https://jurnal.politap.ac.id/index.php/intern
ISSN 2829-503x
Diterbitkan Online : 30-10-2026
Jurnal Inovasi Pendidikan Sains dan Terapan
Volume 05 Nomor 02

Pengembangan dan Validitas Instrumen Tes untuk Mengukur Ketercapaian Pembelajaran Mendalam Mata Kuliah Pendahuluan Fisika Inti

Shofia Ummi[1*], Solikin[2], Wulan Dwi Safitri[3] & Sri Aningsih[4]

[1] Pendidikan Fisika, Universitas Negeri Medan
[2] Pendidikan Fisika, Universitas Negeri Medan
[3] Pendidikan Kimia, Universitas Negeri Medan
[4] Fisika, Universitas Negeri Medan

Email *: shofiaummi@unimed.ac.id*

ABSTRAK

Mata kuliah Pendahuluan Fisika Inti yang sarat konsep abstrak dan matematis masih dievaluasi secara konvensional berbasis hafalan (*surface learning*). Padahal, pendekatan *deep learning* yang menekankan koneksi konseptual jauh lebih relevan untuk mengukur kompetensi mahasiswa dalam memahami fenomena nuklir secara utuh. Penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan dan memvalidasi instrumen tes untuk mengukur ketercapaian pembelajaran mendalam pada mata kuliah Pendahuluan Fisika Inti yang berorientasi pada SDM energi nuklir unggul. Pengembangan dalam penelitian ini menggunakan model ADDIE (*Analysis*, *Design*, *Development*, *Implementation*, dan *Evaluation*). Indikator ketercapaian pembelajaran mendalam yang digunakan berdasarkan keterampilan 6C (*Character*, *Citizenship*, *Collaboration*, *Communication*, *Critical Thinking* dan *Creativity*). Instrumen mencakup tiga segmen utama yaitu tes esai kontekstual dengan rubrik penskoran berbasis taksonomi SOLO untuk dimensi berpikir kritis dan kreativitas, angket *self-assessment* dan *peer-assessment* untuk dimensi karakter dan kewarganegaraan, serta rubrik proyek untuk dimensi kolaborasi dan komunikasi. Data dikumpulkan melalui validasi ahli yang melibatkan tiga pakar dan dianalisis menggunakan indeks Aiken's V. Hasil penelitian menunjukkan bahwa instrumen tes esai mencapai validitas sangat tinggi (rata-rata V = 0,894), instrumen angket mencapai validitas tinggi (rata-rata V = 0,872), dan rubrik proyek mencapai validitas tinggi (rata-rata V = 0,792). Seluruh indikator melampaui ambang batas minimum ($V \geq 0,60$), yang mengonfirmasi bahwa instrumen terintegrasi 6C dan rubrik berbasis taksonomi SOLO ini valid dan layak digunakan. Instrumen ini dapat menjadi alat untuk mentransformasi asesmen konvensional menjadi evaluasi berbasis kompetensi yang selaras dengan tujuan strategis energi nasional.

Kata kunci: Pembelajaran Mendalam; Taksonomi SOLO; Fisika Inti; Validitas Instrumen; Keterampilan 6C

ABSTRACT

The Introduction to Nuclear Physics course, which is full of abstract and mathematical concepts, is still evaluated using conventional methods based on rote memorization (surface learning). In fact, a deep learning approach that emphasizes conceptual connections is far more relevant for assessing students' competence in comprehending nuclear phenomena holistically. This study aims to develop and validate a test instrument

to measure the achievement of deep learning in the Introduction to Nuclear Physics course, which is oriented toward producing high-caliber nuclear energy professionals. The study employs the ADDIE model (Analysis, Design, Development, Implementation, and Evaluation). The indicators of deep learning achievement are based on the 6C skills (Character, Citizenship, Collaboration, Communication, Critical Thinking, and Creativity). The instruments comprise three main components: a contextual essay test with a SOLO-based scoring rubric for the critical thinking and creativity dimensions; self-assessment and peer-assessment questionnaires for the character and citizenship dimensions; and a project rubric for the collaboration and communication dimensions. Data were collected through expert validation involving three experts and analyzed using Aiken's V index. The results of the study show that the essay test instrument achieved very high validity (average V = 0.894), the questionnaire instrument achieved high validity (average V = 0.872), and the project rubric achieved high validity (average V = 0.792). All indicators exceeded the minimum threshold (V ≥ 0.60), confirming that these 6C-integrated instruments and SOLO-taxonomy-based rubrics are valid and suitable for use. These instruments can serve as tools to transform conventional assessment into competency-based evaluation aligned with national energy strategic objectives.
Keyword: *Deep learning; SOLO Taxonomy; Nuclear Physics; Instrument Validity; 6C Skills.*

PENDAHULUAN

Pendidikan tinggi memiliki peran strategis dalam mencetak Sumber Daya Manusia (SDM) unggul yang mampu menjawab tantangan nasional, khususnya dalam bidang energi yang merupakan salah satu dari delapan prioritas Rencana Induk Riset Nasional (Kementerian Riset, Teknologi dan Pendidikan Tinggi, 2017). Mata kuliah Pendahuluan Fisika Inti menjadi fondasi keilmuan krusial di balik teknologi energi nuklir, menjadikannya mata kuliah kunci dalam kurikulum pendidikan fisika yang berorientasi pada penguasaan sains strategis (Lilley, 2021). Mahasiswa Pendidikan Fisika, sebagai calon guru dan ilmuwan muda, harus memiliki kompetensi yang tidak hanya sebatas mengetahui konsep teoritis, tetapi juga mampu menganalisis, mengevaluasi, dan menerapkan fenomena nuklir untuk berkontribusi pada pengembangan energi nuklir sebagai solusi energi berkelanjutan (Dujardin et al, 2023). Target pemerintah untuk mengoperasikan Pembangkit Listrik Tenaga Nuklir (PLTN) pertama pada tahun 2032 menuntut ketersediaan minimal 200 peneliti nuklir baru yang memiliki literasi sains dan ketahanan energi yang mumpuni (BRIN, 2026).

Meskipun urgensi penguasaan fisika inti sangat tinggi, realitas asesmen di perguruan tinggi masih didominasi oleh pendekatan konvensional yang mengukur *surface learning* (pembelajaran permukaan). Evaluasi pembelajaran fisika inti selama ini lebih banyak mengandalkan tes yang mengukur hafalan fakta, rumus, dan perhitungan rutin, sehingga gagal menangkap dimensi kognitif tingkat tinggi seperti pemodelan konseptual, penalaran kausal, dan kemampuan menghubungkan fenomena nuklir dengan aplikasi nyata di bidang energi (Bashooir & Supahar, 2018; Wardi & Jauhariyah, 2025). Kondisi ini berbanding terbalik dengan dorongan Kementerian Pendidikan untuk menerapkan kurikulum berbasis *Outcome-Based Education* (OBE) yang menekankan pada capaian pembelajaran lulusan (CPL) secara eksplisit (Kemendikbudristek., 2022). Untuk mewujudkan CPL tersebut, diperlukan pendekatan pembelajaran mendalam (*deep learning*) yang mendorong mahasiswa tidak hanya mengingat informasi, tetapi juga menganalisis, menghubungkan konsep, serta menerapkannya dalam konteks nyata (Nafi'ah & Faruq, 2025; Smith

& Colby, 2007). Dengan demikian, asesmen pembelajaran tidak cukup hanya mengukur ketepatan jawaban akhir, tetapi juga perlu mengungkap kualitas penalaran dan struktur pemahaman yang mendasari jawaban mahasiswa.

Pendekatan pembelajaran mendalam mulai diadopsi secara luas dengan tujuan mengembangkan enam kompetensi global yang dikenal sebagai 6C: *Character*, *Citizenship*, *Collaboration*, *Communication*, *Creativity*, dan *Critical Thinking* (Quinn et al., 2020; Fullan et al., 2018) . Dalam konteks fisika inti, *Critical Thinking* dan *Creativity* diperlukan untuk merancang solusi keselamatan reaktor dan mitigasi limbah radioaktif, sementara *Character* dan *Citizenship* sangat vital untuk membangun etika sains, *safety culture*, dan kesadaran terhadap kebijakan transisi energi nasional. Namun, penerapan pendekatan *deep learning* ini belum diimbangi dengan ketersediaan instrumen asesmen yang valid dan reliabel untuk mengukur pencapaiannya secara komprehensif (Gabut et al., 2026; Isdayanti et al., 2025).

Pengukuran ketercapaian pembelajaran mendalam memerlukan kerangka asesmen yang tidak hanya menilai ketepatan jawaban, tetapi juga mampu mengidentifikasi kedalaman pemahaman mahasiswa berdasarkan kualitas respons yang dihasilkan. Salah satu kerangka yang relevan untuk tujuan tersebut adalah Taksonomi SOLO (*Structure of the Observed Learning Outcome*), yang digunakan untuk mengategorikan kualitas struktur pemahaman berdasarkan kompleksitas hubungan antarkonsep yang ditunjukkan dalam respons mahasiswa. Taksonomi ini memungkinkan penilaian terhadap kemampuan mahasiswa dalam mengintegrasikan berbagai informasi menjadi pemahaman yang koheren serta menggeneralisasi pengetahuan untuk diterapkan pada konteks baru. Karakteristik tersebut menjadikan Taksonomi SOLO relevan untuk pengembangan instrumen tes pada mata kuliah Pendahuluan Fisika Inti, yang menuntut mahasiswa tidak hanya menguasai konsep abstrak dan matematis, tetapi juga mampu menghubungkan konsep-konsep tersebut untuk menganalisis fenomena dan permasalahan terkait energi nuklir.

Pembelajaran mendalam, kompetensi 6C, dan Taksonomi SOLO memiliki fungsi konseptual yang berbeda, tetapi saling melengkapi dalam pengembangan instrumen asesmen. Pembelajaran mendalam menjadi orientasi pedagogis yang menekankan pemahaman, keterkaitan pengetahuan, refleksi, dan penerapan konsep secara bermakna, 6C menjadi dimensi kompetensi yang ditargetkan sedangkan Taksonomi SOLO menjadi kerangka untuk mengoperasionalkan dan menilai kompleksitas pemahaman yang tampak dalam jawaban mahasiswa. Dalam penelitian ini, penilaian terutama diarahkan pada level *relational* dan *extended abstract*. Pada level *relational*, mahasiswa diharapkan mampu menghubungkan berbagai konsep menjadi penjelasan yang utuh. Pada level *extended abstract*, mahasiswa diharapkan mampu melakukan generalisasi, mengembangkan implikasi, atau menerapkan prinsip pada situasi baru. Kedua level tersebut digunakan untuk mengidentifikasi pemahaman fisika inti yang melampaui penguasaan fakta dan prosedur rutin. Meskipun demikian, SOLO tidak diposisikan sebagai pengganti konstruk 6C, dan tidak seluruh kompetensi tersebut dapat disimpulkan secara memadai hanya melalui tes tertulis.

Berbagai penelitian terdahulu telah mencoba mengembangkan asesmen berbasis Taksonomi SOLO dan memanfaatkan *Natural Language Processing* (NLP) dalam pendidikan sains. Namun, penelitian-penelitian tersebut masih terfragmentasi. Klaster pertama berfokus pada pengembangan instrumen SOLO pada fisika umum tanpa konteks strategis spesifik (Fernandez & Guzon, 2025; Mardian & Chandra, 2023). Klaster kedua memanfaatkan NLP untuk *essay scoring* dengan fokus pada aspek kebahasaan, bukan kedalaman konseptual sains (Bashir et al., 2021; Gunawansyah et al., 2020). Klaster ketiga lebih menekankan pada strategi implementasi *deep learning* daripada validasi instrumen pengukurannya (Isdayanti et al., 2025; Nafi'ah & Faruq, 2025). Ketiga klaster tersebut belum terintegrasi dalam satu kerangka yang secara eksplisit

memetakan konstruk *deep learning* (6C) pada domain spesifik pendahuluan fisika inti yang sarat akan konsep abstrak dan matematis.

Penelitian ini mengisi celah tersebut melalui kebaruan dalam integrasi pedagogi dan psikometrik. Penelitian ini merancang instrumen asesmen komprehensif yang secara terstruktur memetakan *deep learning* berbasis Taksonomi SOLO khususnya level relational hingga *extended abstract* pada konstruk fisika inti, dengan mengintegrasikan dimensi 6C dan konteks strategis energi nuklir. Kebaruan ini didukung oleh temuan terkini yang menunjukkan korelasi positif antara strategi deep learning dengan performa sains mahasiswa (Gabut et al., 2026), serta efektivitas Taksonomi SOLO dalam memprediksi kualitas respons esai konseptual (Papadimas et al., 2025).

Berdasarkan uraian tersebut, penelitian ini bertujuan untuk menganalisis struktur, validitas isi, dan kelayakan instrumen tes hasil belajar yang dirancang berbasis prinsip pembelajaran mendalam (6C dan Taksonomi SOLO) pada mata kuliah Pendahuluan Fisika Inti menggunakan model pengembangan ADDIE. Luaran yang ditargetkan adalah instrumen asesmen yang valid dan reliabel, yang dapat digunakan untuk menilai kesiapan akademik dan kompetensi afektif mahasiswa dalam mendukung pengembangan SDM energi nuklir yang unggul.

METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan pendekatan *Research and Development* (R&D) dengan mengadopsi model pengembangan ADDIE (*Analysis, Design, Development, Implementation, Evaluation*) yang dirancang khusus untuk menguji validitas dan reliabilitas instrumen asesmen (Branch, 2009; Molenda, 2015). Model ADDIE dipilih karena sifatnya yang sistematis, iteratif, dan memungkinkan evaluasi formatif pada setiap tahapannya sebelum instrumen diimplementasikan secara luas (Dick et al., 2015). Artikel ini memfokuskan pelaporan pada tiga tahap awal hingga tahap validasi, yaitu: (1) Analisis kebutuhan, (2) Desain instrumen, dan (3) Pengembangan dan Validasi ahli. Tahap implementasi dan evaluasi sumatif akan dilaporkan pada publikasi selanjutnya.

Pada tahap Analisis, peneliti melakukan studi literatur komprehensif terhadap kerangka kerja 6C (Quinn et al., 2020; Fullan et al., 2018), Taksonomi SOLO (Biggs & Collis, 1982), dan dokumen Kurikulum yaitu RPS mata kuliah Pendahuluan Fisika Inti untuk memetakan Capaian Pembelajaran Mata Kuliah (CPMK). Tahap Desain menghasilkan *blueprint* instrumen yang terbagi menjadi tiga segmen: (a) Tes esai kontekstual berbasis SOLO untuk mengukur *Critical Thinking* dan *Creativity* (12 butir); (b) Angket *self/peer-assessment* untuk mengukur *Character* dan *Citizenship* (31 butir); dan (c) Rubrik penilaian proyek untuk mengukur *Collaboration* dan *Communication* (6 indikator). Total terdapat 49 butir/indikator instrumen.

Tahap Pengembangan (*Development)* difokuskan pada validasi isi oleh tiga orang ahli (validator): (1) Ahli Asesmen Pendidikan, (2) Ahli Materi Fisika Inti, dan (3) Ahli Bidang Energi Nuklir. Validator menilai instrumen menggunakan skala *Likert* 1-5 pada tiga kriteria utama: konstruksi/konten, kesesuaian dengan taksonomi/indikator, dan kesesuaian rubrik/kontekstualisasi. Data hasil penilaian dianalisis secara kuantitatif menggunakan Indeks Validitas Aiken's V untuk mengukur tingkat validitas isi setiap butir instrumen (Tajuddin et al., n.d.; Retnawati, 2014) Rumus Aiken's V adalah:

$$V = \frac{S}{n(c-1)} \qquad (1)$$

di mana S adalah skor hasil penilaian ahli dikurangi skor terendah, n adalah jumlah validator (n=3),

dan c adalah jumlah kategori pilihan (c=5). Suatu butir instrumen dinyatakan valid dan layak digunakan jika memiliki nilai Aiken's V ≥ 0,60 dengan kategori validitas tinggi hingga sangat tinggi (Azwar, 2012). Selain analisis kuantitatif, masukan kualitatif dari para ahli juga didokumentasikan dan diakomodasi untuk merevisi draf instrumen sebelum tahap implementasi.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Tahap analisis dan desain menghasilkan pemetaan konstruk yang kuat antara CPMK Fisika Inti, dimensi deep learning (6C), dan level kognitif Taksonomi SOLO. Berdasarkan kajian literatur dan diskusi dengan ahli, disepakati bahwa asesmen deep learning tidak dapat hanya mengandalkan tes tertulis, tetapi harus dilengkapi dengan instrumen non-tes untuk menangkap aspek afektif dan psikomotorik. Tabel 1 menyajikan *blueprint* pemetaan struktur instrumen yang telah dirancang.

Tabel 1. ***Blueprint*** **Pemetaan Struktur Instrumen Asesmen Deep Learning (6C) dan Taksonomi SOLO**

Bentuk Instrumen	Dimensi Deep Learning (6C)	Indikator / Tingkat Kognitif (SOLO)	Konteks Integrasi Energi Nuklir	Jumlah Butir
Soal Esai Kontekstual	*Critical Thinking*	Menganalisis isu proteksi radiasi, efisiensi reaksi fisi/fusi (*Relational - Extended Abstract*)	Aplikasi PLTN, limbah radioaktif, manajemen risiko	6 Butir
	Creativity	Merancang solusi alternatif sistem keselamatan reaktor (*Extended Abstract*)	Inovasi teknologi reaktor bersih, radioisotop	6 Butir
Angket *Self/Peer Assessment*	*Character*	Kemandirian belajar, integritas akademik, rasa ingin tahu ilmiah	Etika pemanfaatan sains dan energi nuklir	14 Butir
	Citizenship	Kesadaran sosial, kepedulian lingkungan, wawasan kebangsaan	Sikap terhadap kebijakan transisi energi, PLTN	17 Butir
Rubrik Penilaian Proyek	*Collaboration*	Pembagian peran, kontribusi aktif, penyelesaian konflik tim	Investigasi kasus energi nuklir kelompok	3 Indikator
	Communication	Kejelasan penyampaian ide, artikulasi argumen, media presentasi	Komunikasi publik mitigasi dan manfaat energi nuklir	3 Indikator

Pemetaan pada Tabel 1 menunjukkan bahwa perancangan instrumen berhasil mengoperasionalkan seluruh dimensi 6C ke dalam bentuk asesmen yang saling melengkapi. Penggunaan soal esai berbasis Taksonomi SOLO difokuskan pada penalaran tingkat tinggi (*Relational* dan *Extended Abstract*) guna melatih mahasiswa menghubungkan konsep fisika inti yang abstrak dengan fenomena energi secara kompleks. Sementara itu, instrumen non-tes dirancang khusus untuk menangkap aspek karakter dan kewarganegaraan ilmiah yang sangat

krusial bagi calon ilmuwan nuklir.

Validasi ahli terhadap 12 butir soal esai melibatkan tiga validator dengan perspektif berbeda yaitu konstruksi asesmen, akurasi konsep fisis, dan aktualisasi isu energi. Berdasarkan perhitungan Indeks Aiken's V, diperoleh hasil seperti yang disajikan pada Tabel 2.

Tabel 2. Hasil Validasi Aiken's V per Butir Soal Esai

No.	Dimensi	Materi Pokok	Koefisien V	Kategori
1	*Critical Thinking*	Struktur dan Gaya Inti	0,889	Sangat Layak
2	*Creativity*	Struktur dan Gaya Inti	0,833	Sangat Layak
3	*Critical Thinking*	Radioaktivitas	0,917	Sangat Layak
4	*Creativity*	Radioaktivitas	0,833	Sangat Layak
5	*Critical Thinking*	Reaksi Fisi dan Fusi	0,917	Sangat Layak
6	*Critical Thinking*	Reaksi Fisi dan Fusi	0,889	Sangat Layak
7	*Creativity*	Deteksi dan Proteksi	0,889	Sangat Layak
8	*Critical Thinking*	Deteksi dan Proteksi	0,889	Sangat Layak
9	*Critical Thinking*	Aplikasi Fisika Inti	0,889	Sangat Layak
10	*Creativity*	Aplikasi Fisika Inti	0,944	Sangat Layak
11	*Creativity*	Proyek STEAM	0,917	Sangat Layak
12	*Creativity*	Proyek STEAM	0,972	Sangat Layak
Rata-rata			0,894	Sangat Layak

Seluruh butir soal esai memperoleh koefisien validitas Aiken's V berkisar antara 0,833 hingga 0,972, dengan rata-rata keseluruhan sebesar 0,894. Nilai ini berada pada kategori validitas sangat tinggi ($V \geq 0,80$). Analisis lintas validator menunjukkan bahwa Ahli Asesmen memberikan skor tinggi pada kejelasan kata kerja operasional dan kesesuaian dengan level SOLO. Ahli Fisika Inti mengonfirmasi bahwa notasi nuklida, grafik peluruhan, dan persamaan matematis bebas dari miskonsepsi. Sementara itu, Ahli Energi menilai bahwa stimulus soal yang mengangkat isu PLTN, *Small Modular Reactor* (SMR), dan proteksi radiasi sangat relevan untuk memicu penalaran *Extended Abstract*. Masukan kualitatif seperti penambahan grafik binding energy dan penegasan batas kriteria SOLO pada soal tertentu telah diakomodasi untuk menyempurnakan instrumen.

Instrumen angket non-tes yang terdiri dari *Self-Assessment* (20 butir) dan *Peer-Assessment* (11 butir) divalidasi untuk mengukur dimensi afektif. Hasil analisis Aiken's V menunjukkan bahwa seluruh butir angket memperoleh koefisien validitas berkisar antara 0,778 hingga 0,944, dengan rata-rata keseluruhan sebesar 0,872 (kategori tinggi hingga sangat tinggi).

Validator memberikan penilaian yang sangat baik pada aspek kejelasan bahasa dan sensitivitas pernyataan. Konstruk bahasa dalam angket bersifat netral dan tidak menghakimi, sehingga tidak memicu sikap defensif responden. Namun, Ahli Energi memberikan catatan penting pada beberapa butir *Citizenship* (seperti butir 8, 9, dan 10) yang awalnya terlalu umum. Berdasarkan masukan tersebut, pernyataan direvisi untuk lebih dikontekstualisasikan ke arah *Safety Culture* nuklir, etika transisi energi bersih, dan dilema sosio-teknologi. Selain itu, Ahli Asesmen menyarankan penambahan reverse items (pernyataan berkebalikan) untuk memecah kecenderungan pola jawaban formalitas, yang telah diimplementasikan pada draf final.

Rubrik penilaian proyek yang mengukur kinerja kolaborasi dan komunikasi dalam tugas investigasi kasus energi nuklir juga menunjukkan hasil yang positif. Koefisien Aiken's V untuk keenam indikator berkisar antara 0,750 hingga 0,833, dengan rata-rata 0,792 (kategori tinggi). Validator menilai bahwa deskriptor untuk dimensi *Communication* (seperti kualitas argumentasi

dan penggunaan media digital) sangat konkret dan relevan dengan kebutuhan pembelajaran fisika inti berbasis komputasi. Di sisi lain, skor untuk dimensi *Collaboration* sedikit lebih rendah (0,750) karena validator menilai bahwa aktivitas kolaborasi internal kelompok cukup sulit diuji ketepatan gradasinya jika hanya mengandalkan pengamatan langsung. Untuk mengatasi hal ini, rubrik direvisi dengan penambahan indikator frekuensi respons koordinasi dan kewajiban pengisian logbook kontribusi individu. Fokus penilaian *Collaboration* juga digeser ke arah efektivitas saat sesi asistensi dan penyelesaian kendala teknis fisis (seperti error simulasi), sementara *Communication* dipertajam pada ketepatan penulisan nomenklatur fisika inti dan pemanfaatan platform dokumen Bersama.

Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa integrasi antara kerangka kerja deep learning (6C), Taksonomi SOLO, dan konteks strategis energi nuklir menghasilkan instrumen asesmen yang memiliki validitas isi sangat tinggi. Rata-rata koefisien Aiken's V untuk keseluruhan instrumen (0,853) melampaui standar kelayakan minimum, mengonfirmasi bahwa instrumen ini secara teoritis dan empiris siap digunakan untuk mengukur ketercapaian pembelajaran mendalam pada mata kuliah Pendahuluan Fisika Inti.

Tingginya validitas isi instrumen tes esai (V = 0,894) memberikan implikasi penting bagi pengembangan evaluasi pembelajaran fisika di perguruan tinggi. Asesmen fisika inti yang berfokus pada penguasaan rumus dan perhitungan algoritmik berpotensi belum mengungkap kedalaman pemahaman konseptual mahasiswa secara optimal (Fernandez & Guzon, 2025; Mardian & Chandra, 2023). Oleh karena itu, instrumen yang dikembangkan dalam penelitian ini dirancang dengan menggunakan stimulus kontekstual yang mengaitkan konsep abstrak, seperti probabilitas transmisi partikel melalui hambatan Coulomb dan mekanisme reaksi fisi berantai, dengan isu nyata, seperti desain *Small Modular Reactor* (SMR) dan pengelolaan limbah radioaktif. Rancangan tersebut ditujukan untuk mengukur kemampuan mahasiswa dalam mengintegrasikan berbagai konsep pada level *relational* serta menggeneralisasi dan menerapkan pemahaman pada konteks baru pada level *extended abstract* dalam Taksonomi SOLO. Hal ini sejalan dengan temuan (Papadimas et al., 2025; Wardi & Jauhariyah, 2025) yang menyatakan bahwa kontekstualisasi soal berbasis literasi sains dan fenomena riil secara signifikan meningkatkan kemampuan penalaran kausal dan pemodelan konseptual mahasiswa. Dimensi Critical Thinking dan Creativity yang diukur melalui esai ini bukan lagi sekadar kemampuan menjawab benar atau salah, melainkan kapasitas mahasiswa dalam mengevaluasi trade-off antara efisiensi energi dan risiko radiologi, serta merancang solusi inovatif yang relevan dengan industri energi nasional.

Di sisi lain, validitas tinggi pada instrumen angket (V = 0,872) dan rubrik proyek (V = 0,792) menyoroti kebaruan penelitian ini dalam mengukur dimensi afektif dan psikomotorik (*Character, Citizenship, Collaboration, Communication*) yang selama ini terabaikan dalam asesmen sains keras (hard sciences). Dalam konteks pengembangan SDM energi nuklir, penguasaan konsep fisika saja tidak cukup. Seorang ilmuwan nuklir harus memiliki *character* (integritas akademik dan ketelitian tinggi) dan *citizenship* (kesadaran terhadap dampak sosial dan lingkungan dari teknologi nuklir) yang kuat (Quinn et al., 2020; Fullan et al., 2018). Instrumen self/peer-assessment yang dikembangkan berhasil menerjemahkan konstruk abstrak 6C ke dalam indikator perilaku yang terobservasi, seperti kepatuhan terhadap protokol keselamatan (s*afety culture*) dan etika komunikasi publik mengenai risiko radiasi.

Keberhasilan model ADDIE dalam penelitian ini juga terlihat dari sifatnya yang iteratif. Masukan kualitatif dari para ahli pada tahap *development* secara langsung memperbaiki kualitas instrumen. Misalnya, revisi pada rubrik *collaboration* dengan menambahkan *logbook* individu mengatasi kelemahan klasik dalam penilaian kerja kelompok, di mana kontribusi anggota sering

kali tidak terdistribusi secara adil (Lintangesukmanjaya et al., 2025). Demikian pula, penambahan reverse items pada angket meningkatkan ketajaman psikometrik instrumen dengan mendeteksi kecenderungan responden untuk memberikan jawaban yang "terlihat baik" secara sosial (*social desirability bias*) (Asy'ari et al., 2018).

Secara teoritis, penelitian ini memperkaya literatur pendidikan fisika dengan menyediakan model operasionalisasi deep learning yang tidak hanya berfokus pada strategi pembelajaran di kelas (Gabut et al., 2026; Isdayanti et al., 2025), tetapi juga pada validasi alat ukurnya. Integrasi Taksonomi SOLO untuk ranah kognitif dan kerangka 6C untuk ranah afektif-psikomotorik dalam satu paket asesmen fisika inti menawarkan pendekatan holistik yang selaras dengan tuntutan kurikulum OBE (Kemendikbudristek., 2022). Secara praktis, instrumen ini memberikan panduan bagi dosen fisika untuk mengubah paradigma asesmen dari yang sekadar "mengukur apa yang diingat mahasiswa" menjadi "mengukur apa yang dapat dilakukan dan bagaimana sikap mahasiswa terhadap sains".

Meskipun demikian, penelitian ini memiliki beberapa keterbatasan. Validasi yang dilakukan baru sebatas validitas isi (*content validity*) oleh para ahli. Reliabilitas instrumen, daya beda, dan tingkat kesukaran butir soal baru akan teruji secara empiris setelah instrumen ini diimplementasikan kepada mahasiswa dalam skala yang lebih besar. Oleh karena itu, tahap selanjutnya dalam model ADDIE, yaitu *Implementation* dan *Evaluation*, akan difokuskan pada uji coba lapangan untuk menganalisis karakteristik psikometrik instrumen menggunakan *Item Response Theory* (IRT) dan *Confirmatory Factor Analysis* (CFA) untuk memastikan struktur faktor 6C dan SOLO benar-benar terkonfirmasi secara empiris.

KESIMPULAN DAN SARAN

Penelitian ini telah berhasil mengembangkan dan memvalidasi instrumen asesmen pembelajaran mendalam untuk mata kuliah Pendahuluan Fisika Inti berbasis model ADDIE. Hasil validasi ahli menunjukkan bahwa seluruh segmen instrumen—tes esai kontekstual berbasis Taksonomi SOLO (*Critical Thinking* & *Creativity*), angket *self/peer-assessment* (*Character* & *Citizenship*), dan rubrik penilaian proyek (*Collaboration* & *Communication*)—memiliki validitas isi yang tinggi hingga sangat tinggi dengan rata-rata koefisien Aiken's V melampaui 0,79. Instrumen ini terbukti mampu mengoperasionalkan konstruk deep learning (6C) ke dalam indikator yang terukur dan relevan dengan konteks strategis energi nuklir. Kebaruan utama dari penelitian ini adalah integrasi holistik antara pedagogi mendalam, psikometrik, dan kontekstualisasi isu energi nasional dalam satu paket asesmen. Instrumen yang telah divalidasi ini siap untuk diimplementasikan pada tahap selanjutnya guna menguji reliabilitas dan daya ukurnya secara empiris di lapangan. Penelitian ini merekomendasikan agar dosen dan pengembang kurikulum pendidikan fisika mulai mengadopsi instrumen asesmen multidimensi ini untuk menggantikan tes konvensional, guna memastikan bahwa lulusan tidak hanya unggul secara kognitif, tetapi juga memiliki karakter, etika, dan keterampilan kolaborasi yang diperlukan untuk mendukung kemandirian energi nuklir nasional.

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih disampaikan kepada Kementerian Pendidikan Tinggi, Sains, dan Teknologi (Kemdiktisaintek) atas dukungan pendanaan melalui program Hibah BIMA Tahun Anggaran 2026. Ucapan terima kasih juga disampaikan kepada para validator ahli, yaitu Dr. Wawan Bunawan, M.Si., M.Pd., Dr. Erniwati Halawa, M.Si., dan Dr. Eng. Jubaidah, S.Pd., M.Si., atas masukan konstruktifnya yang sangat berharga dalam penyempurnaan instrumen ini.

REFERENSI

Asy'ari, M., Ikhsan, M., & Muhali, M. (2018). Validitas Instrumen Karakterisasi Kemampuan Metakognisi Mahasiswa Calon Guru Fisika. *Prisma Sains: Jurnal Pengkajian Ilmu Dan Pembelajaran Matematika Dan IPA IKIP Mataram*, *6*(1), 18. https://doi.org/10.33394/j-ps.v6i1.955

Bashir, M. F., Arshad, H., Javed, A. R., Kryvinska, N., & Band, S. S. (2021). Subjective Answers Evaluation Using Machine Learning and Natural Language Processing. *IEEE Access*, *9*, 158972–158983. https://doi.org/10.1109/ACCESS.2021.3130902

Bashooir, K., & Supahar, S. (2018). Validitas dan reliabilitas instrumen asesmen kinerja literasi sains pelajaran fisika berbasis STEM. *Jurnal Penelitian Dan Evaluasi Pendidikan*, *22*(2), 219–230. https://doi.org/10.21831/pep.v22i2.19590

Biggs, J. B., & Collis, K. F. (1982). *Evaluating the quality of learning: The SOLO taxonomy (Structure of the Observed Learning Outcome)*. Academic Press.

Branch, R. M. (2009). *Instructional design: The ADDIE approach*. Springer Science & Business Media.

BRIN. (2026). BRIN perkuat fondasi SDM dan regulasi, siapkan Indonesia menuju PLTN pertama 2032. *brin.go.id*.

Dick, W., Carey, L., & Carey, J. O. (2015). *The systematic design of instruction* (8th ed.). Pearson.

Dujardin, R., V. den B. L., & L. G. (2023). *Assessing engineering students' preparedness for*

lifelong learning and self-reflection competency. 356–365.

Fernandez, P. J. M., & Guzon, A. F. H. (2025). A SOLO Taxonomy-based rubric for assessing conceptual understanding in applied calculus. *Journal on Mathematics Education*, *16*(2), 559–580. https://doi.org/10.22342/jme.v16i2.pp559-580

Fullan, M., Quinn, J., & McEachen, J. (2018). *Deep learning: Engage the world change the world*. Corwin.

Gabut, D. M. P., Rojo, M. E. M., Casas, W. C., Tondo, R. C., Mahilum, R. M., & Mutya, R. C. (2026). Comparing Surface and Deep Learning Strategies and Their Relationship to High School Students' Academic Performance in Science. *European Journal of Educational Research*, *15*(1), 199–210. https://doi.org/10.12973/eu-jer.15.1.199

Gunawansyah, Rahayu, R., Nurwathi, Sugiarto, B., & Gunawan. (2020). Automated Essay Scoring Using Natural Language Processing And Text Mining Method. *2020 14th International Conference on Telecommunication Systems, Services, and Applications (TSSA*, 1–4. https://doi.org/10.1109/TSSA51342.2020.9310845

Isdayanti, A. A., Khusaini, K., & Taufiq, A. (2025). Implementation of Deep Learning to Improve Students' Physics Learning Outcomes: A Systematic Literature Review. *Berkala Ilmiah Pendidikan Fisika*, *13*(3), 402. https://doi.org/10.20527/bipf.v13i3.22757

Kemendikbudristek. (2022). *Buku panduan implementasi kurikulum merdeka di perguruan tinggi.* Direktorat Jenderal Pendidikan Tinggi.

Kementerian Riset, T. dan P. T. (2017). *Rencana induk riset nasional (RIRN) 2017–2045*. Kemenristekdikti.

Lilley, J. (2021). *Nuclear physics: Principles and applications* (2nd ed.). Wiley.

Lintangesukmanjaya, R. T., Mahendra, A., Anugrah, S., Prahani, B. K., Dwikoranto, D., Satriawan, M., & Rizki, I. A. (2025). A EFA Analysis of Digital Technology Teaching Materials in Improving Students' Critical Thinking in Physics Learning. *JPPS (Jurnal Penelitian Pendidikan Sains)*, 23–38. https://doi.org/10.26740/jpps.v14n1.p23-38

Mardian, V., & Chandra, D. T. (2023). Development of the PTEAM (Physics, Technology, Engineering, Art, Mathematics) Approach by applying the SOLO Taxonomy. *Science and Education*, *2*, 735–739.

Molenda, M. (2015). In Search of the Elusive ADDIE Model. *Performance Improvement*, *54*(2), 40–42. https://doi.org/10.1002/pfi.21461

Nafi'ah, J., & Faruq, D. J. (2025). Conceptualizing Deep Learning Approach in Primary Education: Integrating Mindful, Meaningful, and Joyful. *Journal of Educational Research and Practice*, *3*(2), 225. https://doi.org/10.70376/jerp.v3i2.384

Papadimas, C., Ragazou, V., Karasavvidis, I., & Kollias, V. (2025). Predicting learning performance using NLP: an exploratory study using two semantic textual similarity methods. *Knowledge and Information Systems*, *67*(5), 4567–4595. https://doi.org/10.1007/s10115-024-02293-2

Quinn, J., McEachen, J., Fullan, M., Gardner, M., & Drummy, M. (2020). *Dive into deep learning: Tools for engagement*. Corwin.

Retnawati, H. (2014). *Validitas dan reliabilitas instrumen penelitian*. UNY Press.

Smith, T. W., & Colby, S. A. (2007). Teaching for Deep Learning. *The Clearing House: A Journal of Educational Strategies, Issues and Ideas*, *80*(5), 205–210. https://doi.org/10.3200/TCHS.80.5.205-210

Tajuddin, N. I. I., Abas, U.-H., Aziz, K. A., Nor, R. N. H., Izni, N. A. I., Sudin, M. N., Anim, N. A. H. M., & Noor, N. M. (2025). Content validity assessment using Aiken's V: Knowledge

integration model for blockchain in higher learning institutions. International Journal of Advanced Computer Science and Applications (IJACSA), 16 (6).

Wardi, L. Z., & Jauhariyah, M. N. R. (2025). Validity and reliability scientific literacy-based physics assessment instrument on atomic nucleus and radioactivity material. *Momentum: Physics Education Journal*, *9*(1), 109–119. https://doi.org/10.21067/mpej.v9i1.10450