

**PENGEMBANGAN MODUL PEMBELAJARAN PADA MATERI DINAMIKA
ROTASI TERINTEGRASI ALAT EKSPERIMEN BERBASIS
MIKROKONTROLER ARDUINO UNTUK MELATIH KETERAMPILAN BERPIKIR
KRITIS SISWA SMA**

Naila Fauza¹, Ridha Nurthaybah Moga Sahid², Muhammad Sahal³

^{1,2,3} Pendidikan Fisika FKIP, Universitas Riau

¹nailafauza@lecture.unri.ac.id, ²ridha.nurthaybah3588@student.unri.ac.id,

³muhammadsahal@lecturer.unri.ac.id

ABSTRACT

Teaching rotational dynamics requires innovative instructional materials to develop students' critical thinking skills. This study aims to determine the validity and practicality of a rotational dynamics learning module integrated with a microcontroller-based experimental tool. The method used in this study is research and development using the ADDIE model, which includes analysis, design, development, implementation, and evaluation. The instruments used were validity and practicality checklists. The results of the research on the development of the rotational dynamics learning module integrated with a microcontroller-based experimental tool showed a total average validity score of 0.89, categorized as valid, and an average practicality score of 3.4, categorized as practical. Based on the research results, the rotational dynamics learning module integrated with a microcontroller-based experimental tool is suitable for use.

Keywords: *Learning Module, Rotational Dynamics, Critical Thinking Skills*

ABSTRAK

Pembelajaran dinamika rotasi memerlukan bahan ajar inovatif untuk melatih keterampilan berpikir kritis siswa. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui tingkat kevalidan dan kepraktisan modul pembelajaran dinamika rotasi terintegrasi alat eksperimen berbasis mikrokontroler. Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah penelitian dan pengembangan yang menggunakan model ADDIE meliputi analisis, perancangan, pengembangan, penerapan dan evaluasi. Instrumen yang digunakan adalah lembar validitas dan lembar praktikalitas. Hasil dari penelitian pengembangan modul pembelajaran dinamika rotasi terintegrasi alat eksperimen berbasis mikrokontroler memiliki nilai rata-rata total validitas sebesar 0,89 dengan kategori valid dan nilai rata-rata praktikalitas sebesar 3,4 dengan kategori praktis. Berdasarkan hasil penelitian, modul pembelajaran dinamika rotasi terintegrasi alat eksperimen berbasis mikrokontroler sudah layak digunakan.

Kata Kunci: Modul Pembelajaran, Dinamika Rotasi, Keterampilan Berpikir Kritis.

A. Pendahuluan

Pada ilmu fisika, mekanika adalah salah satu konsep dasar fisika yang telah diajarkan mulai jenjang sekolah dasar hingga perguruan tinggi. Salah satu materi mekanika yaitu dinamika rotasi yang diajarkan pada siswa kelas XI SMA berdasarkan CP pada kurikulum merdeka. Pada kenyataannya, kemampuan siswa kurang dalam menganalisis dan menggambarkan diagram bebas gaya-gaya penyebab gerak rotasi sehingga siswa tidak mampu memahami konsep untuk memecahkan masalah yang berhubungan dengan dinamika rotasi (Agustihana,S & Dwikoranto, 2015:124–128). Materi dinamika rotasi mengandung konsep yang cukup rumit dan membutuhkan pemahaman yang mendalam mengenai gerak benda tegar serta hubungan antara gaya, torsi dan percepatan sudut. Maka dari itu, fisika tidak bisa hanya diperelajari dengan teori melainkan juga harus diperlukan kegiatan praktikum dalam memperelajari ilmu fisika. (Safitri & Emilianur, 2025:26-39).

Pendidikan di abad ke-21 menjadi tantangan yang kompleks. Menurut (Chusna dkk., 2024: 1) tanggung

jawab besar jatuh kepada dunia pendidikan untuk menghadapi tantangan ini. Konsep ini sejalan dengan karakteristik Keterampilan Abad ke-21 yang diterbitkan oleh *21st Century Skills Partnership*. Dokumen tersebut menegaskan bahwa siswa abad ke-21 perlu mengembangkan keterampilan kompetitif yang sesuai dengan tuntutan zaman. Pentingnya keterampilan tersebut menjadi nyata dalam konteks pembelajaran abad ke-21, yang tidak hanya terbatas pada literasi tradisional seperti membaca dan menghafal, tetapi juga mencakup berpikir kritis, kreatif, dan kemampuan memecahkan masalah dalam kehidupan sehari-hari (Maulidia dkk., 2023: 127 - 133). Generasi muda dituntut untuk memiliki keterampilan 4C, yaitu berpikir kritis, komunikasi, kolaborasi, dan kreativitas. Keterampilan ini menjadi kunci untuk beradaptasi dalam lingkungan yang berubah dengan cepat dan kompleks. Lebih dari sekadar menghadapi tantangan individual, keterampilan ini juga membantu siswa untuk bekerja secara efektif dalam kelompok, mengatasi masalah yang kompleks, serta memperkuat toleransi terhadap perbedaan antar teman sebaya.

Pada abad ke-21 ini, ada empat keterampilan utama yang diharapkan muncul pada setiap siswa sebagai output dari pendidikan, yaitu: *critical thinking, creativity, collaboration, communication* (Trilling & Fadel, 2009: 7). Salah satu pilar utama pada abad 21 ini adalah Keterampilan berpikir kritis (KBK). Mata pelajaran fisika merupakan salah satu wahana untuk menumbuhkan kemampuan berpikir yang berguna untuk memecahkan masalah di dalam kehidupan sehari – hari (Sujanem dkk., 2022: 181–191).

Keterampilan berpikir kritis dapat dikembangkan dengan menggunakan metode eksperimen dapat pembelajaran fisika. Karna dengan menggunakan metode eksperimen siswa dapat belajar mengamati, melakukan pengukuran, pengukuran, pengumpulan suatu data, menganalisis suatu data, dan membuat kesimpulan. Dalam penggunaan metode pembelajaran sangat mempengaruhi perkembangan siswa termasuk perkembangan keterampilan berpikir kritis siswa (Delisa & Akhdinirwanto, 2022: 58 – 63). Tidak semua sekolah melakukan kegiatan eksperimen secara efektif. Hal ini disebabkan ada beberapa kendala dalam pelaksanaan

eksperimen. Kategori kegiatan eksperimen di sekolah masih dikatakan kurang. Rendahnya pelaksanaan kegiatan eksperimen disebabkan karena keterbatasan alat, keterbatasan waktu dan ketidaktersediaan bahan ajar eksperimen (Anggereni dkk., 2021: 414–423). Alasan lain rendahnya pelaksanaan eksperimen karena alat – alat yang rusak, seperti neraca sehingga memerlukan pemeliharaan yang lebih intensif. Kemudian kekurangan alat – alat tertentu dan masih memiliki peralatan yang kuno atau alat yang kurang interaktif (Aprilia dkk., 2024 : 49–58).

Media pembelajaran berkembang seiring dengan perkembangan teknologi, di zaman digitalisasi saat ini terdapat media pembelajaran yang mutakhir, salah satunya adalah media pembelajaran yang menggunakan sistem mikrokontroler. Media pembelajaran dengan menggunakan mikrokontroler dapat memudahkan pengguna untuk mendapatkan data yang lebih akurat dan lebih efisien. Media pembelajaran pada mata pelajaran fisika adalah alat – alat laboratorium yang digunakan untuk eksperimen terkait konten fisika. Alat eksperimen fisika saat ini banyak yang

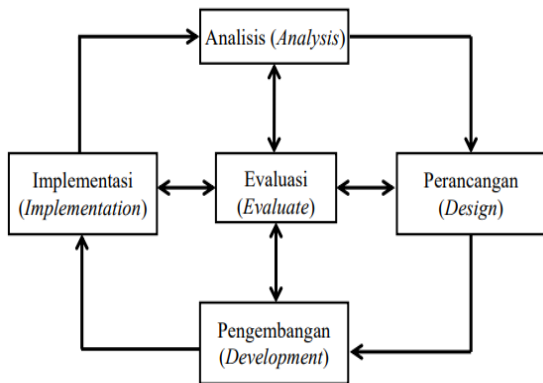
dimodifikasi menggunakan teknologi mikrokontroler (Anggereni dkk., 2021: 414–423).

Selain alat eksperimen yang interaktif, bahan ajar juga menjadi salah satu alat bantu pembelajaran yang efektif. Salah satu bahan ajar yaitu modul. Pemanfaatan modul dalam proses pembelajaran juga dapat mendukung interaksi antara siswa dan guru serta memperkaya pengalaman belajar. Modul juga berfungsi sebagai alternatif dalam menyediakan materi pembelajaran selain buku teks (Cristiana dkk., 2021: 95 – 106). Modul pembelajaran adalah salah satu alat bantu yang dapat digunakan dalam proses pembelajaran. Dengan menyajikan materi, metode, panduan, dan evaluasi, modul menjadi alat pembelajaran yang menarik (Akbarita & Narendra, 2019: 1).

Berdasarkan pada permasalahan yang sudah dijabarkan, peneliti termotivasi untuk membuat sebuah modul pembelajaran pada materi dinamika rotasi terintegrasi alat eksperimen berbasis mikrokontroler arduino dan bisa melatih keterampilan berpikir kritis siswa SMA..

B. Metode Penelitian

Penelitian ini merupakan penelitian pengembangan (*Research and Development*) dengan menggunakan model ADDIE (*Analysis, Design, Development, Implementation, and Evaluation*). Tahap desain dan validasi dilaksanakan di Laboratorium Pendidikan Fisika Program Studi Pendidikan Fisika Jurusan PMIPA Fakultas Keguruan dan Ilmu Pendidikan Universitas Riau. Tahap praktikalitas pengembangan modul pembelajaran dinamika rotasi di SMA N 15 Pekanbaru. Penelitian ini dilaksanakan dari bulan November 2025 – Mei 2026. Subjek penelitian ini adalah 3 validator yang ahli dalam bidang bahan ajar, siswa kelas XI SMA N 15 Pekanbaru dengan jumlah 10 orang sebagai uji terbatas dan 3 orang guru. Tahap penyusunan dan pengembangan modul pembelajaran dilakukan dengan mengikuti fase – fase model pengembangan ADDIE sesuai pada Gambar 1.



Gambar 1 Konsep Model ADDIE

Tahap – tahap penelitian dan pengembangan yang digunakan dapat diuraikan sebagai berikut:

1) Analisis

Analisis yang dilakukan dalam penelitian ini ada dua jenis analisis yaitu analisis kebutuhan dan analisis kurikulum. Penjelasan analisis tersebut sebagai berikut:

a. Analisis kebutuhan

Peneliti melakukan analisis kebutuhan dengan cara melakukan studi literatur dan memberikan angket guru – guru fisika tingkat SMA. Angket analisis kebutuhan untuk guru fisika dilaksanakan secara daring dengan membuat pertanyaan – pertanyaan di *google form* kemudian link *google form* dikirim ke guru – guru fisika. Isi dari angket maupun studi literatur yang dilakukan adalah urgensi mengenai materi dinamika rotasi, kesulitan siswa dalam belajar materi dinamika rotasi, pemanfaatan alat eksperimen berbasis mikrokontroler,

pentingnya keterampilan berpikir kritis serta kepentingan dan harapan mengenai modul pembelajaran pada materi dinamika rotasi terintegrasi alat eksperimen berbasis mikrokontroler untuk melatih keterampilan berpikir kritis siswa SMA.

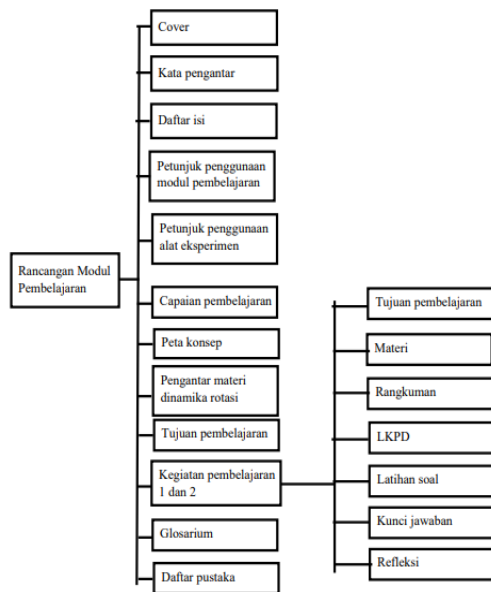
b. Analisis Kurikulum

Analisis kurikulum dilakukan oleh peneliti dengan tujuan untuk membuat isi materi pada modul pembelajaran. Materi yang dimasukkan yaitu materi dinamika rotasi. Materi modul pembelajaran mengikuti Capaian Pembelajaran (CP) yang ada pada kurikulum merdeka. CP dianalisis materi dinamika rotasinya dan dikembangkan dalam berbentuk Tujuan Pembelajaran (TP). Setelah TP sudah jadi, dilanjutkan pada pembuatan peta konsep materi dinamika rotasi.

2) Perancangan

Setelah tahapan analisis dilakukan, tahap selanjutnya pada model ADDIE yaitu tahap perancangan. Tahap perancangan pada penelitian pengembangan modul pembelajaran dinamika rotasi dirancang sesuai dengan analisis yang dibutuhkan sebelumnya. Setelah itu, tahap perancangan ini diperlukan unsur – unsur dalam modul

pembelajaran seperti format modul pembelajaran yang didukung oleh referensi yang akan digunakan dalam mengembangkan modul pembelajaran dan dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2 Rancangan Modul Pembelajaran

Perancangan modul pembelajaran ini diharapkan mampu menggambarkan tentang materi dinamika rotasi dengan bantuan alat eksperimen berbasis mikrokontroler, dapat melatih keterampilan berpikir kritis dan dapat mengintegrasikan kontekstual atau kehidupan sehari – hari serta fenomena alam. Sehingga modul pembelajaran yang dihasilkan bisa digunakan secara efektif.

3) Pengembangan

Tahap selanjutnya merupakan tahap pengembangan atau

development. Tahap pengembangan ini adalah merancang rancangan yang telah dibuat harus diselesaikan dengan kebutuhan yang ingin dicapai sehingga modul pembelajaran dinamika rotasi dapat dibuat sesuai dengan harapan yang telah dirancang. Susunan format modul pembelajaran yang dibutuhkan akan dibuat menjadi suatu modul pembelajaran yang diharapkan. Sehingga dengan adanya bahan ajar ini mempermudah siswa mempelajari materi dinamika rotasi, menggambarkan konteks dinamika rotasi pada fenomena alam, kehidupan sehari – hari dan dapat melatih keterampilan berpikir kritis.

Selanjutnya pada tahap ini akan dilakukan validasi produk yaitu validasi modul pembelajaran dinamika rotasi. Validasi modul pembelajaran dilakukan minimal dua kali validasi, dimana validasi pertama untuk revisi perbaikan modul pembelajaran dan validasi kedua untuk memberi nilai serta pemberian saran untuk perbaikan modul pembelajaran lebih lanjut.

Modul pembelajaran dinamika rotasi divalidasi oleh tiga orang validator, dimana validator tersebut merupakan ahli dan pakar dalam

pengembangan bahan ajar. Perbaikan produk modul pembelajaran dilakukan berdasarkan saran dari validator. Sehingga hasil akhir yang akan didapat dari tahap ini adalah modul pembelajaran dinamika rotasi yang valid untuk digunakan dan siap untuk dilanjutkan pada uji coba produk.

4) Implementasi

Penelitian ini dibatasi hingga tahap implementasi skala kecil yaitu tahap uji coba terbatas. Tahap implementasi skala besar tidak dilakukan karena tujuan penelitian hanya mengembangkan dan mengetahui respon pengguna terhadap modul pembelajaran dinamika rotasi terintegrasi alat eksperimen berbasis mikrokontroler untuk melatih keterampilan berpikir kritis. Produk final dapat diimplementasikan untuk wilayah yang lebih luas dengan melakukan penelitian lanjutan. Oleh sebab itu, penelitian ini hanya sampai pada uji praktikalitas saja.

5) Evaluasi

Tahap evaluasi merupakan tahap yang berkaitan dengan seluruh langkah. Pada tahap ini peneliti akan mengevaluasi seluruh kekurangan pada tiap – tiap tahap ADDIE serta memperbaiki kekurangan tersebut sesuai dengan komentar, kritik dan

saran yang diperoleh ketika validasi modul pembelajaran dinamika rotasi.

Instrumen yang digunakan dalam penelitian ini yaitu lembar validasi untuk mengukur kriteria valid dan lembar praktikalitas untuk dengan skala likert untuk mengetahui kepraktisan modul pembelajaran.

Teknik analisis data yang digunakan dalam penelitian ini adalah analisis deskriptif, yaitu dengan cara menghitung skor validitas dan praktikalitas setiap instrument penilaian perangkat eksperimen kemudian dilakukan penarikan kesimpulan.

Adapun langkah-langkah analisis data pada uji validitas adalah sebagai berikut:

1. Mengumpulkan nilai untuk tiap-tiap indikator pada lembar penilaian validitas. Adapun rentang skor penilaian validitas menggunakan skala likert yang dicantumkan pada Tabel 1.

Kategori	Skor
Sangat Setuju	5
Setuju	4
Kurang Setuju	3
Tidak Setuju	2
Sangat Tidak Setuju	1

Tabel 1 Kategori Penilaian Lembar Validitas
(Sumber: Widyoko, 2012:106)

2. Data hasil uji validitas yang diperoleh dianalisis dengan indeks validitas butir indeks Aiken's V (V) :

$$V = \frac{\sum s}{n(c-1)}$$

$$s = r - l_0$$

Keterangan :

V = Indeks kesepakatan rater

s = Skor deviasi

l_0 = Angka penilaian validitas yang terendah (dalam hal ini = 1)

c = Angka penilaian validitas yang tertinggi (dalam hal ini = 5)

r = Angka yang diberikan oleh seorang penilai

n = Jumlah rater

3. Menentukan kategori kevalidan berdasarkan hasil indeks kesepakatan rater yang diisi oleh validator pada lembar validasi dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2 Kriteria Kevalidan Berdasarkan Lembar Validasi Oleh Validator

No	Rentang Skor	Kriteria Validitas
1	$0,70 < V \leq 1,0$	Valid
2	$0,00 < V \leq 0,7$	Tidak Valid

Sumber: (Widyoko, 2012:106)

4. Modul pembelajaran dikatakan valid apabila setiap validator memberikan penilaian pada rentang $0,70 < V \leq 1,00$ untuk semua indikator, apabila terdapat nilai $0,00 < V \leq 0,70$ maka akan

dilakukan perbaikan pada indikator tersebut.

Setelah dinyatakan valid, maka tahap selanjutnya adalah penilaian praktikalitas modul pembelajaran.

Adapun langkah-langkah analisis data pada praktikalitas adalah sebagai berikut:

1. Mengumpulkan nilai untuk tiap butir praktikalitas yang dinilai pada lembar praktikalitas. Penilaian aspek modul pembelajaran pada lembar praktikalitas menggunakan skala likert seperti pada Tabel 3

Tabel 3 Kategori Penilaian Lembar Praktikalitas

No	Kategori	Skor
1	Sangat setuju	5
2	Setuju	4
3	Kurang Setuju	3
4	Tidak Setuju	2
5	Sangat Tidak Setuju	1

(Sumber: Widyoko, 2012:106)

2. Data hasil praktikalitas yang diperoleh dianalisis dengan mencari rata – rata tiap indikator yang diberikan praktikan dirumuskan sebagai berikut:

$$\bar{x} = \frac{\sum x}{N}$$

Keterangan :

$\bar{x}$ = Skor rerata

$\sum x$ = Jumlah skor item praktikan

N = Jumlah praktikan

3. Melakukan penarikan kesimpulan dimana modul pembelajaran yang dikembangkan dikatakan praktis penggunaannya bagi guru dan siswa jika minimal kategori yang dicapai adalah baik. Penarikan kesimpulan dengan menentukan kategori kepraktisan dari skor rata – rata tiap item berdasarkan Tabel 4.

Tabel 4 Skala Likert Praktikalitas

No	Interval Skor	Kategori Kepraktisan
1	$3 \leq \bar{x} \leq 5,00$	praktis
2	$\bar{x} < 3$	Tidak praktis

Sumber: adaptasi (Sugiyono, 2015 :173)

Modul pembelajaran dikatakan praktis apabila setiap butir penilaiannya dinyatakan praktis dan layak untuk dilakukan uji pemakaian skala yang lebih luas. Praktikan memberikan penilaian pada rentang $3 \leq x \leq 5$ untuk semua indikator dikatakan praktis, apabila terdapat nilai $x < 3$ maka akan dilakukan perbaikan pada indikator tersebut.

C.Hasil Penelitian dan Pembahasan

Tahap penelitian ini dimulai dari analisis. Analisis yang dilakukan ada 2, yaitu analisis kebutuhan dan analisis kurikulum. Analisis kebutuhan dilakukan dengan cara studi literatur dan juga penyebaran angket untuk guru fisika. Hasil studi literatur didapat

bahwa banyak siswa yang jarang bertanya kepada guru ketika menemui kesulitan dalam memahami materi (Setyawan, 2017:17). Kemudian dari penelitiannya (Islami dkk 2018:5), siswa mengalami kesulitan dalam menentukan besar dan arah momen gaya, menggambarkan diagram bebas serta menentukan besarnya energi kinetik total ketika benda menggelinding. Berdasarkan hasil angket analisis kebutuhan, siswa kesulitan memahami konsep materi karna kebanyakan rumus, kurangnya fasilitas bahan ajar dan media pembelajaran, banyak siswa yang jarang bertanya kepada guru dan memilih untuk bertanya kepada teman. Selain itu, bahan ajar yang dimiliki siswa sulit dipahami dikarenakan sedikitnya modul pembelajaran yang menyediakan kegiatan eksperimen yang bisa menambah pemahaman konsep materi pada siswa. Hal ini sejalan dengan penelitian yang dilakukan oleh (Novianto dkk, 2018: 81 – 92). Hasil penelitian tersebut didapat bahwa analisis kebutuhan bahwa sebanyak 80% siswa mengaku kesulitan belajar karena keterbatasan sumber belajarnya. Maka dari itu, siswa perlu memiliki bahan ajar yang bisa

meningkatkan pemahaman konsep siswa, siswa bisa belajar secara mandiri tanpa selalu dibantu oleh guru dan guru bisa menciptakan suasana belajar yang interaktif dengan menerapkan kegiatan eksperimen.

Setelah mendapatkan informasi, maka peneliti merancang desain modul pembelajaran dinamika rotasi terintegrasi alat eksperimen berbasis mikrokontroler. Perancangan dimulai dengan mencari format – format apa saja yang dibutuhkan dalam sebuah modul pembelajaran. Setelah melakukan studi literatur, berdiskusi dengan pembimbing dan revisi dari validator didapatkan format modul pembelajaran dinamika rotasi terintegrasi alat eksperimen berbasis mikrokontroler yaitu: cover, kata pengantar, daftar isi, tujuan modul pembelajaran, petunjuk penggunaan modul, petunjuk penggunaan alat, peta konsep, capaian pembelajaran, kegiatan aktivitas 1 & 2 (tujuan pembelajaran, materi, contoh soal, rangkuman, LKPD, latihan soal, kunci jawaban, refleksi), glosarium dan daftar pustaka. Hal ini sejalan juga dengan penelitian (Aji dkk, 2017:43), peneliti tersebut membuat modul pembelajaran dengan format yaitu: halaman sampul, kata pengantar,

petunjuk penggunaan modul, daftar isi, pendahuluan, peta konsep, *let's think together, attention please, let's try it, let's talk, let's explore the material*, contoh soal, uji pemahaman, rangkuman, evaluasi,, warning (umpan balik), pengayaan dan daftar pustaka. Maka dari itu, format modul pembelajaran dinamika rotasi terintegrasi alat eksperimen bisa dibuat sesuai kebutuhannya.

Setelah melakukan tahap perancangan, selanjutnya peneliti membuah modul pembelajaran dinamika rotasi terintegrasi alat eksperimen berbasis mikrokontroler yang sesuai dengan rancangan dan format yang sudah dibuat, setelahnya dilakukan tahap validasi dan praktikalitas.

Hasil indeks per aspek didapatkan dari validasi modul pembelajaran dinamika rotasi terintegrasi alat eksperimen berbasis mikrokontroler yang dikembangkan disajikan pada Tabel 5.

Tabel 5 Hasil Validasi Modul Pembelajaran untuk Setiap Aspek

No	Indikator	V indeks	Kategori validitas
1	Fungsi Perangkat	0,92	Valid
2	Kemudahan	0,92	Valid
3	Estetika	0,92	Valid
4	Keamanan Kerja	0,92	Valid
5	Penyajian	0,89	Valid
6	Bahasa	0,79	Valid

7	Tampilan	0,92	Valid
	Rata – rata penilaian total	0,89	Valid

Berdasarkan uraian Tabel 5, diperoleh nilai rata – rata total validitas modul pembelajaran sebesar 0,89. Jadi, apabila dilihat dari kriteria validitas indeks Aiken V, nilai ini termasuk ke dalam kategori valid ($0,7 < V \leq 1,0$). Artinya, ketiga ahli validator memberikan penilaian yang cenderung konsisten dan sesuai dengan indikator dan modul pembelajaran dinamika rotasi terintegrasi alat eksperimen dinyatakan valid.

Hasil skor rerata menurut guru dan siswa didapatkan dari praktikalitas modul pembelajaran dinamika rotasi terintegrasi alat eksperimen berbasis mikrokontroler yang dikembangkan disajikan pada Tabel 6

Tabel 6 Hasil Praktikalitas Modul Pembelajaran Menurut Guru dan Siswa

No	Praktikan	Skor rerata	Kategori Praktikalitas
1	Guru	3,6	Praktis
2	Siswa	3,2	Praktis
	Rata – rata penilaian total	3,4	Praktis

Berdasarkan uraian Tabel 4.2 diperoleh nilai rata – rata total praktikalitas modul pembelajaran 3,4. Jadi, apabila dilihat dari kriteria praktikalitasnya, nilai ini termasuk ke dalam kategori praktis ($3 \leq \bar{x} \leq 5,00$). Artinya, semua praktikan baik guru

maupun siswa memberikan penilaian cenderung konsisten dan sesuai dengan indikator dan modul pembelajaran dinamika rotasi terintegrasi alat eksperimen berbasis mikrokontroler dinyatakan praktis.

E. Kesimpulan

Bahan ajar berupa modul pembelajaran dinamika rotasi terintegrasi alat eksperimen berbasis mikrokontroler Arduino telah berhasil dikembangkan mengikuti prosedur *research and development* (R&D) medel ADDIE. Proses penelitian modul pembelajaran dinamika rotasi terintegrasi alat eksperimen berbasis mikrokontroler ini menghasilkan:

1. Modul pembelajaran pada materi dinamika rotasi terintegrasi alat eksperimen berbasis mikrokontroler yang Valid
2. Modul pembelajaran pada materi dinamika rotasi terintegrasi alat eksperimen berbasis mikrokontroler yang Praktis

Dengan demikian, modul pembelajaran dinamika rotasi terintegrasi alat eksperimen berbasis mikrokontroler dinyatakan sudah layak digunakan sebagai bahan ajar pada materi dinamika rotasi kelas XI SMA.

Penelitian ini hanya sampai pada tahap pengembangan dengan uji validitas dan praktikalitas, terkait efisiensi dan penerapan lebih lanjut peneliti merekomendasikan agar hasil penelitian ini dapat dilanjutkan pada tahap implementasi.

DAFTAR PUSTAKA

- Agustihana, S., & Dwikoranto. (2015). Analisis Peningkatan *Higher Order Thinking Skill* Siswa Kelas XI SMAN 15 Surabaya Dengan Model Pengajaran Langsung dan Kooperatif pada Materi Dinamika Rotasi. *Jurnal Inovasi Pendidikan Fisika*. 4(2): 124 - 128.
- Aji, S. D., Hudha, M. N & Rismawati, A. Y. (2017). Pengembangan Modul Pembelajaran Fisika Berbasis *Problem Based Learning* untuk Meningkatkan Kemampuan Pemecahan Masalah Fisika. *Science Education Journal*. 1(1): 36 – 51
- Akbarita, R., & Narendra, R. (2019). Pengembangan modul pembelajaran berbasis masalah untuk membantu meningkatkan kemampuan penalaran siswa smk pada materi fungsi, persamaan fungsi linier dan fungsi kuadrat. *Briliant: Jurnal Riset Dan Konseptual*, 4(1):1
- 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.
- Aprilia, S. D., Wulandari, S. N., Agustina, K. D., & Sulaeman, F. (2024). *Mengeksplorasi Dampak Ketersediaan Peralatan pada Pelaksanaan Praktikum Fisika di Laboratorium SMA*. 5.
- Chusna, I. F., Aini, I. N., Putri, K. A., & Elisa, M. C. (2024). Literatur Review: Urgensi Keterampilan Abad 21 Pada Peserta Didik. *Jurnal Pembelajaran, Bimbingan, dan Pengelolaan Pendidikan*, 4(4), 1
- Cristiana, D. I., Anjarini, T., & Purwoko, R. Y. (2021). Pengembangan modul pembelajaran ipa berbasis kontekstual materi suhu dan kalor di sekolah dasar. *Journal Of Primary Education*, 2(2), 95–106.
- Delisa, S & Akhdinirwanto, R. W. (2022). Pengaruh Metode Eksperimen Dengan Model Kontekstual Untuk Meningkatkan Keterampilan Berpikir Kritis Peserta Didik Pada Pembelajaran Fisika. *Jurnal Kajian Pendidikan Sains*. 8(1): 58– 63
- Islami, S. B. Y., Rustana, C. E., & Raihanati. (2018) Pengembangan E-Module Materi Dinamika Rotasi Dengan Pendekatan *Collaborative Problem Solving* (CPS) Guna Meningkatkan Kemampuan Pemecahan Masalah. 7(1):5
- Maulidia, L., Nafaridah, T., Ahmad, Ratumbusang. Monry F. N, & Sari, E. M. (2023). Analisis Keterampilan Abad Ke 21 melalui Implementasi Kurikulum Merdeka Belajar di SMA Negeri 2 Bajarsari. *Seminar Nasional (PROSPEK II)*, Prospek II, 127–

- Trilling, B., & Fadel, C. (2009). *21st century skills: Learning for life in our times*. San Fransisco, CA: John Wiley & Sons 133
- Novianto, N. K., Masykuri, M & Sukarmin. (2018). Pengembangan Modul Pembelajaran Fisika Berbasis Proyek (*Project Based Learning*) Pada Materi Fluida Statis Untuk Meningkatkan Kreativitas Belajar Siswa. *JURNAL INKUIRI*. 7(1): 81 – 92
- Safitri, D & Emilianur. (2025). Analisis Kebutuhan E-Modul Berbasis *Problem Based Learning* Untuk Meningkatkan Kemampuan Berpikir Kritis Siswa Pada Materi Dinamika Rotasi Dan Kesetimbangan Benda Tegar. *Jurnal MIPA dan Pembelajarannya*. 5(1) : 26 – 39
- Setyawan, D. N., Sarwanto., & Aminah N. S. (2017). Pengembangan Pembelajaran Saintifik Pada Materi Dinamika Rotasi dan Kesetimbangan Tegar Untuk Meningkatkan Kemampuan Berpikir Kritis dan Komunikasi Verbal Siswa SMA. *Jurnal Penelitian Pembelajaran Fisika*. 8(1): 15 – 25
- Sugiyono. 2015. *Metode Penelitian dan Pengembangan*. Bandung: Alfabeta.
- Sujanem, R., Suwindra, I. N. P., & Suswandi, I. (2022). Efektivitas E-Modul Fisika Berbasis Masalah Berbantuan Simulasi Phet Dalam Uji coba Terbatas Untuk Meningkatkan Keterampilan Berpikir Kritis Siswa Sma. 12(2):181-191
- Widyoko, E. P. (2012). *Teknik Penyusunan Instrumen Penelitian*. Pustaka Pelajar.