



Media Pembelajaran *Virtual Laboratory* untuk Meningkatkan Kemampuan Pemahaman Konsep Mahasiswa Prodi Pemeliharaan Mesin

Ahmad Ravi^{1),a)}, Betti Ses Eka Polonia^{1),b)*}

¹⁾Politeknik Negeri Ketapang

*betti.polonia@gmail.com

Abstrak: Belajar fisika menekankan pada dua segi keaktifan, yaitu aktif bertindak secara fisik atau *hands-on* dan aktif berpikir atau *minds-on*. Praktikum dalam pembelajaran fisika sangat penting dalam rangka mendukung pembelajaran dan memberikan penekanan pada aspek proses dan *hands-on*. Penyebaran dan penularan COVID-19 semakin hari semakin tidak terkendali, sehingga memaksa Pemerintah meniadakan kegiatan pembelajaran tatap muka diganti dengan pembelajaran daring. Salah satu bentuk pemanfaatan teknologi komputer dalam pembelajaran fisika adalah pengembangan *virtual laboratory*. Model pengembangan *virtual laboratory* menggunakan *Research and Development* (R & D). Subjek penelitian adalah 30 mahasiswa prodi pemeliharaan mesin Politeknik Negeri Ketapang. Tujuan Penelitian adalah menguji efektivitas media pembelajaran *virtual laboratory* untuk meningkatkan kemampuan pemahaman konsep mahasiswa dalam pembelajaran daring. Instrumen penelitian yang digunakan adalah aplikasi *virtual laboratory*, angket keterbacaan produk, dan perangkat pembelajaran matakuliah fisika dasar. Teknik analisis data menggunakan analisis deskriptif dan uji efektivitas software *virtual laboratory* pada kelas kontrol dan kelas eksperimen. Berdasarkan hasil uji efektivitas penggunaan *virtual laboratory* dalam pembelajaran fisika mahasiswa prodi pemeliharaan mesin didapatkan nilai Post-test kelas kontrol adalah sebesar 45,5 dan hasil post-test kelas eksperimen sebesar 70,5. Perbedaan hasil Post-test pada kelas eksperimen dan kelas kontrol menunjukkan terdapat perbedaan hasil dari perlakuan *virtual laboratory*.

Kata Kunci: Virtual Laboratory, Pemahaman Konsep, Media, Mahasiswa Vokasi.

1. PENDAHULUAN

Fisika merupakan cabang ilmu pengetahuan yang mempelajari tentang zat, energi, dan segala bentuk pemanfaatannya. Hakekatnya fisika merupakan bidang ilmu yang tidak hanya berupa kumpulan fakta tetapi juga merupakan serangkaian proses ilmiah untuk memperoleh fakta tersebut. Belajar fisika tidak hanya dilakukan dengan menghafal tetapi juga melalui suatu prosedur ilmiah seperti seorang ilmuwan (Maharani et al. 2020). Dengan demikian selain sebagai produk, fisika juga dipelajari sebagai proses. Selain itu, belajar fisika menekankan pada dua segi keaktifan, yaitu aktif bertindak secara fisik atau *hands-on* dan aktif berpikir atau *minds-on* (Sitompul 2018). Keaktifan secara fisik saja tidak cukup untuk belajar fisika, mahasiswa juga harus memperoleh pengalaman berpikir melalui kebiasaan berpikir dalam pembelajaran fisika (Arifuddin, Sutrio, and Taufik 2022).

Praktikum dalam pembelajaran fisika sangat penting dalam rangka mendukung pembelajaran dan memberikan penekanan pada aspek proses dan *hands-on* (Arifuddin et al. 2022; Hapid 2021). Hal ini sesuai dengan tujuan pembelajaran fisika sebagai proses, yaitu meningkatkan kemampuan berpikir mahasiswa. Kemampuan berpikir tersebut berimplikasi pada keterampilan dalam bidang psikomotorik, berpikir sistematis, obyektif, dan kreatif (Sitompul 2018). Untuk memberikan penekanan lebih besar pada aspek proses, mahasiswa perlu diberikan keterampilan seperti mengamati, menggolongkan, mengukur, berkomunikasi, menafsirkan data, dan melakukan eksperimen secara bertahap sesuai dengan tingkat kemampuan berpikir mahasiswa dan kurikulum.

Coronavirus Disease (COVID-19) menjadi masalah kesehatan dunia di awal tahun 2020. Penyebaran dan penularan COVID-19 menjadi semakin tidak terkendali, sehingga pemerintah menginisiasi untuk menjadikan kegiatan pembelajaran tatap muka menjadi pembelajaran online pada seluruh jenjang pendidikan, tak terkecuali jenjang pendidikan tinggi. Dengan metode pembelajaran *online*, mahasiswa diharapkan tetap mendapatkan

esensi pembelajaran. Begitu halnya dalam matakuliah yang berbasis praktikum di laboratorium tetap harus dilakukan, meskipun menggunakan media lainnya. Alternatif solusi yang ditawarkan di antaranya melalui pemanfaatan teknologi komputer. Komputer dapat digunakan untuk menunjang pelaksanaan praktikum fisika. Tidak hanya dapat digunakan untuk mengumpulkan data, menyajikan, dan mengolah data, komputer juga dapat digunakan untuk memodifikasi eksperimen dan menampilkan eksperimen lengkap dalam bentuk virtual (G. Gunawan et al. 2018). Teknologi dapat diadaptasi menjadi sebuah pendekatan pembelajaran yang aktif. Perlu perpaduan antara tatap-muka (*face to face*) dengan pembelajaran *online* (Hill, Sharma, and Johnston 2015). Beberapa hal yang perlu dipertimbangkan antara pendekatan yang mungkin diterapkan, strategi, teknik, dan peralatan yang ada.

Salah satu bentuk pemanfaatan teknologi komputer dalam pembelajaran fisika adalah pengembangan *virtual laboratory*. *Virtual laboratory* didefinisikan sebagai suatu bentuk objek multimedia. Objek multimedia interaktif terdiri dari bermacam format heterogeny termasuk teks, hiperteks, suara, gambar, animasi, video, dan grafik (Gunawan et al. 2017; G. Gunawan et al. 2018). *Virtual laboratory* merupakan objek multimedia interaktif yang kompleks dan termasuk bentuk digital baru, dengan tujuan pembelajaran implisit atau eksplisit (Bogusevski, Muntean, and Muntean 2020; Gunawan et al. 2019). Dengan teknologi komputer konsep-konsep fisika tersebut direalisasikan dalam program komputer dengan menggunakan piranti lunak yang mudah dipelajari. Sejumlah bentuk interaksi dapat dimunculkan melalui media computer seperti penyajian praktik dan latihan, tutorial, permainan, simulasi, penemuan, dan pemecahan masalah.

Melalui model *virtual laboratory* mahasiswa diberi tantangan untuk memecahkan masalah dengan versi online atau aplikasi (Dewi et al. 2020; Gunawan Gunawan et al. 2018). Yang menarik dari model ini adalah *interface* pada setiap bagian konten. Laboratorium virtual fokus pada tindakan peserta dalam *setting* yang realistis. Laboratorium virtual adalah sebuah kesuksesan awal dan momentum pengembangan elemen simulasi (disebut *sims*) mandiri, dan sekarang melakukan hal yang sama untuk *sims* dunia virtual (Bogusevski et al. 2020; Dewi et al. 2020). Pembelajaran dengan *virtual laboratory* menyebabkan mahasiswa lebih mandiri, dapat meningkatkan kemampuan berpikir, kemampuan mengkomunikasikan idenya, dan kemampuan pemahaman konsep. Kemampuan dalam memahami konsep yang telah diajarkan merupakan suatu pemahaman konsep. Pemahaman konsep adalah kemampuan dalam memahami makna ilmiah baik secara konsep, teori maupun penerapannya dalam kehidupan sehari (Hapid 2021; Rahmatiah, Gunawan, and Sutrio 2013). Menurut Bruner, pemahaman konsep adalah pencarian dan pendaftaran sifat-sifat yang dapat digunakan untuk membedakan contoh-contoh yang tepat dengan contoh-contoh yang tidak tepat dari berbagai kategori. Pengetahuan tersebut meliputi konsep konsep ilmiah, hubungan antara konsep, alasan adanya hubungan antar konsep, cara konsep tersebut menjelaskan dan memprediksi fenomena-fenomena alam, serta cara mengaplikasikan konsep tersebut dalam berbagai peristiwa (Saharsa, Qaddafi, and Baharuddin 2018).

Salah satu upaya untuk meningkatkan pemahaman konsep yaitu melalui kegiatan praktek kerja maupun praktikum di laboratorium. Hal tersebut mendukung upaya integrasi sebuah struktur kompleks dari berbagai macam jenis pengetahuan menjadi suatu konsep yang permanen dalam memori pengetahuan (Yulianti 2013). Di tengah Pandemi COVID-19, pembelajaran dengan *virtual laboratory* diharapkan mahasiswa dapat melakukan praktikum laboratorium yang tidak jauh berbeda ketika dilakukan secara tatap muka (Bogusevski et al. 2020; Dewi et al. 2020; G. Gunawan et al. 2018; Gunawan Gunawan et al. 2018, 2018; Kapilan, Vidhya, and Gao 2021). Hal ini mendukung upaya pencegahan *lost generation* yang dikhawatirkan terjadi. Selain itu, penggunaan *virtual laboratory* mendukung pembelajaran dan memberikan penekanan pada aspek proses dan *hands-on* pada pembelajaran fisika. Implikasi lainnya, dapat meningkatkan kemampuan berpikir mahasiswa dalam bidang psikomotorik, berpikir sistematis, obyektif, dan kreatif (Bogusevski et al. 2020; Faour and Ayoubi 2018; Gunawan et al. 2019; Jannati et al. 2018; Kapilan et al. 2021).

2. METODE

Model pengembangan *virtual laboratory* menggunakan *Research and Development* (R & D) yang dikembangkan oleh Borg and Gall. Terdapat sepuluh langkah pelaksanaan penelitian & pengembangan (Sukmadinata n.d.), yaitu (1) penelitian dan pengumpulan data, (2) perencanaan, (3) pengembangan draft produk, (4) uji coba lapangan awal, (5) revisi hasil uji coba, (6) uji coba lapangan, (7) penyempurnaan produk

hasil uji coba lapangan, (8) uji pelaksanaan lapangan, (9) penyempurnaan produk akhir, (10) diseminasi dan implementasi. Langkah-langkah penelitian dan pengembangan *virtual laboratory* dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Desain Penelitian & Pengembangan

Pada tahap pertama, yaitu penelitian dan pengumpulan data dilakukan studi lapangan yang bertujuan untuk menganalisis kebutuhan terhadap *virtual laboratory*. Kegiatan ini dilakukan melalui angket dan wawancara terhadap mahasiswa dan dosen. Hal ini bertujuan untuk menggali informasi sebanyak-banyaknya dan sedetail mungkin terkait *virtual laboratory* yang dibutuhkan. Pada tahap selanjutnya, yaitu perencanaan dilakukan perancangan desain *virtual laboratory*. Desain ini dibuat berdasarkan analisis kebutuhan yang telah dilakukan sebelumnya. Selain itu, desain *virtual laboratory* dibuat dengan mempertimbangkan aspek kemudahan dan aksesibilitas bagi pengguna. Pada tahap pengembangan produk, dilakukan pembuatan *virtual laboratory* yang dapat digunakan oleh mahasiswa maupun dosen dalam pembelajaran fisika secara daring ataupun secara *blended learning*. *Virtual laboratory* yang telah selesai disusun akan dilakukan ujicoba dan validasi isi (konstruk). Setelah dilakukan ujicoba, produk direvisi berdasarkan hasil ujicoba lapangan terbatas kepada mahasiswa.

Ujicoba lapangan ini dilakukan terhadap mahasiswa yang telah menempuh matakuliah fisika. Pada tahap ini, mahasiswa yang terlibat 10 orang mahasiswa, dimana mereka diminta untuk mencoba untuk menggunakan *virtual laboratory*. Setelah mencoba menggunakan *virtual laboratory*, mahasiswa mengisi angket kritik dan saran guna penyempurnaan produk *virtual laboratory*. Berdasarkan kritik dan saran dari ujicoba lapangan terbatas, dilakukan penyempurnaan produk hingga akhirnya produk dapat di uji efektivitasnya. Pada uji efektivitas *virtual laboratory* menggunakan metode kuasi eksperimen dengan kelas control dan kelas eksperimen. Model yang digunakan adalah *Pretest-Posttest Design* (Creswell 2012).

Tabel 1. Desain Uji Efektivitas *Virtual Laboratory*

No	Kelas	Pretest	Perlakuan	Posttest
1	Eksperimen	O ₁	X ₁	O ₂
2	Kontrol	O ₁	X ₂	O ₂

Adaptasi: (Creswell 2012)

Keterangan:

X₁ = Penerapan *virtual laboratory* dalam pembelajaran

X₂ = Pembelajaran tanpa menggunakan *virtual laboratory*

O₁ = *Pretest* tentang kemampuan pemahaman konsep mahasiswa pada kelas eksperimen dan control

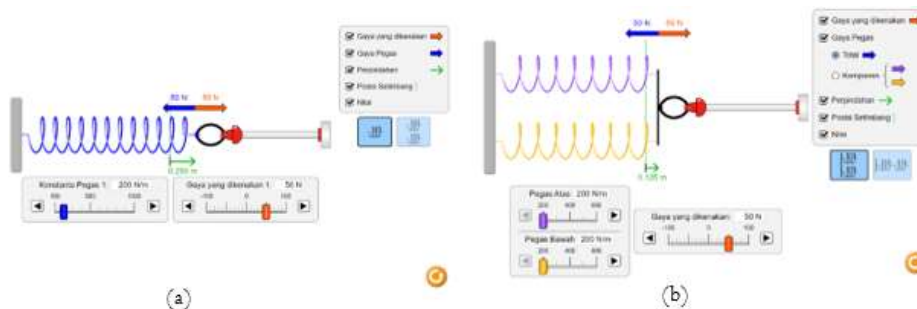
O₂ = *Posttest* tentang kemampuan pemahaman konsep mahasiswa pada kelas eksperimen dan control

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Sebelum melakukan penelitian, dilakukan studi lapangan berupa pembagian angket dan wawancara tentang *virtual laboratory* kepada mahasiswa. Jawaban angket yang menunjukkan bahwa kebutuhan *virtual laboratory* adalah *urgent* dan penting dikarenakan pembelajaran dilakukan secara daring/online. Selain itu, *virtual* diharapkan dapat menggantikan perkuliahan praktek, dimana yang tidak dapat dilakukan secara tatap muka karena adanya COVID-19. Dengan adanya *virtual laboratory*, mahasiswa juga mengharapkan dapat belajar secara efektif meskipun di tengah pembelajaran daring.

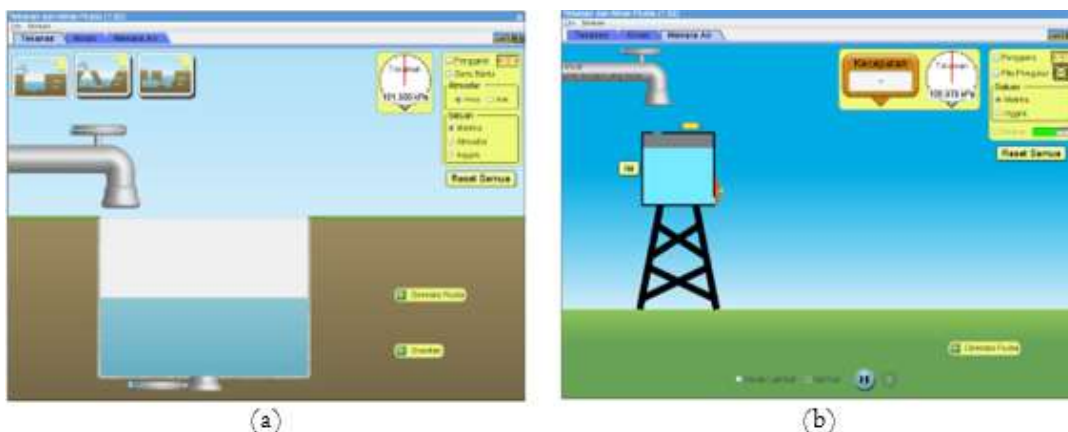
Virtual laboratory yang dibutuhkan oleh mahasiswa adalah yang sesuai dengan topik/materi yang sedang mereka pelajari. Disamping itu, *virtual laboratory* juga harus berisi petunjuk penggunaan yang mudah dipahami oleh mahasiswa. Setelah penggunaan *virtual laboratory*, mahasiswa memahami hubungan/ kaitan antara teori dan praktek yang sedang dipelajari. Pandemi COVID-19 membuat seluruh proses pembelajaran dari jenjang sekolah dasar sampai perguruan tinggi dilakukan secara daring. Hal ini guna mengurangi penyebaran dari COVID-19 secara masif. Perkembangan teknologi abad 21 memberikan alternatif solusi pembelajaran daring yang dilakukan, khususnya pembelajaran di perguruan tinggi. *Virtual laboratory* dapat menjembatani pembelajaran praktek yang dilakukan secara tatap muka namun dilakukan secara daring menggunakan perangkat multimedia/laptop.

Tahap selanjutnya adalah perumusan indikator pembelajaran dimana dirumuskan indikator pembelajaran *virtual laboratory*. Indikator ini bertujuan untuk menentukan capaian pembelajaran yang nantinya mahasiswa kuasai setelah menggunakan *virtual laboratory* ini. Tahap selanjutnya adalah pengembangan *virtual laboratory*. Tahap pengembangan ini dilakukan untuk sesuai dengan topik pembelajaran/materi yang akan dikuasai oleh mahasiswa. *Virtual laboratory* akan diterapkan pada matakuliah fisika untuk mahasiswa Jurusan Perawatan dan Perbaikan Mesin. Indikator pembelajaran yang disusun juga disesuaikan dengan capaian pembelajaran lulusan Prodi Pemeliharaan Mesin. Kurikulum Prodi Pemeliharaan Mesin berkaitan dengan konversi energi, mekanika, dan fluida. Topik/materi dalam *virtual laboratory* adalah elastisitas (Hukum Hooke), Gaya (Momen Gaya), dan fluida (tekanan). Selain dikembangkan *software virtual laboratory*, dikembangkan juga LKM (Lembar Kerja Mahasiswa) yang digunakan dalam praktikum *virtual laboratory*.



Gambar 2. (a) Hukum Hooke (Susunan Pegas Tunggal), (b) Hukum Hooke (Susunan Pegas Ganda)

Pengembangan produk *virtual laboratory* pada topik/materi elastisitas (Hukum Hooke), Gaya (Momen Gaya), dan fluida (tekanan). Pada *virtual laboratory* hukum Hooke mahasiswa diharapkan mampu memahami Elastisitas dan mampu memahami hubungan antara gaya pegas dan konstanta pegas. Gambar *virtual laboratory* Hukum Hooke terdapat pada Gambar 2. Pengembangan produk *virtual laboratory* pada topik/materi fluida (tekanan) meliputi tekanan zat cair yang dipengaruhi oleh densitas fluida dan percepatan gravitasi. Selain itu, pada *virtual laboratory* fluida juga dibahas terkait Menara air. Pada *virtual laboratory* fluida diharapkan mahasiswa mampu memahami hubungan antara tekanan dan densitas fluida serta percepatan gravitasi. Pada fluida ini mahasiswa pemeliharaan mesin diharuskan menguasai konsep dasar karena akan dibahas lebih lanjut mengenai Turbin dan Pembangkit pada matakuliah di semester selanjutnya. Gambar *virtual laboratory* Fluida terdapat pada Gambar 3.



Gambar 3. (a) Fluida (Tekanan Hidrostatik), (b) Menara Air

Selanjutnya, ujicoba *virtual laboratory* dilaksanakan secara terbatas pada sepuluh orang mahasiswa Jurusan Perawatan dan Perbaikan Mesin Politeknik Negeri Ketapang yang telah menempuh matakuliah fisika. Ujicoba terbatas ini dilakukan secara berkelompok dengan menerapkan protokol kesehatan. *Virtual laboratory* berupa *software* yang dapat dioperasikan melalui laptop atau komputer yang dapat diakses mahasiswa baik secara online maupun offline. Berdasarkan hasil ujicoba terbatas, diperoleh hasil uji keterbacaan *software virtual laboratory*. Hasil uji keterbacaan *virtual laboratory* terdapat pada Tabel 2. Komentar dan saran yang diberikan dimasukkan sebagai bahan revisi *virtual laboratory*. Pelaksanaan ujicoba terbatas dapat dilihat pada Gambar 4.



Gambar 4. Pelaksanaan Ujicoba Terbatas *Virtual Laboratory*

Tabel 2. Hasil Uji Keterbacaan *Virtual Laboratory*

Responden	Saran dan komentar
Kemudahan penggunaan	<ul style="list-style-type: none"> • <i>Software virtual laboratory</i> dapat digunakan dengan mudah, karena ketika membuka sudah tersedia menu yang dipilih
Kejelasan petunjuk penggunaan	<ul style="list-style-type: none"> • Petunjuk pengoperasian sudah sangat jelas, baik yang di LKM maupun yang di <i>software virtual laboratory</i>
Keterbacaan	<ul style="list-style-type: none"> • <i>Virtual laboratory</i> dapat dibaca dengan jelas, menggunakan bahasa baku, serta pemilihan kata mudah dipahami
Lembar Kerja Mahasiswa	<ul style="list-style-type: none"> • Petunjuk pengerjaan LKM jelas dan dapat dipahami pokok materi praktikum yang dilakukan
Desain <i>virtual laboratory</i>	<ul style="list-style-type: none"> • Desain dan tampilannya menarik serta mudah untuk dioperasikan

Ujicoba lapangan dilakukan secara online melalui zoom meeting dan aplikasi edlink. Setelah revisi *virtual laboratory*, tahap selanjutnya adalah pelaksanaan uji efektivitas *virtual laboratory* melalui matakuliah fisika. Tahap ini dilaksanakan melalui pembelajaran praktikum yang dilakukan oleh mahasiswa dan tetap dibimbing oleh dosen. Tahap uji efektivitas ini menggunakan desain *pretest-posttest control group design*. Pada awal pembelajaran dilakukan *pretest* pada kelas kontrol dan kelas eksperimen. Pelaksanaan uji efektivitas pada kelas eksperimen secara daring melalui LMS edlink dan melalui zoom meeting. Tampilan uji efektivitas *virtual laboratory* dapat dilihat pada Gambar 5. Langkah selanjutnya, mahasiswa kelas eksperimen melakukan praktikum menggunakan *virtual laboratory*.

Pada akhir pembelajaran dilakukan *posttest* pada kelas kontrol dan kelas eksperimen. *Posttest* pada kelas kontrol dilakukan sama seperti pada kegiatan *pretest*, di mana menggunakan LMS edlink. *Posttest* pada kelas eksperimen dilakukan menggunakan Lembar Kerja Mahasiswa (LKM) yang telah dibagikan sebelumnya. Hasil *Posttest* mahasiswa ditampilkan pada Gambar 6. Hasil deskripsi data nilai *pretest-posttest* kemampuan pemahaman konsep mahasiswa kelas eksperimen dan kelas kontrol uji efektivitas *virtual laboratory* dapat dilihat pada Tabel 3.

Tabel 3. Deskripsi Statistik Hasil *Pretest-Posttest* Mahasiswa

Kelas	N	Nilai <i>Pretest</i> Terendah	Nilai <i>Pretest</i> Tertinggi	Nilai <i>Posttest</i> Terendah	Nilai <i>Posttest</i> Tertinggi	Rata-rata <i>Pretest</i>	Rata-rata <i>Posttest</i>	SD
Kontrol	15	12	45	50	60	32,0	45,5	3,03
Eksperimen	15	12	48	65	85	34,5	70,5	5,45

Berdasarkan Tabel 3 diperoleh data nilai *pretest* terendah, nilai *pretest* tertinggi, nilai *posttest* terendah, nilai *posttest* tertinggi, dan rata-rata nilai *pretest-posttest* dari kelas eksperimen dan kelas kontrol. Hasil analisis data menunjukkan bahwa rata-rata nilai *posttest* kelas eksperimen lebih tinggi daripada nilai *posttest* kelas kontrol. Hal ini sebagai akibat pemberian perlakuan pada kelas eksperimen berupa penerapan *virtual laboratory* dalam pelaksanaan pembelajaran praktikum fisika. Berdasarkan Tabel 5, didapatkan nilai Post-test kelas control adalah sebesar 45,5 dan hasil post-test kelas eksperimen sebesar 70.5. Perbedaan hasil Post-test pada kelas eksperimen dan kelas kontrol menunjukkan terdapat perbedaan hasil dari perlakuan *virtual laboratory*. Pembelajaran dengan *virtual laboratory*, mahasiswa dapat melakukan praktikum yang sama seperti praktikum di laboratorium (Bogusevski et al. 2020; Dewi et al. 2020; Gunawan Gunawan et al. 2018; Kapilan et al. 2021). Hal ini mendukung upaya pencegahan *lost generation* yang dikhawatirkan terjadi. Selain itu, penggunaan *virtual laboratory* dapat mendukung pembelajaran dan memberikan penekanan pada aspek proses dan *hands-on* pada pembelajaran fisika (Kapilan et al. 2021). Implikasi lainnya, dapat meningkatkan kemampuan berpikir mahasiswa dalam bidang literasi, psikomotorik, berpikir sistematis, obyektif, dan kreatif (Gunawan et al. 2017; Gunawan Gunawan et al. 2018; Jannati et al. 2018).

4. SIMPULAN

Penggunaan *virtual laboratory* bagi mahasiswa memberikan tantangan untuk memecahkan masalah dengan versi online atau aplikasi. *Virtual laboratory* fokus pada tindakan peserta sehingga dapat membuat mahasiswa lebih mandiri, dapat meningkatkan kemampuan berpikir, kemampuan mengkomunikasikan idenya, dan kemampuan pemahaman konsep. Dengan *virtual laboratory*, mahasiswa diharapkan tetap mendapatkan esensi pembelajaran. Begitu halnya dalam matakuliah yang berbasis praktikum di laboratorium tetap harus dilakukan, meskipun menggunakan media lainnya.

Ucapan Terima Kasih

Terimakasih disampaikan kepada P3KM (Pusat Penelitian dan Pengabdian Kepada Masyarakat) Politeknik Negeri Ketapang atas Hibah yang diberikan untuk pelaksanaan penelitian ini. Dan juga, diucapkan terimakasih kepada mahasiswa Prodi Pemeliharaan Mesin Politeknik Negeri Ketapang yang bersedia menjadi responden penelitian ini.

Daftar Pustaka

- Arifuddin, Arifuddin, Sutrio Sutrio, and Muhammad Taufik. 2022. "Pengembangan Bahan Ajar Kontekstual Berbasis Hands On Activity Dalam Pembelajaran Fisika Untuk Meningkatkan Pemahaman Konsep Fisika Peserta Didik." *Jurnal Ilmiah Profesi Pendidikan* 7(2c):894-900. doi: 10.29303/jipp.v7i2c.631.
- Bogusevski, Diana, Cristina Muntean, and Gabriel-Miro Muntean. 2020. "Teaching and Learning Physics Using 3D Virtual Learning Environment: A Case Study of Combined Virtual Reality and Virtual Laboratory in Secondary School." *Journal of Computers in Mathematics and Science Teaching* 39(1):5-18.
- Creswell, John W. 2012. *Educational Research: Planning, Conducting, and Evaluating Quantitative and Qualitative Research*. Pearson.
- Dewi, S. M., G. Gunawan, A. Harjono, S. Susilawati, and L. Herayanti. 2020. "Generative Learning Models Assisted by Virtual Laboratory to Improve Mastery of Student Physics Concept." *Journal of Physics: Conference Series* 1521(2):022013. doi: 10.1088/1742-6596/1521/2/022013.
- Faour, Malak Abou, and Zalpha Ayoubi. 2018. "The Effect of Using Virtual Laboratory on Grade 10 Students' Conceptual Understanding and Their Attitudes towards Physics." *Journal of Education in Science Environment and Health* 4(1):54-68.
- Gunawan, G., A. Harjono, H. Sahidu, and L. Herayanti. 2017. "VIRTUAL LABORATORY OF ELECTRICITY CONCEPT TO IMPROVE PROSPECTIVE PHYSICS TEACHERS CREATIVITY." *Jurnal Pendidikan Fisika Indonesia* 13(2):102-11. doi: 10.15294/jpfi.v13i2.9234.
- Gunawan, G., A. Harjono, H. Sahidu, L. Herayanti, N. M. Y. Suranti, and F. Yahya. 2019. "Using Virtual Laboratory to Improve Pre-Service Physics Teachers' Creativity and Problem-Solving Skills on

- Thermodynamics Concept.” *Journal of Physics: Conference Series* 1280(5):052038. doi: 10.1088/1742-6596/1280/5/052038.
- Gunawan, G., N. Nisrina, N. M. Y. Suranti, L. Herayanti, and R. Rahmatiah. 2018. “Virtual Laboratory to Improve Students’ Conceptual Understanding in Physics Learning.” *Journal of Physics: Conference Series* 1108:012049. doi: 10.1088/1742-6596/1108/1/012049.
- Gunawan, Gunawan, Nina Nisrina, Ni Suranti, and Lovy Herayanti. 2018. “Enhancing Students’ Creativity in Physics Classroom Using Virtual Laboratory.” Pp. 362–66 in. Atlantis Press.
- Hapid, Abdul. 2021. “Meningkatkan Hasil Belajar Siswa Pada Fisika Dalam Memahami Konsep Momentum Dan Impuls Melalui Pendekatan Konstruktivisme Siswa.” *Indonesian Journal of Learning Education and Counseling* 3(2):230–53. doi: 10.31960/ijolec.v3i2.970.
- Hill, M., M. D. Sharma, and H. Johnston. 2015. “How Online Learning Modules Can Improve the Representational Fluency and Conceptual Understanding of University Physics Students.” 36(4):045019. doi: 10.1088/0143-0807/36/4/045019.
- Jannati, E. D., A. Setiawan, P. Siahaan, and C. Rochman. 2018. “Virtual Laboratory Learning Media Development to Improve Science Literacy Skills of Mechanical Engineering Students on Basic Physics Concept of Material Measurement.” *Journal of Physics: Conference Series* 1013(1):012061. doi: 10.1088/1742-6596/1013/1/012061.
- Kapilan, N., P. Vidhya, and Xiao-Zhi Gao. 2021. “Virtual Laboratory: A Boon to the Mechanical Engineering Education During Covid-19 Pandemic.” *Higher Education for the Future* 8(1):31–46. doi: 10.1177/2347631120970757.
- Maharani, Ridayatul Jannah Putri, Muhammad Taufik, Syahril Ayub, and Joni Rokhmat. 2020. “Pengaruh Model Pembelajaran Inkuiri Dengan Bantuan Media Tiga Dimensi Terhadap Keterampilan Proses Sains Dan Hasil Belajar Fisika Peserta Didik.” *Jurnal Penelitian Pendidikan IPA* 6(1):113–18. doi: 10.29303/jppipa.v6i1.326.
- Rahmatiah, R., Gunawan Gunawan, and Sutrio Sutrio. 2013. “MODEL PEMBELAJARAN BERBASIS MULTIMEDIA INTERAKTIF (MMI) UNTUK MENINGKATKAN PENGUASAAN KONSEP DAN KETERAMPILAN BERPIKIR KRITIS SISWA PADA MATERI OPTIK.” *Lensa: Jurnal Kependidikan Fisika* 1(2):86–94. doi: 10.33394/j-lkf.v1i2.203.
- Saharsa, Ulfi, Muhammad Qaddafi, and Baharuddin Baharuddin. 2018. “EFEKTIVITAS PENERAPAN MODEL PEMBELAJARAN PROBLEM BASED LEARNING BERBANTUAN VIDEO BASED LABORATORY TERHADAP PENINGKATAN PEMAHAMAN KONSEP FISIKA.” *JPF (Jurnal Pendidikan Fisika) Universitas Islam Negeri Alauddin Makassar* 6(2):57–64. doi: 10.24252/jpf.v6i2.5725.
- Sitompul, Juliana Naftali. 2018. “PENGARUH HANDS ON MINDS ON ACTIVITY TERHADAP HASIL BELAJAR SISWA MELALUI STRATEGI PEMBELAJARAN INKUIRI TERBIMBING PADA SMPS METHODIST TANJUNG MORAWA.” *JURNAL EDUSCIENCE* 5(2):11–13. doi: 10.36987/jes.v5i2.926.
- Sukmadinata, NS. n.d. *Metode Penelitian Pendidikan*. 12th ed. Bandung: PT Remaja Rosdakarya.
- Yuliati, L. 2013. “EFEKTIVITAS BAHAN AJAR IPA TERPADU TERHADAP KEMAMPUAN BERPIKIR TINGKAT TINGGI SISWA SMP.” *Jurnal Pendidikan Fisika Indonesia* 9(1). doi: 10.15294/jpfi.v9i1.2580.