

DOI: doi.org/10.58797/pilar.0102.11

Analisis Pembelajaran Fisika Materi Dinamika Rotasi: Studi Literatur Publikasi Ilmiah

Siti Maryam Ahlamy*, Susilawati, Habibah Nurul Padilah, Azam Izzatulhaq

Program Studi Pendidikan Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Negeri Jakarta, Jl. Pemuda No. 10 Rawamangun Jakarta, 13220, Indonesia

*Corresponding Email: mariamahlami@gmail.com

Received: 30 September 2022
Revised: 15 November 2022
Accepted: 19 Desember 2022
Online: 31 Desember 2022
Published: 31 Desember 2022

Mitra Pilar: Jurnal Pendidikan, Inovasi, dan Terapan Teknologi
p-ISSN: 2964-7622
e-ISSN: 2964-6014



Abstract

This literature research aims to identify rotational dynamics learning problems. The research method used is the System Literature Review (SLR). The results of studying the literature show that a lot of learning research has been carried out on rotational dynamics material. Even though the concept of the material has been conveyed, many students do not understand and fail to apply the concept to solve a problem. This is because the knowledge is still in the form of knowledge and has yet to form a complete knowledge of concepts. Some rotational dynamics learning uses cognitive conflict and analogy. Inappropriate selection of cognitive conflicts and analogies by learners can lead students to make false claims about concepts. Based on the results of the review of the literature study, several recommendations for physics learning models were obtained that could train problem-solving skills with various learning models, scientific approaches, and technological media assistance to support learning activities, especially on rotational dynamics material.

Keywords: rotation dynamics, learning physics, learning problems.

Abstrak

Penelitian literatur ini bertujuan untuk mengidentifikasi permasalahan pembelajaran dinamika rotasi. Metode penelitian yang digunakan adalah System Literature Review (SLR), Hasil belajar literatur menunjukkan banyak penelitian pembelajaran yang telah dilakukan pada materi dinamika rotasi. Meskipun konsep materi telah disampaikan, banyak siswa yang tidak paham dan gagal dalam menerapkan konsep tersebut untuk menyelesaikan suatu permasalahan. Hal ini disebabkan karena ilmu yang dimiliki masih

berupa pengetahuan dan belum membentuk ilmu yang utuh tentang konsep. Beberapa pembelajaran dinamika rotasi menggunakan konflik kognitif dan analogi. Pemilihan konflik kognitif dan analogi yang tidak tepat oleh pembelajar dapat membuat siswa memberikan klaim yang salah pada konsep. Berdasarkan hasil kajian studi literatur didapatkan beberapa rekomendasi model pembelajaran fisika yang dapat melatih keterampilan pemecahan masalah dengan berbagai model pembelajaran, pendekatan saintifik, dan bantuan media teknologi untuk menunjang kegiatan pembelajaran terutama pada materi dinamika rotasi.

Kata-kata kunci: dinamika rotasi, pembelajaran fisika, permasalahan pembelajaran.

PENDAHULUAN

Pembelajaran di sekolah pada hakikatnya adalah suatu proses komunikasi antara pendidik dan peserta didik. Dalam komunikasi tersebut di sampaikan informasi dari pendidik sebagai sumber informasi dan peserta didik sebagai penerima informasi. Informasi yang diperoleh selanjutnya di proses atau di olah dalam pikiran untuk di simpan dalam memori peserta didik (Wardana, 2018).

Penguasaan konsep dapat menunjukan siswa menguasai materi-materi dengan baik atau tidak, sehingga penting bagi calon guru mengetahui kesulitan siswa tentang berbagai konsep fisika dalam menentukan strategi belajar yang baik, untuk mengurangi atau menghilangkan kesulitan pada materi tersebut. Salah satu materi fisika yang menjadi kesulitan siswa adalah konsep dinamika rotasi dan kesetimbangan benda tegar (Wardhani, 2019).

Dinamika rotasi merupakan materi yang tergolong kompleks. Hal ini dikarenakan materi tersebut tidak hanya mengkaji konsep gerak secara translasi tetapi juga secara rotasi (Lopez, 2013; Phommarach, 2012). Beberapa penelitian telah banyak dilakukan terkait strategi pembelajaran dinamika rotasi sebagai upaya untuk meningkatkan pemahaman konsep. Namun meskipun telah banyak jenis dan upaya yang dilakukan, pembelajaran tersebut masih menimbulkan kesulitan belajar. Tidak selamanya kesulitan belajar hanya ditimbulkan oleh siswa. Terkadang kesulitan juga dialami oleh pengajar dalam menyampaikan konsep fisika (Akhmalia, 2018). Salah satu kesulitan belajar yang timbul dapat diakibatkan karena siswa belum memahami materi sebelumnya yang berkaitan dengan materi yang akan disampaikan (Priyadi, dkk., 2018). Artikel ini dimaksudkan untuk membahas pembelajaran-pembelajaran dinamika rotasi yang telah dilakukan sebagai upaya untuk meningkatkan pemahaman konsep siswa. Setiap penelitian pembelajaran akan dibahas bagaimana pembelajaran dinamika rotasi dilakukan, kekurangan, kelebihan, tantangan yang muncul selama pembelajaran berlangsung, dan solusi yang ditawarkan oleh penelitian tersebut.

Metode Newton banyak menerapkan konsep vektor, tiga metode lainnya banyak menerapkan konsep matematika, terutama konsep diferensial parsial. Menurut Bride dan kawan-kawannya pada tahun 2014 dalam penelitiannya menyatakan bahwa guru memberi penjelasan dalam pembelajaran fisika kepada siswa terutama materi dinamika rotasi, yang merupakan satu konsep dalam fisika yang membutuhkan pembelajaran penyelidikan (inkuiri) adalah konsep hukum Newton tentang gerak. Dalam artikel tersebut mengkaji kesulitan-kesulitan siswa dalam merumuskan dan menyelesaikan beberapa masalah pada persoalan momen inersia yang masih menggunakan konsep hukum Newton tentang gerak gaya. (Anggraini, dkk., 2020)

Hukum Newton dalam mekanika, hanya mengatur tentang gerak titik materi dan himpunan titik materi. Hukum Newton dapat digunakan hanya jika semua gaya yang bekerja pada sistem diketahui, yaitu kondisi dinamik diketahui (Bel, et al 2014). Dalam perkuliahan Fisika Dasar, persamaan gerak untuk gerak rotasi disebut persamaan dinamika rotasi, yang sebenarnya dapat dirumuskan dari persamaan Newton. Pada metode Newton, analisa awal terfokus pada gaya-gaya sebagai penyebab benda bergerak translasi. Pada dinamika rotasi, analisis awal terfokus pada torka-torka sebagai penyebab benda bergerak rotasi. Persamaan Newton untuk gerak translasi dan persamaan dinamika gerak rotasi berbentuk (Halliday, D., dkk., 2014).

$$F = m \times a \text{ dan } \tau = I \times \alpha \quad (1)$$

Keterangan :

F : gaya resultan

m : massa

a : percepatan tangensial

τ : torka resultan

I : momen inersia

α : percepatan angular

Persamaan Lagrange merupakan formulasi yang merepresentasikan hukum-hukum gerak Newton yang dapat memakai koordinat-koordinat sembarang dan tidak terikat untuk satu jenis sistem koordinat. Persamaan Lagrange memberikan cara yang sistematis untuk memformulasikan persamaan gerak dari sistem mekanik atau sistem struktural yang fleksibel dengan derajat kebebasan yang banyak. Dengan menggunakan persamaan Lagrange, solusi dari suatu persamaan diferensial getaran dengan derajat kebebasan yang banyak dapat lebih mudah untuk didapatkan dibandingkan ketika menggunakan metode Newton (Arslan, et al., 2020). Dengan menggunakan persamaan Lagrange, maka pendekatan skalar diperoleh dengan adanya nilai skalar dari energi kinetik dan energi potensial untuk masing-masing koordinat umum. Metode Lagrange mengawali perumusan persamaan gerak dengan menganalisis energi kinetik dan energi potensial untuk memperoleh fungsi Lagrange benda. Kemudian fungsi Lagrange disubstitusikan ke persamaan Lagrange. Salah satu persamaan Lagrange dituliskan dalam bentuk (Abdullah, 2017)

dimana:

$$\frac{d}{dt} \left(\frac{\partial L}{\partial \dot{q}_k} - \frac{\partial L}{\partial q_k} \right) = \sum \lambda_l a_{lk} \quad (2)$$

Keterangan :

L : fungsi Lagrange, yaitu selisih energi kinetik dengan energi potensial benda.

\dot{q}_k : turunan pertama koordinat umum terhadap waktu.

q_k : koordinat umum yaitu koordinat yang dapat berupa koordinat kartesius, koordinat polar, koordinat silinder, koordinat bola, dan lain-lainnya.

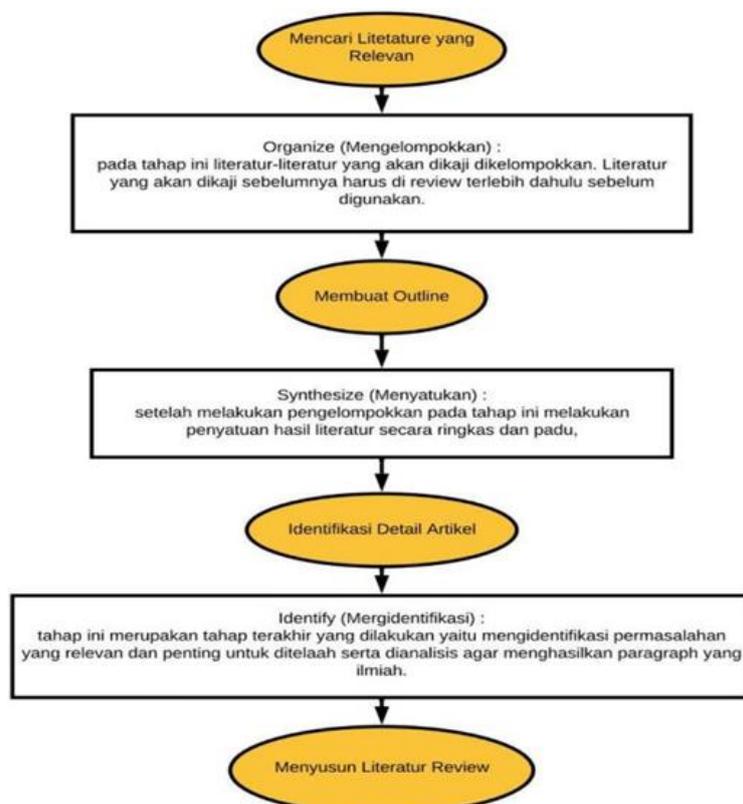
λ_l : pengali Lagrange, yaitu besaran fisika yang nantinya dapat dieleminasi untuk mendapat solusi persamaan gerak.

a_{ik} : tetapan-tetapan koordinat yang ada dalam persamaan holonomik (persamaan yang mengandung koordinat-koordinat, di mana satu sama lain tidak saling bebas, yang berguna untuk menjelaskan keadaan benda).

Berdasarkan hasil pemaparan diatas meskipun konsep materi telah disampaikan, banyak siswa yang tidak paham dan gagal dalam menerapkan konsep tersebut untuk menyelesaikan suatu permasalahan. Hal ini disebabkan karena ilmu yang dimiliki masih berupa pengetahuan dan belum membentuk ilmu yang utuh tentang konsep (Zain, 2018). Beberapa pembelajaran dinamika rotasi menggunakan konflik kognitif dan analogi. Pemilihan konflik kognitif dan analogi yang tidak tepat oleh pembelajar dapat membuat siswa memberikan klaim yang salah pada konsep (Suana, dkk., 2020). Maka untuk mengatasi masalah tersebut diperlukan suatu model pembelajaran yang dapat di implementasikan pada kemampuan berpikir kritis (Solihat, dkk., 2017). Dari hasil kajian studi literatur yang telah dilakukan didapatkan beberapa rekomendasi model pembelajaran fisika yang dapat melatih keterampilan pemecahan masalah dengan berbagai model pembelajaran, pendekatan saintifik, dan bantuan media teknologi untuk menunjang kegiatan pembelajaran terutama pada materi dinamika rotasi.

METODE

Penelitian ini termasuk jenis penelitian literature review dengan mengkaji artikel terkait yang bertujuan untuk menemukan kajian ilmiah dan teoritis. Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah *System Literature Review (SLR)* yang dapat diartikan sebagai serangkaian kegiatan yang berhubungan dengan metode pengumpulan data pustaka atau penelitian pada objek penelitian yang dicari dari berbagai macam informasi literasi seperti jurnal ilmiah, dokumen, majalah dan ensiklopedia atau hasil penelitian terdahulu yang digunakan sebagai referensi untuk menganalisis kelebihan dan kekurangan hasil penelitian yang didapat dalam penelitian. (Syaodih, 2019).



GAMBAR 1. Diagram alur langkah-langkah System Literatur Review

Data yang diperoleh dalam penelitian ini merupakan data sekunder yang diperoleh dari jurnal, artikel, skripsi, tesis maupun sumber lain yang lebih relevan. Teknik analisis data yang digunakan dalam penelitian ini terdiri dari tiga tahapan yaitu organize (mengelompokkan), synthesize (menyatukan), dan identify (mengidentifikasi) dengan uraian sebagai berikut (1) Organize (Mengelompokkan) pada tahap ini literatur-literatur yang akan dikaji dikelompokkan. Literatur yang akan dikaji sebelumnya harus di review terlebih dahulu sebelum digunakan. Pengelompokkan literatur dilakukan sesuai dengan pokok bahasan, (2) Synthesize (Menyatukan) setelah melakukan pengelompokkan pada tahap ini melakukan penyatuan hasil literatur secara ringkas dan padu, (3) Identify (Mergidentifikasi) tahap ini merupakan tahap terakhir yang dilakukan yaitu mengidentifikasi permasalahan yang relevan dan penting untuk ditelaah serta dianalisis agar menghasilkan paragraph yang ilmiah. (Afrizal, 2016)

PEMBAHASAN

Analisis Tingkat Pemahaman Siswa pada Materi Pembelajaran Dinamika Rotasi

Penelitian yang dilakukan oleh Sari, dkk. (2017) dengan melakukan survei pada sekelompok siswa dalam satu kelas menunjukkan analisis pemahaman konsep siswa yang digolongkan berdasarkan adaptasi kategori pemahaman konsep seperti pada Tabel 1.

TABEL 1. Kategori pemahaman konsep siswa.

No	Uraian	Keterangan
1	$0\% \leq x \leq 30\%$	Rendah
2	$30\% < x \leq 60\%$	Sedang
3	$60\% < x \leq 100\%$	Tinggi

Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh D. E. Saputri dan A. Suyudi (2020) memberikan hasil temuan yang menunjukkan bahwa siswa masih mengalami beberapa kesulitan setelah kegiatan pembelajaran dilaksanakan. Pada topik yang sama diperoleh tingkat pemahaman konsep yang berbeda (Tabel 2). Temuan ini diperoleh pada beberapa topik. Pada topik torka soal-soal disajikan pada nomor 1, 2, dan 3. Ketiganya memiliki kriteria pemahaman yang berbeda. Soal nomor 1 dan nomor 3 menghasilkan kriteria pemahaman yang kontras. Pada topik momen inersia juga diperoleh kategori pemahaman konsep yang berbeda. Hal ini terjadi pula pada topik hukum II Newton gerak rotasi dan kesetimbangan benda tegar.

TABEL 2. Topik, kemampuan yang diuji, dan kriteria pemahaman konsep tiap butir soal.

Topik	Kemampuan yang Diuji	No. Soal	Kategori Pemahaman Konsep
Torka	Menentukan resultan sama dengan nol dengan sumbu rotasi di pusat massa	1	Tinggi
	Menentukan resultan torka yang tidak sama dengan nol dengan sumbu rotasi di pusat massa	2	Sedang
	Menganalisis torka oleh gaya pada dua sistem yang berbeda	3	Rendah

Topik	Kemampuan yang Diuji	No. Soal	Kategori Pemahaman Konsep
Momen Inersia	Menentukan besaran yang mempengaruhi momen inersia benda tegar	4	Rendah
	Menentukan besarnya momen inersia benda tegar pada suatu sumbu yang berjarak tertentu dari pusat massa	5	Tinggi
Hukum II Newton Gerak Rotasi	Membandingkan percepatan sudut beberapa sistem akibat resultan torka yang bekerja pada benda berbeda (momen inersia benda sama)	6	Rendah
	Menganalisis percepatan sudut dua sistem apabila momen inersia benda sama)	7	Sedang
Keseimbangan Benda Tegar	Menentukan kondisi benda dalam keseimbangan bila dikenai beberapa torka yang berbeda-beda pada konteks bola	8	Rendah
	Menentukan persamaan torka terhadap sumbu tertentu pada konteks jungkat-jungkit	9	Sedang

Kesulitan yang dialami siswa setelah mengikuti pembelajaran dijumpai pada seluruh topik. Kesulitan-kesulitan yang dipaparkan didasarkan pada soal-soal dengan pemahaman konsep rendah. Persoalan tentang torka yang disajikan pada soal nomor 3 memperoleh respon jawaban yang buruk, yang mana tidak satupun siswa mampu memilih opsi yang tepat saat *posttest* pada soal ini. Temuan ini sangat kontras dengan respon soal yang diberikan siswa pada nomor 1 yang mana semua siswa mampu memilih opsi yang tepat saat *posttest*. Soal nomor 1 dinilai lebih rumit dari pada nomor 3 karena menampilkan empat gaya sekaligus yang bekerja pada suatu batang sedangkan soal nomor 3 hanya menampilkan satu gaya yakni gaya berat oleh tanah liat yang identik. Meski demikian gayagaya yang bekerja pada soal nomor 1 ditampilkan secara eksplisit sedangkan soal nomor 3 diagram gaya belum ditampilkan secara eksplisit. Hal ini menunjukkan bahwa nampaknya siswa belum cakap mengidentifikasi gaya dalam bentuk diagram gaya. Sehingga kesulitan menentukan torka oleh gaya.

Persoalan tentang momen inersia yang disajikan pada nomor 4 mendapatkan respon siswa yang kurang baik apabila dibandingkan dengan soal momen inersia nomor 5 yang mana 28 dari 29 siswa mampu memilih opsi yang tepat saat *posttest*. Soal nomor 4 merupakan soal konseptual terkait besaran-besaran yang memengaruhi momen inersia benda tegar. Siswa nampak kesulitan mengidentifikasi persoalan konseptual daripada penyelesaian matematis menggunakan rumus-rumus. Temuan yang diperoleh menunjukkan bahwa siswa sulit merepresentasikan persamaan $I = kmR^2$ yang dimaknai bahwa momen inersia benda tegar dipengaruhi oleh bentuk benda, massa yang bergantung pada benda, dan letak sumbu rotasi.

Persoalan tentang Hukum II Newton gerak rotasi disajikan pada nomor 6 dan 7. Soal nomor 6 meminta siswa menentukan pengaruh torka total terhadap percepatan sudut. Sedangkan soal nomor 7 meminta siswa menentukan pengaruh momen inersia terhadap percepatan sudut. Soal nomor 6 kurang mendapat respon yang positif saat *posttest* daripada soal nomor 7. Hal ini menunjukkan bahwa siswa nampak masih kesulitan mengoperasikan Hukum II Newton gerak

rotasi kaitannya dengan pengaruh resultan torka terhadap percepatan sudut daripada pengaruh momen inersia terhadap percepatan sudut resoure siswa lebih dominan tentang momen inersia kaitannya dengan ukuran kelembaman gerak rotasi dan hubungannya dengan percepatan rotasi yang dihasilkan. Semakin besar momen inersia akan menghasilkan percepatan sudut yang kecil.

Persoalaan tentang kesetimbangan benda tegar disajikan dalam soal nomor 8 dan 9. Kesetimbangan benda tegar pada soal nomor 8 disajikan dalam konteks bola yang dikenai gaya pada titik-titik tertentu sedangkan soal nomor 9 disajikan dalam konteks jungkat-jungkit. Respon siswa terhadap soal nomor 8 kurang baik dibandingkan dengan respon siswa terhadap soal nomor 9 saat posttest. Hasil demikian diduga diakibatkan oleh kegiatan pembelajaran yang menampilkan jungkat-jungkit dalam menjelaskan kesetimbangan benda tegar. Latihan soal yang diberikan pada LKPD juga menentukan kesetimbangan benda tegar pada jungkat-jungkit apabila dipilih sumbu rotasi di titik selain titik tengah atau pusat massa jungkat-jungkit. Pembelajaran kurang menampilkan fenomena kesetimbangan pada konteks-konteks lainnya. Sehingga siswa merasa kesulitan apabila konsep yang sama ditampilkan dalam konteks yang berbeda. Hal ini menunjukkan bahwa pemahaman siswa pada suatu konsep masih terkait dengan konteks yang disajikan (Taqwa, M. & Pilendia, D., 2018).

Analisis Model Pembelajaran dari Penelitian Sebelumnya.

TABEL 3. Hasil Penelitian penduhulu

Nama Penulis	Judul	Tahun	Hasil Penelitian
Ambrosis, A. D., dkk	“Investigating the Role Sliding Friction in Rolling Motion: A Teaching Sequence based on Experiments and Simulation”	2015 dari <i>European Journal of Physics</i> , 36(2015): 1-21	Analisis data kualitatif tentang penalaran ST menunjukkan bahwa pendekatan ini memungkinkan mereka memperoleh pemahaman subjek yang lebih kaya dan lebih tepat. Perbandingan dari hasil sebelum dan sesudah tes menunjukkan bahwa ST memperoleh peningkatan kinerja yang masuk akal, dan mengatasi banyak kesulitan umum.
Carvalho, P. S dan Sousa, A. S	“Rotational In Secondary School: Teaching The Effect of Frictional Force”	2005 dari <i>Physics Education</i> , 40 (3): 257 – 265	Hasil penelitian menunjukkan bahwa mayoritas peserta workshop nampaknya mengetahui bahwa gaya gesek tidak selalu searah dengan arah gerak. Fakta ini dapat dikaitkan dengan beberapa contoh umum seperti orang yang berjalan kaki, atau penumpang yang berdiri di dalam bus saat sedang melaju.
Ortiz, L. G., dkk	“Students Understanding of Static Equilibrium: American	2005 dari <i>Journal of</i>	Pada penelitian ini didapatkan hasil bahwa kebanyakan siswa dapat menganalisis situasi fisik

Nama Penulis	Judul	Tahun	Hasil Penelitian
	Predicting and Accounting for Balancing”	<i>Physics.</i> 73 (2005): 545-55	kesetimbangan yang sederhana dan hanya sedikit yang bisa meneruskan analisis ke sistem kesetimbangan yang lebih rumit. Pada sistem kesetimbangan, banyak siswa mengabaikan torka dan menganggap bahwa hanya gaya netto yang dipertimbangkan dalam kesetimbangan, bukan lokasi dimana gaya tersebut diaplikasikan.
Mulyastuti, H.	“Profil Reduksi Miskonsepsi Siswa Materi Dinamika Rotasi Sebagai Penerapan Model Pembelajaran ECIRR Berbantuan Media Audiovisual”	2016 dari <i>Jurnal Inovasi Pendidikan Fisika (JIPF) Universitas Negeri Surabaya.</i> ISSN: 2302-4496, Vol. 05, No. 02, hal 82-84.	Pada penelitian ini, diberikan hasil bahwa terdapat beberapa sub materi yang tidak tepat sasaran sehingga beberapa siswa menjadi salah konsep yaitu pada konsep gerak rotasi benda tegar dan energi gerak rotasi. Hal ini disebabkan karena pada saat pembelajaran, konsep-konsep tersebut tidak dihadirkan dan dibahas secara utuh serta tidak mendapatkan penekanan dan respon konflik kognitif yang tepat sasaran pada siswa.
Sarkity, D.	"Kemampuan Pemecahan Masalah Melalui Analogi Kesetimbangan dan Dinamika Rotasi dalam Pembelajaran Berbasis Masalah pada Siswa SMAN 1 Pekanbaru"	2017 dari Tesis yang tidak diterbitkan. Malang: Pascasarjana Universitas Negeri Malang).	Pada penelitian ini, didapatkan hasil bahwa pemecahan masalah menjadikan konsep yang telah dipelajari sebagai analogi untuk mempelajari konsep baru membuat siswa memahami konsep baru secara lebih mudah.
Aji, S. D., dkk	"Pengembangan Modul Pembelajaran Fisika Berbasis Problem Based Learning untuk Meningkatkan Kemampuan Pemecahan Masalah Fisika”	2017 dari <i>Education Journal</i> , vol. 1, pp. 36-51.	Dari penelitiannya tersebut diketahui bahwa modul pembelajaran fisika berbasis PBL pada topik keseimbangan dan dinamika rotasi dapat meningkatkan kemampuan pemecahan masalah fisika siswa SMA.

Nama Penulis	Judul	Tahun	Hasil Penelitian
L. Widianingtyas, Siswoyo, dan F. Bakri	“Pengaruh Pendekatan Muti Representasi dalam Pembelajaran Terhadap Kemampuan Kognitif Siswa SMA”	2015 dari <i>Jurnal Penelitian dan Pengembangan Pendidikan Fisika</i> , P-ISSN: 2461-0933 E-ISSN: 2461-1433, Vol. 1, No. 1, h. 31-38)	Hasil dari penelitian ini yaitu peningkatan hasil belajar pada kelas eksperimen lebih besar dari kelas kontrol, sehingga dapat disimpulkan pendekatan multi representasi memberikan pengaruh positif terhadap kemampuan kognitif siswa.
John, M. Keller	“First Principles Of Motivation To Learn And E3-Learning”	2008 dari USA: Routledge, dalam <i>Distance Education</i> . Vol. 29, No. 2	Hasil penelitian ini menunjukkan terdapatnya pengaruh yang positif terhadap rasa percaya diri dan prestasi siswa. Hasil penelitian ini juga menunjukkan terdapat peningkatan hasil belajar pada kelas eksperimen.

Ambrosis, A. D., Massimiliano Malgieri, Paolo Mascheretti, dan Pasquale Onorato (2015)

Pada penelitian yang dilakukan oleh Ambrosis *et al.* (2015), dapat diketahui tujuan pembelajarannya yaitu untuk membantu peserta didik mengkonstruksi pengetahuan mereka tentang fenomena gerak menggelinding dengan menekankan peran gaya gesek dalam gerakannya. Pembelajaran dilakukan dengan memberikan demonstrasi sederhana untuk memunculkan masalah dan memotivasi siswa dalam mengeksplorasi topik yang akan dibelajarkan. Selanjutnya dilakukan percobaan sederhana dan analisis video untuk mengamati hubungan konsep yang sangat kompleks antara gaya gesek dan gerak menggelinding. Selain itu juga digunakan simulasi interaktif sederhana menggunakan *2D freeware Algodoo* yang dapat dimodifikasi oleh siswa sehingga dapat menghadirkan situasi atau konteks yang berbeda namun tetap mengarah pada konsep gaya gesek dan gerak menggelinding.

Carvalho, P. S dan Sousa, A. S (2005)

Pembelajaran dinamika rotasi pada penelitian yang dilakukan oleh Carvalho & Sousa (2005) adalah dengan pemodelan fenomena. Fenomena tersebut nantinya akan dideskripsikan dan dianalisis oleh siswa. Analisis dilakukan melalui kegiatan diskusi antara guru dan siswa agar siswa tidak salah konsep dan memiliki pemahaman konseptual yang baik. Pemahaman konseptual yang baik juga akan membentuk penggunaan prosedur matematis yang baik pada siswa. Berikut adalah beberapa permasalahan dan solusi yang ditawarkan pada penelitian ini.

1. Saat pembelajaran, beberapa siswa memiliki pemahaman bahwa gaya gesek selalu menentang arah gerak. Beberapa siswa hanya memperhatikan gerak translasi benda tanpa memperhatikan faktor gerak rotasi sehingga muncul pemahaman tersebut. Pemahaman ini diluruskan dalam pembelajaran dengan menghadirkan fenomena harian

(misalnya: seseorang yang sedang berdiri di dalam bus yang bergerak). Fenomena ini juga dijelaskan dengan menggunakan analisis *free body diagram* dan diskusi konseptual. Melalui kegiatan ini, siswa sadar bahwa terkadang arah gaya gesek sama dengan arah geraknya.

2. Siswa menyederhanakan masalah benda tegar dengan penalaran yang sama dengan partikel. Hal ini membuat siswa tidak mempertimbangkan faktor rotasi yang ada.

Permasalahan ini terkadang juga dialami oleh pengajar. Pemahaman ini diluruskan dengan menggunakan analisis torka pada fenomena gerak menggelinding di atas bidang miring. Analisis yang dilakukan juga dilengkapi dengan analisis *free body diagram*. Selain itu juga dilakukan eksperimen sederhana, deskripsi fisis dan matematis tentang gerak dan diskusi konseptual yang mendukung.

Ortiz, L.G, Paula R. L. Heron, dan Peter S. Shaffer (2005)

Pembelajaran yang dirancang pada penelitian yang dilakukan oleh Ortiz *et al.* (2005) adalah pembelajaran berbasis pemodelan fenomena, menyelesaikan latihan soal, dan melakukan eksperimen sederhana tentang materi kesetimbangan. Pembelajaran dengan menggunakan pemodelan fenomena ini memiliki tantangan yaitu membantu siswa untuk memahami fenomena spesifik dengan menggunakan prinsip-prinsip dasar fisika. Melalui pemodelan fenomena dan eksperimen sederhana, siswa akan mengungkapkan gagasannya secara eksplisit. Namun diperoleh hasil bahwa gagasan siswa tidak selalu diungkapkan secara konsisten untuk menjelaskan fenomena yang diberikan. Siswa menanggapi fenomena fisika kualitatif berdasarkan gagasan abstrak dari fenomena umum dan yang seringkali terlihat jelas selama pengamatan siswa sebelumnya tentang fenomena tersebut. Hal ini mengindikasikan bahwa respon, jawaban, pola nalar, dan penjelasan siswa akan disampaikan berdasarkan konteks yang ada sehingga perbedaan konteks akan mempengaruhi penjelasan yang diberikan oleh siswa (Disessa *et al.*, 2004; Dufresne *et al.*, 2002; Steinberg & Sabella, 1997).

Pada penelitian ini didapatkan hasil bahwa kebanyakan siswa dapat menganalisis situasi fisik kesetimbangan yang sederhana dan hanya sedikit yang bisa meneruskan analisis ke sistem kesetimbangan yang lebih rumit. Pada sistem kesetimbangan, banyak siswa mengabaikan torka dan menganggap bahwa hanya gaya netto yang dipertimbangkan dalam kesetimbangan, bukan lokasi dimana gaya tersebut diaplikasikan. Sedangkan temuan pada pembelajarannya yaitu:

- Saat pembelajaran, perlu adanya perhatian secara eksplisit yang harus diberikan untuk membedakan antara gaya dengan torka,
- Perlu adanya peningkatan penekanan pada definisi operasional konsep meskipun konsep terlihat sederhana,
- Perlu adanya perhatian yang diberikan untuk membantu siswa menjelaskan orientasi sudut dan hubungannya dengan konsep hukum II Newton tentang rotasi,
- Hasil penelitian menunjukkan bahwa kegiatan langsung yang dilakukan dalam kelompok kecil tidak menghasilkan pemahaman konsep yang utuh sehingga pengetahuan siswa masih berupa potongan-potongan konsep. Maka dari itu, tantangan bagi pengajar adalah membimbing siswa menyusun konsep dan menjadikan konsep-konsep agar berkaitan sehingga dapat terbentuk suatu konsep yang utuh dan bermakna,
- Melalui pembelajaran, siswa harus diberikan kesempatan untuk memperkuat dan memperbaiki gagasan yang berkembang melalui situasi atau konteks yang baru.

Mulyastuti, H. (2016)

Pembelajaran dinamika rotasi dilakukan dengan menggunakan model pembelajaran ECIRR yang dikembangkan oleh Wenning (2018). ECIRR merupakan singkatan dari sintaks pembelajaran tersebut yaitu *Elicit-Confront-Identify-Resolve-Reinforce*. Model pembelajaran ini mengakomodasi pengetahuan awal dengan strategi konflik kognitif untuk perubahan konseptual (Wenning, 2018). Perubahan konseptual ditujukan untuk memperbaiki pengetahuan awal siswa yang masih berupa konsepsi alternatif menjadi konsep ilmiah sehingga dapat diperoleh pemahaman konsep yang mendalam (Mulyastuti dkk., 2016). Konflik kognitif dihadirkan pada siswa dengan menggunakan fenomena baik dengan menggunakan demonstrasi sederhana maupun menggunakan video audiovisual tentang materi dinamika rotasi yang akan diajarkan.

Penelitian ini dianalisis menggunakan teori miskonsepsi, yaitu menganggap bahwa konsep awal yang dimiliki oleh siswa adalah salah dan harus diubah menjadi konsep ilmiah. Penggunaan strategi konflik kognitif dirasa ampuh dalam mengarahkan siswa pada perubahan konsep awal (Ibrahim, 2012; Suparno, 2013). Namun pada kenyataannya, tidak mudah untuk memberikan stimulus pada siswa saat menghadirkan konflik kognitif melalui suatu fenomena. Pengajar harus benar-benar mengajak siswa untuk menganalisis fenomena yang ada sehingga siswa dapat merasakan konflik kognitif pada dirinya. Selain itu, pengajar harus memilih fenomena yang cocok dengan konsep agar konflik kognitif yang dihadirkan dapat dimengerti dan nantinya dapat meningkatkan pemahaman konsep siswa.

Pada penelitian ini, diberikan hasil bahwa terdapat beberapa sub materi yang tidak tepat sasaran sehingga beberapa siswa menjadi salah konsep yaitu pada konsep gerak rotasi benda tegar dan energi gerak rotasi. Hal ini disebabkan karena pada saat pembelajaran, konsep-konsep tersebut tidak dihadirkan dan dibahas secara utuh serta tidak mendapatkan penekanan dan respon konflik kognitif yang tepat sasaran pada siswa.

Sarkity, D. (2017)

Pembelajaran dinamika rotasi yang dirancang pada penelitian yang dilakukan oleh Sarkity (2017) adalah pembelajaran berbasis masalah dengan menggunakan analogi. Pembelajaran diawali dengan menampilkan sebuah fenomena yang berkaitan dengan sub materi dinamika rotasi yang akan diajarkan. Fenomena tersebut selanjutnya dianalisis dengan menggunakan analogi dengan konsep gerak translasi. Konsep gerak translasi dipilih karena konsep tersebut sebelumnya telah dipelajari oleh siswa. Menjadikan konsep yang telah dipelajari sebagai analogi untuk mempelajari konsep baru akan membuat siswa memahami konsep baru secara lebih mudah (Duit *et al.*, 2001).

Tantangan bagi pembelajaran ini adalah pengajar harus memilih analogi yang tepat. Pemilihan analogi yang salah dapat membuat siswa menjadi miskonsepsi (Hutchison & Padgett, 2007). Permasalahan yang muncul saat pembelajaran yaitu siswa tidak melakukan analisis kondisi masalah secara menyeluruh melainkan siswa hanya mengandalkan variabel-variabel yang ada pada permasalahan yang diberikan dengan mengandalkan manipulasi matematis, misalnya hanya memasukkan besaran-besaran yang diketahui pada persamaan yang ada. Selain itu banyak siswa yang tidak bisa menggambarkan *free body diagram* pada sub materi kesetimbangan.

Aji, S. D, Hudha, M. N & Rismawati, A. Y. (2017)

Penelitian yang dilakukan oleh Aji (2017) memperoleh hasil bahwa kelayakan modul pembelajaran fisika berbasis PBL menurut ahli materi, ahli media dan guru fisika SMA untuk komponen isi, penyajian dan bahasa memiliki kriteria sangat valid, kemudian respon siswa terhadap modul pembelajaran fisika berbasis PBL pada topik keseimbangan dan dinamika rotasi pada uji coba terbatas diperoleh presentase kelayakan komponen isi modul memiliki kriteria sangat sesuai dan presentase kelayakan komponen tampilan modul memiliki kriteria sangat sesuai (D. d. Sarkity, 2016). Selain itu, dari penelitian tersebut juga diketahui bahwa modul pembelajaran fisika berbasis PBL pada topik keseimbangan dan dinamika rotasi dapat meningkatkan kemampuan pemecahan masalah fisika siswa SMA.

L. Widianingtiyas, Siswoyo, dan F. Bakri (2015)

Pada penelitian yang berjudul “Pengaruh Pendekatan Multi Representasi dalam Pembelajaran Fisika Terhadap Kemampuan Kognitif Siswa SMA”. Penelitian ini menggunakan desain non-randomized control group pretet-posttest design dengan populasi seluruh siswa kelas X MIA di SMAN 7 Bekasi. Hasil dari penelitian ini yaitu peningkatan hasil belajar pada kelas eksperimen lebih besar dari kelas kontrol, sehingga dapat disimpulkan pendekatan multi representasi memberikan pengaruh positif terhadap kemampuan kognitif siswa.

John M. Keller (2008)

Penelitian yang dilakukan oleh John M. Keller dengan judul, “First Principles Of Motivation To Learn And E3-Learning”, hasil penelitian ini menunjukkan terdapatnya pengaruh yang positif terhadap rasa percaya diri dan prestasi siswa. Hasil penelitian ini juga menunjukkan terdapat peningkatan hasil belajar pada kelas eksperimen.

Analisis Eksperimen Para Peneliti Sebelumnya**TABEL 4.** Hasil peneliti pendahulu berbasis eksperimen

Nama Penulis	Judul	Tahun	Hasil
Rai Sujanem, dkk	“Efektivitas E-Modul Fisika Berbasis Masalah Berbantuan Simulasi Phet dalam Uji Coba Terbatas untuk Meningkatkan Keterampilan Berpikir Kritis Siswa SMA”	2022 dari <i>Jurnal Pendidikan Fisika Undiksha</i> . Vol. 12, No 2. Hal. 181-191	Hasil penelitian yang dilakukannya menunjukkan bahwa penggunaan E-modul fisika kelas XI berbasis masalah berbantuan PhET dalam model PBL online mampu meningkatkan secara efektif kbk siswa kelas XI MIPA SMA.
Budiman, Aulia Hanifa, dkk	“Sistem Alat Ukur Waktu Otomatis dengan Sensor Line Tracking Pada Media	2020 dari <i>Seminar Nasional Fisika</i> 6.0 (160-165)	Penelitian dilakukan untuk menentukan percepatan dan momen inersia katrol pada sistem pesawat Atwood dengan eksperimen. Dari hasil eksperimen yang telah dilakukan, percepatan

Nama Penulis	Judul	Tahun	Hasil
	Pembelajaran Pesawat Atwood”		berbanding lurus dengan massa beban tambahannya.
Attila Szanto, dkk	“Simultaneous measurement of the moment of inertia and braking torque of electric motors applying additional inertia”	2022 dari <i>Journal Faculty of Engineering of the University of Debrecen, Hungary</i>	Penelitian ini berkaitan dengan Pemodelan, simulasi, dan optimalisasi dari torsi pengereman. Dimana untuk menghitung fungsi dinamika rotasi dari kendaraan telah dikembangkan dan menjadi karakteristik dinamis yang diperlukan sebagai parameter input dari program simulasi lain yang lebih akurat dan pengujian berbagai strategi control motor kinerja tinggi.
Sari, Eka Putri, D.N, dkk	"Momen Inersia Katrol"	2020 dari <i>Jurnal Jurusan Pendidikan Fisika, Universitas Negeri Surabaya</i>	Percobaan momen inersia katrol bertujuan untuk mengetahui nilai-nilai percepatan dan nilai momen inersia katrol pada mesin atwood, untuk mengetahui hubungan antara percepatan dengan momen inersia katrol, dan mengetahui jenis benda momen inersia yang digunakan.
Nani Yuningsih & Sri Suratmi	"Pengukuran Kemampuan Berpikir Kritis Mahasiswa Rekayasa Diploma 4 Politeknik Negeri Bndung melalui Percobaan Momen Inersia"	Tahun : 2016, <i>Jurnal Penelitian & Pengembangan Pendidikan Fisika</i> . Vol. 2, No. 1, Hal. 31-36	Dari hasil penilaian bahwa dengan percobaan momen inersia dapat menumbuhkan kemampuan berpikir kritis mahasiswa dengan rata-rata tingkat pengetahuan 84%, rata-rata tingkat pemahaman 84%, rata-rata tingkat aplikasi 98%, dan rata-rata tingkat analisis 68%.

Rai Sujanem, dkk (2022)

Pada penelitian yang berjudul “Efektivitas E-Modul Fisika Berbasis Masalah Berbantuan Simulasi Phet dalam Uji Coba Terbatas untuk Meningkatkan Keterampilan Berpikir Kritis Siswa SMA”, berdasarkan hasil penelitian yang dilakukannya menunjukkan bahwa penggunaan E-modul fisika kelas XI berbasis masalah berbantuan PhET dalam model PBL online mampu meningkatkan secara efektif kbk siswa kelas XI MIPA SMA. Peningkatan kbk telah meningkat dengan N-gain 0,6 termasuk kategori tingkat sedang. Berdasarkan hasil uji-t berpasangan menunjukkan bahwa kbk siswa telahmeningkat secara signifikan dengan $\alpha= 0,05$

setelah mereka mendapat pembelajaran yang menerapkan e-modul fisika kelas XI berbasis masalah berbantuan PhET dalam model PBL online.

Aulia Hanifa Budiman, Ahmad Aminudin, Maman Budiman (2020)

Penyampaian materi tidak cukup dijelaskan dengan ucapan saja, namun diperlukan pula alat peraga atau media pembelajaran agar pelajar dapat memahami materi tersebut lebih jauh dan Tujuan kegiatan pembelajaran dapat tercapai dengan baik (Azar, 2011). Eksperimen yang dilakukan oleh Aulia.,dkk (2020) merupakan perancangan dan pembuatan system alat ukur waktu otomatis menggunakan sensor RPR-220 pada pesawat Atwood. Penelitian dilakukan untuk menentukan percepatan dan momen inersia katrol pada system pesawat atwood. Metode yang digunakan untuk menentukan percepatan pada sistem pesawat Atwood adalah dengan melakukan eksperimen mengukur waktu dari beberapa jarak tempuh beban jatuh yang berbeda. Eksperimen juga menggunakan beban tambahan yang berbeda agar bisa mengetahui pengaruh massa terhadap percepatan jatuh benda. Dari hasil eksperimen yang telah dilakukan, percepatan berbanding lurus dengan massa beban tambahannya. Setelah mendapatkan percepatan, selanjutnya adalah menentukan momen inersia katrol.

Perumusan momen inersia katrol dapat ditemukan pada rumus momen inersia silinder pejal homogen:

$$I = \frac{1}{2} m_k R^2 \quad (3)$$

Dengan I adalah momen inersia katrol, m_k adalah massa katrol, dan R adalah jari-jari katrol (Astro.,dkk, 2018). Namun perumusan tersebut berlaku pada katrol yang bentuknya silinder pejal homogen saja. Sedangkan pada penelitian kali ini, katrol yang digunakan berongga, tidak pejal. Maka untuk menentukan nilai momen inersia pada katrol pesawat Atwood yang ditinjau hanya dapat mengandalkan rumus berikut ini:

$$a = \left(\frac{(m + M1 - M2)}{\left(m + M1 + M2 + \frac{1}{R^2}\right)} g \right) \quad (4)$$

Dengan a adalah percepatan, m adalah beban tambahan, $M1$ adalah beban 1, $M2$ adalah beban 2, I adalah momen inersia katrol, R adalah jari-jari katrol, dan g adalah percepatan gravitasi. (Jose, 2018)

Artilla Szanto, Eva Adamko, Gyotgy Juhasz, Gusztav Aron Sziki (2022)

Penelitian yang berjudul “Simultaneous measurement of the moment of inertia and braking torque of electric motor applying additional inertia” Menyajikan metode pengukuran simulasi momen inersia dan torsi pengereman motor listrik. Eksperimen ini awalnya digunakan untuk kompetisi yang diselenggarakan untuk kendaraan alternatif yang dibuat oleh mahasiswa. Dalam penelitian ini membahas bahwa karakteristik dinamis yang meliputi momen inersia rotor serta torsi pengereman sebagai fungsi dari kecepatan sudut. Dari eksperimen tersebut didapat bahwa Untuk mengukur momen inersia, metode eksperimental yang paling umum digunakan adalah metode osilasi pendulum dan torsi. Selain penjelasan rinci tentang setup eksperimental dan metode-prosedur untuk menentukan nilai optimal dari momen pemuatan

inersia juga disajikan. Pada nilai-nilai optimal, kesalahan momen inersia dan torsi pengereman yang ditentukan secara eksperimental minimal juga dianalisis dan dibahas.

Eka Putri, D.N.S, Miftahul Khoiri, dan Mohd Zaidi (2020)

Pada percobaan momen inersia katrol bertujuan untuk mengetahui nilai percepatan dan nilai momen inersia katrol pada mesin atwood, untuk mengetahui hubungan antara percepatan dengan momen inersia katrol, dan mengetahui jenis benda momen inersia yang digunakan. Variabel yang digunakan massa beban, massa katrol, dan jari – jari katrol sebagai variabel control. Jarak dan beban tambahan sebagai variabel manipulasi. Variabel respon berupa waktu sebagai variabel ukur dan percepatan dan momen inersia sebagai variabel hitung. Langkah – langkah yang dilakukan yaitu menimbang beban m_1 dan m_2 , beban tambahan, berat katrol dan mengukur jari – jari katrol.

Nani Yuningsih & Sri Suratmi (2016)

Penelitian yang dilakukan oleh Nani Tuningsih dan Sri Suratmi (2016). Bertujuan untuk Untuk mengukur kemampuan berpikir kritis mahasiswa diploma 4 Politeknik Negeri Bandung. Kemampuan berpikir kritis mahasiswa diukur menggunakan instrumen penilaian yang telah dibuat serta melalui percobaan Momen Inersia dengan menggunakan indikator kemampuan melalui 4 tingkatan berpikir yaitu pengetahuan (knowledge), pemahaman (comprehensive), aplikasi (application), dan analisis (analysis).

Dari hasil penilaian bahwa dengan percobaan momen inersia dapat menumbuhkan kemampuan berpikir kritis mahasiswa dengan rata-rata tingkat pengetahuan 84%, rata-rata tingkat pemahaman 84%, rata-rata tingkat aplikasi 98%, dan rata-rata tingkat analisis 68%. Hal ini menunjukkan bahwa dengan menggunakan modul percobaan Momen Inersia ini, mahasiswa diploma 4 memiliki pengetahuan dan pemahaman yang baik, dan memiliki kemampuan aplikasi yang tinggi serta daya analisa yang baik.

KESIMPULAN

Dari hasil penelitian menggunakan metode *System Literature Review (SLR)* terhadap analisis pembelajaran Fisika pada materi dinamika rotasi maka dapat disimpulkan bahwa:

Simulasi atau demonstrasi pada pembelajaran fisika terutama pada materi dinamika rotasi dapat membantu peserta didik mengkonstruksi pengetahuan mereka lebih dalam. Pembelajaran dinamika rotasi juga dapat dirancang menjadi pembelajaran berbasis permodelan fenomena, menyelesaikan latihan, dan melakukan eksperimen sederhana tentang materi tersebut, untuk menumbuhkan kemampuan berpikir kritis pada siswa. Siswa diberikan pemahaman matematis terlebih dahulu sebelum memasuki tahap analisis atau pemahaman konsep pada dinamika rotasi untuk meningkatkan kemampuan kognitif peserta didik. Siswa diberikan pemahaman konsep secara utuh serta penekanan dan respon konflik kognitif yang tepat sasaran pada siswa agar tidak terjadi miskonsepsi pada materi dinamika rotasi. Modul pembelajaran fisika berbasis PBL memiliki nilai kriteria yang sangat valid, dimana modul berbasis PBL tersebut dapat meningkatkan kemampuan pemecahan masalah fisika pada siswa SMA khususnya pada materi dinamika rotasi.

SARAN

Berdasarkan Literatur yang telah kami kumpulkan bahwasanya masih banyak terdapat miskonsepsi pada siswa tentang materi dinamika rotasi. Saran yang dapat diambil untuk para pengajar ialah lebih memahami lagi apa yang dibutuhkan siswa dan kekurangan dalam metode pembelajaran, supaya apa yang disampaikan dapat dipahami dan dimengerti dengan baik.

REFERENSI

- Abdullah, M. (2017). *Fisika Dasar II*. Bandung : Institut Teknologi Bandung.
- Afrizal, A. (2016). *Metode Penelitian Kualitatif*. Jakarta: PT Raja Grafindo Persada.
- Aji, S. D., Hudha, M. N., & Rismawati, A. (2017). Pengembangan modul pembelajaran fisika berbasis problem based learning untuk meningkatkan kemampuan pemecahan masalah fisika. *Science Education Journal*, 1(1), 36-51.
- Akhmalia, N. L., Suana, W., & Maharta, N. (2018). Efektivitas blended learning berbasis lms dengan model pembelajaran inkuiri pada materi fluida statis terhadap penguasaan konsep siswa. *JIPFRI (Jurnal Inovasi Pendidikan Fisika Dan Riset Ilmiah)*, 2(2), 56-64.
- Anggraini, N., Suana, W., & Sesunan, F. (2020). Pengaruh Penerapan Blended Learning pada Materi Hukum Newton Tentang Gerak Terhadap Motivasi Belajar dan Kemampuan Pemecahan Masalah. Tarbawi: *Jurnal Ilmu Pendidikan*, 16(1), 22-36.
- Astro, R. B., Ratnaningsih, F., Asmarani, R., Aimon, A. H., & Kurniasih, N. (2018). Penentuan Momen Inersia Katrol pada Pesawat Atwood dengan Metode Video Tracking. In *Prosiding Seminar Nasional Inovasi Pembelajaran Sains (SNIPS)* (pp. 32-39).
- Azar, A. (2011). *Media Pembelajaran. Evaluasi Pembelajaran, dsb*. Bandung: Universitas Pendidikan Indonesia
- Budiman, A. H., Aminudin, A., & Budiman, M. (2020). Sistem Alat Ukur Waktu Otomatis dengan Sensor Line Tracking pada Media Pembelajaran Pesawat Atwood. In *Seminar Nasional Fisika* (Vol. 1, No. 1, pp. 160-165).
- Carvalho, P. S., & e Sousa, A. S. (2005). Rotation in secondary school: teaching the effects of frictional force. *Physics education*, 40(3), 257-265.
- Chang, W., Bell, B., & Jones, A. (2014, June). Historical development of Newton's laws of motion and suggestions for teaching content. In *Asia-Pacific Forum on Science Learning and Teaching* (Vol. 15, No. 1, pp. 1-13). The Education University of Hong Kong, Department of Science and Environmental Studies.
- De Ambrosio, A., Malgieri, M., Mascheretti, P., & Onorato, P. (2015). Investigating the role of sliding friction in rolling motion: a teaching sequence based on experiments and simulations. *European Journal of Physics*, 36(3), 035020.
- Disessa, A. A., Gillespie, N. M., & Esterly, J. B. (2004). Coherence versus fragmentation in the development of the concept of force. *Cognitive science*, 28(6), 843-900.
- Dufresne, R. J., Leonard, W. J., & Gerace, W. J. (2002). Marking sense of students' answers to multiple-choice questions. *The Physics Teacher*, 40(3), 174-180.
- Duit R., W.M. Roth, M. Komorek, & J. Wilbers. (2001). "Fostering Conceptual Change by Analogies Between Scylla and Charybdis". *Learning and Instruction*, 11 (4-5): 283-303
- Goldstein, H. (2010), *Classical Mechanics, Massachusetts : Addison Wesley Edition 8th*, p. 35-63 dan 339-377.

- Halliday, D., et.al. (2014), *Fisika Edisi 7 Jilid 3*, Jakarta: Erlangga,(Terjemahan P.Silaban, dkk) hal. 111-113 dan 355-364.
- Hutchison, C. B., & Padgett, B.L. (2007). "Conceptual Understanding of Causal Reasoning in Physics". *International Journal of Science Education*, 28(13): 1601-1621.
- Ibrahim, M. (2012). Seri Pembelajaran Inovatif: konsep, miskonsepsi dan cara pembelajarannya. Surabaya.
- Jose, J.V., et.al. (2018), *Classical Dynamics*, New York: Cambridge, p. 240-248.
- Keller, J. M. (2008). First principles of motivation to learn and e3-learning. *Distance education*, 29(2), 175-185.
- Lopez, M. (2013). Angular and Linear Acceleration In a Rigid Rolling Body: Students' Misconception. *European Journal of Physics*, 24 (2003): 553-362.
- McBride, J. W., Bhatti, M. I., Hannan, M. A., & Feinberg, M. (2004). Using an inquiry approach to teach science to secondary school science teachers. *Physics education*, 39(5), 434.
- Mulyastuti, H. (2016). Profil reduksi miskonsepsi siswa materi dinamika rotasi sebagai pengaruh penerapan model pembelajaran ecirr berbantuan media audiovisual. *Inovasi Pendidikan Fisika*, 5(2).
- Ortiz, L. G., Heron, P. R., & Shaffer, P. S. (2005). Student understanding of static equilibrium: Predicting and accounting for balancing. *American Journal of Physics*, 73(6), 545-553.
- Phommarach, S., Wattanakasiwich, P., & Johnston, I. (2012). Video analysis of rolling cylinders. *Physics Education*, 47(2), 189.
- Priyadi, R., Mustajab, A., Tatsar, M. Z., & Kusairi, S. (2018). Analisis kemampuan berpikir kritis siswa SMA kelas X MIPA dalam pembelajaran fisika. *JPFT (Jurnal Pendidikan Fisika Tadulako Online)*, 6(1), 53-55.
- Saglam-Arslan, A., & Devecioglu, Y. (2010, April). Student teachers' levels of understanding and model of understanding about Newton's laws of motion. In *Asia-pacific Forum on science learning & Teaching* (Vol. 11, No. 1).
- Saputri, D. E., & Suyudi, A. (2020). Pembelajaran Interactive Demonstration dengan Diagram Gaya melalui Real dan Virtual Lab untuk Meningkatkan Pemahaman Konsep Dinamika Rotasi. *Jurnal Riset Pendidikan Fisika*, 5(1), 18-23.
- Sari, Eka Putri, D.N., Miftahul, K., & Mohd Zaidi. B.A. (2020). Momen Inersia Katrol. *Jurnal Jurusan Pendidikan Fisika, Universitas Negeri Surabaya*.
- Sari, W. P., Suyanto, E., & Suana, W. (2017). Analisis pemahaman konsep vektor pada siswa sekolah menengah atas. *Jurnal Ilmiah Pendidikan Fisika Al-Biruni*, 6(2), 159-168.
- Sarkity, D. (2017). *Kemampuan Pemecahan Masalah Melalui Analogi Kesetimbangan dan Dinamika Rotasi dalam Pembelajaran Berbasis Masalah pada Siswa SMAN 1 Pekanbaru* (Doctoral dissertation, Tesis tidak diterbitkan. Malang: Pascasarjana Universitas Negeri Malang).
- Shih, Y. E. (2007). Setting the new standard with mobile computing in online learning. *The International Review of Research in Open and Distributed Learning*, 8(2).
- Shih, Y. E. (2007). Setting the new standard with mobile computing in online learning. *The International Review of Research in Open and Distributed Learning*, 8(2).
- Sholihat, F. N., Samsudin, A., & Nugraha, M. G. (2017). Identifikasi miskonsepsi dan penyebab miskonsepsi siswa menggunakan four-tier diagnostic test pada sub-materi fluida

- dinamik: azas kontinuitas. *Jurnal Penelitian & Pengembangan Pendidikan Fisika*, 3(2), 175-180.
- Steinberg, R. N., & Sabella, M. S. (1997). Performance on multiple-choice diagnostics and complementary exam problems. *The Physics Teacher*, 35(3), 150-155.
- Suana, W., Ningsih, W. S. A., Maharta, N., & Putri, N. M. A. A. (2020, June). The effect of blended learning setting on students' critical thinking skills in physics. In *Journal of Physics: Conference Series* (Vol. 1572, No. 1, p. 012073). IOP Publishing.
- Sujanem, R., Suwindra, I. N. P., & Suswandi, I. (2022). Efektivitas E-Modul Fisika Berbasis Masalah Berbantuan Simulasi Phet dalam Ujicoba Terbatas untuk Meningkatkan Keterampilan Berpikir Kritis Siswa SMA. *Jurnal Pendidikan Fisika Undiksha*, 12(2), 181-191.
- Suparno, P. (2013). *Miskonsepsi & perubahan konsep dalam pendidikan fisika*. Gramedia Widiasarana.
- Syaodih, N. (2019). *Metode Penelitian Pendidikan*. Bandung: PT. Remaja Rosdakarya.
- Szántó, A., Ádámkó, É., Juhász, G., & Sziki, G. Á. (2022). Simultaneous measurement of the moment of inertia and braking torque of electric motors applying additional inertia. *Measurement*, 204, 112135.
- Taqwa, M. R. A., & Pilendia, D. (2018). "Kekeliruan Memahami Konsep Gaya, Apakah Pasti Miskonsepsi?". *Jurnal Inovasi Pendidikan Fisika dan Integrasinya*, 1(2), 1-12.
- Wardana, W., & Wikrama, R. (2018). "Kajian Konsepsi alternatif Dalam Pembelajaran Prosiding". *Seminar Nasional Pendidikan Fisika II Universitas Pendidikan Indonesia*, ISBN : 978-602-14671-1-4.
- Wardhani, A., & Ningsih, R. (2019). Pengembangan Tes Diagnostik Berbasis Komputer menggunakan Program PHP-MySQL Pada materi Pokok Kesetimbangan kiMIPA Sma Kelas XI. *Unesa Journal of Chemical Education*, 1(1).
- Wenning, C. J. (2008). Dealing more effectively with alternative conceptions in science. *Journal of Physics Teacher Education Online*, 5(1), 11-19.
- Widianingtyas, L. (2015). *Pengaruh pendekatan multi representasi dalam pembelajaran fisika terhadap kemampuan kognitif siswa SMA* (Doctoral dissertation, Universitas Negeri Jakarta).
- Yuningsih, N., & Suratmi, S. (2016). Pengukuran Kemampuan Berpikir Kritis Mahasiswa Rekayasa Diploma 4 Politeknik Negeri Bandung melalui Percobaan Momen Inersia. *JPPPF (Jurnal Penelitian & Pengembangan Pendidikan Fisika)*, 2(1), 31-36.
- Zain, A. R. (2018, September). Effectiveness of guided inquiry based on blended learning in physics instruction to improve critical thinking skills of the senior high school student. In *Journal of Physics: Conference Series* (Vol. 1097, No. 1, p. 012015). IOP Publishing.