

**Pengembangan Buku Ajar Sistem Pengukuran Fisika Terintegrasi
Laboratorium Virtual untuk Pembelajaran di Masa *Post-Pandemic*****Indrawati Wilujeng**

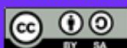
Program Studi Pendidikan Fisika STKIP Al Hikmah Surabaya, Indonesia

indrawati.physics@gmail.com**Abstrak**

Proses pembelajaran pada masa *post-pandemic* dilaksanakan secara tatap muka namun dengan waktu yang terbatas. Akibatnya seringkali kegiatan praktikum di laboratorium dilewatkan. Agar keterampilan psikomotor mahasiswa tetap terbangun, maka dikembangkan buku ajar Sistem Pengukuran Fisika yang terintegrasi dengan laboratorium virtual. Tujuan dari penelitian ini yaitu mengembangkan buku ajar Sistem Pengukuran Fisika yang terintegrasi dengan laboratorium virtual. Tingkat validitas buku ajar tersebut dideskripsikan melalui validasi ahli dan respon mahasiswa. Metode penelitian yang digunakan yaitu RnD (*research and development*) dengan model pengembangan 4D. Teknik pengumpulan data yaitu wawancara dan angket. Instrumen penelitian meliputi lembar wawancara, lembar angket validator, dan lembar angket respon mahasiswa. Teknik analisis data dilakukan secara kuantitatif dan kualitatif. Berdasarkan analisis data, diperoleh skor validasi buku ajar adalah sebesar 80,16% (sangat valid) untuk aspek materi, sebesar 97,73% (sangat valid) untuk aspek media, dan sebesar 82,5% (sangat valid) untuk aspek bahasa. Respon mahasiswa menunjukkan bahwa tingkat keterbacaan buku ajar adalah 100%. Saran yang diberikan yaitu perlu penambahan contoh soal dan pembahasan serta integrasi laboratorium virtual pada tiap bab. Dengan begitu, dapat disimpulkan bahwa buku ajar Sistem Pengukuran Fisika terintegrasi laboratorium virtual sangat valid digunakan untuk pembelajaran di masa *post-pandemic*.

Kata Kunci: Buku Ajar; Sistem Pengukuran Fisika; Laboratorium Virtual**Abstract**

The learning process in the post-pandemic period is carried out face-to-face but with limited time. As a result, practical activities in the laboratory are often missed. In order to keep students' psychomotor skills awake, a Physics Measurement System textbook was developed and integrated with a virtual laboratory. The purpose of this research is to develop a Physics Measurement System textbook that is integrated with a virtual laboratory. The validation level of the textbook was described through expert validation and student responses. The research method used is RnD (research and development) with a 4D development model. Data collection techniques include interviews and questionnaires. The research instruments include interview sheets, validator questionnaires, and student response questionnaires. Data analysis techniques were carried out quantitatively and qualitatively. Based on the data analysis, the textbook validation scores were obtained at 80,16% (very valid) for the material aspect; 97,73% (very valid) for the media aspect; and 82,5% (very valid) for the language aspect. Student responses indicate that the level of readability of textbooks is 100%. The advice is that it is necessary to add sample questions and discussion and integrate a virtual laboratory in



each chapter. Thus, it can be concluded that the virtual laboratory integrated Physics Measurement System textbook is very valid for learning in the post-pandemic period.

Keywords: *Textbook; Physics Measurement System; Virtual Laboratory*

Received : 19 Mei 2022

Accepted : 25 Juni 2022

Published : 2 Juli 2022

DOI : <https://doi.org/10.20527/jipf.v6i2.5436>

© 2022 Jurnal Ilmiah Pendidikan Fisika

How to cite: Wilujeng, I. (2022). Pengembangan buku ajar sistem pengukuran fisika terintegrasi laboratorium virtual untuk pembelajaran di masa *post-pandemic*. *Jurnal Ilmiah Pendidikan Fisika*, 6(2), 368-378.

PENDAHULUAN

Masa pandemi perlahan-lahan beralih ke masa pasca pandemi atau yang dikenal dengan istilah *post-pandemic*. Masa ini ditandai dengan kembali normalnya aktivitas masyarakat di berbagai lini kehidupan dengan berbagai penyesuaian. Sebagai contoh di bidang pendidikan, proses pembelajaran telah dilakukan secara tatap muka, meskipun ada penyesuaian dengan penerapan waktu yang terbatas (Ain et al., 2022). Adanya keterbatasan waktu tersebut berpengaruh terhadap proses pembelajaran, terutama pada kegiatan praktikum di laboratorium (Wibowo et al., 2022). Kegiatan praktikum di laboratorium nyata biasanya memang membutuhkan waktu yang tidak sedikit, sehingga pada masa *post-pandemic* kegiatan praktikum ini seringkali dihilangkan.

Berdasarkan data di lapangan mengenai kuantitas kegiatan praktikum mahasiswa Prodi Pendidikan Fisika di laboratorium yang diambil pada akhir semester gasal TA. 2021/2022, diperoleh bahwa selama pandemi sampai dengan saat ini, kegiatan praktikum di laboratorium jarang dilakukan. Rata-rata rasio kegiatan praktikum di laboratorium dengan pembelajaran di kelas adalah 1:15 atau sebesar 6,7%. Masalah yang sama juga terjadi di tempat lain yaitu 87,3% mahasiswa menganggap pembelajaran kurang efektif karena kurang tepatnya strategi pembelajaran

dalam kegiatan praktikum (Anggrella et al., 2021). Salah satu hal yang menjadi kendala adalah keterbatasan waktu. Total 16 kali pertemuan tatap muka menjadi hanya 4 kali tatap muka. Hal tersebut memang bertujuan untuk mengurangi intensitas pertemuan, akan tetapi jika ketiadaan kegiatan praktikum di laboratorium dibiarkan maka akan berdampak pada lemahnya keterampilan psikomotor mahasiswa. Proses pembelajaran akan didominasi oleh transfer pengetahuan dalam ranah kognitif saja. Padahal sebagai calon guru fisika, mahasiswa dituntut memiliki keterampilan psikomotor yang juga mumpuni dengan menguasai berbagai macam alat ukur yang ada di laboratorium sekolah (Hasyim, 2019; Wilujeng et al., 2019). Selain itu, ketiadaan kegiatan praktikum juga dapat menyebabkan turunnya minat dan motivasi belajar (Dewa et al., 2020).

Pelajaran Fisika secara umum merupakan subjek yang tidak dapat dipisahkan antara teori dan praktiknya (Mirdayanti & Murni, 2017). Sistem pengukuran fisika yang merupakan bagian dari pelajaran fisika sangat erat hubungannya dengan aktivitas praktikum di laboratorium. Pada mata kuliah tersebut diajarkan prinsip-prinsip dasar pengukuran, pengenalan macam-macam alat ukur, cara menggunakan alat ukur, cara membaca hasil pengukuran, dan cara menyajikan hasil tersebut. Adanya

kegiatan praktikum sangat penting untuk menumbuhkan sikap ilmiah dan keterampilan proses (Sholikah et al., 2020; Suryaningsih, 2017). Kegiatan praktikum juga mampu melibatkan mahasiswa secara aktif serta memberikan kesempatan untuk lebih memahami fenomena fisis yang terjadi (Wibowo, 2018; Wilujeng & Rohman, 2021). Oleh karena itu diperlukan solusi agar kegiatan praktikum tetap terlaksana meskipun dengan alokasi waktu yang terbatas.

Salah satu penyesuaian yang dapat dilakukan adalah dengan mengembangkan buku ajar. Buku ajar dipilih atas pertimbangan bahwa buku ajar merupakan bahan ajar yang pasti digunakan dalam pembelajaran (Anggela & Darvina, 2013). Buku ajar tersebut akan diintegrasikan dengan laboratorium virtual. Pemilihan laboratorium virtual dikarenakan mahasiswa dapat melakukan praktikum baik di dalam kelas maupun di rumah dengan sistem belajar *flip learning* atau *blended learning* (Singh et al., 2021). Hal ini dapat menjadi solusi untuk mengatasi keterbatasan waktu pembelajaran tatap muka di kelas. Laboratorium virtual juga merupakan produk teknologi yang berkembang pesat saat pandemi (Pratama & Yusro, 2016; Susilawati & Supriyatno, 2020). Kini, produk-produk teknologi tersebut memiliki peran utama dalam menunjang pendidikan (Hasyim et al., 2019).

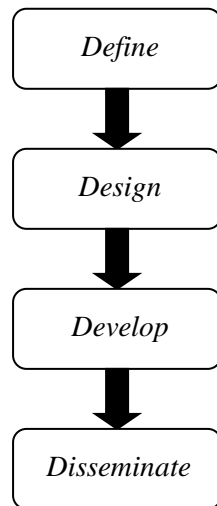
Laboratorium virtual merupakan lingkungan interaktif yang khusus diciptakan dengan teknologi canggih untuk menstimulasi proses dan aksi seperti yang terjadi pada laboratorium fisik (Sari et al., 2015). Laboratorium virtual menyediakan fitur-fitur interaktif yang memungkinkan mahasiswa untuk melakukan praktikum, misal mengukur dengan menggunakan jangka sorong, mikrometer sekrup, amperemeter, voltmeter, dan alat-alat ukur yang

lainnya. Hal tersebut tentu dapat meningkatkan motivasi belajar dan keterampilan dalam melakukan eksperimen, serta meningkatkan keaktifan mahasiswa (Hasyim et al., 2020; Prabowo, Ibrohim, et al., 2016; Yusuf et al., 2015).

Hasil penelitian terdahulu juga menguatkan bahwa laboratorium virtual efektif digunakan sebagai media praktikum online yang dapat diakses kapan saja dan di mana saja tanpa ada batasan waktu (Sugiharti & Sugandi, 2020). Hasil penggunaan laboratorium virtual juga terbukti dapat meningkatkan pemahaman konsep (Hikmah et al., 2017). Selain itu, laboratorium virtual mampu memberikan pengalaman nyata bagi mahasiswa dalam mempersiapkan diri untuk menjadi guru fisika yang terampil dalam melakukan praktikum di laboratorium (Muhajarah & Sulthon, 2020). Tujuan umum dari penelitian ini adalah mengembangkan buku ajar sistem pengukuran fisika terintegrasi laboratorium virtual untuk pembelajaran di masa *post-pandemic*. Sementara tujuan khusus penelitian ini yaitu mengatasi keterbatasan waktu saat melakukan praktikum. Oleh karena itu metode penelitian ini adalah R&D (*research and development*).

METODE

Model pengembangan yang digunakan yaitu model 4D yang diperkenalkan oleh Thiagarajan. Langkah-langkah dari model 4D antara lain: *define* (mendefinisikan), *design* (merancang), *develop* (mengembangkan), dan *disseminate* (menyebarkan) (Thiagarajan et al., 1974). Subjek penelitian merupakan mahasiswa Prodi Pendidikan Fisika STKIP Al Hikmah Surabaya. Penelitian ini dilakukan pada semester genap tahun akademik 2021-2022. Adapun prosedur penelitian dapat ditunjukkan pada Gambar 1.



Gambar 1 Prosedur penelitian

Penjelasan prosedur penelitian dipaparkan sebagai berikut.

- Tahap *define* (mendefinisikan). Pada tahap ini dilakukan analisis kebutuhan, analisis peserta didik, analisis materi, dan tujuan pembelajaran pada mata kuliah Sistem Pengukuran Fisika (Winarni et al., 2020). Tahap ini dilakukan agar buku ajar yang dikembangkan sesuai dengan kebutuhan peserta didik dan tuntutan kurikulum perguruan tinggi.
- Tahap *design* (merancang). Pada tahap ini dilakukan pemilihan rancangan terhadap buku ajar, seperti desain sampul buku, desain layout, serta materi yang akan disajikan. Pemilihan tersebut dititikberatkan pada karakteristik mata kuliah Sistem Pengukuran Fisika.
- Tahap *develop* (mengembangkan). Pada tahap ini dilakukan pengembangan melalui pengintegrasian materi buku ajar dengan aplikasi laboratorium virtual yang dapat diakses secara online. Pada tahap ini juga dilakukan teknik pengumpulan data

telaah dan validasi dari para ahli serta respon mahasiswa.

- Tahap *disseminate* (menyebarkan). Pada tahap ini dilakukan penyebaran produk buku ajar yang telah dikembangkan. Akan tetapi penyebaran yang dipilih pada tahap ini yaitu sampai tahap pengemasan akhir saja (*packaging only*) (Wilujeng & Permatasari, 2019).

Pengumpulan data dilakukan dengan teknik wawancara semi terstruktur dan angket. Teknik wawancara dilakukan pada tahap *define* untuk mendefinisikan kebutuhan peserta didik. Teknik angket dilakukan pada tahap *develop* untuk memperoleh kritik dan saran terhadap buku ajar yang telah dirancang. Instrumen penelitian yang digunakan antara lain lembar wawancara, lembar angket validator, dan lembar angket respon mahasiswa.

Data yang diperoleh pada penelitian ini berupa data kualitatif dan kuantitatif. Data kualitatif berupa hasil wawancara pada tahap analisis kebutuhan dan kritik serta saran terhadap buku ajar yang diperoleh pada proses telaah ahli. Data tersebut akan diinterpretasikan sesuai dengan konteks penelitian. Sementara data kuantitatif berupa hasil validasi dan respon mahasiswa. Hasil validasi terdiri atas empat kriteria yang memiliki nilai masing-masing sesuai dengan skala Likert sebagaimana yang ditunjukkan pada Tabel 1.

Tabel 1 Kriteria penilaian validasi ahli

Kriteria Hasil Validitas	Nilai
Sangat Baik	4
Baik	3
Kurang	2
Sangat Kurang	1

Data tersebut dianalisis menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$\text{Persentase validasi} = \frac{\text{jumlah seluruh jawaban}}{\text{total nilai tertinggi}} \times 100\% \quad (1)$$

Selanjutnya, persentase validasi dideskripsikan ke dalam kriteria validasi menggunakan pedoman yang ditunjukkan pada Tabel 2.

Tabel 2 Deskripsi persentase validasi

Persentase	Kriteria Kevalidan
0 - 20	Sangat Kurang
20,01 – 40	Kurang
40,01 – 60	Cukup
60,01 – 80	Valid
80,01 - 100	Sangat Valid

(Sugiyono, 2016)

Sementara, hasil respon mahasiswa terdiri dari dua kriteria yaitu “ya” dan “tidak” dengan nilai masing-masing sesuai dengan skala Guttman sebagaimana yang ditunjukkan pada Tabel 3.

Tabel 3 Kriteria penilaian respon mahasiswa

Respon Mahasiswa	Nilai
Ya	1
Tidak	0

(Sugiyono, 2016)

$$\text{Persentase respon} = \frac{\text{jumlah seluruh jawaban} \times 100\%}{\text{nilai tertinggi} \times \text{jumlah responden}} \quad (2)$$

(Ariyawati et al., 2017)

Data respon mahasiswa diinterpretasikan sebagai tingkat keterbacaan buku ajar yang dapat ditentukan dengan menggunakan persamaan (2).

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil penelitian yang diperoleh berupa buku ajar yang telah dikembangkan. Judul buku ajar tersebut yaitu Sistem Pengukuran Fisika, yang terintegrasi dengan laboratorium virtual disesuaikan dengan pembelajaran pada masa *post-pandemic*. Berikut ini akan dipaparkan hasil yang didapatkan pada masing-masing tahap pengembangan.

Pada tahap *define* telah dilakukan analisis kebutuhan, analisis peserta didik, analisis materi, dan tujuan pembelajaran. Berdasarkan hasil dari wawancara pada tahap analisis kebutuhan diperoleh bahwa hampir tidak pernah dilakukan kegiatan praktikum pada mata kuliah Sistem Pengukuran Fisika dan buku ajar yang digunakan belum terintegrasi dengan kegiatan laboratorium. Peserta didik yang menjadi subjek penelitian merupakan mahasiswa semester 2 yang memprogram mata kuliah Sistem Pengukuran Fisika. Oleh karena berada pada semester 2, maka kemampuan fisika yang dimiliki masih pada level dasar. Berdasarkan hasil analisis materi, maka materi yang dipilih untuk disusun menjadi buku ajar antara lain: Prinsip Dasar Pengukuran, Karakteristik Statis, Alat-Alat Ukur, Ralat Pengukuran, dan Pengelolaan Data. Tujuan pembelajaran dari masing-masing materi tersebut ditunjukkan pada Tabel 4.

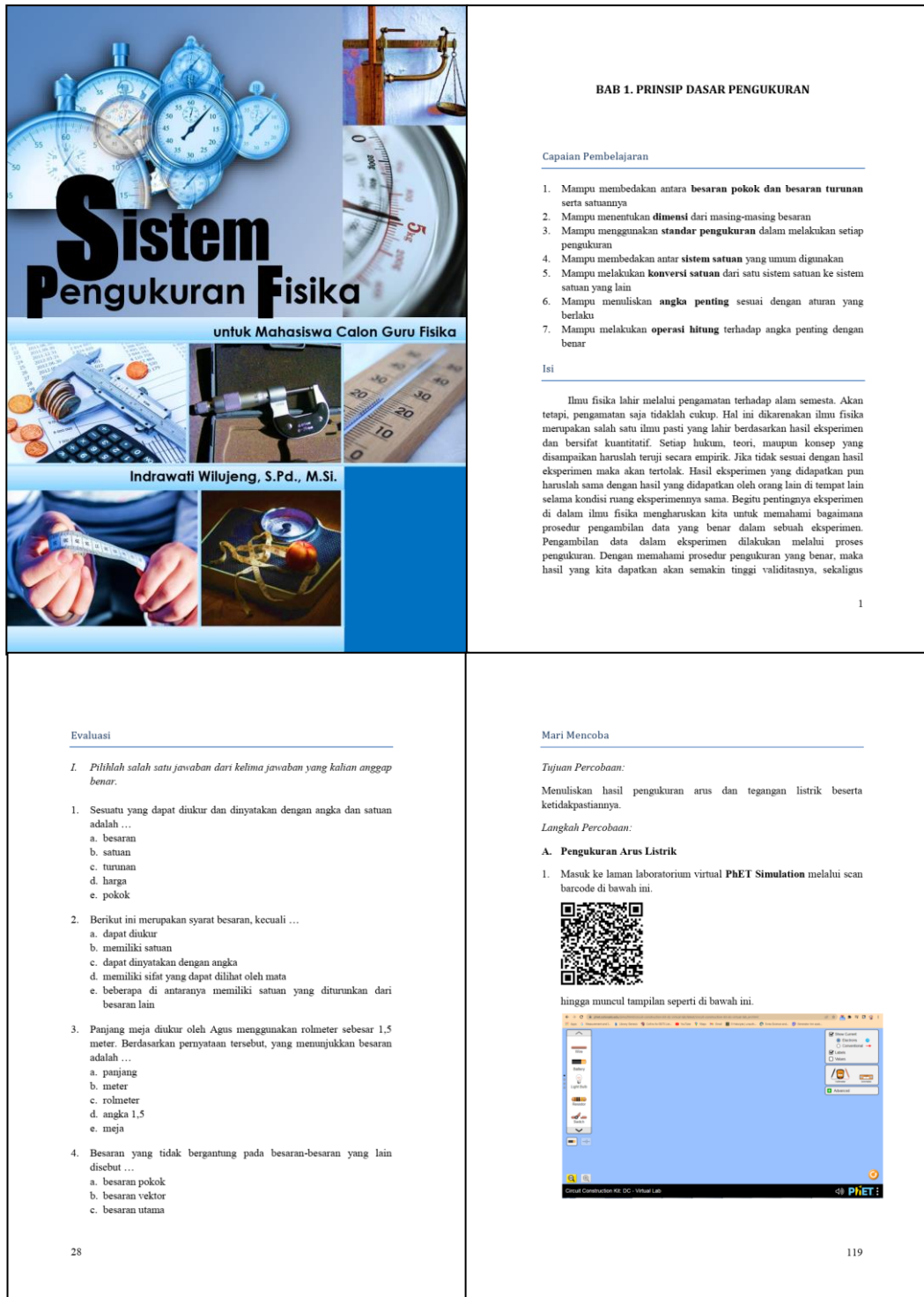
Tabel 4 Hasil analisis tujuan pembelajaran

Materi	Tujuan Pembelajaran
Prinsip Dasar Pengukuran	<ol style="list-style-type: none"> 1. Mampu membedakan antara besaran pokok dan besaran turunan serta satuannya 2. Mampu menentukan dimensi dari masing-masing besaran 3. Mampu menggunakan standar pengukuran dalam melakukan setiap pengukuran 4. Mampu membedakan antar sistem satuan yang umum digunakan 5. Mampu melakukan konversi satuan dari satu sistem satuan ke sistem satuan yang lain 6. Mampu menuliskan angka penting sesuai dengan aturan yang berlaku 7. Mampu melakukan operasi hitung terhadap angka penting dengan benar
Karakteristik Statis	<ol style="list-style-type: none"> 1. Mampu menghasilkan hasil pengukuran yang akurat dan presisi 2. Mampu membedakan tingkat ketepatan dan ketelitian dari masing-masing alat ukur

Materi	Tujuan Pembelajaran
Alat-Alat Ukur	<ol style="list-style-type: none"> 3. Mampu menunjukkan batas toleransi dan jangkauan dari masing-masing alat ukur 4. Mampu menentukan tingkat sensitivitas masing-masing alat ukur 5. Mampu menentukan linieritas dan histeresis dari hasil pengukuran yang diperoleh 1. Mampu memilih alat ukur yang benar sesuai dengan besaran yang akan diukur 2. Mampu menjelaskan bagian-bagian dari alat-alat ukur panjang, massa, waktu, suhu, dan kelistrikan 3. Mampu menentukan tingkat ketelitian alat-alat ukur panjang, massa, waktu, suhu, dan kelistrikan 4. Mampu melakukan kalibrasi terhadap alat-alat ukur panjang, massa, waktu, suhu, dan kelistrikan 5. Mampu menggunakan alat-alat ukur panjang, massa, waktu, suhu, dan kelistrikan dengan benar 6. Mampu membaca hasil pengukuran yang ditunjukkan oleh alat-alat ukur panjang, massa, waktu, suhu, dan kelistrikan sesuai dengan kaidah penulisan yang benar
Ralat Pengukuran	<ol style="list-style-type: none"> 1. Mampu menjelaskan macam-macam kesalahan pengukuran yang umum terjadi dan memberikan contohnya 2. Mampu memperkecil peluang terjadinya kesalahan-kesalahan ketika melakukan pengukuran 3. Mampu menentukan ketidakpastian pengukuran langsung, baik pengukuran tunggal maupun berulang 4. Mampu menentukan ketidakpastian pengukuran tak langsung, baik pengukuran tunggal maupun berulang 5. Mampu menuliskan ralat pengukuran sesuai dengan kaidah penulisan yang berlaku 6. Mampu menentukan ketidakpastian mutlak dan relatif dari suatu pengukuran
Pengelolaan Data	<ol style="list-style-type: none"> 1. Mampu menyajikan data dari bentuk tabel ke bentuk grafik 2. Mampu menunjukkan tingkat linieritas data 3. Mampu menghitung nilai variabel tertentu melalui persamaan garis dari grafik data hasil pengukuran 4. Mampu membuat grafik yang menarik menggunakan aplikasi pembuat grafik 5. Mampu menginterpretasikan data melalui grafik

Pada tahap *design* telah dilakukan rancangan terhadap buku ajar. Rancangan tersebut antara lain meliputi ukuran buku, desain cover dan layout, serta format isi buku. Ukuran buku dipilih ukuran B5 yang telah memenuhi ketentuan ISO untuk sebuah buku ajar. Desain cover menampilkan berbagai alat ukur sebagai bentuk penyesuaian dengan karakteristik judul buku ajar yaitu Sistem Pengukuran Fisika. Format isi buku terdiri atas tiga bagian yaitu capaian

pembelajaran, isi, dan evaluasi. Capaian pembelajaran berisi tujuan yang akan dicapai mahasiswa setelah mempelajari materi. Isi memuat pemaparan materi ajar secara menyeluruh sekaligus dengan contoh soal dan pembahasan (Wilujeng & Rohman, 2021). Sementara, evaluasi berisi latihan soal dalam bentuk pilihan ganda dan esai yang berfungsi untuk menguji pemahaman mahasiswa. Hasil tahap *design* tersebut ditunjukkan pada Gambar 2.



Gambar 2 Hasil yang diperoleh pada tahap *design*

Pada tahap *develop* telah dilakukan pengembangan terhadap buku ajar. Hal yang dikembangkan dari buku ajar Sistem Pengukuran Fisika adalah

integrasi dengan laboratorium virtual. Inilah yang menjadi keunggulan dari buku ajar yang dikembangkan. Belum ada buku ajar serupa yang diintegrasikan

dengan laboratorium virtual. Fitur laboratorium virtual diintegrasikan pada akhir bagian buku sebelum evaluasi. Hal ini dimaksudkan agar mahasiswa dapat melakukan praktik secara langsung tentang materi yang telah mereka pelajari. Praktik yang dapat dilakukan antara lain memilih alat dan bahan yang akan digunakan dalam praktikum, merangkai percobaan, mengubah variabel percobaan, dan mengamati hasil percobaan.

Aplikasi yang digunakan pada buku ajar ini adalah PhET Simulation dan simulasi berbasis Macromedia Flash. Kegiatan praktikum yang disajikan yaitu yang berhubungan dengan topik-topik pada Mata Kuliah Sistem Pengukuran Fisika. Mahasiswa dapat mengakses laboratorium virtual kapanpun dan di manapun tanpa terkendala waktu yang terbatas. Aplikasi laboratorium virtual dapat diakses dengan cara melakukan *scanning* terhadap *barcode* yang ada dalam buku ajar sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 2 (pojok kanan bawah), sehingga memudahkan aksesibilitas baik menggunakan laptop, komputer, maupun *smartphone*.

Telaah dan validasi terhadap buku ajar juga dilakukan pada tahap *develop*. Telaah dan validasi dilakukan oleh tiga ahli yaitu ahli materi, ahli media, dan ahli bahasa. Hasil dari telaah berupa kritik dan saran yang diberikan guna meningkatkan kualitas buku ajar yang dikembangkan, di antaranya:

- penggunaan jenis huruf hendaknya diseragamkan dan konsisten;
- warna tulisan judul buku di sampul kurang kontras dan terlalu dekat dengan margin sehingga bisa disesuaikan;
- isi tulisan pada tabel dan gambar ada yang melebihi margin sehingga bisa disesuaikan;
- proporsi gambar ilustrasi perlu diperhatikan lagi dengan realitanya;
- struktur kalimat dan pilihan diksi perlu dicermati kembali agar

keterpaduan antar kalimat dan paragraf dapat terjalin secara runtut.

Adapun hasil validasi dari ketiga aspek, yakni aspek materi, media, dan bahasa berturut-turut dapat ditunjukkan pada Tabel 5, 6, dan 7.

Tabel 5 Validasi buku ajar aspek materi

Indikator Penilaian	Persentase (%)
Kesesuaian materi dengan capaian pembelajaran	83,33
Keakuratan materi	78,12
Pendukung materi pembelajaran	87,50
Kemutakhiran materi	75,00
Integrasi laboratorium virtual	87,50
Teknik penyajian	75,00
Pendukung penyajian	85,00
Penyajian pembelajaran	75,00
Kelengkapan penyajian	75,00
Rata-rata	80,16

Tabel 6 Validasi buku ajar aspek media

Indikator Penilaian	Persentase (%)
Ukuran Buku Ajar	100,00
Desain Sampul Buku Ajar	94,44
Desain Isi Buku Ajar	98,75
Rata-rata	97,73

Tabel 7 Validasi buku ajar aspek bahasa

Indikator Penilaian	Persentase (%)
Lugas	75,00
Komunikatif	75,00
Kesesuaian dengan tingkat perkembangan mahasiswa	100,00
Keruntutan dan keterpaduan alur pikir	75,00
Penggunaan istilah, simbol, dan ikon	87,50
Rata-rata	82,50

Berdasarkan besar persentase pada ketiga aspek tersebut, maka dengan melihat Tabel 2 dapat dinyatakan bahwa buku ajar sangat valid baik dari aspek materi, media, maupun bahasa. Validator juga menyampaikan beberapa

keunggulan yang dimiliki oleh buku ajar yang dikembangkan, di antaranya:

- materi yang disajikan lengkap;
- penyajian grafik, gambar, dan penulisan persamaan sudah baik;
- penggunaan istilah dan simbol telah ditulis secara konsisten; serta
- kaidah kebahasaan yang digunakan sudah baik.

Penelitian pengembangan yang juga mengintegrasikan laboratorium virtual dilakukan oleh Ana Kurnia Sari, dkk (Sari et al., 2015). Produk yang dikembangkan adalah LKS dengan memanfaatkan laboratorium virtual. Hasil yang diperoleh yaitu produk yang dikembangkan tervalidasi dengan skor 3,05 (baik) dari ahli materi dan skor 3,36 (sangat baik) dari ahli desain. Penelitian lainnya dilakukan oleh Prabowo dkk (Prabowo, Ibrahim, et al., 2016) yang mengembangkan modul berbasis laboratorium virtual. Hasil yang diperoleh yaitu modul yang dikembangkan telah memenuhi aspek kelayakan, meliputi valid, praktis, dan efektif. Yusuf, dkk juga mengembangkan perangkat pembelajaran berbasis laboratorium virtual (Yusuf et al., 2015). Hasil yang diperoleh yaitu perangkat pembelajaran yang dikembangkan dinyatakan valid dan reliabel.

Hasil berikutnya yang diperoleh dari tahap *develop* adalah respon mahasiswa. Respon yang dimaksud pada penelitian ini adalah yang berkaitan dengan keterbacaan buku ajar yang dikembangkan. Adapun indikator penilaiannya meliputi kejelasan tulisan, kelengkapan gambar, kemampuan buku ajar dalam membantu memahami materi pembelajaran, tampilan buku ajar, dan kemudahan bahasa untuk dipahami (Permatasari et al., 2016). Berdasarkan respon mahasiswa yang berjumlah 17 orang, diperoleh tingkat keterbacaan buku ajar sebesar 100%. Persentase tersebut mengindikasikan bahwa buku

ajar memiliki tingkat keterbacaan yang baik, gambar yang lengkap, mampu membantu mahasiswa dalam memahami materi, tampilan yang menarik, dan bahasa yang mudah dipahami (Sari et al., 2015). Selain itu, saran yang diberikan oleh mahasiswa yaitu terkait penambahan contoh soal dan pembahasan serta integrasi laboratorium virtual pada setiap bab.

Pada tahap terakhir yaitu *disseminate*, buku ajar yang telah dikembangkan siap untuk disebarluaskan. Akan tetapi pada penelitian ini, tahapan *disseminate* yang dipilih yaitu *packaging only*. Artinya, buku ajar telah masuk ke tahap penerbitan dan percetakan hingga siap untuk disebarluaskan (Wilujeng & Permatasari, 2019).

SIMPULAN

Buku ajar sistem pengukuran fisika yang terintegrasi dengan laboratorium virtual sangat valid untuk digunakan dalam pembelajaran pada masa *post-pandemic*. Validitas tersebut sebagai hasil dari proses validasi ahli dan respon mahasiswa. Aspek materi dinyatakan sangat valid dengan nilai sebesar 80,16%; aspek media dinyatakan sangat valid dengan nilai sebesar 97,73%; dan aspek bahasa dinyatakan sangat valid dengan nilai sebesar 82,5%. Respon mahasiswa menunjukkan bahwa buku ajar memiliki tingkat keterbacaan 100% dan perlu ditambahkan contoh soal dan pembahasan serta integrasi laboratorium virtual pada tiap bab.

Saran untuk penelitian selanjutnya yaitu dapat dilakukan uji efektivitas penggunaan buku ajar yang telah dikembangkan dalam pembelajaran di kelas yang sesungguhnya.

DAFTAR PUSTAKA

- Ain, T. N., Wibowo, H. A. C., & Hasyim, F. (2022). Pengembangan simulasi berbasis *visual basic application* (vba) *spreadsheet excel*

- pada pembelajaran fisika materi gelombang. *Jurnal Ilmiah Pendidikan Fisika*, 6(1), 155–163.
- Anggela, M., & Darvina, Y. (2013). Pengembangan buku ajar bermuatan nilai-nilai karakter pada materi usaha dan momentum untuk pembelajaran fisika siswa kelas xi sma. *Pillar of Physics Education*, 1, 63–70.
- Anggrella, D. P., Rahmasiwi, A., & Purbowati, D. (2021). Eksplorasi kegiatan praktikum ipa pgmi selama pandemi covid-19. *SAP (Susunan Artikel Pendidikan)*, 6(1), 76–83.
- Ariyawati, P. A. M., Waluyo, J., & Prihatin, J. (2017). Analisis respon siswa terhadap model *pairs, investigation and communication* (pic) dalam pembelajaran ipa. *Jurnal Pembelajaran dan Pendidikan Sains*, 2(1), 9–15.
- Dewa, E., Maria Ursula Jawa Mukin, & Oktavina Pandango. (2020). Pengaruh pembelajaran daring berbantuan laboratorium virtual terhadap minat dan hasil belajar kognitif fisika. *Jurnal Riset Teknologi dan Inovasi Pendidikan*, 3(2), 351–359.
- Hasyim, F. (2019). Analisis respon siswa terhadap penggunaan kit kalorimeter dalam pembelajaran ipa pokok bahasan kalor. *Berkala Ilmiah Pendidikan Fisika*, 7(1), 11–18.
- Hasyim, F., Prastowo, T., & Jatmiko, B. (2020). The use of android-based phet simulation as an effort to improve students' critical thinking skills during the covid-19 pandemic. *International Journal of Interactive Mobile Technologies (IJIM)*, 14(19), 31–41.
- Hasyim, F., Wilujeng, I., & Krismandana, A. (2019). Pengembangan media pembelajaran virtual berbasis algodo v.2.1.0 pada pokok bahasan hukum archimedes. *Seminar Nasional Pendidikan, Program Studi Pendidikan IPA FKIP ULM*, 68–74.
- Hikmah, N., Saridewi, N., & Agung, S. (2017). Penerapan laboratorium virtual untuk meningkatkan pemahaman konsep siswa. *EduChemia (Jurnal Kimia dan Pendidikan)*, 2(2), 186–195.
- Muhajarah, K., & Sulthon, Moh. (2020). Pengembangan laboratorium virtual sebagai media pembelajaran: peluang dan tantangan. *Justek: Jurnal Sains dan Teknologi*, 3(2), 77–83.
- Permatasari, I., Sunarno, W., & Suparmi. (2016). Pengembangan modul fisika sma/ma berbasis siklus belajar 7e (learning cycle 7e) berbantuan video pada materi fluida dinamis sebagai upaya meningkatkan motivasi belajar siswa kelas xi. *Jurnal Inkuiri*, 5(2), 134–142.
- Prabowo, C. A., Ibrohim, & Saptasari, M. (2016). Pengembangan modul pembelajaran inkuiri berbasis laboratorium virtual. *Jurnal Pendidikan: Teori, Penelitian, dan Pengembangan*, 1(6), 1090–1097.
- Pratama, H., & Yusro, A. C. (2016). Implementasi whatsapp *mobile learning* untuk meningkatkan hasil belajar mahasiswa pokok bahasan pengenalan komponen elektronika. *Jurnal Pendidikan Fisika dan Keilmuan (JPFK)*, 2(2), 65–69.
- Rina Mirdayanti & Murni. (2017). Kajian penggunaan laboratorium virtual berbasis simulasi sebagai upaya mengatasi ketidak-sediaan laboratorium. *Visipena Journal*, 8(2), 323–330.
- Sari, A. K., Ertikanto, C., & Suana, W. (2015). Pengembangan lks memanfaatkan laboratorium virtual pada materi optik fisis dengan pendekatan saintifik. *Jurnal Pembelajaran Fisika*, 3(2), 1–12.

- Sholikah, T., Mardhotillah, A. F., & Indriyani, L. A. (2020). Studi eksplorasi kegiatan praktikum sains saat pandemi covid-19. *Indonesian Journal of Science Learning*, 1(2), 67–75.
- Singh, J., Steele, K., & Singh, L. (2021). Combining the best of online and face-to-face learning: hybrid and blended learning approach for covid-19, post vaccine, & post-pandemic world. *Journal of Educational Technology Systems*, 50(2), 140–171.
- Sugiharti, S., & Sugandi, M. K. (2020). Laboratorium virtual: media praktikum online untuk meningkatkan pemahaman siswa di masa pandemi. *Seminar Nasional Pendidikan, FKIP UNMA 2020*, 45–51.
- Sugiyono, S. (2016). *Metode penelitian kuantitatif, kualitatif, dan R&D*. Bandung: Alfabeta.
- Suryaningsih, Y. (2017). Pembelajaran berbasis praktikum sebagai sarana siswa untuk berlatih menerapkan keterampilan proses sains dalam materi biologi. *Jurnal Bio Educatio*, 2(2), 49–57.
- Susilawati, S., & Supriyatno, T. (2020). Online learning through whatsapp group in improving learning motivation in the era and post pandemic covid -19. *Jurnal Pendidikan: Teori, Penelitian, Dan Pengembangan*, 5(6), 852–859.
- Thiagarajan, S., Semmel, D. S., & Semmel, M. I. (1974). *Instructional development for training teachers of exceptional children*. Minnesota: Leadership Training Institute/Special Education, University of Minnesota.
- Wibowo, H. A. C. (2018). Rancang bangun simulasi komputer untuk pembelajaran fisika pada topik selektor kecepatan dengan metode numerik euler. *JIPVA (Jurnal Pendidikan IPA Veteran)*, 2(2), 141–148.
- Wibowo, H. A. C., Hasyim, F., & Ain, T. N. (2022). Pengembangan modul praktikum fisika dasar rumahan di masa pandemi covid-19. *Jurnal Ilmiah Pendidikan Fisika*, 6(2), 78–86.
- Wilujeng, I., Hasyim, F., & Permatasari, I. (2019). The effect of laboratory based learning in developing physics teacher candidates' skills on applying measurement instruments. *Journal of Physics: Conference Series*, 1424(1), 012054.
- Wilujeng, I., & Permatasari, I. (2019). Pengembangan buku ajar fisika matematika berbasis kajian kritis materi fisika sekolah dan integrasi nilai-nilai karakter. *Jurnal Inovasi Pendidikan Fisika dan Integrasinya*, 2(2), 1–9.
- Wilujeng, I., & Rohman, A. (2021). Pengembangan buku ajar fisika modern berbasis self-regulated learning untuk pembelajaran dalam jaringan. *Jurnal Ilmiah Pendidikan Fisika*, 5(3), 477–486.
- Winarni, D. S., Naimah, J., & Widiyawati, Y. (2020). Pengembangan game edukasi *science adventure* untuk meningkatkan keterampilan pemecahan masalah siswa. *Jurnal Pendidikan Sains Indonesia*, 7(2), 91–100.
- Yusuf, I., Widyaningsih, S. W., & Purwati, D. (2015). Pengembangan perangkat pembelajaran fisika modern berbasis media laboratorium virtual berdasarkan paradigma pembelajaran abad 21 dan kurikulum 2013. *Pancaran Pendidikan*, 4(2), 189–200.