	Valid
3	Kesesuaian antara tujuan pembuatan buku panduan dan materi paparan	79	Valid
4	Kejelasan deskripsi materi	74	Valid
5	Kesesuaian antara tabel, bagan, gambar /ilustrasi dan materi.	76	Valid
6	Kejelasan contoh yang diberikan	83	Sangat Valid
Rata – rata		79	Valid

Tabel 4. Hasil Asesmen dari Ahli Bahasa

No	Aspek Penilaian	Persentase Skor	Kategori
1	Kesesuaian penggunaan bahasa dengan kaidah bahasa baku	85	Sangat Valid
2	Penggunaan bahasa yang komunikatif	85	Sangat Valid
3	Kesesuaian antara pemilihan kata untuk mendeskripsikan materi	78	Valid
4	Penggunaan kalimat efektif dalam mendeskripsikan instruksi	82	Sangat Valid
5	Penggunaan bahasa yang merangsang keingintahuan pembaca	75	Valid
Rata – rata		83	Sangat Valid

Hasil penilaian ahli media terhadap buku panduan yang dikembangkan ditunjukkan pada Tabel 5. Hasil penilaian menunjukkan rata-rata skor 75 dan termasuk kategori valid. Media layak digunakan secara visual dan teknis, tetapi belum mencapai kategori sangat valid. Beberapa aspek seperti akurasi ukuran dan penempatan grafik memperoleh skor 73%. Optimalisasi diperlukan untuk membuat tata letak lebih ergonomis dan proporsional. Buku panduan tidak memerlukan revisi mayor, namun tetap memungkinkan penyempurnaan kecil pada aspek visual.

Tabel 5. Hasil Asesmen dari Ahli Media

No	Aspek Penilaian	Persentase Skor	Kategori
1	Keakuratan ilustrasi yang digunakan dalam sampul	78	Valid
2	Kesesuaian antara bahan dan media yang digunakan	75	Valid
3	Kualitas bagan, tabel, atau gambar yang digunakan	76	Valid
4	Akurasi dalam ukuran bagan, tabel, atau gambar	73	Valid
5	Keakuratan penempatan grafik, tabel, atau gambar	73	Valid
Rata – rata		75	Valid

3.3. Uji Kelayakan

Uji kelayakan Buku Panduan Pengoperasian Alat *Four Point Probe* dilakukan dengan observasi dan membagikan kuisioner kepada mahasiswa. Hasil uji kelayakan buku panduan ditunjukkan pada Tabel 6. Uji kelayakan pada mahasiswa menghasilkan rata-rata skor 75 dan tergolong kategori layak. Aspek tampilan fisik dan urutan penyajian materi memperoleh skor 80% dan memfasilitasi mahasiswa mengikuti prosedur secara sistematis. Namun, aspek kejelasan paparan materi memperoleh skor 71% sehingga perlu penyempurnaan instruksi teknis dan penjabaran konsep. Hal ini sesuai dengan temuan pada validasi ahli materi. Hasil uji kelayakan menunjukkan produk memenuhi kriteria valid dan layak sehingga dapat dikembangkan lebih lanjut. Dalam penelitian pengembangan, produk bersifat dinamis dan dapat disempurnakan melalui implementasi lanjutan (Indaryanti *et al.*, 2025).

Tabel 6. Hasil Uji Kelayakan Buku Panduan

No	Aspek Penilaian	Persentase Skor	Kategori
1	Tampilan fisik buku panduan	80	Layak
2	Ukuran dan jenis huruf yang digunakan	74	Layak
3	Kejelasan paparan material disetiap bab	71	Layak
4	Kompatibilitas antar gambar dan bahan	73	Layak
5	Contoh yang diberikan untuk memahami materi	72	Layak
6	Urutan penyajian materi di setiap bab	80	Layak
Rata – rata		75	Layak

4. KESIMPULAN

Penelitian ini berhasil mengembangkan Buku Panduan Pengoperasian Alat *Four Point Probe* dalam Pengujian Sifat Kelistrikan Material yang valid dan layak digunakan. Hasil uji validasi menunjukkan kategori valid (skor 79) dan uji kelayakan kategori layak (skor 75). Hal ini menunjukkan buku panduan memenuhi aspek materi, bahasa, dan media, serta layak digunakan dalam kegiatan praktikum. Uji coba masih berskala terbatas dengan jumlah validator dan responden sedikit, sehingga diperlukan penelitian

lanjutan untuk menguji efektivitas pada cakupan lebih luas. Buku panduan ini diharapkan dapat menjadi sarana pendukung pembelajaran dan penelitian dalam bidang karakterisasi material, khususnya film tipis.

DAFTAR PUSTAKA

- Almohammed, A., Shaban, M., Mostafa, H., & Rabia, M. (2021). Nanoporous TiN/TiO₂/alumina membrane for photoelectrochemical hydrogen production from sewage water. *Nanomaterials*, 11(10), 2617. <https://doi.org/10.3390/nano11102617>
- Anggereni, S., Suhardiman, S., & Amaliah, R. (2021). Analisis ketersediaan peralatan, bahan ajar, administrasi laboratorium, keterlaksanaan kegiatan praktikum di laboratorium fisika. *Jurnal Ilmiah Pendidikan Fisika*, 5(3), 414-423. <https://doi.org/10.20527/jipf.v5i3.3925>
- Astuti, B., Marwoto, P., Zhaifirah, A., Hamid, N., Aryanto, D., Sugianto, S., Sulhadi, S., Putra, N. M. D., & Fianti, F. (2021). Structure, morphology, and optical properties of ZnO:Mg thin film prepared by sol-gel spin coating method. *Jurnal Ilmiah Pendidikan Fisika Al-Biruni*, 10(2), 241-250. <https://doi.org/10.24042/jipfalbiruni.v10i2.7239>
- Beline, T., Da Silva, J. H. D., Matos, A. O., Azevedo Neto, N. F., De Almeida, A. B., Nociti Júnior, F. H., Leite, D. M. G., Rangel, E. C., & Barão, V. A. R. (2019). Tailoring the synthesis of tantalum-based thin films for biomedical application: Characterization and biological response. *Materials Science and Engineering: C*, 101, 111-119. <https://doi.org/10.1016/j.msec.2019.03.072>
- Cahyadi, R. A. H. (2019). Pengembangan bahan ajar berbasis ADDIE model. *Halaqa: Islamic Education Journal*, 3(1), 35-42. <https://doi.org/10.21070/halaqa.v3i1.2124>
- Chetehouna, M., & Viola, G. (2024). A teaching-learning framework for materials characterization. *Journal of Chemical Education*, 101(3), 1036-1048. <https://doi.org/10.1021/acs.jchemed.3c00974>
- Colibaba, G. V., Rusnac, D., Fedorov, V., & Monaico, E. I. (2021). Effect of chlorine on the conductivity of ZnO:Ga thin films. *Journal of Materials Science: Materials in Electronics*, 32, 18291-18303. <https://doi.org/10.1007/s10854-021-06371-x>
- Diola, R. (2023). Development and validation of laboratory manual in life science for Grade 11 senior high school: An input to instructional material development. *Journal of Elementary and Secondary School*, 1(1), 42-55. <https://doi.org/10.31098/JESS.V1I1.1467>
- Escorcia-Díaz, D., García-Mora, S., Rendón-Castrillón, L., Ramírez-Carmona, M., & Ocampo-López, C. (2023). Advancements in nanoparticle deposition techniques for diverse substrates: A review. *Nanomaterials*, 13(18), 2586. <https://doi.org/10.3390/nano13182586>
- Garg, R., Gonuguntla, S., Sk, S., Iqbal, M. S., Dada, A. O., Pal, U., & Ahmadipour, M. (2024). Sputtering thin films: Materials, applications, challenges, and future directions. *Advances in Colloid and Interface Science*, 330, 103203. <https://doi.org/10.1016/j.cis.2024.103203>
- Gulkowski, S., & Krawczak, E. (2020). RF/DC magnetron sputtering deposition of thin layers for solar cell fabrication. *Coatings*, 10(8), 791. <https://doi.org/10.3390/coatings10080791>
- Gusmawati, M., & Montessori, M. (2022). Pengembangan bahan ajar pada pembelajaran tematik terpadu di sekolah dasar. *Jurnal Basicedu*, 6(2), 3147-3155. <https://doi.org/10.31004/basicedu.v6i2.2524>
- Hossain, M. I., & Mansour, S. (2023). A critical overview of thin films coating technologies for energy applications. *Cogent Engineering*, 10(1), 2179467. <https://doi.org/10.1080/23311916.2023.2179467>
- Huang, Q., Muhamad, M. M., & Che Naw, N. R. (2025). Impact of instructional design on students' critical thinking and engagement in online English reading classes: Mediating role of motivation and moderating role of language proficiency. *Frontiers in Psychology*, 16, 1644126. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2025.1644126>
- Indaryanti, R. B., Harsono, H., Sutarna, S., Murtiyasa, B., & Soemardjoko, B. (2025). 4D research and development model: Trends, challenges, and opportunities review. *Jurnal Kajian Ilmiah*, 25(1),

- 91-98. <http://ejurnal.ubharajaya.ac.id/index.php/JKI>
- Kang, J.-H., Lee, S. H., Yu, K. M., & Joo, S. (2025). Development of an automatic precision sheet resistance measurement system using the four-point probe method. *Journal of Electrical Engineering & Technology*, 20, 2799-2808. <https://doi.org/10.1007/s42835-025-02163-z>
- Khojier, K., & Moradi, G. (2021). Study of ZrO₂ coatings on 316L SS as a function of sputtering gas flow rate for biomedical applications. *Surface and Coatings Technology*, 425, 127673. <https://doi.org/10.1016/j.surfcoat.2021.127673>
- Kim, H., Nam, S., Roh, A., Son, M., Ham, M.-H., Kim, J.-H., & Choi, H. (2019). Mechanical and electrical properties of NbMoTaW refractory high-entropy alloy thin films. *International Journal of Refractory Metals and Hard Materials*, 80, 286-291. <https://doi.org/10.1016/j.jrmhm.2019.02.005>
- Kurniawan, E. D. A., Pratiwi, A. J., Ridho, D., Ardila, M., & Samosir, R. A. (2025). Pengembangan penuntun praktikum kimia ramah lingkungan berbasis inkuiri terbimbing: Tahap development model ADDIE. *CHEDS: Journal of Chemistry, Education, and Science*, 9(1), 14-22. <https://doi.org/10.23887/jpk.v7i1>
- Lehesvuori, S., Lehtinen, A., Hämäläinen, R., Maunuksela, J., & Koskinen, P. (2023). Student-centredness in physics laboratory teaching sessions. *Learning, Culture and Social Interaction*, 43, 100773. <https://doi.org/10.1016/j.lcsi.2023.100773>
- Naftaly, M., Das, S., Gallop, J., Pan, K., Alkhalil, F., Kariyapperuma, D., Constant, S., Ramsdale, C., & Hao, L. (2021). Sheet resistance measurements of conductive thin films: A comparison of techniques. *Electronics*, 10(8), 960. <https://doi.org/10.3390/electronics10080960>
- Mercado, J. C. (2020). Development of laboratory manual in physics for engineers. *International Journal of Science and Research (IJSR)*, 9(10). <https://doi.org/10.21275/SR201002120011>
- Oh, S., Jun, Y.-K., & Kim, N.-H. (2025). Magnetron-sputtered and rapid-thermally annealed NiO:Cu thin films on 3D porous substrates for supercapacitor electrodes. *Energies*, 18(11), 2704. <https://doi.org/10.3390/en18112704>
- Oke, J. A., & Jen, T.-C. (2022). Atomic layer deposition and other thin film deposition techniques: From principles to film properties. *Journal of Materials Research and Technology*, 21, 2481-2514. <https://doi.org/10.1016/j.jmrt.2022.10.064>
- Pedersen, A. K., Ichinokura, S., Tanaka, T., Shimizu, R., Hitosugi, T., & Hirahara, T. (2020). Interfacial Superconductivity in FeSe Ultrathin Films on SrTiO₃ Probed by *In Situ* Independently Driven Four-Point-Probe Measurements. *Physical Review Letters*, 124(22), 227002. <https://doi.org/10.1103/PhysRevLett.124.227002>
- Rahayu, A., & Sardiana Sari, R. (2023). Guided inquiry-based basic chemistry practicum guidelines and its impact on students' science process skills and critical thinking skills. *Jurnal Pendidikan Kimia Indonesia*, 7(1), 1-9. <https://doi.org/10.23887/jpk.v7i1>
- Rani, S. R. A. (2022). Studi konduktivitas listrik CaCO₃ dan karbon arang dengan metode four point probe. *Jurnal Sains Fisika: Sainfis*, 2(1), 40-54. <https://doi.org/10.24252/sainfis.v2i1.26695>
- Seery, M. K., Gammelgaard, B., Agustian, H. Y., Malm, R. H., & Christiansen, F. V. (2024). 10 guiding principles for learning in the laboratory. *Chemistry Education Research and Practice*, 25(383), 383-402. <https://doi.org/10.1039/d3rp00245d>
- Shakeel, S. I., Al Mamun, M. A., & Haolader, M. F. A. (2023). Instructional design with ADDIE and rapid prototyping for blended learning: Validation and its acceptance in the context of TVET Bangladesh. *Education and Information Technologies*, 28(6), 7601-7630. <https://doi.org/10.1007/s10639-022-11471-0>
- Sharme, R. K., Quijada, M., Terrones, M., & Rana, M. M. (2024). Thin Conducting Films: Preparation Methods, Optical and Electrical Properties, and Emerging Trends, Challenges, and Opportunities. *Materials*, 17(18), 4559. <https://doi.org/10.3390/ma17184559>
- Sulhadi, Muqoyyanah, Darsono, T., Wahyuni, S., Sugianto, & Marwoto, P. (2021). Optical properties

- of zinc oxide thin film fabricated by spraying deposition method. *Journal of Physics: Conference Series*, 1918(2), 022002. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1918/2/022002>
- Tanzillal, M. I., Balqis, P., Qolbi, R. Z., & Hanifah, U. K. B. (2024). Analisis ketersediaan peralatan, bahan ajar dan keterlaksanaan kegiatan praktikum pada laboratorium pendidikan fisika. *Madani: Jurnal Ilmiah Multidisiplin*, 2(6), 729-735. <https://doi.org/10.5281/zenodo.12667208>
- Tian, X., Hu, Z., Jia, C., Wang, H., & Wei, X. (2023). A review of advanced gas sensor based on sputtering SnO₂ thin film-Challenges and opportunities. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 11(6), 111516. <https://doi.org/10.1016/j.jece.2023.111516>
- Walsh, C., Lewandowski, H. J., & Holmes, N. G. (2022). Skills-focused lab instruction improves critical thinking skills and experimentation views for all students. *Physical Review Physics Education Research*, 18, 010128. <https://doi.org/10.1103/PhysRevPhysEducRes.18.010128>
- Widiana, K. A., Arsa, I. P. S., & Adiarta, A. (2020). Pengembangan media pembelajaran Microsoft Word berbasis Android. *Jurnal Pendidikan Teknik Elektro Undiksha*, 9(1), 40-47. <https://ejournal.undiksha.ac.id/index.php/JJPTE>
- Witanto, M. N., Widyanto, A., & Adi, T. W. (2025). Perancangan standard operating procedure praktikum PMPM dengan metode Fishbone Diagram dan FMEA di laboratorium QQ. *Syntax Idea*, 7(8), 1059-1067. <https://doi.org/10.46799/syntaxidea.v7i8.13479>
- Yoldan, L. D. P., Cuizon, C. A., Biñas, C. A., Nemeño, A. C., Deloria, J. B. M., Ejercito, F. J., & Saldivar, J. M. N. (2025). Drivers of laboratory instruction in science education. *Psychology and Education: A Multidisciplinary Journal*, 38(2), 176-189. <https://doi.org/10.70838/pemj.380206>