

Strengthening the Understanding of Physics Concepts through Virtual Laboratories to Answer the Challenges of the 21st Century

Khorsyid Pasya¹

Department of Physics, Faculty Tarbiyah dan Keguruan, Universitas Islam Negeri Sunan Gunung Djati
Bandung, Jalan Cimincrang, Bandung 40292, Indonesia

E-Mail: khorsyidp@gmail.com

ABSTRAK

Covid-19 memberikan pengaruh yang signifikan pada setiap aspek kehidupan saat ini, mulai dari ekonomi, pendidikan, kebudayaan, sosial, dan lainnya. Tujuan penulisan paper ini membahas mengenai hakikat kegiatan laboraatorium; nilai dan kompetensi dalam kegiatan laboratorium; perkembangan virtual laboratory; peran virtual laboratory dalam pembelajaran abad 21; peluang, tantangan, dan dampak kegiatan virtual laboratory; berbagai hasil penelitian virtual laboratory dalam pembelajaran abad 21; dampak dan implikasi virtual laboratory dalam pembelajaran. Pendekatan kualitatif deskriptif menjadi metode yang digunakan dalam pembuatan paper ini. Dalam ranah pendidikan jika kita tinjau dari proses pembelajaran maka dikenal dengan istilah e-learning. Pembelajaran dilakukan secara daring baik itu secara synchronous dan asynchronous. Pembelajaran laboratorium tidak terlepas dari dampak yang ditimbulkan oleh covid-19, virtual laboratory saat ini menjadi metode pembelajaran yang efektif dan efisien dalam melaksanakan kegiatan laboratorium, hal ini dimaksudkan untuk mempersiapkan peserta didik guna menghadapi era masyarakat 5.0 di masa pandemi.

Kata Kunci: *Covid-19, Virtual Laboratory, synchronous, asynchronous*

ABSTRACT

Covid-19 has had a significant impact on every aspect of life today, from the economy, education, culture, social and others. The purpose of writing this paper discusses the nature of laboratory activities; values and competencies in laboratory activities; virtual laboratory development; the role of virtual laboratory in 21st century learning; opportunities, challenges, and impacts of virtual laboratory activities; various results of virtual laboratory research in 21st century learning; the impact and implication of virtual laboratory in learning. The descriptive qualitative approach is the method used in the preparation of this paper. In the realm of education, if we look at it from the learning process, it is known as e-learning. Learning is carried out online both synchronously and asynchronously. Laboratory learning cannot be separated from the impact caused by covid-19, virtual laboratories are currently an effective and efficient learning method in carrying out laboratory activities, and this is intended to prepare students to face the era of society 5.0 in the pandemic era.

Keywords: *Covid-19, Virtual Laboratory, synchronous, asynchronous*

PENDAHULUAN

Covid-19 memberikan dampak signifikan pada tatanan kehidupan umat manusia, baik itu secara langsung maupun tidak. Seluruh sektor terkena dampaknya mulai dari pertanian, perikanan, pariwisata, pendidikan, dan lainnya (Snow, V., Rodriguez, D., Dynes, R., Kaye-Blake, W., Mallawaarachchi, T., Zydenbos, S., & Stevens, D. 2021; Mundzir, A., Riorini, S. V., Indarti, S. L., Chanifah, S., Yulistiyono, A., Mayratih, S. & Sulfata, M. A. 2021). Hal ini mendorong umat manusia agar lebih berhati-hati dalam menjalankan aktivitas yang akan dilakukan, mengingat dampak kesehatan yang ditimbulkan bila terkena virus tersebut. Sektor pendidikan ikut terkena dampak dari pandemi ini, pendidik dan peserta didik harus melakukan pembelajaran secara daring dari rumah. Tentu saja hal ini memiliki dampak negatif dan positif bagi seluruh civitas akademika.

Proses belajar mengajar harus tetap terlaksana meskipun pandemi sedang berlangsung. Dunia saat ini sudah mulai

memasuki tahap masyarakat 5.0 ditambah dengan semakin berkembangnya teknologi informasi, maka dengan ini pembelajaran sejatinya harus dapat membekali calon penerus bangsa agar mampu bersaing pada era ini (Sarfriz, Z., Sarfriz, A., Iftikar, H. M., & Akhund, R. 2021; Oztemel, E., & Gursev, S. 2020). Fisika merupakan salah satu cabang ilmu yang esensinya tidak boleh hilang meski sedang pandemi, proses mengamati, mencoba, dan menemukan informasi harus tetap dapat dilaksanakan. Walau demikian banyak hal yang harus dipersiapkan untuk menunjang itu semua, salah satunya adalah pembelajaran dengan metode eksperimen (Fahrina, A., Amelia, K., & Zahara, C. R. 2020; Choudhury, M. A. 2020).

Pembelajaran dengan metode eksperimen mampu memberikan pengalaman, peningkatan keterampilan, sekaligus menemukan pengetahuan bagi peserta didik (Emda, A. 2017; Salamah, U., & Mursal, M. 2017; Chang, S. C., & Hwang, G. J. 2018). Proses yang dilalui dari mulai mengamati,

hingga membuat kesimpulan membutuhkan tempat, alat, bahan, dan juga bimbingan langsung dari pendidik. Namun pada saat ini kegiatan eksperimen tidak dapat dilaksanakan dalam laboratorium sungguhan. *Virtual laboratory* hadir untuk tetap memberikan pengalaman layaknya dalam laboratorium sungguhan (Jalinus, N., & Verawardina, U. 2020). Maka dalam paper ini akan dijelaskan mengenai hakikat kegiatan laboraatorium; nilai dan kompetensi dalam kegiatan laboratorium; perkembangan virtual laboratory; peran virtual laboratory dalam pembelajaran abad 21; peluang, tantangan, dan dampak kegiatan virtual laboratory; berbagai hasil penelitian virtual laboratory dalam pembelajaran abad 21; dampak dan implikasi virtual laboratory dalam pembelajaran. Semua hal yang akan dijelaskan akan menggunakan pendekatan deskriptif kualitatif.

METODE PENELITIAN

Metode penelitian yang dilakukan dalam penulisan paper ini menggunakan pendekatan kualitatif deskriptif. *Library research*, dan studi pustaka dari berbagai artikel terkait yang dimuat dalam jurnal, buku, skripsi, disertasi, serta tesis. Ini dilakukan guna mendukung argumen yang memuat hakikat kegiatan laboraatorium; nilai dan kompetensi dalam kegiatan laboratorium; perkembangan virtual laboratory; peran virtual laboratory dalam pembelajaran abad 21; peluang, tantangan, dan dampak kegiatan virtual laboratory; berbagai hasil penelitian virtual laboratory dalam pembelajaran abad 21; dampak dan implikasi virtual laboratory dalam pembelajaran.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil Penelitian

Hasil penelitian dan pembahasan mengenai *virtual laboratory* disajikan dari hasil *library research*, dan studi pustaka dari berbagai jurnal, buku, skripsi, disertasi, dan tesis yang dijabarkan dalam sub bab berikut.

Pembahasan

A. Hakikat Kegiatan Laboratorium

Sebelum diserap sebagai metode pembelajaran, kegiatan laboratorium pada mulanya digunakan untuk menemukan hukum, konsep, asas, atau teori (Wilcox, B. R., & Lewandowski, H. J. 2018; Malik, A., Dirgantara, Y., Mulhayatiah, D., & Agustina, R. D. (2020)). Namun seiring berjalannya waktu kegiatan laboratorium kini menjadi salah satu pembelajaran yang dapat dikolaborasikan dengan pendekatan saintifik, yang

mengutamakan pada penguasaan pengetahuan, sikap, dan keterampilan (Malik, A., Dirgantara, Y., Mulhayatiah, D., & Agustina, R. D. 2020; Khoiri, N., Rusilowati, A., Wiyanto, W., & Sulhadi, S. 2019).

Kegiatan laboratorium merupakan sarana pembelajaran yang unik bagi peserta didik. Kursus yang diberikan dapat membuka kesempatan bagi setiap peserta didik untuk terlibat dalam praktik ilmiah otentik, meningkatkan keterampilan dalam mengoperasikan alat-alat laboratorium, dan menumbuhkan sikap kolaboratif bersama individu lain. Selain itu kegiatan laboratorium memiliki sisi menarik untuk dihabiskan sepanjang jam pelajaran yang tersedia, mulai dari menyelidiki, merancang, dan menggunakan metode analisis tertentu (Malik, A., Dirgantara, Y., Mulhayatiah, D., & Agustina, R. D. 2020; Sulistiyono, S., Mundilarto, M., & Kuswanto, H. 2019; Antes, A. L., Kuykendall, A., & DuBois, J. M. 2019).

Pembelajaran yang bersifat tradisional menganggap bahwa kegiatan laboratorium dilakukan untuk mengkonfirmasi mengenai hukum, konsep, asas, atau teori yang telah disampaikan oleh pendidik di kelas (Khalaf, B. K. 2018; Imaduddin, M., & Hidayah, F. F. 2019). Paradigma ini terus berkembang di masyarakat luas khususnya ranah pendidikan, pendidik cenderung dianggap sebagai distributor ilmu yang kelak akan dikonfirmasi kebenarannya melalui kegiatan di laboratorium (Malik, A., Dirgantara, Y., Mulhayatiah, D., & Agustina, R. D. 2020). Seiring dengan perkembangan zaman pemahaman itu mulai tereduksi mengingat pembelajaran abad 21 dan juga pendekatan STEM mulai muncul sebagai revolusi baru dalam menjawab era revolusi society 5.0 (Ahmadi, F., & Ibda, H. 2019), maka kegiatan laboratorium tidak lagi sebagai alat untuk mengkonfirmasi, namun lebih kepada menemukan hukum, konsep, asas, atau teori kemudian menerapkannya (Malik, A., Dirgantara, Y., Mulhayatiah, D., & Agustina, R. D. 2020; Pohan, A. E. 2020).

B. Nilai dan Kompetensi dalam Kegiatan Laboratorium

Kegiatan laboratorium merupakan bagian dari pembelajaran dengan pendekatan saintifik yang memuat keterampilan, pengetahuan, dan perolehan pengalaman bagi peserta didik (Kapici, H. O., Akcay, H., & de Jong, T. 2019; Gunawan, G., Harjono, A., Hermansyah, H., & Herayanti, L. 2019; Suryaningsih, Y. 2017). Hal ini dilaksanakan

guna menumbuhkan sikap ilmiah pada peserta didik. Kegiatan laboratorium dapat meningkatkan pengalaman, kreativitas, kecepatan pengambilan keputusan, dan juga merupakan suatu pembelajaran yang membantu peserta didik dalam menghadapi era revolusi 4.0, dimana peserta didik dituntut untuk memiliki sifat terampil, kolaboratif, berpikir kritis, dan mampu memecahkan masalah (Wrahatnolo, T. 2018; Widana, I. W., Parwata, I., Parmithi, N. N., Jayantika, I. G. A. T., Sukendra, I. K., & Sumandya, I. W. 2018). Selain itu juga penguatan konsep yang didapat dalam kegiatan laboratorium akan jauh lebih efektif karena peserta didik sendiri yang melakukan konfirmasi atau penemuan atas suatu konsep (Gunawan, G., Nisrina, N., Suranti, N. M. Y., Herayanti, L., & Rahmatiah, R. 2018; (Malik, A., Dirgantara, Y., Mulhayatiah, D., & Agustina, R. D. 2020).

Sejatinya kegiatan laboratorium dapat menumbuhkan rasa ingin tahu yang mendalam terhadap sains, peka terhadap perkembangan zaman dan meningkatkan keterampilan untuk mengaplikasikan pengetahuan yang ada (Elisa, D. 2019; Papanastasiou, G., Drigas, A., Skianis, C., Lytras, M., & Papanastasiou, E. 2019; Astuti, R. 2020). Beberapa kompetensi yang dapat dikembangkan dari kegiatan laboratorium diantaranya menumbuhkan minat, sikap, kepuasan, keterbukaan dan rasa ingin tahu terhadap sains; inovatif dalam pemecahan masalah; mendahulukan metode ilmiah dalam bertindak; meningkatkan pemahaman konseptual dan meningkatkan kemampuan berpikir tingkat tinggi; meningkatkan keterampilan dalam eksperimen; serta mengajari peserta didik untuk menghargai para ilmuwan (Morales-Menendez, R., & Ramirez-Mendoza, R. A. 2019; Masril, M., Hidayati, H., & Darvina, Y. 2018).

C. Perkembangan Kegiatan *Virtual Laboratory*

Pembelajaran *virtual laboratory* pada saat ini memiliki pilihan beragam guna menunjang aktivitas peserta didik. PhET Colorado merupakan salah satu *software* penyedia layanan *virtual laboratory*. Beberapa pilihan kegiatan praktikum tersaji mulai dari elektronika, kinematika dan dinamika, gelombang, dan masih banyak pilihan lainnya (Alves, G. R., Fidalgo, A. V., Marques, M. A., Viegas, M. C., Felgueiras, M. C., Costa, R. J., & Bertramo, B. 2018; Alshabab, S. S., & Chalfoun, I. 2020).

Software tersebut merupakan kabar baik bagi ranah pendidikan, karena *virtual laboratory* dapat mengurangi biaya eksperimen

yang cukup besar, selain itu waktu yang dilakukan fleksibel, ditambah banyak kegiatan yang dapat dilaksanakan dalam satu waktu (Budai, T., & Kuczmam, M. 2018; Billah, A., & Widiyatmoko, A. 2018).

D. Peran Kegiatan *Virtual Laboratory* dalam Pembelajaran Abad 21

Sebagai sarana pembelajaran yang dapat meningkatkan keterampilan dan pemahaman yang jauh lebih baik terhadap peserta didik. Kegiatan *virtual laboratory* berperan penting dalam proses belajar mengajar di masa pandemi, karena kegiatan ini dapat mendorong peserta didik untuk lebih giat dalam bereksplorasi guna mencari pengetahuan baru (Wibawanto, W. 2020), selain itu kegiatan *virtual laboratory* tidak memerlukan waktu khusus dalam mengaksesnya (Gunawan, G., Harjono, A., Sahidu, H., & Herayanti, L. 2017; Dyrberg, N. R., Treusch, A. H., & Wiegand, C. 2017), hal ini menjadi keunggulan tersendiri guna menunjang pembelajaran abad 21 yang dimana pembelajaran berpusat pada peserta didik dalam menemukan informasi dan pengetahuan (Malik, A., Dirgantara, Y., Mulhayatiah, D., & Agustina, R. D. 2020).

Kegiatan eksperimen yang dilaksanakan memberikan pengalaman belajar secara langsung, walaupun dilaksanakan secara virtual, namun esensi laboratorium yang sebenarnya tidak hilang (Joo-Nagata, J., Abad, F. M., Giner, J. G. B., & García-Peñalvo, F. J. 2017). Hal ini dimaksudkan untuk memberikan peningkatan keterampilan berpikir tingkat tinggi, dan juga literasi sains kepada peserta didik, guna mempersiapkan peserta didik dalam menghadapi era masyarakat 5.0.

E. Peluang, Tantangan dan Dampak Kegiatan *Virtual Laboratory* dalam Peningkatan Keterampilan Abad 21

Kegiatan *virtual laboratory* memberikan kemudahan bagi pendidik, dan peserta didik dalam mengaksesnya, selain itu fleksibilitas menjadi keunggulan tersendiri. Walaupun demikian pengetahuan dan pengalaman keterampilan yang diperoleh dari kegiatan tersebut tidak jauh berbeda dengan apa yang dilaksanakan dalam *real laboratory* (Budai, T., & Kuczmam, M. 2018; Billah, A., & Widiyatmoko, A. 2018). Selain dari segi waktu kita dapat melaksanakan kegiatan laboratorium secara gratis, hal ini tentu menjadi keuntungan yang mampu dimanfaatkan agar peserta didik lebih berani lagi dalam mengeksplorasi pengetahuan tanpa takut salah atau khawatir

terjadi kerusakan peralatan laboratorium (Malik, A., Dirgantara, Y., Mulhayatiah, D., & Agustina, R. D. 2020).

Pembelajaran abad 21 lebih mengedepankan pada pemanfaatan dan keterampilan menggunakan teknologi digital, selain itu pembelajaran abad 21 lebih berfokus pada peserta didik dalam mencari informasi dan memperoleh pengetahuan dengan bimbingan dari pendidik (Chalkiadaki, A. 2018; Wrahatnolo, T. 2018). Hal ini menjadi perhatian lebih terutama dalam pembelajaran fisika yang erat kaitannya dengan kegiatan eksperimen. Karena *virtual laboratory* memerlukan sumber daya berupa perangkat elektronik dan koneksi internet yang memadai serta tampilan *interface* yang cukup rumit, membuat sebagian peserta didik sulit untuk mengaksesnya.

F. Hasil Penelitian terkait Kegiatan *Virtual Laboratory*

Beberapa hasil penelitian membahas mengenai peningkatan keterampilan, pemahaman konsep, dan juga berpikir tingkat tinggi, seperti yang dilakukan oleh (Emda, A. 2017; PUTRI, W. R. (2017). menyebutkan bahwa kegiatan laboratorium dapat melatih kemampuan saintifik peserta didik. Selain itu hasil penelitian yang dilakukan oleh (Gunawan, G., Nisrina, N., Suranti, N. M. Y., Herayanti, L., & Rahmatiah, R. 2018) menjelaskan bahwa kegiatan *virtual laboratory* dapat meningkatkan pemahaman konsep esensial khususnya pada pembelajaran fisika.

Menurut (Khairuna, K., Rahmatan, H., Sarong, M. A., Supriatno, S., & Pada, A. U. T. 2021) *virtual laboratory* dapat menghemat waktu dan biaya, serta membuat peserta didik lebih nyaman dalam melakukan eksperimen karena keadaan ruang disesuaikan dengan kenyamanan masing-masing individu (Triatmaja, A. K., & Khairudin, M. 2018).

G. Dampak dan Implikasi Hasil Penelitian Kegiatan *Virtual Laboratory* terhadap Pembelajaran.

Virtual laboratory memberikan dampak yang baik bagi pembelajaran khususnya dalam fisika yang memerlukan lebih banyak eksperimen untuk mengkonfirmasi maupun mencari pengetahuan dan meningkatkan keterampilan. Hal ini meningkatkan tiga ranah penilaian mulai dari kognitif, afektif, dan psikomotorik (Malik, A., Dirgantara, Y., Mulhayatiah, D., & Agustina, R. D. 2020;

AHMAD, A. 2020; Herlandy, P. B., Al Amien, J., Pahmi, P., & Satria, A. 2019).

Namun hal tersebut masih belum terasa dalam pembelajaran secara merata disebabkan oleh banyak faktor, salah satunya adalah kesiapan dalam melaksanakan kegiatan *virtual laboratory* (Muradova, F. R. 2020). Oleh karena itu seluruh elemen baik itu pendidik, pemerintah, dan masyarakat, hendaknya bekerja sama guna menciptakan suasana lingkungan belajar untuk peserta didik mengembangkan keterampilan abad 21 agar siap menghadapi era masyarakat 5.0.

KESIMPULAN

Kegiatan laboratorium sejatinya dapat memberikan pengalaman yang berharga bagi peserta didik, selain itu kegiatan tersebut hendaknya mampu mengembangkan keterampilan, dan meningkatkan pengetahuan. Hasil pembahasan diatas mengenai hakikat kegiatan laboratorium; nilai dan kompetensi dalam kegiatan laboratorium; perkembangan *virtual laboratory*; peran *virtual laboratory* dalam pembelajaran abad 21; peluang, tantangan, dan dampak kegiatan *virtual laboratory*; berbagai hasil penelitian *virtual laboratory* dalam pembelajaran abad 21; dampak dan implikasi *virtual laboratory* dalam pembelajaran memerlukan perhatian khusus pada masa covid-19 saat ini. Karena kita masih dalam tahap perkembangan dan transisi kepada kebiasaan dan sistem yang baru.

DAFTAR PUSTAKA

- AHMAD, A. (2020). The Use of Virtual Laboratories in the Pandemic Era at Bina Dharma High School. *Omega: Jurnal Fisika dan Pendidikan Fisika*, 6(2), 9-13.
- Ahmadi, F., & Ibda, H. (2019). *Konsep dan aplikasi literasi baru di era revolusi industri 4.0 dan society 5.0*. CV. Pilar Nusantara.
- Alshabab, S. S., & Chalfoun, I. (2020). VIRTUAL LABS TECHNOLOGY AND ITS APPLICATION REQUIREMENTS IN EDUCATIONAL MANAGEMENT. *Robotica & Management*, 25(1).
- Alves, G. R., Fidalgo, A. V., Marques, M. A., Viegas, M. C., Felgueiras, M. C., Costa, R. J., & Bertramo, B. (2018). International cooperation for remote laboratory use. In *Contributions to Higher Engineering Education* (pp. 1-31). Springer, Singapore.
- Antes, A. L., Kuykendall, A., & DuBois, J. M. (2019). The lab management practices of "Research Exemplars" that foster research rigor and regulatory compliance: A qualitative study

- of successful principal investigators. *PLoS one*, 14(4), e0214595.
- Astuti, R. (2020). *Manajemen Laboratorium yang Cerdas, Cermat, dan Selamat*. CV Jejak (Jejak Publisher).
- Billah, A., & Widiyatmoko, A. (2018). The Development of Virtual Laboratory Learning Media for The Physical Optics Subject. *DEVELOPMENT*.
- Budai, T., & Kuczmann, M. (2018). Towards a modern, integrated virtual laboratory system. *Acta Polytechnica Hungarica*, 15(3), 191-204.
- Chalkiadaki, A. (2018). A systematic literature review of 21st century skills and competencies in primary education. *International Journal of Instruction*, 11(3), 1-16.
- Chang, S. C., & Hwang, G. J. (2018). Impacts of an augmented reality-based flipped learning guiding approach on students' scientific project performance and perceptions. *Computers & Education*, 125, 226-239.
- Choudhury, M. A. (2021). *Islamic Economics and COVID-19: The Economic, Social and Scientific Consequences of a Global Pandemic*. Routledge.
- Dyrberg, N. R., Treusch, A. H., & Wiegand, C. (2017). Virtual laboratories in science education: students' motivation and experiences in two tertiary biology courses. *Journal of Biological Education*, 51(4), 358-374.
- Elisa, D. (2019). *PENGEMBANGAN SUPLEMEN BAHAN AJAR BERBASIS MINI RISET UNTUK MENINGKATKAN PEMAHAMAN KONSEP DAN SIKAP SISWA BERKAITAN DENGAN ROKOK* (Doctoral dissertation, Universitas Negeri Semarang).
- Emda, A. (2017). Laboratorium Sebagai Sarana Pembelajaran kimia dalam meningkatkan pengetahuan dan ketrampilan kerja ilmiah. *Lantanida journal*, 5(1), 83-92.
- Fahrina, A., Amelia, K., & Zahara, C. R. (Eds.). (2020). *Minda Guru Indonesia: Pandemi Corona, Disrupsi Pendidikan, dan Kreativitas Guru* (Vol. 153). Syiah Kuala University Press.
- Gunawan, G., Harjono, A., Hermansyah, H., & Herayanti, L. (2019). GUIDED INQUIRY MODEL THROUGH VIRTUAL LABORATORY TO ENHANCE STUDENTS' SCIENCE PROCESS SKILLS ON HEAT CONCEPT. *Jurnal Cakrawala Pendidikan*, 38(2), 259-268.
- Gunawan, G., Harjono, A., Sahidu, H., & Herayanti, L. (2017). Virtual laboratory to improve students' problem-solving skills on electricity concept. *Jurnal Pendidikan IPA Indonesia*, 6(2), 257-264.
- Gunawan, G., Nisrina, N., Suranti, N. M. Y., Herayanti, L., & Rahmatiah, R. (2018, November). Virtual laboratory to improve students' conceptual understanding in physics learning. In *Journal of Physics: Conference Series* (Vol. 1108, No. 1, p. 012049). IOP Publishing.
- Herlandy, P. B., Al Amien, J., Pahmi, P., & Satria, A. (2019). A virtual laboratory application for vocational productive learning using augmented reality. *Jurnal Pendidikan Teknologi Dan Kejuruan*, 25(2), 194-203.
- Imaduddin, M., & Hidayah, F. F. (2019). Redesigning laboratories for pre-service chemistry teachers: from cookbook experiments to inquiry-based science, environment, technology, and society approach. *Journal of Turkish Science Education*, 16(4), 489-507.
- Jalinus, N., & Verawardina, U. (2020). *BUKU MODEL FLIPPED BLENDED LEARNING*. Penerbit CV. SARNU UNTUNG.
- Joo-Nagata, J., Abad, F. M., Giner, J. G. B., & García-Peñalvo, F. J. (2017). Augmented reality and pedestrian navigation through its implementation in m-learning and e-learning: Evaluation of an educational program in Chile. *Computers & Education*, 111, 1-17.
- Kapici, H. O., Akcay, H., & de Jong, T. (2019). Using hands-on and virtual laboratories alone or together—which works better for acquiring knowledge and skills?. *Journal of science education and technology*, 28(3), 231-250.
- Khairuna, K., Rahmatan, H., Sarong, M. A., Supriatno, S., & Pada, A. U. T. (2021). Penerapan Model Discovery Learning dengan Pemanfaatan Virtual Laboratory untuk Meningkatkan Keterampilan Proses Sains dan Hasil Belajar Peserta Didik pada Materi Sistem Ekskresi. *Jurnal Pendidikan Sains Indonesia*, 9(2), 280-292.
- Khalaf, B. K. (2018). Traditional and Inquiry-Based Learning Pedagogy: A Systematic Critical Review. *International Journal of Instruction*, 11(4), 545-564.
- Khoiri, N., Rusilowati, A., Wiyanto, W., & Sulhadi, S. (2019). Pengembangan Perkuliahan Fisika Berorientasi Keterampilan Merancang Kegiatan Laboratorium. *Jurnal Penelitian Pembelajaran Fisika*, 10(2), 114-118.
- Malik, A., Dirgantara, Y., Mulhayatiah, D., & Agustina, R. D. (2020). Analisis hakikat, peran, dan implikasi kegiatan laboratorium terhadap keterampilan abad 21.
- Masril, M., Hidayati, H., & Darvina, Y. (2018, April). The Development of Virtual Laboratory Using ICT for Physics in Senior High School. In *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering* (Vol. 335, No. 1, p. 012069). IOP Publishing.
- Morales-Menendez, R., & Ramirez-Mendoza, R. A. (2019). Virtual/remote labs for automation teaching: A cost effective approach. *IFAC-PapersOnLine*, 52(9), 266-271.

- Mundzir, A., Riorini, S. V., Indarti, S. L., Chanifah, S., Yulistiyono, A., Mayrati, S., & Sulfata, M. A. (2021).
- Muradova, F. R. (2020). VIRTUAL LABORATORIES IN TEACHING AND EDUCATION. *Theoretical & Applied Science*, (2), 106-109.
- Oztemel, E., & Gursev, S. (2020). Literature review of Industry 4.0 and related technologies. *Journal of Intelligent Manufacturing*, 31(1), 127-182.
- Papanastasiou, G., Drigas, A., Skianis, C., Lytras, M., & Papanastasiou, E. (2019). Virtual and augmented reality effects on K-12, higher and tertiary education students' twenty-first century skills. *Virtual Reality*, 23(4), 425-436.
- Pohan, A. E. (2020). *Konsep pembelajaran daring berbasis pendekatan ilmiah*. Penerbit CV. SARNU UNTUNG.
- PUTRI, W. R. (2017). PENGEMBANGAN LKS BOUNDED INQUIRY BERBASIS LABORATORIUM NYATA DAN LABORATORIUM VIRTUAL UNTUK MELATIHKAN KOMPETENSI LITERASI SAINS-FISIKA PADA MATERI GLOBAL WARMING. *Inovasi Pendidikan Fisika*, 6(3).
- Salamah, U., & Mursal, M. (2017). Meningkatkan keterampilan proses sains peserta didik menggunakan metode eksperimen berbasis inkuiri pada materi kalor. *Jurnal Pendidikan Sains Indonesia (Indonesian Journal of Science Education)*, 5(1), 59-65.
- Sarfraz, Z., Sarfraz, A., Iftikar, H. M., & Akhund, R. (2021). Is COVID-19 pushing us to the fifth industrial revolution (Society 5.0)? *Pakistan Journal of Medical Sciences*, 37(2), 591.
- Simarmata, J., Chaerul, M., Mukti, R. C., Purba, D. W., Tamrin, A. F., Jamaludin, J., & Meganingratna, A. (2020). *Teknologi Informasi: Aplikasi dan Penerapannya*. Yayasan Kita Menulis.
- Sulistiyono, S., Mundilarto, M., & Kuswanto, H. (2019). Keefektifan pembelajaran fisika dengan kerja laboratorium ditinjau dari ketercapaian pemahaman konsep, sikap disiplin, dan tanggung jawab siswa sma. *COMPTON: Jurnal Ilmiah Pendidikan Fisika*, 6(1), 35-43.
- Suryaningsih, Y. (2017). Pembelajaran berbasis praktikum sebagai sarana siswa untuk berlatih menerapkan keterampilan proses sains dalam materi biologi. *BIO EDUCATIO: (The Journal of Science and Biology Education)*, 2(2).
- Triatmaja, A. K., & Khairudin, M. (2018, December). Study on skill improvement of digital electronics using virtual laboratory with mobile virtual reality. In *Journal of Physics: Conference Series* (Vol. 1140, No. 1, p. 012021). IOP Publishing.
- Wibawanto, W. (2020). *LABORATORIUM VIRTUAL KONSEP DAN PENGEMBANGAN SIMULASI FISIKA*. Wandah Wibawanto.
- Widana, I. W., Parwata, I., Parmithi, N. N., Jayantika, I. G. A. T., Sukendra, I. K., & Sumandya, I. W. (2018). Higher order thinking skills assessment towards critical thinking on mathematics lesson. *International journal of social sciences and humanities*, 2(1), 24-32.
- Wilcox, B. R., & Lewandowski, H. J. (2018). A summary of research-based assessment of students' beliefs about the nature of experimental physics. *American Journal of Physics*, 86(3), 212-219.
- Wrahatnolo, T. (2018). 21st centuries skill implication on educational system. In *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering* (Vol. 296, No. 1, p. 012036). IOP Publishing.
- Wrahatnolo, T. (2018). 21st centuries skill implication on educational system. In *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering* (Vol. 296, No. 1, p. 012036). IOP Publishing.