

Pengaruh Pembelajaran dengan Menggunakan Modul Berbantuan Simulasi terhadap Peningkatan Penguasaan Konsep Mahasiswa Calon Guru Fisika pada Materi Gelombang Mekanik

Widya Rohmawati¹, Sutopo², Ahmad Taufiq³, Zuerdiana Binti Manaf⁴

^{1,2,3}Jurusan Fisika FMIPA Universitas Negeri Malang, Jalan Semarang 5 Malang, 65145 Indonesia

⁴Sekolah Menengah Kebangsaan Taman Universiti, Jalan Pendidikan, Taman Universiti, 81300 Johor Bahru, Malaysia

INFO ARTIKEL

Riwayat Artikel:

Diterima: 11-04-2023

Disetujui: 17-07-2023

Kata kunci:

bahan ajar;
gelombang mekanik;
penguasaan konsep

ABSTRAK

Abstract: This study aims to determine the effectiveness of simulation-assisted teaching materials in increasing conceptual understanding of prospective physics teacher students about mechanical waves. Research method is a one-group pretest-posttest design with subjects consisted of 25 physics education undergraduate students at Universitas Negeri Malang. Research instrument is a conceptual understanding test item of mechanical waves. The results showed that the acquisition of an increase in learning outcomes through the calculation of the normalized average gain is 0.77 was included in the "high" category so that the use of simulation-assisted teaching materials effective in improving students' conceptual understanding. Similar learning can be applied to other physics materials, especially for abstract material characteristics.

Abstrak: Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui efektivitas penggunaan bahan ajar berbantuan simulasi dalam meningkatkan penguasaan konsep mahasiswa calon guru fisika pada materi gelombang mekanik. Metode penelitian yaitu *one-group pretest-posttest design* dengan subjek penelitian terdiri dari 25 mahasiswa S1 pendidikan fisika Universitas Negeri Malang. Instrumen penelitian yaitu butir soal tes penguasaan konsep gelombang mekanik. Hasil penelitian menunjukkan perolehan nilai peningkatan hasil belajar melalui perhitungan rata-rata gain ternormalisasi yaitu sebesar 0.77 termasuk kategori "tinggi" sehingga penggunaan bahan ajar berbantuan simulasi terbukti efektif dalam meningkatkan penguasaan konsep mahasiswa. Pembelajaran serupa dapat diterapkan pada materi fisika yang lain, terutama untuk karakteristik materi yang bersifat abstrak.

Alamat Korespondensi:

Widya Rohmawati
Departemen Fisika
Universitas Negeri Malang
Jalan Semarang 5, Kota Malang, Jawa Timur 65145
E-mail: widrohawati@gmail.com

Penguasaan konsep yang baik tentang materi gelombang mekanik harus dimiliki oleh mahasiswa calon guru fisika. Penguasaan konsep merupakan salah-satu diantara banyak aspek yang mendasari pembelajaran yang bermakna (Guest et al., 2018; Raissi et al., 2019). Penguasaan konsep yang baik akan membuat mahasiswa calon guru fisika tidak hanya menguasai konsep, namun juga memahami penerapannya dalam kehidupan nyata sehingga nantinya dapat mengajarkan kepada siswa dengan baik (Arafah et al., 2022; Hejnová et al., 2018; Latifah et al., 2019; Semenikhina et al., 2021). Dengan pemahaman konsep yang baik tentang materi gelombang mekanik, maka mahasiswa dapat memahami konsep fisika lainnya yang berhubungan dengan konsep gelombang mekanik, seperti bunyi, cahaya, optik, serta pada disiplin ilmu lain seperti pada bidang teknik. Untuk dapat mencapai tujuan pembelajaran fisika yang bermakna pada materi gelombang mekanik, perlu adanya dukungan bagi mahasiswa sehingga dapat mencapai pemahaman konseptual yang mendalam (Astalini et al., 2019; Pathoni et al., 2019; Ratiwi & Wiyatmo, 2021; Zhang et al., 2020). Meskipun materi gelombang mekanik sudah dipelajari sejak di masa sekolah menengah, namun masih ditemukan berbagai kesulitan yang dialami mahasiswa dalam memahami materi tersebut. Salah-satu kesulitan yang dialami mahasiswa yaitu kurang memahami makna fisis dari hubungan antara frekuensi, cepat rambat, dan panjang gelombang berdasarkan persamaan $v = \lambda f$ (Sutopo, 2016). Mahasiswa juga kesulitan dalam menentukan besar frekuensi, cepat rambat, dan fungsi gelombang apabila diketahui ilustrasi bentuk gelombang mekanik. Beberapa kesulitan lain yang dialami mahasiswa yaitu sulit memahami karakteristik gelombang mekanik, kurang memahami makna dari besaran-besaran yang ada pada gelombang mekanik, serta

kurang memahami makna dari persamaan gelombang (Cepni et al., 2016; Choy et al., 2016; Cigdem, 2015; Duit, R., & Treagust, 2003; Leech et al., 2005). Selain itu, konsep tentang fase, sudut fase, beda fase, dan beda sudut fase, serta persamaan energi gelombang dan intensitas gelombang juga masih belum dipahami oleh sebagian besar mahasiswa (Goodhew et al., 2020).

Berbagai penelitian telah dilakukan dalam rangka meningkatkan pemahaman konsep pada materi gelombang mekanik. Peneliti-peneliti sebelumnya melakukan upaya dalam meningkatkan pemahaman konsep siswa tentang gelombang mekanik dengan menerapkan beberapa strategi pembelajaran antara lain yaitu pembelajaran 7E (Baybars & Huseyin, 2018), pembelajaran berbasis masalah (Alatas & Oktaviani, 2020; Cutri et al., 2019), dan asesmen formatif berbasis komputer (Admoko et al., 2019; Thummerer et al., 2019; Darman et al., 2018; Shokouhi & Zappe 2021). Selain itu, pembelajaran dengan adanya simulasi gelombang atau metode *modeling instruction* juga terbukti dapat meningkatkan penguasaan konsep pada materi gelombang mekanik (Bonato et al., 2017; Johnson, 2019; Permana et al., 2018). Beberapa peneliti juga mengembangkan modul (Alatas & Oktaviani, 2020; Anita et al., 2017; Astalini et al., 2019; Maulida et al., 2019; Semenikhina et al., 2021; Suastra et al., 2019) serta mengembangkan media pembelajaran untuk meningkatkan penguasaan konsep gelombang mekanik (Azizah & Sucahyo, 2022; Kartikasari et al., 2022; Susilawati et al., 2021). Meskipun pembelajaran dengan *modeling instruction* cukup berhasil meningkatkan penguasaan konsep, metode ini memerlukan waktu yang lama (Johnson, 2019; Permana et al., 2018).

Di sisi lain, terdapat banyak materi pokok gelombang mekanik yang harus dikuasai mahasiswa (Fonna et al., 2022; Serway & Jewett, 2010). Selain itu, pada pembelajaran menggunakan modul yang dikembangkan oleh Alias & Siraj (2012) dan Maulida et al. (2019), mahasiswa masih kurang memahami makna fisis dari persamaan yang berlaku pada materi gelombang mekanik. Beberapa penelitian juga menunjukkan bahwa meskipun terdapat peningkatan penguasaan konsep melalui penerapan strategi pembelajaran, sebagian besar mahasiswa masih mengalami kesulitan untuk menyelesaikan permasalahan dalam konteks yang berbeda pada topik gelombang mekanik (Goodhew et al., 2018; Sutaphan & Yuenyong, 2019; Van Den Eynde et al., 2011). Sehingga, sebuah penelitian perlu dilakukan untuk mengatasi beberapa kendala yang masih dialami oleh mahasiswa dalam mempelajari konsep gelombang mekanik.

Penerapan strategi pembelajaran yang tepat harus dilakukan untuk meningkatkan penguasaan konsep tentang gelombang mekanik secara optimal berdasarkan kesulitan-kesulitan yang dialami mahasiswa. Salah-satu hal yang bisa dilakukan oleh instruktur yaitu dengan mengembangkan bahan ajar yang sesuai. Bahan ajar dapat dikembangkan dengan karakteristik tertentu sesuai kebutuhan untuk memaksimalkan hasil belajar mahasiswa (Alias & Siraj, 2012; Suastra et al., 2019; Ratiwi & Wiyatmo, 2021). Bahan ajar juga dapat memperjelas konsep gelombang mekanik disamping pemahaman konsep yang diperoleh dari membaca buku literatur (Ratiwi & Wiyatmo, 2021; Suastra et al., 2019). Melalui penelitian ini, telah dikembangkan bahan ajar berbantuan simulasi. Simulasi yang dikembangkan dalam penelitian ini meliputi demonstrasi di depan kelas, serta simulasi gelombang menggunakan aplikasi PhET. Hasil pemodelan gelombang melalui simulasi tersebut disajikan pada bahan ajar. Adanya simulasi gelombang dilakukan agar mahasiswa dapat dengan mudah memahami fenomena gelombang yang terjadi sehingga dapat memberikan penguasaan konsep yang baik kepada mahasiswa (Brewer & Sawtelle, 2018). Penelitian sebelumnya juga menunjukkan bahwa bahan ajar berbantuan simulasi dapat membantu mengoptimalkan penggunaan jam pelajaran (Sujarwanto & Hidayat, 2014).

METODE

Metode penelitian yang digunakan yaitu *one group pretest-posttest design* (Creswell & Clark, 2007; Levy & J. Ellis, 2011). Pengaruh penggunaan bahan ajar berbantuan simulasi terhadap peningkatan penguasaan konsep mahasiswa dilakukan dengan menganalisis hasil *pretest* dan *posttest*. Untuk mengetahui apakah terdapat pengaruh perlakuan pembelajaran yang dilakukan, maka dilakukan uji-t berpasangan, serta perhitungan nilai *d-effect size* (Leech et al., 2005; Morgan et al., 2011). Untuk mengetahui besar peningkatan nilai *pretest* ke *posttest*, maka dilakukan perhitungan nilai N-Gain tiap siswa dan rata-rata kelas (Coletta & Steinert, 2020; Hake, 1998).

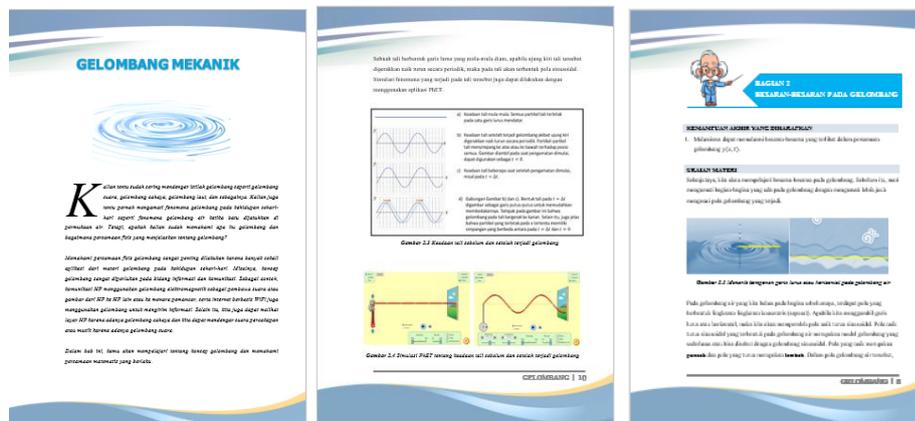
Subjek penelitian yaitu mahasiswa S1 pendidikan fisika offering D Universitas Negeri Malang sebanyak 25 mahasiswa. Penelitian dilakukan dengan menggunakan pembelajaran hibrid sebanyak 9 pertemuan yang meliputi pelaksanaan *pretest*, 5 pertemuan secara luring, 2 pertemuan secara daring, dan pelaksanaan *posttest*.

Perlakuan pembelajaran yang diberikan yaitu pembelajaran dengan menggunakan bahan ajar berbantuan simulasi. Tampilan bahan ajar disajikan pada Gambar 1. Simulasi yang dilakukan yaitu demonstrasi di depan kelas, serta simulasi gelombang menggunakan aplikasi PhET. Hasil pemodelan gelombang melalui simulasi tersebut disajikan pada bahan ajar.

Instrumen yang digunakan yaitu butir soal tes penguasaan konsep gelombang mekanik berupa soal pilihan ganda sebanyak 20 soal. Seluruh butir soal tes penguasaan konsep yang digunakan dinyatakan valid pada dan reliabel. Butir soal juga diuji daya beda dan tingkat kesukaran. Deskripsi indikator soal dan hasil analisis butir soal disajikan pada tabel 1.

Tabel 1. Butir Soal Tes Penguasaan Konsep Gelombang Mekanik (Cronbach Alpha, $r = 0,889$)

Nomor Soal	Indikator	Validitas (Sig.)	Daya Beda	Indeks Kesukaran
1	Menentukan arah dan laju gelombang pada tali	0,000 (valid)	0,764 (sangat baik)	0,44 (sedang)
2	Menentukan frekuensi gelombang pada tali	0,000 (valid)	0,740 (sangat baik)	0,46 (sedang)
3	Kecepatan partikel pada gelombang tali	0,000 (valid)	0,601 (baik)	0,66 (sedang)
4	Menentukan persamaan gelombang	0,000 (valid)	0,658 (baik)	0,50 (sedang)
5	Besaran-besaran yang berubah nilai apabila gelombang melintasi medium yang berbeda	0,000 (valid)	0,771 (sangat baik)	0,42 (sedang)
6	Menentukan nilai cepat rambat gelombang	0,000 (valid)	0,584 (baik)	0,30 (sedang)
7	Menentukan nilai besaran pada gelombang	0,000 (valid)	0,878 (sangat baik)	0,52 (sedang)
8	Menentukan besar energi gelombang	0,000 (valid)	0,549 (baik)	0,66 (sedang)
9	Besaran-besaran yang mempengaruhi keras lemahnya bunyi	0,000 (valid)	0,522 (baik)	0,50 (sedang)
10	Menentukan jarak antara dua titik apabila diketahui besar beda sudut fase	0,000 (valid)	0,742 (sangat baik)	0,54 (sedang)
11	Menentukan nilai besaran-besaran pada gelombang berdasarkan persamaan gelombang	0,000 (valid)	0,628 (baik)	0,40 (sedang)
12	Menentukan jarak antara dua titik yang sefase	0,000 (valid)	0,568 (baik)	0,54 (sedang)
13	Menentukan titik-titik yang sefase	0,000 (valid)	0,489 (baik)	0,78 (mudah)
14	Menentukan nilai cepat rambat gelombang	0,000 (valid)	0,574 (baik)	0,68 (sedang)
15	Menentukan nilai beda fase dari kedua titik	0,000 (valid)	0,687 (baik)	0,72 (mudah)
16	Menentukan nilai simpangan suatu titik	0,000 (valid)	0,767 (sangat baik)	0,52 (sedang)
17	Besaran-besaran yang berubah apabila tangan menggerakkan jari pada gelombang air	0,000 (valid)	0,772 (sangat baik)	0,48 (sedang)
18	Menentukan waktu merambatnya gelombang	0,000 (valid)	0,608 (baik)	0,42 (sedang)
19	Menentukan perbandingan nilai cepat rambat gelombang berdasarkan gambar bentuk tali	0,000 (valid)	0,884 (sangat baik)	0,48 (sedang)
20	Menentukan besaran yang berubah berdasarkan bentuk dua utas tali yang berbeda	0,000 (valid)	0,434 (baik)	0,36 (sedang)



Gambar 1. Tampilan Bahan Ajar Berbantuan Simulasi

HASIL

Hasil penelitian menunjukkan bahwa seluruh mahasiswa mengalami peningkatan nilai dari pretest ke posttest. Deskripsi hasil pretest dan posttest dijelaskan pada Tabel 3. Daftar jumlah mahasiswa yang memberikan jawaban benar di setiap soal dijelaskan pada Tabel 2. Nilai peningkatan hasil belajar mahasiswa diperoleh menggunakan perhitungan gain ternormalisasi (*N-gain*) rata-rata sebesar 0.77 yang masuk pada level “tinggi”. Hasil ini menunjukkan bahwa pembelajaran menggunakan bahan ajar berbantuan simulasi efektif dalam meningkatkan pemahaman konsep mahasiswa tentang topik gelombang mekanik.

Berdasarkan analisis deskriptif, diperoleh nilai skewness data pretest dan posttest sebesar 1,00 sehingga data tersebut terdistribusi normal dan bisa dilakukan uji-t berpasangan. Uji tersebut dilakukan untuk mengetahui perbandingan nilai rata-rata penguasaan konsep antara *pretest* dan *posttest*. Sesuai dengan analisis uji-t berpasangan, didapatkan besar signifikansi yaitu 0,000.

Hasil tersebut menunjukkan bahwa perbedaan skor *pretest* dan *posttest* yaitu signifikan. Hal ini membuktikan bahwa pemahaman konsep mahasiswa dapat ditingkatkan melalui penerapan pembelajaran menggunakan bahan ajar berbantuan simulasi pada materi gelombang mekanik. Analisis lebih lanjut dilakukan melalui perhitungan nilai *d-effect size*. Nilai *d-effect size* yang diperoleh adalah 4,94 merupakan nilai pada tingkatan “tinggi sekali”.

Tabel 2. Jumlah Mahasiswa yang Menjawab Benar

Nomor	Jumlah mahasiswa yang benar	
	<i>Pretest</i>	<i>Posttest</i>
1	2	20
2	3	20
3	10	23
4	5	20
5	1	20
6	2	13
7	1	25
8	11	22
9	6	19
10	3	24
11	3	17
12	8	19
13	16	23
14	11	23
15	11	25
16	4	22
17	3	21
18	3	18
19	2	22
20	5	13

Tabel 3. Deskripsi Hasil *Pretest* dan *Posttest*

Keterangan	<i>Pretest</i>	<i>Posttest</i>
Nilai Terendah	5,0	60,0
Nilai Tertinggi	50,0	100,0
Rata-rata	22,0	81,8

PEMBAHASAN

Hasil analisis data menunjukkan bahwa penggunaan bahan ajar berbantuan simulasi memberikan dampak yang baik terhadap peningkatan penguasaan konsep mahasiswa pada materi gelombang mekanik. Hasil tersebut bersesuaian dengan penelitian-penelitian sebelumnya bahwa penguasaan konsep siswa meningkat melalui penggunaan modul pembelajaran. Penggunaan modul pembelajaran dengan karakteristik sesuai dengan kebutuhan mahasiswa dapat memberikan efek positif dalam pembelajaran (Butler & Roediger, 2008; Nicol & Macfarlane-Dick, 2006). Hasil ini juga didukung oleh hasil penelitian bahwa adanya kegiatan simulasi sangat membantu mahasiswa dalam mempelajari materi gelombang mekanik (Brewer & Sawtelle, 2018). Dengan tercapainya penguasaan konsep yang baik, maka pembelajaran yang telah dilakukan dapat dinyatakan sebagai pembelajaran yang bermakna (Dockett et al., 2015; Kustusich, 2016; Lin & Singh, 2011). Pentingnya pengintegrasian simulasi dalam bahan ajar tergambar dari hasil penelitian ini, dimana penggunaan modul pembelajaran yang menyediakan pengalaman simulasi secara langsung berkorelasi dengan peningkatan penguasaan konsep mahasiswa pada materi gelombang mekanik. Temuan ini memberikan kontribusi signifikan terhadap pemahaman bahwa metode pembelajaran yang melibatkan interaktivitas dan aplikasi langsung dapat memperkuat pemahaman konsep fisika, seperti yang telah ditemukan dalam penelitian sebelumnya (Butler & Roediger, 2008; Nicol & Macfarlane-Dick, 2006). Selain itu, karakteristik modul pembelajaran yang disesuaikan dengan kebutuhan mahasiswa menjadi faktor kunci dalam mencapai efek positif dalam pembelajaran. Penelitian sebelumnya menunjukkan bahwa penggunaan materi pembelajaran yang dapat disesuaikan dengan tingkat pemahaman dan gaya belajar siswa dapat meningkatkan efektivitas pembelajaran (Butler & Roediger, 2008). Oleh karena itu, desain bahan ajar berbantuan simulasi yang memperhatikan karakteristik mahasiswa dapat menjadi strategi efektif dalam meningkatkan penguasaan konsep.

Hasil penelitian juga mencatat bahwa kegiatan simulasi secara khusus membantu mahasiswa dalam memahami materi gelombang mekanik. Hal ini konsisten dengan penelitian Brewer & Sawtelle (2018), yang menunjukkan bahwa interaksi dengan simulasi dapat memperdalam pemahaman konsep fisika dan meningkatkan ketertarikan siswa terhadap materi. Oleh karena itu,

implementasi kegiatan simulasi dalam pembelajaran fisika dapat dianggap sebagai langkah strategis untuk memfasilitasi pemahaman yang mendalam dan merangsang minat mahasiswa terhadap topik tersebut. Pentingnya pencapaian penguasaan konsep yang baik tidak hanya berdampak pada pemahaman individual mahasiswa tetapi juga memberikan kontribusi pada pembelajaran yang bermakna secara keseluruhan. Hasil penelitian ini sejalan dengan pandangan bahwa pembelajaran yang bermakna menciptakan koneksi antara konsep-konsep baru dan pengetahuan yang telah dimiliki, seperti yang diungkapkan dalam kajian-kajian sebelumnya (Docktor et al., 2015; Kustus, 2016; Lin & Singh, 2011). Oleh karena itu, integrasi simulasi dalam bahan ajar dapat dianggap sebagai suatu langkah progresif dalam mencapai tujuan pembelajaran yang lebih mendalam dan bermakna dalam konteks pemahaman materi gelombang mekanik.

Penelitian ini menunjukkan hasil peningkatan belajar yang lebih tinggi dibandingkan dengan penelitian yang pernah dilakukan oleh peneliti-peneliti sebelumnya. Nilai rata-rata N-Gain sebesar 0,77 melalui penggunaan bahan ajar berbantuan simulasi lebih tinggi dibandingkan dengan penerapan pembelajaran berbasis masalah yang menunjukkan perolehan rata-rata N-Gain sebesar 0,64 (Alatas & Oktaviani, 2020), penggunaan media pembelajaran yaitu besar N-Gain yaitu 0,76 (Susilawati et al., 2021), serta penggunaan worksheets yaitu nilai N-Gain sebesar 0,73 (Doyan et al., 2021). Hal ini disebabkan oleh penjelasan materi pada bahan ajar yang disertai dengan simulasi dapat memverifikasi kebenaran konsep yang dimiliki oleh mahasiswa (Oliveira & Oliveira, 2013) dan mempertajam konsep yang telah dimiliki sehingga dapat meningkatkan penguasaan konsep secara lebih optimal (Fakcharoenphol et al., 2011; Schroeder et al., 2015).

Peningkatan tingkat pembelajaran yang tercapai dalam penelitian ini, sebagaimana tercermin dari nilai rata-rata N-Gain sebesar 0,77, menunjukkan keunggulan bahan ajar berbantuan simulasi dalam meningkatkan penguasaan konsep mahasiswa pada materi gelombang mekanik. Perbandingan dengan penelitian-penelitian sebelumnya menegaskan bahwa pendekatan ini memberikan hasil yang lebih tinggi dibandingkan dengan metode pembelajaran lainnya. Dalam perbandingan dengan penelitian Alatas & Oktaviani (2020) yang menerapkan pembelajaran berbasis masalah dan mencapai rata-rata N-Gain sebesar 0,64, serta penelitian Susilawati et al. (2021) yang menggunakan media pembelajaran dengan N-Gain sebesar 0,76, hasil penelitian ini menunjukkan superioritas penggunaan bahan ajar berbantuan simulasi. Begitu juga dengan penelitian yang mengaplikasikan worksheets yang mencapai nilai N-Gain sebesar 0,73, sebanding dengan peningkatan pembelajaran yang dicapai melalui simulasi. Keberhasilan bahan ajar berbantuan simulasi dalam mencapai hasil yang lebih tinggi dapat dijelaskan oleh kemampuannya dalam memverifikasi kebenaran konsep yang dimiliki oleh mahasiswa. Penjelasan materi yang disertai dengan simulasi memberikan pengalaman langsung kepada mahasiswa, memungkinkan mereka untuk mengamati dan menguji konsep secara interaktif. Hal ini sejalan dengan temuan Oliveira & Oliveira (2013) yang menekankan bahwa penggunaan simulasi dapat membantu memvalidasi pemahaman konsep siswa. Selain itu, kontribusi positif terlihat dalam kemampuan simulasi untuk mempertajam konsep yang telah dimiliki oleh mahasiswa. Dalam konteks pembelajaran gelombang mekanik, hal ini menjadi krusial dalam meningkatkan penguasaan konsep secara lebih optimal, sesuai dengan temuan Fakcharoenphol et al. (2011) dan Schroeder et al. (2015). Oleh karena itu, bahan ajar berbantuan simulasi tidak hanya memberikan pemahaman konsep yang lebih baik, tetapi juga memperdalam pengetahuan yang telah dimiliki oleh mahasiswa, memperkuat dasar pemahaman mereka terhadap materi pembelajaran.

Berdasarkan hasil penelitian, konsep gelombang mekanik dapat ditanamkan dengan baik kepada mahasiswa melalui pembelajaran menggunakan bahan ajar berbantuan simulasi. Penjelasan konsep disertai langkah-langkah perumusan persamaan yang berlaku menyebabkan pembelajaran yang dilakukan menjadi lebih bermakna. Mahasiswa dapat memodelkan materi gelombang yang bersifat abstrak ke dalam bentuk yang lebih konkrit. Pembelajaran dengan menggunakan modul dan simulasi dapat membantu mahasiswa untuk memecahkan masalah dan membantu mahasiswa agar memiliki penguasaan konsep secara utuh (Alias & Siraj, 2012; Suastra et al., 2019; Ratiwi & Wiyatmo, 2021).

Pentingnya penggunaan bahan ajar berbantuan simulasi dalam pembelajaran gelombang mekanik tergambar dari temuan penelitian ini. Penanaman konsep gelombang mekanik kepada mahasiswa terbukti berhasil dengan baik melalui pendekatan ini, karena penjelasan konsep yang disertai dengan langkah-langkah perumusan persamaan yang berlaku memberikan dimensi makna yang lebih mendalam pada pembelajaran. Mahasiswa tidak hanya menerima informasi secara pasif, tetapi juga diajak untuk terlibat aktif dalam memahami konsep-konsep abstrak yang terkait dengan gelombang mekanik. Pentingnya langkah-langkah perumusan persamaan tidak hanya memfasilitasi proses belajar, tetapi juga membantu mahasiswa dalam memodelkan materi gelombang yang pada awalnya bersifat abstrak menjadi bentuk yang lebih konkrit. Kemampuan mahasiswa untuk mentransformasikan konsep-konsep abstrak menjadi representasi konkrit melalui simulasi membuktikan efektivitas pendekatan ini dalam memberikan pengalaman belajar yang lebih konkrit dan mendalam. Modul pembelajaran dan simulasi tidak hanya berperan dalam menyampaikan informasi, tetapi juga membantu mahasiswa dalam mengembangkan keterampilan pemecahan masalah. Hasil penelitian ini konsisten dengan temuan penelitian sebelumnya (Alias & Siraj, 2012; Suastra et al., 2019; Ratiwi & Wiyatmo, 2021), yang menunjukkan bahwa penggunaan modul dan simulasi dalam pembelajaran memberikan kontribusi signifikan dalam meningkatkan kemampuan mahasiswa dalam memecahkan masalah terkait dengan materi gelombang mekanik. Dengan demikian, pendekatan pembelajaran ini tidak hanya mencapai tujuan untuk memberikan pemahaman konsep yang baik, tetapi juga memberikan wawasan yang lebih dalam, memungkinkan mahasiswa untuk mengaplikasikan konsep-konsep tersebut dalam konteks dunia nyata, dan membentuk penguasaan konsep secara menyeluruh. Pendekatan ini memberikan landasan yang

kuat bagi mahasiswa untuk tidak hanya menjadi pemaham konsep yang baik, tetapi juga praktisi yang mampu mengaplikasikan pengetahuan mereka dalam situasi kehidupan nyata.

Penggunaan bahan ajar berbantuan simulasi membuka peluang untuk membangun pemahaman konsep yang kuat melalui upaya konstruksi sebanyak mungkin pola asosiasi dari *resource* yang terbukti benar. Salah-satu contoh konkret dapat ditemukan dalam penyelesaian soal nomor 5, dimana mahasiswa diminta untuk memahami besaran-besaran yang mengalami perubahan nilai ketika gelombang melintasi medium yang berbeda. Proses pembahasan konsep ini, yang terfokus pada besaran-besaran gelombang mekanik beserta karakteristiknya, memberikan kesempatan bagi mahasiswa untuk memperkuat dan memperdalam pola asosiasi *resource* yang benar. Pentingnya pembahasan konsep secara berulang-ulang tidak hanya membantu mahasiswa dalam memahami materi secara menyeluruh, tetapi juga memperkuat keterkaitan antar *resource*. Dalam konteks ini, hasil penelitian mencerminkan temuan-temuan sebelumnya bahwa penerapan strategi pembelajaran yang membangun asosiasi antar *resource* dapat signifikan meningkatkan penguasaan konsep fisika. Penelitian oleh Rahmawati et al. (2017), Nehru et al. (2020), Taqwa & Pilendia (2018), serta Rivaldo et al. (2018) telah menunjukkan bahwa pemberian strategi pembelajaran yang tepat dapat memfasilitasi pengembangan asosiasi antar *resource* dan memperkuat pemahaman konsep. Dengan demikian, pembelajaran yang berfokus pada pembahasan konsep secara mendalam, terutama melalui penggunaan bahan ajar berbantuan simulasi, memberikan landasan yang solid untuk konstruksi asosiasi *resource* yang benar. Ini tidak hanya menciptakan pemahaman konsep yang kokoh, tetapi juga membekali mahasiswa dengan kemampuan untuk menerapkan pengetahuan mereka dalam konteks masalah fisika yang lebih kompleks. Pendekatan ini menciptakan pondasi yang berkelanjutan untuk pengembangan pemahaman konsep dan keterampilan berpikir kritis mahasiswa pada materi gelombang mekanik.

SIMPULAN

Bahan ajar berbantuan simulasi efektif dalam meningkatkan pemahaman konsep mahasiswa tentang gelombang mekanik. Efektivitas tersebut ditunjukkan oleh peningkatan skor *pretest* ke *posttest*, nilai N-gain, hasil uji-t, dan nilai *d-effect size*. Skor rata-rata penguasaan konsep mahasiswa meningkat dari 22,0 menjadi 81,8 dimana diperoleh nilai N-gain yaitu 0,77 (“tinggi”). Perbedaan yang signifikan antara nilai *pretest* dan *posttest* ditunjukkan oleh hasil uji-t (Sig = 0,000). Hasil tersebut diperkuat dengan nilai *d-effect size* yaitu sebesar 4,94 (“tinggi sekali”). Pembelajaran serupa dapat diterapkan untuk meningkatkan penguasaan konsep mahasiswa pada materi-materi fisika yang lain, terutama untuk karakteristik materi yang bersifat abstrak.

DAFTAR RUJUKAN

- Alatas, F., & Oktaviani, M. (2020). Problem Based Learning Model using Exe-Learning for Mechanical Waves. <https://doi.org/10.4108/eai.2-10-2018.2295282>
- Anita, T., Hasanah, N., Huda, C., & Kurniawati, M. (2017). Pengembangan Modul Pembelajaran Fisika Berbasis Problem Based Learning (PBL) pada Materi Gelombang Bunyi untuk Siswa SMA KELAS XII. *Scienti*, 1(1), 56–65.
- Arafah, K., Ruslan, R., Nurhayati, N., Hakim, A., & Pongkessu, A. (2022). Higher-Order Thinking Skills in Prospective Physics Teacher. *Jurnal Penelitian Pendidikan IPA*, 8(2), 805–910. <https://doi.org/10.29303/jppipa.v8i2.1480>
- Astalini, A., Darmaji, D., Kurniawan, W., Anwar, K., & Kurniawan, D. (2019). Effectiveness of Using E-Module and E-Assessment.
- Azizah, I. A., & Sucahyo, I. (2022). Flipbook-Based Digital E-book Learning Media on Mechanical Wave Materials to Practice Critical Thinking Skills. *Prisma Sains: Jurnal Pengkajian Ilmu dan Pembelajaran Matematika dan IPA IKIP Mataram*, 10(3), 712. <https://doi.org/10.33394/J-PS.V10I3.5474>
- Baybars, M. G., & Huseyin K. (2018). The Effect of 7E Learning Model on Conceptual Understandings of Prospective Science Teachers on "de Broglie Matter Waves" Subject. *European Journal of Educational Research*, 7, 2, 387-395.
- Brewe, E., & Sawtelle, V. (2018). Modelling instruction for university physics: examining the theory in practice. *European Journal of Physics*, 39(5), 054001. <https://doi.org/10.1088/1361-6404/AAC236>
- Cepni, S., Tas, E., & Kose, S. (2006). The effects of computer-assisted material on students' cognitive levels, misconceptions and attitudes towards science. *Computers & Education*, 46(2), 192–205. <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2004.07.008>
- Choy, S. C., Goh, P. S. C., & Sedhu, D. S. (2016). How and Why Students Learn: Development and Validation of the Learner Awareness Levels Questionnaire for Higher Education Students. *International Journal of Teaching and Learning in Higher Education*, 28(1), 94–101.
- Coletta, V. P., & Steinert, J. J. (2020). Why normalized gain should continue to be used in analyzing preinstruction and postinstruction scores on concept inventories. *Physical Review Physics Education Research*, 16(1), 010108. <https://doi.org/10.1103/PhysRevPhysEducRes.16.010108>
- Creswell, J.W., & Clark, V.L.P. (2007). *Designing and Conducting Mixed Methods Research*. London: Sage-Publications.
- Cutri, R., Luiz R. M., Jose R. C (2019). Using project-based learning to teach electromagnetic and wave concepts. *International Journal of Electrical Engineering & Education*, 0(0) 1–13.

- Cigdem, Harun. (2015). E-Assessment Adaptation at a Military Vocational College: Student Perceptions. *EURASIA Journal of Mathematics, Science & Technology Education*, 11(5). <https://doi.org/10.12973/eurasia.2015.1368a>
- Docktor, J. L., Strand, N. E., Mestre, J. P., & Ross, B. H. (2015). Conceptual problem solving in high school physics. *Physical Review Special Topics - Physics Education Research*, 11(2), 020106. <https://doi.org/10.1103/PhysRevSTPER.11.020106>
- Doyan, A., Rahman, M. M., & Sutrio, S. (2021). Development of Student Worksheets Based on a Multi-Representation Approach to Improve Students' Mastery of Sound Wave Concepts. *Jurnal Penelitian Pendidikan IPA*, 7(SpecialIssue), 175–179. <https://doi.org/10.29303/jppipa.v7ispecialissue.1201>
- Duit, R., & Treagust, D. F. (2003). Conceptual change: A powerful framework for improving science teaching and learning. *International Journal of Science Education*, 25(6), 671–688. <https://doi.org/10.1080/09500690305016>
- Goodhew, L., Paula H., Amy D. R., Rachel E. S. (2019). Student conceptual resources for understanding mechanical wave propagation. *Physics Education Research Conference*, 15, 020127. <https://doi.org/10.1103/PhysRevPhysEducRes.15.02012>
- Goodhew, L., Paula H., Amy D. R., Rachel E. S. (2020). Students' context-sensitive use of two kinds of conceptual resources for mechanical wave reflection. *Physics Education Research Conference*. <https://doi.org/10.1119/perc.2019.pr.Goodhew>
- Guest, D., Cranmer, K., & Whiteson, D. (2018). Deep learning and its application to LHC physics. *Annual Review of Nuclear and Particle Science*, 68, 161–181. <https://doi.org/10.1146/ANNUREV-NUCL-101917-021019>
- Hejnová, E., Eisenmann, P., Cihlár, J., & Příbyl, J. (2018). Relations between scientific reasoning, culture of problem solving and pupil's school performance. *Journal on Efficiency and Responsibility in Education and Science*, 11(2). <https://doi.org/10.7160/eriesj.2018.110203>
- Kustusch, M. B. (2016). Assessing the impact of representational and contextual problem features on student use of right-hand rules. *Physical Review Physics Education Research*, 12(1), 010102. <https://doi.org/10.1103/PhysRevPhysEducRes.12.010102>
- Latifah, S., Susilowati, N. E., Khoiriyah, K., & Rahayu, R. (n.d.). Self-Efficacy: Its Correlation to the Scientific-Literacy of Prospective Physics Teacher. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1155/1/012015>
- Leech, N. L., Barrett, K. C., & Morgan, G. A. (2005). *SPSS for intermediate statistics: Use and interpretation* (2nd ed). Lawrence Erlbaum.
- Levy, Y., & J. Ellis, T. (2011). *A Guide for Novice Researchers on Experimental and Quasi-Experimental Studies in Information Systems Research*.
- Morgan, G. A., Leech, N. L., Gloeckner, G. W., & Barrett, K. C. (2011). *IBM SPSS for Introductory Statistics: Use and Interpretation*, Fourth Edition. Taylor and Francis.
- Nehru. Cicyn R., Dian P. R., Wawan K., Iskandar. (2020). "Knowledge in pieces": conceptual understanding analysis of pre-service physics teachers on direct current resistive electrical circuits. *Journal for the Educational of Gifted Young Scientist*, 8 (2): 723-730.
- Pathoni, H., Kurniawan, W., Agus Kurniawan, D., & Perdana, R. (2019). Motivation and Attitude of Students on Physics Subject in the Middle School in Indonesia. *International Education Studies*, 12(9). <https://doi.org/10.5539/ies.v12n9p15>
- Rahmawati, I., Sutopo., Zulaikah S. (2017). Analysis of Students' Difficulties About Rotational Dynamics Based on Resource Theory. *Jurnal Pendidikan IPA Indonesia*, JPPI, 6(1): 95-102.
- Raissi, M., Perdikaris, P., & Karniadakis, G. E. (2019). Physics-informed neural networks: A deep learning framework for solving forward and inverse problems involving nonlinear partial differential equations. *Journal of Computational Physics*, 378, 686–707. <https://doi.org/10.1016/J.JCP.2018.10.045>
- Ratiwi, R., & Wiyatmo, Y. (2021). The Development of Physics Module Based on Learning Cycle Learning. *Jurnal Pendidikan Fisika*, 9(1), 382–391. <https://doi.org/10.26618/jpf.v9i3.5948>
- Semenikhina, O., Yurchenko, A., Udovychenko, O., Petruk, V., Boroznets, N., & Nekyslykh, K. (2021). Formation Of Skills To Visualize Of Future Physics Teacher: Results of The Pedagogical Experiment. *Revista Romaneasca Pentru Educatie Multidimensionala*, 13(2), 476–497. <https://doi.org/10.18662/RREM/13.2/432>
- Suastra, I. W., Ristiati, N. P., Adnyana, P. P. B., & Kanca, N. (2019). The effectiveness of Problem Based Learning - Physics module with authentic assessment for enhancing senior high school students' physics problem solving ability and critical thinking ability. *Journal of Physics: Conference Series*, 1171(1). <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1171/1/012027>
- Susilawati, Doyan, A., Harjono, A., & Jana, M. (2021). Effect of learning media tank ripple wave with the implementation of guided inquiry model on concept mastery of high school students. *Journal of Physics: Conference Series*, 1816(1), 0–6. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1816/1/012017>
- Sutopo. (2016). Pemahaman Mahasiswa Tentang Konsep-Konsep Dasar Gelombang Mekanik. *Jurnal Pendidikan Fisika Indonesia*, 12(1), 41–53.
- Rivaldo, L., Taqwa R. A. T., Tutris T. (2018). Resources Siswa SMA tentang Konsep Gaya Archimedes. *Jurnal Pendidikan Fisika Universitas Muhammadiyah Makassar*.

Zhang, D., Bobis, J., Wu, X., & Cui, Y. (2020). The Effects of an Autonomy-Supportive Teaching Intervention on Chinese Physics Students and their Teacher. *Research in Science Education*, 50(2), 645–671. <https://doi.org/10.1007/S11165-018-9706-Y/FIGURES/5>