

Pengembangan Modul Ajar Dasar – Dasar Pembangkit Listrik Tenaga Bayu Poros Horizontal Untuk Skala Kecil

¹Reza Awalludin P., ²Hamid Abdillah ³Ikhsanudin

^{1,2,3} Universitas Sultan Ageng Tirtayasa, Serang, Indonesia

Reza.awalludin15@gmail.com¹

Hamid@untirta.ac.id²

Ikhsanudin@untirta.ac.id³

Abstract

This research was motivated by the need to develop teaching materials that support vocational learning in renewable energy, particularly small-scale horizontal axis wind turbines (PLTB), for which there has been a lack of practical guidance and structured materials. The objective of this research was to develop valid, practical, and effective PLTB teaching modules to improve the understanding and skills of vocational high school students. The method used is the 4D model (Define, Design, Develop, Disseminate) with validation by subject matter and media experts. The validation results show an average validity score of 78.13% (acceptable category) and the practicality aspect of the module reaches 91.67%, indicating that the module is ready to be used in the learning process. This module integrates a constructive learning approach with exploration, practice, and reflection activities that encourage students to actively construct knowledge, thereby improving critical and creative thinking skills. The discussion focuses on the contextual application of the module in accordance with vocational school conditions, making it easier for teachers to implement student-centered teaching. The conclusion of the study is that the small-scale horizontal axis wind turbine teaching module developed is valid, practical, and effective for vocational learning in vocational schools and contributes to improving students' competence in the field of renewable energy.

Keywords: *teaching module; wind power plant; renewable energy.*

Abstrak

Penelitian ini dilatarbelakangi oleh kebutuhan pengembangan bahan ajar yang mendukung pembelajaran vokasi teknik energi terbarukan, khususnya Pembangkit Listrik Tenaga Bayu (PLTB) poros horizontal skala kecil, yang selama ini minim panduan praktik dan materi terstruktur. Tujuan penelitian adalah mengembangkan modul ajar PLTB yang valid, praktis, dan layak untuk meningkatkan pemahaman serta keterampilan siswa SMK. Metode yang digunakan adalah pengembangan model 4D (Define, Design, Develop, Disseminate) dengan tahap validasi oleh ahli materi dan media. Hasil validasi menunjukkan nilai validitas rata-rata 78,13% (kategori layak) dan aspek kepraktisan modul mencapai 91,67%, menandakan modul siap digunakan dalam proses pembelajaran. Modul ini mengintegrasikan pendekatan pembelajaran konstruktif dengan aktivitas eksplorasi, praktik, dan refleksi yang mendorong siswa aktif membangun pengetahuan, sehingga meningkatkan keterampilan berpikir kritis dan kreatif. Pembahasan fokus pada aplikasi modul yang kontekstual sesuai kondisi sekolah vokasi, memudahkan guru dalam pengajaran yang berpusat pada siswa. Kesimpulan penelitian bahwa modul ajar PLTB poros horizontal skala kecil yang dikembangkan valid, praktis, dan layak untuk pembelajaran vokasi di SMK serta berkontribusi pada peningkatan kompetensi peserta didik di bidang energi terbarukan.

Kata kunci: modul ajar; pembangkit listrik tenaga bayu; energi terbarukan.

Informasi Artikel:

Received 23/02/2026

Revised 7/03/2026

Accepted 29/03/2026

Published 30/03/2026

*Corresponding Author: Reza.awalludin15@gmail.com¹

Pendahuluan

Perkembangan teknologi energi terbarukan menjadi salah satu fokus utama dalam pendidikan kejuruan, khususnya pada program keahlian Teknik Energi Terbarukan di Sekolah Menengah Kejuruan (SMK). Kebutuhan terhadap sumber energi alternatif yang berkelanjutan mendorong dunia pendidikan untuk menyiapkan lulusan yang tidak hanya memahami konsep teoretis, tetapi juga mampu mengaplikasikannya secara kontekstual sesuai kebutuhan industri dan masyarakat. Salah satu kompetensi penting yang harus dikuasai peserta didik adalah pemahaman dasar pembangkit listrik tenaga bayu (PLTB), terutama turbin angin poros horizontal skala kecil yang relevan dengan kondisi geografis Indonesia (Kementerian Pendidikan dan Kebudayaan, 2020).

Namun demikian, implementasi pembelajaran pada mata pelajaran produktif di SMK masih menghadapi berbagai kendala. Hasil observasi awal dan studi pendahuluan menunjukkan bahwa pembelajaran cenderung berpusat pada guru dan mengandalkan buku teks umum yang belum sepenuhnya kontekstual dengan kebutuhan kompetensi keahlian. Selain itu, keterbatasan fasilitas praktik dan media pembelajaran menjadi hambatan utama dalam pelaksanaan pembelajaran berbasis pengalaman. Data angket pra-penelitian menunjukkan bahwa lebih dari 89% peserta didik menyatakan membutuhkan dukungan fasilitas dan teknologi pembelajaran untuk membantu memahami materi energi terbarukan secara lebih konkret. Temuan ini mengindikasikan adanya kesenjangan antara tuntutan kompetensi dan ketersediaan sumber belajar yang efektif di sekolah.

Kajian literatur sepuluh tahun terakhir menunjukkan bahwa pengembangan modul ajar menjadi salah satu solusi yang efektif dalam meningkatkan kualitas pembelajaran kejuruan. Penelitian oleh Sudjana dan Kosasih (2016) menegaskan bahwa modul yang baik harus memenuhi karakteristik self instructional, self contained, adaptif, dan user friendly agar dapat digunakan secara mandiri oleh peserta didik. Selanjutnya, penelitian-penelitian setelah tahun 2017 menunjukkan bahwa modul ajar yang dirancang secara sistematis mampu membantu peserta didik membangun pemahaman konseptual meskipun dengan keterbatasan sarana praktik (Rahmawati & Widodo, 2018) (Hidayat et al., 2020). Dalam konteks pendidikan vokasi, modul yang kontekstual dan aplikatif dinilai lebih efektif dibandingkan buku ajar konvensional (Putra & Suyanto, 2021).

Dari sisi pendekatan pembelajaran, teori konstruktivisme masih relevan dan banyak digunakan dalam pengembangan bahan ajar. Piaget menekankan bahwa pengetahuan dibangun melalui proses asimilasi dan akomodasi berdasarkan pengalaman belajar, sedangkan Vygotsky menekankan pentingnya interaksi sosial dan scaffolding dalam zona perkembangan proksimal peserta didik (Piaget, 1970) (Vygotsky, 1978). Penelitian-penelitian mutakhir menunjukkan bahwa bahan ajar yang mengakomodasi aktivitas eksplorasi, latihan terstruktur, dan refleksi mampu mendorong peserta didik untuk membangun pemahaman secara aktif, meskipun pembelajaran dilakukan dengan keterbatasan alat praktik (Sari et al., 2019) (Nugroho, 2022).

Meskipun demikian, hasil kajian pustaka juga menunjukkan adanya kesenjangan penelitian, khususnya pada pengembangan modul ajar PLTB poros horizontal skala kecil yang secara eksplisit dirancang untuk konteks SMK dengan fasilitas terbatas. Sebagian besar penelitian sebelumnya berfokus pada media berbasis laboratorium atau proyek praktik yang memerlukan peralatan khusus, sehingga sulit diimplementasikan di sekolah dengan sarana terbatas. Oleh karena itu, diperlukan pengembangan modul ajar yang tidak hanya valid secara materi dan media, tetapi juga praktis serta dapat digunakan sebagai stimulus awal pembelajaran berbasis konstruktivisme.

Berdasarkan kesenjangan tersebut, penelitian ini menawarkan kontribusi berupa pengembangan modul ajar PLTB poros horizontal skala kecil yang dirancang dengan mempertimbangkan karakteristik modul yang baik, pendekatan konstruktivisme, serta kondisi riil pembelajaran di SMK. Modul ini memuat materi K3LH, pengenalan komponen turbin angin, perhitungan dasar, dan simulasi

menggunakan perangkat lunak QBlade sebagai stimulus awal pembelajaran, sehingga peserta didik dapat membangun pemahaman konseptual secara bertahap.

Tujuan penelitian ini adalah untuk mengembangkan dan menilai kelayakan serta kepraktisan modul ajar pembangkit listrik tenaga bayu poros horizontal skala kecil bagi peserta didik SMK. Adapun manfaat penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi teoretis dalam pengembangan bahan ajar berbasis konstruktivisme serta manfaat praktis bagi guru dan peserta didik sebagai sumber belajar alternatif yang kontekstual dan mudah digunakan. Penelitian ini tidak merumuskan hipotesis karena menggunakan pendekatan penelitian dan pengembangan yang berfokus pada kualitas produk pembelajaran.

Metode

Penelitian ini merupakan penelitian dan pengembangan yang bertujuan menghasilkan modul ajar Pembangkit Listrik Tenaga Bayu (PLTB) poros horizontal skala kecil serta menilai kelayakan dan kepraktisannya. Model pengembangan yang digunakan adalah 4D, yang meliputi tahap define, design, develop, dan disseminate. Tahap define dilakukan melalui analisis kurikulum dan kebutuhan pembelajaran menggunakan angket. Tahap design meliputi perancangan struktur dan isi modul. Tahap develop dilakukan melalui validasi ahli materi dan ahli media, disertai revisi produk. Tahap disseminate dilakukan melalui sosialisasi modul kepada guru produktif Teknik Energi Terbarukan di SMK Negeri 2 Kota Bekasi.

Subjek penelitian meliputi ahli materi, ahli media, dan pengguna terbatas. Ahli materi menilai kesesuaian isi modul, sedangkan ahli media menilai aspek tampilan dan penyajian. Pengguna terbatas terdiri atas guru produktif yang menilai kepraktisan modul dalam pembelajaran.

Instrumen penelitian berupa angket kebutuhan, lembar validasi ahli materi, lembar validasi ahli media, dan angket kepraktisan pengguna. Data dikumpulkan melalui pengisian angket dan lembar validasi. Data kuantitatif dianalisis secara deskriptif untuk memperoleh persentase kelayakan dan kepraktisan, sedangkan data kualitatif berupa saran dan komentar digunakan sebagai dasar revisi produk. Penyusunan angket pada ukuran penilaian dengan penjelasan data melalui kuantitatif penggunaan ukuran jenis Rating Scale (Sugiyono, 2013).

Tabel 1. Skala Penilaian angket

Klasifikasi Sikap	Skala
Sangat Setuju/Sangat Baik	4
Setuju/Baik	3
Tidak Setuju/Tidak Baik	2
Sangat Tidak Setuju/Sangat Tidak Baik	1

Berikut kisi-kisi instrumen yang digunakan:

Tabel 2. Kisi-kisi Instrumen Pra observasi

No	Aspek	Fokus Penilaian	Nomor Item	Jumlah Soal
1	Kesulitan Materi dan Konsep PLTB	Menilai sejauh mana siswa memahami konsep dasar, komponen, fungsi, dan perhitungan PLTB skala mikro	1, 2, 3, 4, 5	5

2	Respon kebutuhan Siswa terhadap Metode dan Media Pembelajaran yang menarik	Mengukur tingkat ketertarikan siswa terhadap metode pembelajaran yang digunakan guru, termasuk media berbasis Augmented Reality	6, 7, 8, 10, 11, 12, 13	7
3	kebutuhan Pengenalan dan Dukungan Pembelajaran	Menilai tingkat pengetahuan siswa terhadap media AR, kebiasaan guru memberi tugas, serta ketersediaan buku panduan pembelajaran	9, 14, 15	3
4	Fasilitas dan Pemanfaatan Teknologi Sekolah	Mengukur ketersediaan fasilitas pembelajaran (ruang komputer, proyektor, internet, modul, jobsheet) serta penggunaan TIK dalam proses belajar mengajar	16, 17, 18, 19, 20, 21, 22	7

Tabel 3. Kisi-Kisi Instrumen pakar/ ahli Materi

No	Aspek	Indikator	Nomor Soal	Jumlah Soal
1	Kelayakan Isi	Kesesuaian materi dengan KI/KD dan ruang lingkup PLTB	1, 2, 3, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 21, 22, 23, 24	18
		Kesesuaian materi dengan tujuan dan indikator pembelajaran		
		Kemenarikan judul dan kesesuaian dengan apersepsi		
		Keruntutan, kebenaran, kejelasan, kedalaman, keluasaan, serta kelengkapan materi		
		Kesesuaian soal latihan dengan indikator dan umpan balik		
2	Kelayakan Pembelajaran	Kesesuaian materi dengan karakteristik peserta didik	4, 5, 6, 7, 8	5
		Metode penyampaian sesuai perkembangan siswa		
		Mendorong aktivitas, kemandirian, dan kreativitas siswa		
3	Kelayakan Bahasa	Kesesuaian bahasa dengan kaidah EYD	19, 20	2
		Kesesuaian bahasa dengan sasaran pengguna (siswa)		

Total Instrumen	24
-----------------	----

Tabel 4. Kisi-kisi instrumen pakar/ ahli media

No	Aspek	Indikator	Nomor Soal	Jumlah Soal
1	Tampilan Visual	Ketepatan background	1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9	9
		proporsi layout		
		font		
		ukuran huruf		
		warna teks		
		dan kualitas gambar		
2	Kelayakan Isi (Media)	Kesesuaian tampilan dengan isi dan dengan pengguna	10, 11	2
3	Fungsionalitas Media	Fleksibilitas penggunaan	12, 13, 14, 15	4
		kelengkapan petunjuk		
		tampilan petunjuk		
		dan tolak ukur keberhasilan pembelajaran		
Total Instrumen				15

Perolehan data yang dihasilkan validasi dapat diolah digunakan software microsoft excel berdasarkan perhitungan persentase sehingga dapat ditentukan kelayakan bahan ajar. Adapun rumus perhitungan persentase yang dimaksud yaitu sebagai berikut menurut (Sugiyono, 2013).

$$Xi = \frac{\sum s}{S_{max}} \times 100\%$$

Keterangan:

Xi : Nilai Kelayakan Angket Tiap Aspek/Indikator

$\sum s$: Jumlah Skor

S_{max} : Skor Maksimal

Setelah menggunakan rumus diatas, maka akan didapatkan tingkat kevalidan dalam bentuk persentase dan Selanjutnya persentase tersebut dapat disesuaikan dengan klasifikasi kelayakan media berdasarkan Sugiyono, (2013) sebagai berikut:

Tabel 5. Klasifikasi Kelayakan Media

Skor Persentase	Kategori
81 – 100 %	Sangat layak/Setuju
61 – 80 %	Layak/Setuju
41 – 60%	Cukup Layak/Setuju
21 – 40%	Kurang Layak/Setuju
0 – 20%	Sangat Kurang Layak/Setuju

Hasil Penelitian dan Pembahasan Hasil Penelitian

1. Define (Pendefinisian)

Tahap pendefinisian merupakan tahap awal untuk mengetahui kondisi lapangan. Studi lapangan dilakukan untuk mengumpulkan informasi terkait permasalahan yang dihadapi dalam pembelajaran. Tahap ini dilakukan dengan penyebaran angket kepada siswa Kelas X Teknik Energi Terbarukan SMKN 2 Kota Bekasi berjumlah 20 siswa sebagai subjek penelitian pengembangan. Adapun hasil dari pendefinisian kondisi lapangan dengan penyebaran angket adalah sebagai berikut :

Tabel 6. Data hasil pra observasi

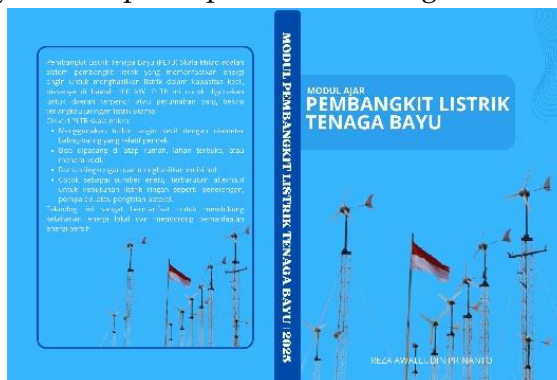
Aspek	nilai diperoleh	nilai ideal	persentase	Kategori
Kesulitan Materi dan Konsep PLTB	292	400	73,00%	Setuju
Respon kebutuhan Siswa terhadap Metode dan Media Pembelajaran yang menarik	444	560	79,29%	Setuju
kebutuhan Pengenalan dan Dukungan Pembelajaran	38	60	63,33%	Setuju
Kebutuhan Fasilitas dan Pemanfaatan Teknologi Sekolah	500	560	89,29%	Sangat Setuju

Temuan pra-penelitian menunjukkan bahwa siswa membutuhkan fasilitas dan dukungan teknologi dalam mempelajari materi PLTB, yang mengindikasikan adanya kesenjangan antara kebutuhan belajar dengan sarana yang tersedia di sekolah. Modul ini dirancang untuk merespons kondisi tersebut melalui penyajian materi yang dapat dipahami tanpa memerlukan alat praktik fisik yang kompleks, seperti ilustrasi komponen yang detail, perhitungan teknis yang dapat dilakukan secara manual, serta penggunaan simulasi Q-Blade yang dapat dijalankan pada perangkat sederhana.

2. Design (Perancangan)

a. Sampul modul

Sampul pada modul ajar dasar-dasar pembangkit listrik tenaga bayu jenis horizontal untuk skala kecil terdiri dari dua bagian yaitu sampul depan dan belakang.



Gambar 1. Sampul Modul

b. Prakata modul

Prakata berisis tentang motivasi penulis, tujuan penulis, latar belakang, pengakuan, keterbatasan, dan harapan. Tujuan dari prakata adalah untuk mengenali pembaca, membangun kepercayaan dan mengarahkan pembaca.

PRAKATA

Alhamdulillahirobbilamin, Puji dan Syukur penulis panjatkan kepada Allah SWT. atas berkat rahmat dan hidayah-Nya modul ajar dengan Judul PLTB fase E kelas X dapat terselesaikan. Modul ajar ini disusun untuk mempermudah peserta didik dalam memahami materi mengenai PLTB. Fokus modul ajar ini adalah membantu peserta didik dalam memahami K3LH, Fungsi dan nama komponen serta perambungan dasar energi angin.

Penulis menyadari bahwa penyusunan buku ini masih terdapat banyak kekurangan serta memerlukan kajian mendalam pada bab-bab tertentu. Oleh karena itu, kritik dan saran yang bersifat membangun sangat penulis butuhkan dalam rangka menyempurnakan modul ajar ini kedepannya.

Tentu tidak lupa penulis mengucapkan banyak terimakasih kepada pihak-pihak terkait yang telah membantu dalam penyelesaian modul ajar ini.

Serang, 25 April 2015

Reza Awaludin Primanto

Gambar 2. Prakata Modul

c. Daftar isi modul

Daftar isi berisikan daftar bagian pada modul pembelajaran beserta halamannya. Fungsi dari daftar isi adalah untuk membantu navigasi pembaca, mengatur struktur, dan menghemat waktu.

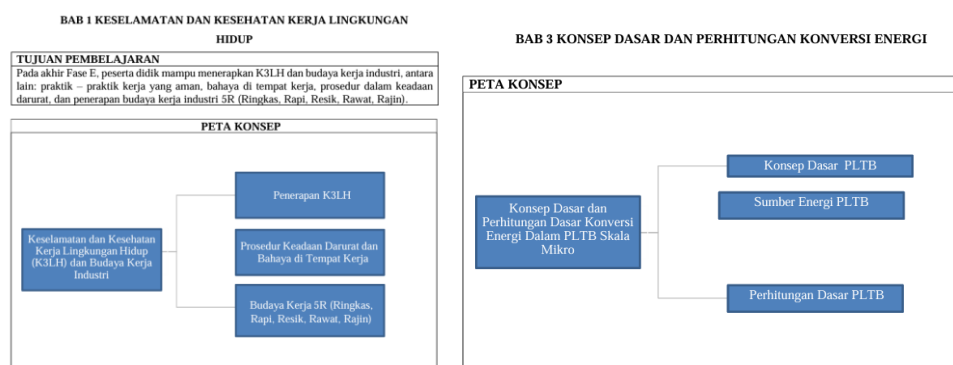
DAFTAR ISI

PRAKATA	1
DAFTAR GAMBAR	4
DAFTAR TABEL	5
DAFTAR QR KODE	6
BAB 1 KESELAMATAN DAN KESEHATAN KERJA LINGKUNGAN HIDUP	7
PETA KONSEP	7
A. Penerapan K3LH	8
B. Prosedur Keadaan Darurat dan Bahaya di Tempat Kerja	14
C. Budaya Kerja 5R (Ringkas, Rapi, Resik, Rawat dan Rajin)	21
BAB 2 KOMPONEN PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA BAYU	23
A. Nama dan Fungsi Komponen Pembangkit Listrik Tenaga Bayu Skala Mikro	24
BAB 3 KONSEP DASAR DAN PERHITUNGAN KONVERSI ENERGI PLTB SKALA MIKRO	30
A. Konsep Dasar Pembangkit Listrik Tenaga Bayu (PLTB)	31
B. Sumber Energi Pembangkit Listrik Tenaga Bayu (PLTB)	35
C. Perhitungan Dasar Pembangkit Listrik Tenaga Bayu (PLTB) Skala Mikro	37
SOAL REFLEKSI PILIHAN GANDA	49

Gambar 3. Daftar isi Modul

d. Peta konsep modul

Peta konsep berisi tentang pemetaan materi yang akan dipelajari dalam modul pembelajaran. Fungsi dari peta konsep adalah untuk mengorganisir informasi, memvisualisasikan hubungan, dan membantu memahami.

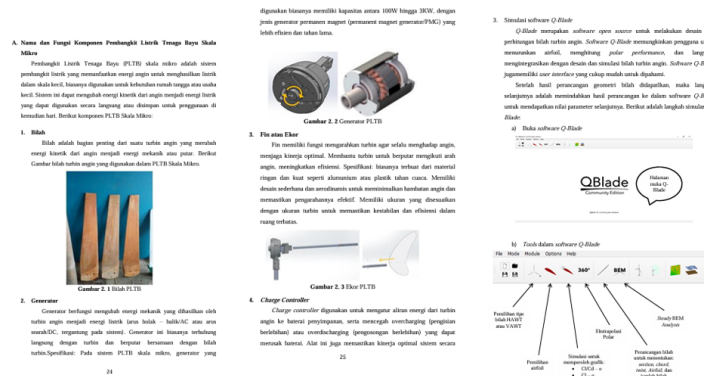


Gambar 4. Peta konsep modul

e. Isi modul

Modul pembelajaran pada bagian isi berisikan tentang kegiatan pembelajaran yang akan dilakukan dalam proses pembelajaran. Pada bagian ini modul pembelajaran berisikan tentang

Penerapan K3LH, Nama dan fungsi komponen serta konsep dasar perhitungan pembangkit listrik tenaga bayu.



Gambar 5. Isi modul

f. Soal refleksi

Soal refleksi terdiri dari 30 soal pilihan ganda yang masing-masing diambil dari setiap bagian pembahasan pada BAB yang ada di dalam isi modul pembelajaran dan 5 soal essay yang berisi pemahaman umum tentang pembangkit listrik tenaga angin.



Gambar 6. Soal Refleksi

3. Development (Pengembangan)

Pada tahapan development (pengembangan) dilakukan proses validasi modul guna mendapatkan hasil dari pengembangan, proses validasi yang sudah dilaksanakan memperhatikan sudut pandang kelayakan isi, sudut pandang kelayakan penyajian, sudut pandang penilaian kontekstual, sudut pandang kelayakan kegrafikan, sudut pandang kelayakan bahasa (Suwarni, 2015). Selain itu, pada proses validasi dilakukan untuk mendapatkan penilaian, saran bahkan komentar terhadap modul yang sudah berkembang agar bahan ajar dipergunakan dengan baik.

a. Validasi ahli materi

Validasi ahli materi berfungsi untuk mengetahui kelayakan materi yang ada pada pengembangann modul ajar berupa angket serta kritik, komentar dan saran.

Tabel 7. Hasil validasi ahli materi

Aspek yang dinilai	nilai ideal	nilai diperoleh	Persentase	Kategori
Kelayakan Isi	68	54	79,41%	Layak
Kelayakan Pembelajaran	20	15	75,00%	Layak
Kelayakan Bahasa	8	6	75,00%	Layak
Total	96	75	78,13%	Layak

Berdasarkan tabel di atas, modul memperoleh nilai total 75 dari 96 dengan persentase 78,13%, yang termasuk dalam kategori "Layak". Penilaian ahli materi menunjukkan bahwa modul berada dalam kategori layak, namun belum mencapai sangat layak karena kedalaman pembahasan konsep dan keterkaitan antara teori dengan praktik masih perlu diperkuat. Beberapa materi teknis seperti perhitungan aerodinamika, contoh aplikatif, serta variasi soal dinilai masih ringkas sehingga belum sepenuhnya memenuhi karakteristik modul pembelajaran menurut Sudjana dalam Najuah et al., (2020) yang menekankan ketepatan, kelengkapan, dan sistematika isi.

Adapun kritik, saran serta komentar secara umum oleh validator pakar/ahli materi yakni: Modul mampu mengakomodir variasi kecepatan belajar pengguna dan memberikan model pembelajaran yang interaktif, sehingga mendorong diskusi aktif dan pemahaman konsep sistem pemangkit listrik tenaga angin. Tetapi perlu dilakukan penyempurnaan berkelanjutan agar materi modul selalu up-to-date dengan perkembangan teknologi pembangkit listrik tenaga angin. Dengan demikian menurut saya, modul pembelajaran ini sudah cukup baik namun masih dapat dikembangkan lebih lanjut dengan penambahan media praktikum, penyempurnaan desain teknis, dan penyesuaian materi agar lebih aplikatif dan menarik bagi pengguna

b. Validasi ahli media

Validasi ahli media dilakukan untuk mengetahui tingkat kelayakan media pembelajaran yang sedang dikembangkan. Adapun unsur penilaian pengembangan ini dilihat dari tampilan visual, kesesuaian materi, fungsi dan evaluasi berupa angket serta kritik, saran dan ulasan.

Tabel 8. Hasil Pengujian ahli media

Aspek Yang dinilai	nilai ideal	nilai diperoleh	Persentase	Kategori
Tampilan visual	36	25	69,44%	Layak
Kelayakan isi	12	8	66,67%	Layak
Fungsional	12	11	91,67%	Sangat Layak
Total	60	44	73,33%	Layak

Dari tabel tersebut, jumlah nilai yang diperoleh adalah 44 dari 60, atau 73,33%, sehingga termasuk kategori "Layak". Hasil validasi ahli media menunjukkan bahwa modul praktis dan menarik, tetapi beberapa elemen desain seperti konsistensi layout, keterbacaan visual, dan kejelasan ilustrasi masih memerlukan penyempurnaan sehingga belum mencapai kategori sangat layak. Temuan ini berkaitan dengan karakteristik media menurut menekankan pentingnya tampilan yang konsisten dan mudah dipahami, serta kejelasan pesan visual bagi peserta didik.

Adapun kritik, saran serta ulasan kepada validator pakar/ahli media yakni: Secara umum, media pembelajaran ini layak untuk digunakan baik secara mandiri maupun terbimbing, dan telah memenuhi standar kualitas visual, fungsional, serta kesesuaian isi. Pengembangan selanjutnya dapat difokuskan pada penyempurnaan aspek estetika dan struktur informasi, terutama dalam menyajikan latar belakang, layout, dan tolak ukur pembelajaran secara terstruktur.

4. Disseminate (Penyebaran)

Pada tahap Disseminate, penyebaran produk dilakukan melalui kegiatan sosialisasi kepada guru produktif Teknik Energi Terbarukan di SMK Negeri 2 Kota Bekasi. Sosialisasi ini bertujuan untuk memperkenalkan modul yang telah dikembangkan, menjelaskan struktur isinya, serta mendapatkan tanggapan awal mengenai potensi penerapannya dalam pembelajaran di kelas. Kegiatan ini dilaksanakan secara langsung melalui pertemuan internal dengan guru produktif, di mana peneliti

memaparkan tujuan pengembangan modul, alur pembelajaran yang digunakan, serta contoh implementasi kegiatan praktik yang terdapat di dalam modul.

Meskipun proses penyebaran telah dilakukan, kegiatan ini tidak terdokumentasikan dalam bentuk data karena keterbatasan pada saat pelaksanaan. Namun demikian, masukan lisan yang diberikan guru selama sesi sosialisasi telah digunakan sebagai pertimbangan dalam melakukan perbaikan minor pada tata letak dan kejelasan instruksi praktik di dalam modul.

Pembahasan

Hasil penelitian menunjukkan bahwa modul ajar PLTB poros horizontal skala kecil berada pada kategori layak dan praktis berdasarkan penilaian ahli materi, ahli media, dan pengguna terbatas. Tingginya kepraktisan menunjukkan bahwa modul memiliki sistematika yang jelas, mudah digunakan, dan mendukung pembelajaran mandiri. Temuan ini sejalan dengan pandangan bahwa modul ajar yang dirancang secara sistematis dapat meningkatkan efisiensi pembelajaran, khususnya pada pendidikan kejuruan dengan keterbatasan sarana praktik (Sudjana & Kosasih, 2016) (Rahmawati & Widodo, 2018).

Hasil validasi ahli materi yang belum mencapai kategori sangat layak mengindikasikan bahwa kedalaman dan kelengkapan materi masih perlu disempurnakan. Kondisi ini menunjukkan bahwa kemudahan penggunaan modul perlu diimbangi dengan penguatan substansi materi agar pembelajaran tidak bersifat permukaan. Temuan ini mendukung hasil penelitian sebelumnya yang menyatakan bahwa modul yang praktis belum tentu optimal secara konseptual jika tidak disertai pengayaan materi yang memadai (Putra & Suyanto, 2021) (Nugroho, 2022).

Ditinjau dari pendekatan konstruktivisme, modul ini telah memfasilitasi pembelajaran aktif melalui aktivitas pemahaman konsep, penerapan K3LH, perhitungan dasar, dan simulasi QBlade sebagai stimulus belajar. Aktivitas tersebut memungkinkan peserta didik membangun pengetahuan secara bertahap melalui proses asimilasi dan akomodasi sebagaimana dikemukakan oleh Jean Piaget, serta memperoleh dukungan pembelajaran melalui scaffolding sesuai pandangan Lev Vygotsky. Kebaruan penelitian ini terletak pada pengembangan modul ajar PLTB yang kontekstual dan aplikatif untuk kondisi fasilitas terbatas, tanpa bergantung pada praktik laboratorium kompleks, sehingga lebih realistis diterapkan di SMK dibandingkan penelitian-penelitian sebelumnya yang menuntut sarana praktik khusus.

Keterbatasan Penelitian

1. Penelitian terbatas pada tahap validasi modul oleh ahli, tetapi tidak melakukan evaluasi kuantitatif atau kualitatif terhadap respon atau hasil belajar siswa.
2. Uji coba dilakukan dalam lingkup terbatas dan tidak melibatkan populasi yang lebih luas.
3. Tidak dikembangkan perangkat keras turbin angin secara fisik, sehingga aspek praktik masih berupa simulasi panduan modul.
4. Pengembangan modul ajar hanya terfokus pada dasar-dasar Teknik energi angin dengan kapasitas skala kecil dan hanya tipe horizontal.
5. Pembelajaran konstruktif yang diimplementasikan hanya sebatas panduan modul tanpa pendampingan intensif kepada guru.

Kesimpulan

Modul ajar Dasar-Dasar Pembangkit Listrik Tenaga Bayu (PLTB) Poros Horizontal Skala Kecil yang dikembangkan dinyatakan valid berdasarkan hasil validasi ahli materi dengan nilai rata-rata 78,13% (kategori Layak). Modul ini memenuhi standar konten, penyajian, dan bahasa yang sesuai dengan kebutuhan pembelajaran vokasi teknik energi terbarukan di SMK.

Model pengembangan 4D (Define, Design, Develop, Disseminate) terbukti layak dalam menghasilkan modul yang aplikatif dan praktis dengan nilai kepraktisan aspek fungsional sebesar 91,67%. Hal ini menunjukkan modul mudah digunakan oleh guru dan peserta didik dalam proses pembelajaran PLTB.

Referensi

- Hidayat, A., Santoso, B., & Prasetyo, D. (2020). Pengembangan modul pembelajaran berbasis kompetensi pada pendidikan vokasi. *Jurnal Pendidikan Teknologi dan Kejuruan*, 26(2), 123–132.
- Kementerian Pendidikan dan Kebudayaan. (2020). *Spektrum keahlian sekolah menengah kejuruan tahun 2020*. Jakarta: Kemendikbud.
- Kosasih, A. (2021). *Pengembangan bahan ajar*. Bandung: Remaja Rosdakarya.
- Najuah, S., Manullang, S. O., & Siregar, A. (2020). *Modul pembelajaran dan pengembangannya*. Medan: Yayasan Kita Menulis.
- Nugroho, A. (2022). Pengembangan bahan ajar kontekstual pada pembelajaran vokasi. *Jurnal Pendidikan Vokasi*, 12(1), 45–54.
- Piaget, J. (1970). *Science of education and the psychology of the child*. New York, NY: Orion Press.
- Putra, R., & Suyanto, W. (2021). Modul pembelajaran sebagai solusi keterbatasan fasilitas praktik di SMK. *Jurnal Pendidikan Vokasi*, 11(1), 55–64.
- Rahmawati, D., & Widodo, S. (2018). Pengembangan modul pembelajaran mandiri berbasis kompetensi. *Jurnal Pendidikan Kejuruan*, 8(2), 101–109.
- Sari, P., Handayani, T., & Lestari, R. (2019). Pengembangan modul pembelajaran berbasis konstruktivisme. *Jurnal Inovasi Pendidikan*, 9(2), 87–96.
- Sudjana, N., & Kosasih, A. (2016). *Pengembangan bahan ajar*. Bandung: Remaja Rosdakarya.
- Sugiyono. (2013). *Metode penelitian pendidikan (pendekatan kuantitatif, kualitatif, dan R&D)*. Bandung: Alfabeta.
- Vygotsky, L. S. (1978). *Mind in society: The development of higher psychological processes*. Cambridge, MA: Harvard University Press.