Science and Education Journal
Vol 5 No 2 (2026)
E-ISSN : 2962-9713
P-ISSN : 2963-928X

Pengembangan E-Modul Fisika Statistik Berbasis Flip PDF Berbantuan Matlab Pada Materi Statistin Bose-Einstein, Fermi-Dirac, Dan Maxwell-Boltzmann

Naja Napizo[1], Sri Purwaningsih[2], Hebat Shidow Falah[3]
[1]Universitas Jambi , najanapizo08@gmail.com

Abstrak

Penelitian ini dilatarbelakangi oleh sulitnya mahasiswa memvisualisasikan konsep abstrak dalam statistik kuantum yang berdampak pada rendahnya pemahaman konsep. Penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan e-modul Termodinamika Statistik berbasis *Flip PDF Professional* berbantuan *MATLAB* pada materi statistik Maxwell-Boltzmann, Bose-Einstein, dan Fermi-Dirac yang valid dan praktis. Metode penelitian yang digunakan adalah *Research and Development* (R&D) dengan model pengembangan 4D (*Define, Design, Develop,* dan *Disseminate*). Instrumen pengumpulan data meliputi lembar validasi ahli materi, ahli media, serta angket persepsi mahasiswa menggunakan skala Likert. Temuan utama menunjukkan bahwa e-modul yang dikembangkan memenuhi kriteria sangat layak, dengan hasil validasi ahli materi pada tahap akhir mencapai rata-rata 98,3% dan validasi ahli media sebesar 85,4%. Selain itu, uji coba pemakaian menunjukkan respon mahasiswa berada pada kategori sangat baik dengan rata-rata persentase sebesar 84,5%. Hasil ini mengindikasikan bahwa integrasi simulasi *MATLAB* ke dalam e-modul mampu memvisualisasikan grafik distribusi partikel secara dinamis dan akurat. E-modul ini terbukti efektif digunakan sebagai media pembelajaran mandiri yang interaktif untuk membantu mahasiswa Pendidikan Fisika dalam mengatasi hambatan belajar pada materi yang bersifat abstrak.

Kata Kunci: *Termodinamika, E-Modul, Flip PDF, MATLAB, 4D*

Abstract

This study was motivated by the difficulty students face in visualizing abstract concepts in statistical mechanics, which results in poor conceptual understanding. The aim of this study is to develop a valid and practical e-module on Statistical Mechanics using Flip PDF Professional and MATLAB for the Maxwell-Boltzmann, Bose-Einstein, and Fermi-Dirac statistical models. The research method used is Research and Development (R&D) with the 4D development model (Define, Design, Develop, and Disseminate). Data collection instruments include validation sheets from subject matter experts and media experts, as well as a student perception questionnaire using a Likert scale. Key findings indicate that the developed e-module meets the criteria for high feasibility, with subject matter expert validation at the final stage achieving an average of 98.3% and media expert validation at 85.4%. Additionally, the pilot test showed student responses in the “very good” category with an average percentage of 84.5%. These results indicate that the integration of MATLAB simulations into the e-module is capable of visualizing particle distribution graphs dynamically and accurately. This e-module has proven effective as an interactive self-learning medium to help Physics Education students overcome learning barriers in abstract material.

Keywords: *Thermodynamics, E-Module, Flip PDF, MATLAB, 4D*

Corresponding Author:
Naja Napizo
Universitas Jambi, najanapizo08@gmail.com

E-ISSN : 2962-9713
P-ISSN : 2963-928X

PENDAHULUAN

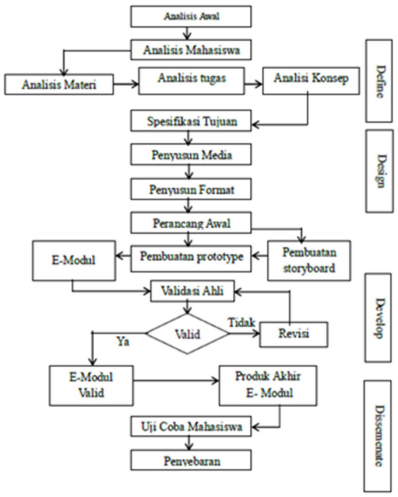
Termodinamika statistik merupakan materi yang sulit dipahami bagi mahasiswa karena memerlukan kemampuan visualisasi distribusi partikel yang kompleks serta latar belakang matematis yang kuat (Pendidikan & Taufik, 2024). Kesulitan dalam memahami antara perilaku partikel klasik dan kuantum seringkali menghambat penguasaan konsep secara utuh (Parameters et al., 2023). Oleh karena itu, diperlukan media yang mampu memvisualisasikan data secara dinamis seperti e-modul berbasis *Flip PDF* berbantuan MATLAB.

Media cetak atau buku teks statistik memiliki keterbatasan signifikan dalam menampilkan perubahan variable secara dinamis, sehingga e-modul dibuat untuk membantu mahasiswa dalam belajar yang lebih interaktif (Lestari et al., 2022). Mahasiswa mengalami kesulitan dalam mengamati perilaku partikel secara langsung dan menghambat dalam membedakan karakteristik distribusi Bose-Einstein, Fermi-Dirac, dan Maxwell-Boltzmann pada berbagai kondisi termal.

Solusi untuk mengatasi, penelitian ini mengembangkan sebuah e-modul berbasis *Flip PDF Profesional* yang di intergrasikan dengan simulasi MATLAB. *Flip PDF* mampu menyajikan modul digital yang *interaktif* dan berbagai fitur multimedia dan MATLAB untuk menvisualisasikan grafik fungsi distribusi secara dinamis dan akurat (Purwaningsih et al., 2025). Melalui integrasi ini, mahasiswa dapat memanipulasi parameter suhu dan energi secara langsung untuk memperjelas konsep-konsep abstrak dalam termodinamika statistik, sehingga diharapkan dapat meningkatkan pemahaman konsep dan pengalaman belajar mahasiswa.

METODE

Jenis penelitian yang dilakukan adalah penelitian pengembangan atau *Research and Development (R&D).* model pengembangan yang digunakan adalah model 4D yang dikembangkan oleh Thiagarajan, yang meliputi empat tahapan utama yaitu: *Define* (pendefinisian), *Design* (perancangan), *Develop* (pengembangan), dan *Disseminate* (penyebaran). Model 4D dipilih karena tahap-tahap yang terstruktur dalam menghasilkan media pembelajaran yang valid dan efektif. Tahapan penelitian yang dilakukan secara sistematis dapat dilihat pada gambar 1.



Gambar 1. Prosedur Pengembangan Model 4D
Sumber: (Thiagarajan et al., 1974)

E-ISSN : 2962-9713
P-ISSN : 2963-928X

Prosedur Pengembangan

Tahap penelitian dilaksanakan sebagai berikut:

1. ***Define*** **(Pendefinisian):** Tahap ini dilakukan analisis awal melalui angket kebutuhan mahasiswa angkatan 2023 untuk mengidentifikasi kesulitan dalam pembelajaran Termodinamika pada materi Statistik Bose-Einstein, Fermi-Dirac, dan Maxwell-Boltzmann. Pada tahap ini mencakup analisis materi, analisis mahasiswa, analisis tugas, dan spesifikasi tujuan pembelajaran.
2. ***Design*** **(Perancangan):** Tahap ini menyusun *prototype* e-modul yang meliputi penyusunan media (*Flip PDF Professional* dan MATLAB), pemilihan format, serta membuat rancangan awal (*storyboard*).
3. ***Develop*** **(Pengembangan):** Tahap ini melakukan validasi produk kepada ahli materi dan ahli media untuk menilai kelayakan isi, tampilan, dan fungsi media. Hasil validasi menjadi dasar revisi sebelum dilakukan uji coba pengembangan kepada mahasiswa untuk memperoleh data persepsi terkait kemudahan penggunaan, kemenarikan, dan kebermanfaatan e-modul.
4. ***Disseminate*** **(Penyebaran):** Tahap akhir berupa penyebarluasan produk e-modul yang telah dinyatakan valid agar dapat digunakan lebih luas oleh dosen dan mahasiswa.

Instrumen dan Subjek Penelitian

Subjek uji coba dalam penelitian adalah mahasiswa Program Studi Pendidikan Fisika Universitas Jambi yang telah menempuh mata kuliah Fisika Statistik. Instrumen pengumpulan data berupa angket validasi untuk ahli materi dan ahli media, serta angket persepsi untuk mahasiswa. Angket menggunakan skala likert dengan empat kategori penilaian. Data penelitian dikumpulkan menggunakan instrumen berupa lembar kuesioner yang telah divalidasi. Kisi-kisi instrumen penilaian untuk ahli materi, ahli media, dan persepsi mahasiswa secara ringkas disajikan pada tabel 1.

Tabel 1. Kisi-kisi Instrumen Validasi Ahli dan Persepsi Mahasiswa

Jenis Instrumen	Aspek Penilaian	Jumlah Butir
Ahli Materi	Aspek Materi, Aspek Pembelajaran, Aspek Kebahasaan.	14
Ahli Media	Aspek Tampilan, Aspek Kemudahan, Aspek Kemanfaatan, Aspek Kegrafikan	18
Persepsi Mahasiswa	Aspek Kelayakan Konten, Aspek Kelayakan Materi, Aspek Kemanfaatan	16

Teknik Analisis Data

Data dianalisis menggunakan tekni analisis kualitatif dan kuantitatif. Data kualitatif berupa saran dan komentar dari validator diolah secara deskriptif untuk perbaikan produk. data kuantitatif diperoleh dari skor angket yang dihitung persentasenya menggunakan rumus rata-rata skor. Kriteria interpretasi kelayakan produk ditentukan berdasarkan persentase skor yang di peroleh, dimana skor tinggi menunjukkan tingkat kelayakan e-modul yang semakin baik.

E-ISSN : 2962-9713
P-ISSN : 2963-928X

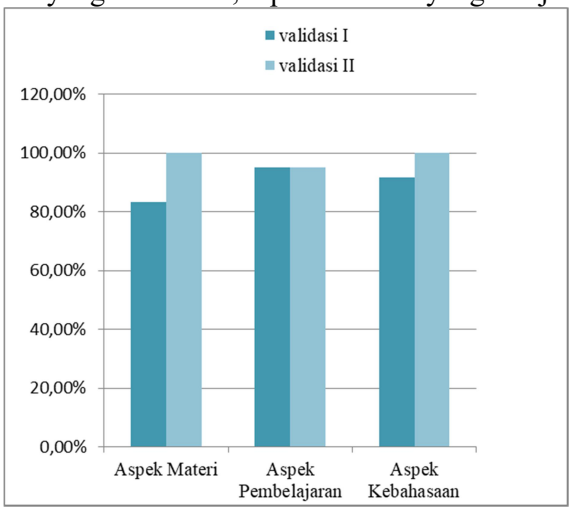
HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil

Pengembangan e-modul Termodinamika Statistik didasarkan pada kebutuhan akan media yang mampu memvisualisasikan fenomena mikroskopis secara akurat (Leinonen et al., 2015). Integrasi antara simulasi MATLAB dan platform Fli PDF Profesional. Penggunaan media simuasi dalam pembelajaran fisika terbukti secara signifikan dapat meningkatkan pemahaman konsep dibandingkan dengan metode konvensional (Koerfer, 2024). Hasil penelitian terdiri dari data validasi ahli dan persepsi mahasiswa sebagai indikator kelayakan produk.

Hasil Validasi Ahli Materi

Validasi materi dilakukan untuk menguji kelayakan isi e-modul Termodinamika. Berdasarkan hasil penilaian yang dilakukan, diperoleh data yang disajikan pada gambar 2.



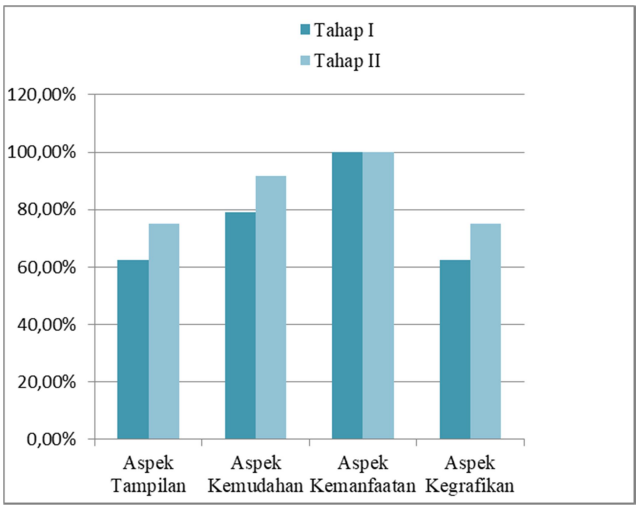
Gambar 2. Grafik Hasil Validasi Ahli Materi

Berdasarkan gambar 2, rata-rata persentase pencapaian pada Tahap II adalah 98,6% (sangat layak), meningkat dari Tahap I 90%. Secara spesifikasi, aspek materi dan kebahasaan mencapai skor sempurna 100%, sedangkan aspek pembelajaran mencapai 95%. Hal ini menunjukkan kesesuaian materi terhadap bantuan simulasi MATLAB dalam e-modul dapat memperjelas konsep-konsep matematis yang dianggap sulit oleh mahasiswa. Sehingga materi statistik Bose-Einstein, Fermi-Dirac, dan Maxwell-Boltzmann dalam e-modul sesuai dengan capaian pembelajaran. Validator memberikan saran memastikan symbol-simbol matematis dalam distribusi statistik terlihat jelas pada tampilan *Flip PDF*.

Hasil Validasi Ahli Media

Validasi media berfokus pada desain antarmuka, navigasi, dan fungsionalitas fitur interaktif dalam Flip PDF Profesional. Terdiri dari aspek tampilan, aspek kemudahan, aspek kemanfaatan, dan aspek kegrafikan. Data hasil penilaian validasi media ditunjukkan pada gambar 3.

E-ISSN : 2962-9713
P-ISSN : 2963-928X

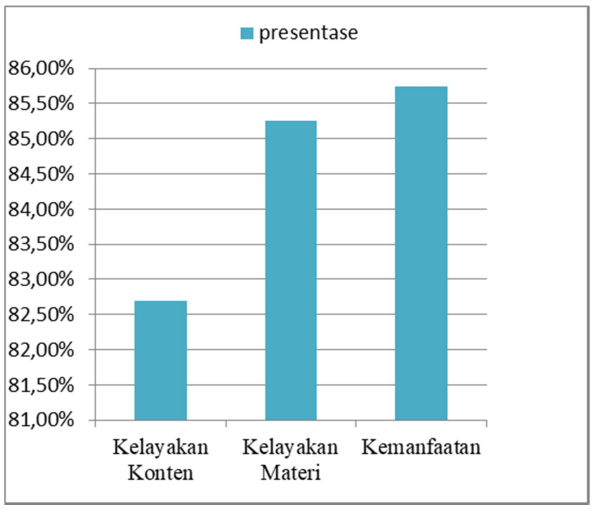


Gambar 3. Grafik Validasi Ahli Media

Berdasarkan gambar 3, pada Tahap II, validator media memberikan rata-rata 85,4% (sangat layak), meningkat signifikan dari Tahap I 76%. Peningkatan paling dratis terlihat pada aspek kemudahan 91,6% dan kegrafikan 75% setelah dilakukan revisi sesuai saran validator. Integrasi fitur interaktif terbukti mempermudah mahasiswa terhadap materi yang dianggap sulit.

Persepsi Mahasiswa

Setelah e-modul dinyatakan layak digunakan oleh para ahli, e-modul di uji cobakan kepada mahasiswa untuk melihat respon pengguna. Data hasil persepsi mahasiswa ditunjukkan pada gambar 4.



Gambar 4. Grafik Persepsi Mahasiswa

Berdasarkan gambar 4, respon mahasiswa berada pada kategori “sangat baik” dengan rata-rata persentase 84,5%. Aspek kemanfaatan mendapatkan skor tertinggi 85,7%, diikuti oleh kelayakan materi 85,2%. Hal ini mengindikasikan bahwa mahasiswa merasa sangat terbantu dengan visualisasi grafik MATLAB dalam memahami konsep statistik Bose-Einstein, Fermi-Dirac, dan Maxwell-Boltzmann secara mandiri.

E-ISSN : 2962-9713
P-ISSN : 2963-928X

Pembahasan

Keberhasilan e-modul terletak pada kemampuan dalam pemahaman matematis dengan visualisasi distribusi partikel. Materi statistik kuantum yang selama ini dianggap "kaku" dan abstrak menjadi lebih dinamis melalui simulasi MATLAB. Mahasiswa dapat mengamati grafik fungsi distribusi secara real-time saat variabel suhu (T) diubah. Fenomena ini memberikan pengalaman belajar empiris dimana konsep Bose-Einstein, Fermi-Dirac, dan Maxwell-Boltzmann dapat dibandingkan secara langsung dalam satu tampilan media.

Visualisasi grafik dinamis yang dihasilkan oleh simulasi matlab e-modul ini dibangun berdasarkan formulasi fungsi distribusi partikel tunggal. Ketiga statistik (Maxwell-Boltzmann, Bose-Einstein, dan Fermi-Dirac) dapat disatukan dalam satu persamaan umum sebagai berikut:

$$f(\epsilon) = \frac{1}{e^{(\epsilon-\mu)/kT} + a}$$

Di mana nilai konstanta a menentukan karakteristik distribusi berdasarkan jenis partikelnya:

- $a = 0$: Menghasilkan distribusi Maxwell-Boltzmann untuk partikel klasik yang dapat dibedakan.
- $a = -1$: Menghasilkan distribusi Bose-Einstein untuk partikel boson (spin bulat).
- $a = +1$: Menghasilkan distribusi Fermi-Dirac untuk partikel fermion (spin setengah ganjil).

Hasil penelitian ini memperkuat temuan bahwa visualisasi grafis merupakan komponen esensial dalam pendidikan fisika modern untuk memperjelas konsep-konsep matematis. Penggunaan teknologi Flip PDF yang dipadukan dengan simulasi computer tidak hanya memberikan kemudahan akses, tetapi juga menciptakan lingkungan belajar yang mendukung konstruktivitas pemahaman mahasiswa terhadap materi Termodinamika Statistik.

SIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian dan pengembangan yang telah dilaksanakan, dapat disimpulkan bahwa e-modul Termodinamika berbasis Flip PDF Profesional berbantuan MATLAB pada materi statistik Bose-Einstein, Fermi-Dirac, dan Maxwell-Boltzmann dinyatakan sangat layak untuk digunakan dalam proses pembelajaran. Hal ini didasarkan pada hasil validasi ahli materi yang mencapai persentase 98,3% dan validasi ahli media sebesar 85,4% yang keduanya berada pada kategori "sangat layak". Selain itu, respon positif dari mahasiswa dengan rata-rata persentase 84,5% mengonfirmasi bahwa e-modul ini efektif dalam memvisualisasikan konsep abstrak distribusi partikel melalui simulasi grafik yang dinamis, sehingga dapat meningkatkan kemandirian dan motivasi belajar mahasiswa.

Penelitian ini memiliki keterbatasan pada cakupan materi yang terbatas pada tiga distribusi statistik utama dalam gas ideal. Oleh karena itu, saran untuk pengembangan lebih lanjut adalah memperluas konten e-modul dengan menambakan materi statistik lainnya, seperti apliasi statistik pada padatan atau sistem kuantum yang lebih kompleks. Selain itu, integrasi simulasi dapat dikembangkan lebih lanjut menggunakan interface yang lebih interaktif agar mahasiswa dapat melakukan eksplorasi variabel fisik secara lebih luas dan mendalam.

E-ISSN : 2962-9713
P-ISSN : 2963-928X

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Program Studi Pendidikan Fisika Universitas Jambi atas penyediaan fasilitas laboratorium selama pengembangan modul elektronik ini. Ucapan terima kasih juga disampaikan kepada para ahli bidang studi dan media, serta para mahasiswa yang turut serta dalam proses validasi dan pengujian produk.

DAFTAR PUSTAKA

Koerfer, E. (2024). Exploring student reasoning in statistical mechanics : Identifying challenges in problem-solving groups. *Physical Review Physics Education Research*, *20*(1), 10105. https://doi.org/10.1103/PhysRevPhysEducRes.20.010105

Leinonen, R., Asikainen, M. A., & Hirvonen, P. E. (2015). *Grasping the second law of thermodynamics at university : The consistency of macroscopic and microscopic explanations*. *020122*, 1–15. https://doi.org/10.1103/PhysRevSTPER.11.020122

Lestari, N., Purwaningsih, S., & Pratiwi, I. (2022). *Profile of Students ' Needs Analysis for the E-Module of Statistical Physics on the Topic of Quantum Statistics Applications to Other Systems*. *18*(1), 45–54.

Parameters, P., Method, S., & Gao, Y. (2023). *Optimization of CNC Milling Parameters Based on Tool Life and Process Carbon Emission Prediction Models Optimization of CNC Milling Parameters Based on Tool Life and Process Carbon Emission Prediction Models*. https://doi.org/10.1088/1742-6596/2561/1/012015

Pendidikan, J., & Taufik, M. (2024). *Enhancing Graphical Understanding of Statistical Distributions in Physics : Integrating Project-Based Learning with Desmos and Excel : A Case Study of Sixth-Semester Physics Education Students at FKIP Universitas Mataram*. *5*(2).

Purwaningsih, S., Falah, H. S., & Pujaningsih, F. B. (2025). *The Use of E-Modules to Improve Critical Thinking Skills of Physics Education Students*. *11*(1), 257–264. https://doi.org/10.29303/jppipa.v11i1.9553

Thiagarajan, S., Semmel, D. S., & Semmel, M. I. (1974). Instructional Development for Training Teachers of Exceptional Children Leadership Training Institute Special Education. *Journal of School Psychology*, *14*(1), 75.