



Optimalisasi Keterampilan *Higher Order Thinking Skills* (HOTS) Peserta Didik melalui Model *Discovery Learning* Berbantuan Laboratorium Virtual Berbasis *Smartphone*

Irani Diansah^{1*}, Hamatun¹, Dwi Wulandari¹

¹Prodi Pendidikan Fisika, Institusi Darul A'mal, Lampung, Indonesia

*Corresponding author: Iranidiansah80@gmail.com

Article History:

Received: Juni 12, 2026

Revised: Juni 20, 2026

Accepted: Juni 24, 2026

Published: Juni 30, 2026

Keywords: *Discovery learning, HOTS, physics learning, smartphone, virtual laboratory*

Abstract: *Higher Order Thinking Skills (HOTS) are essential competencies in 21st-century learning. However, students often experience difficulties in analyzing physics concepts due to limited laboratory activities and teacher-centered learning. This study aimed to determine the effectiveness of Discovery Learning assisted by a smartphone-based virtual laboratory in improving students' HOTS. This study employed a quantitative approach using a quasi-experimental method with a Nonequivalent Control Group Design. The participants consisted of 44 students of MTs Darul A'mal Lampung, divided into an experimental class (24 students) and a control class (20 students). Data were collected through HOTS tests in the form of pretest and posttest. Data analysis included descriptive statistics, Mann-Whitney U tests, and effect size analysis. The experimental class achieved a higher posttest mean score (87.08) than the control class (71.50). The normalized gain score of the experimental class (0.67) was also higher than that of the control class (0.42). The Mann-Whitney U test showed a significant difference between the two groups ($Z = -3.444$), with an effect size value of 0.519 indicating a large effect. Discovery Learning assisted by a smartphone-based virtual laboratory can be used as an alternative instructional strategy to improve students' HOTS in physics learning.*

Abstrak: Kemampuan *Higher Order Thinking Skills* (HOTS) merupakan kompetensi penting dalam pembelajaran abad ke-21. Namun, kemampuan HOTS peserta didik masih rendah karena pembelajaran cenderung berpusat pada pendidik dan keterbatasan kegiatan praktikum. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui efektivitas model *discovery learning* berbantuan laboratorium virtual berbasis *smartphone* dalam meningkatkan kemampuan HOTS peserta didik. Penelitian menggunakan pendekatan kuantitatif dengan metode eksperimen semu dan desain *nonequivalent control group design*. Subjek penelitian berjumlah 44 peserta didik yang terdiri atas 24 peserta didik kelas eksperimen dan 20 peserta didik kelas kontrol. Data dikumpulkan melalui tes HOTS berupa pretest dan posttest. Analisis data dilakukan menggunakan statistik deskriptif, uji Mann-Whitney, dan *effect size*. Rata-rata posttest kelas eksperimen sebesar 87,08 lebih tinggi dibandingkan kelas kontrol sebesar 71,50. Nilai N-Gain kelas eksperimen sebesar 0,67 lebih tinggi dibandingkan kelas kontrol sebesar 0,42. Hasil uji Mann-Whitney menunjukkan adanya perbedaan yang signifikan antara kedua kelompok dengan nilai $Z = -3,444$ dan *effect size* sebesar 0,519 yang termasuk kategori besar. Model *discovery learning* berbantuan laboratorium virtual berbasis *smartphone* dapat digunakan sebagai alternatif pembelajaran fisika untuk meningkatkan kemampuan HOTS peserta didik.

PENDAHULUAN

Perkembangan pendidikan abad ke-21 menekankan pentingnya membekali peserta didik dengan *higher order*

thinking skills (HOTS), yang mencakup kemampuan berpikir kritis, pemecahan masalah, kreativitas, dan pengambilan keputusan (Diansah et al., 2023; Latifah

et al., 2023; Wardana et al., 2024). HOTS memungkinkan peserta didik untuk menganalisis informasi, mengevaluasi bukti, serta menghasilkan solusi terhadap berbagai permasalahan kompleks yang dihadapi dalam situasi akademik maupun kehidupan sehari-hari. Pembelajaran fisika, HOTS menjadi sangat penting karena peserta didik dituntut untuk memahami konsep-konsep yang abstrak, menginterpretasikan fenomena ilmiah, serta menerapkan penalaran ilmiah untuk memecahkan masalah (Kusuma et al., 2025; Suryadi & Kurnia, 2025).

Kenyataan menunjukkan bahwa kemampuan HOTS peserta didik masih tergolong rendah. Sukla (2016) dalam penelitiannya mengukur kemampuan menganalisis kesalahan, tingkat penyelesaian masalah, dan kemampuan pengambilan keputusan lulusan, yang hasilnya masih berada pada tingkat rendah. Thompson (2011) juga meneliti bidang matematika yang dipelajarinya dari tahun 1998 hingga 2007 dan menyatakan bahwa Amerika Serikat masih belum mampu mempersiapkan peserta didik untuk memiliki keterampilan berpikir tingkat tinggi dalam menyelesaikan permasalahan yang kompleks (Rahmawati et al., 2019).

Penelitian sebelumnya melaporkan bahwa peserta didik sering mengalami kesulitan dalam menganalisis konsep dan menyelesaikan permasalahan yang menuntut kemampuan berpikir tingkat tinggi akibat praktik pembelajaran yang berpusat pada pendidik serta terbatasnya kesempatan untuk belajar secara aktif (Permana & Kartika, 2021; Rusmaya et al., 2025). Berdasarkan hasil wawancara dengan pendidik fisika di MTs Darul A'mal Lampung, diketahui bahwa kemampuan berpikir tingkat tinggi (HOTS) peserta didik masih tergolong rendah. Peserta didik mengalami kesulitan dalam menganalisis konsep fisika dan menyelesaikan soal yang

memerlukan kemampuan berpikir kritis. Selain itu, proses pembelajaran masih didominasi oleh metode ceramah sehingga keterlibatan peserta didik dalam kegiatan pembelajaran belum optimal. Pendidik juga mengungkapkan bahwa keterbatasan fasilitas laboratorium menjadi salah satu kendala dalam pelaksanaan praktikum, sehingga peserta didik memiliki kesempatan yang terbatas untuk melakukan eksperimen dan mengembangkan keterampilan berpikir ilmiah.

Kegiatan laboratorium memiliki peran penting dalam memfasilitasi pemahaman konsep dan penyelidikan ilmiah. Namun, keterbatasan fasilitas dan peralatan laboratorium sering kali menghambat pelaksanaan kegiatan praktikum di sekolah. Permasalahan tersebut dapat diatasi melalui laboratorium virtual sebagai alternatif media pembelajaran yang efektif. Laboratorium virtual memungkinkan peserta didik melakukan eksperimen, memanipulasi variabel, mengamati fenomena, dan mengumpulkan data dalam lingkungan simulasi tanpa memerlukan peralatan laboratorium fisik (Fitriani, 2024).

Meningkat ketersediaan *smartphone* di kalangan peserta didik semakin membuka peluang penerapan pembelajaran berbasis laboratorium virtual. Laboratorium virtual adalah ruang simulasi untuk proses pembelajaran, atau ruang sosial di dunia maya, tempat para ilmuwan berinteraksi, mengatur ke dalam kelompok, mengembangkan hubungan, dan berbagi pendapat, ide, sumber daya, dan pekerjaan (Muhajarah & Sulthon, 2020; Maiyanti et al., 2025). Laboratorium virtual berbasis *smartphone* memberikan fleksibilitas dan kemudahan akses, sehingga peserta didik dapat melakukan kegiatan eksperimen kapan saja dan di mana saja. Penelitian sebelumnya

menunjukkan bahwa pemanfaatan laboratorium virtual dapat meningkatkan pemahaman konsep, motivasi belajar, serta keterampilan proses sains peserta didik (Saepulloh et al., 2022).

Agar memaksimalkan manfaat laboratorium virtual, diperlukan model pembelajaran yang tepat. *Discovery learning* merupakan model pembelajaran yang berpusat pada peserta didik dan mendorong mereka untuk secara aktif membangun pengetahuan melalui kegiatan eksplorasi, investigasi, dan pemecahan masalah (Ahmad & Prasetyo, 2023). Beberapa tahapan stimulasi, identifikasi masalah, pengumpulan data, pengolahan data, verifikasi, dan generalisasi. Peserta didik didorong untuk menemukan konsep secara mandiri serta mengembangkan kemampuan berpikir tingkat tinggi (Azizah et al., 2024). *Discovery learning* terbukti memberikan pengaruh positif terhadap kemampuan berpikir kritis, pemahaman konsep, dan prestasi akademik peserta didik (Yudisthira et al., 2024; Maharani et al., 2026). Demikian pula, penerapan laboratorium virtual terbukti mendukung pembelajaran berbasis inkuiri dan meningkatkan hasil belajar dalam pendidikan sains.

Beberapa penelitian sebelumnya telah mengkaji penerapan model *discovery learning* dan laboratorium virtual dalam pembelajaran fisika. Penelitian oleh Dwi Susanti et al., disimpulkan bahwa *discovery learning* efektif digunakan pada pembelajaran jarak jauh (Susanti et al., 2022). Penelitian oleh Sihombing dan Hutahaean menunjukkan bahwa model *discovery learning* berbantuan laboratorium virtual berpengaruh positif terhadap kemampuan pemahaman konsep fisika peserta didik. Namun, penelitian tersebut berfokus pada penguasaan konsep fisika dan belum secara khusus mengukur kemampuan berpikir tingkat

tinggi (HOTS) (Sihombing & Hutahaean, 2022).

Penelitian lain yang dilakukan oleh Ahmad & Prasetyo mengembangkan laboratorium virtual berbasis *discovery learning* pada materi efek fotolistrik dan menemukan bahwa media tersebut mampu meningkatkan kemampuan berpikir kritis peserta didik. Akan tetapi, penelitian tersebut lebih menitikberatkan pada pengembangan media pembelajaran dan keterampilan berpikir kritis, bukan pada peningkatan HOTS secara menyeluruh (Ahmad & Prasetyo, 2023). Selain itu, hasil meta-analisis yang dilakukan oleh Anisa dkk. menunjukkan bahwa penggunaan simulasi virtual dalam pembelajaran fisika dapat meningkatkan kemampuan HOTS peserta didik. Meskipun demikian, penelitian tersebut hanya mengkaji pengaruh simulasi virtual secara umum tanpa mengintegrasikannya dengan model pembelajaran tertentu (Anisa et al., 2020).

Penelitian meta-analisis lainnya juga menyimpulkan bahwa laboratorium virtual efektif dalam meningkatkan pemahaman konsep dan kemampuan berpikir tingkat tinggi peserta didik pada pembelajaran fisika. Namun, sebagian besar penelitian masih berfokus pada penggunaan laboratorium virtual secara umum dan belum banyak yang mengintegrasikannya dengan model *discovery learning* berbasis *smartphone* pada jenjang sekolah menengah pertama (Fitriah & Zawanis, 2024).

Berdasarkan hasil kajian penelitian terdahulu, masih terdapat keterbatasan penelitian yang mengintegrasikan model *discovery learning* dengan laboratorium virtual berbasis *smartphone* untuk meningkatkan kemampuan HOTS peserta didik. Sebagian besar penelitian sebelumnya hanya berfokus pada penguasaan konsep, berpikir kritis, atau pengembangan media pembelajaran.

Selain itu, penelitian mengenai penggunaan laboratorium virtual berbasis *smartphone* pada tingkat MTs/SMP masih relatif terbatas. Oleh karena itu, kebaruan (*novelty*) penelitian ini terletak pada penerapan model *discovery learning* yang dipadukan dengan laboratorium virtual berbasis *smartphone* untuk meningkatkan kemampuan HOTS peserta didik pada pembelajaran fisika di MTs Darul A'mal Lampung. Penelitian ini tidak hanya mengukur efektivitas penggunaan laboratorium virtual, tetapi juga mengkaji bagaimana integrasi model pembelajaran dan teknologi *mobile* dapat mendukung pengembangan kemampuan berpikir tingkat tinggi peserta didik.

METODE PENELITIAN

Bagian Penelitian ini menggunakan pendekatan kuantitatif dengan metode penelitian eksperimen semu (*quasy-experimental*) dan desain *nonequivalent control group design*. Partisipan penelitian terdiri atas 44 peserta didik, yang terbagi menjadi 24 peserta didik pada kelompok eksperimen dan 20 peserta didik pada kelompok kontrol. Kelompok eksperimen memperoleh pembelajaran menggunakan model *discovery learning* berbantuan laboratorium virtual berbasis *smartphone*, sedangkan kelompok kontrol diajar menggunakan metode pembelajaran konvensional. Materi yang digunakan adalah energi dan perubahan bentuk energi. Gambar 1 berikut kisi-kisi instrumen tersebut.

Gambar 1. Kisi-kisi Instrumen Tes

No.	Materi/Submateri	Aspek HOTS	Indikator HOTS	Indikator Soal	Bentuk Soal	No. Butir	Skor Maks.
1	Pengertian energi dan bentuk-bentuk energi	Menganalisis informasi	Mengidentifikasi informasi penting dari permasalahan fisika	Siswa memilah data penting dan jenis energi dalam kasus.	Uraian / PG beralasan	1-2	8
2	Perubahan bentuk energi	Menghubungkan konsep	Menentukan keterkaitan konsep energi dan perubahan bentuk energi	Siswa menjelaskan perubahan energi pada alat atau fenomena.	Uraian / PG beralasan	3-4	8
3	Hubungan energi, usaha, gaya, dan perpindahan	Menentukan sebab-akibat	Menganalisis pengaruh perubahan satu variabel terhadap variabel lain	Siswa menjelaskan pengaruh gaya atau perpindahan terhadap usaha/energi.	Uraian / PG beralasan	5-6	8
4	Data/grafik/simulasi energi pada virtual lab	Menafsirkan data	Membaca dan menafsirkan tabel, grafik, gambar, atau hasil percobaan	Siswa menafsirkan tabel, grafik, atau hasil simulasi energi.	Uraian / PG beralasan	7-8	8
5	Hukum kekekalan energi dan penerapannya	Menyimpulkan	Menyusun kesimpulan logis berdasarkan data dan konsep	Siswa menyusun kesimpulan berdasarkan data dan konsep energi.	Uraian / PG beralasan	9-10	8

Instrumen penelitian yang digunakan adalah tes HOTS yang telah memenuhi persyaratan validitas dan reliabilitas. Hasil uji analisis data penelitian ini menggunakan *software* IBM SPSS. Pada hasil uji validitas menunjukkan bahwa seluruh butir soal dinyatakan valid, sedangkan uji reliabilitas menghasilkan koefisien *Cronbach's Alpha* sebesar 0,844 yang menunjukkan tingkat reliabilitas yang

tinggi. Data yang diperoleh dianalisis menggunakan statistik deskriptif, uji *Mann-Whitney U*, dan analisis *effect size* untuk menentukan efektivitas model pembelajaran yang diterapkan dalam meningkatkan HOTS peserta didik.

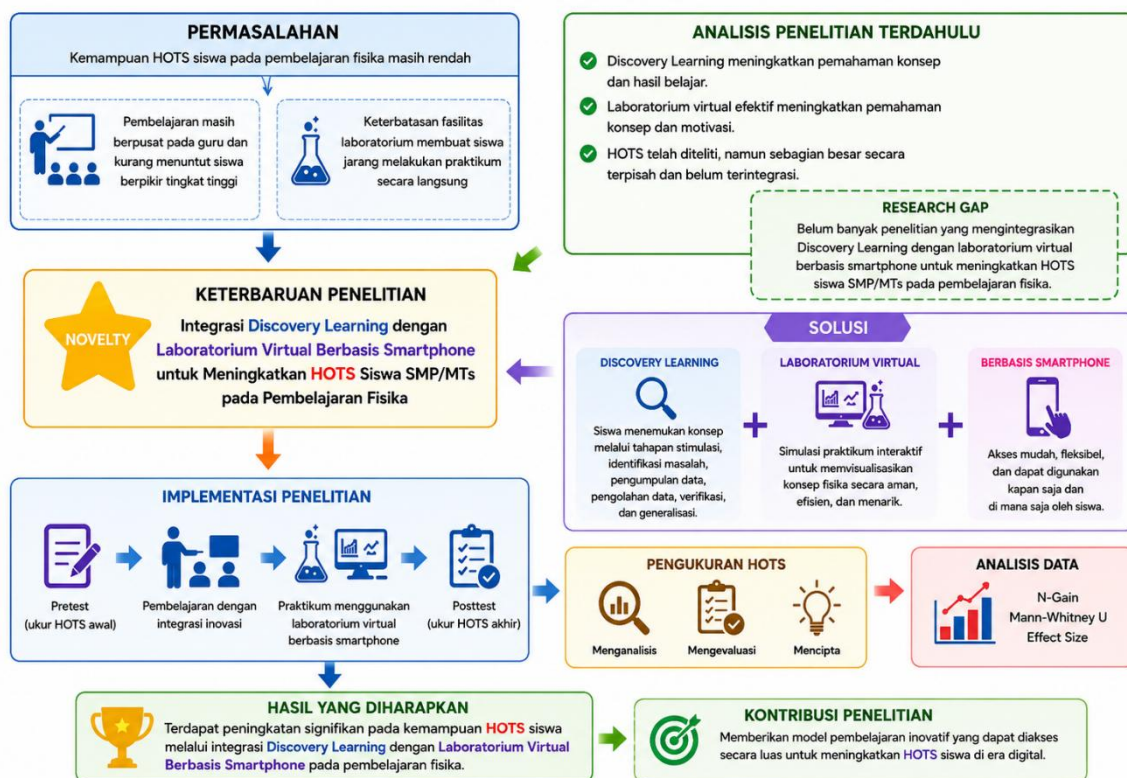
Penelitian ini dilaksanakan melalui beberapa tahapan yang disusun secara sistematis untuk mencapai tujuan penelitian. Tahapan

tersebut meliputi identifikasi permasalahan, kajian literatur, penyusunan instrumen penelitian, pelaksanaan pembelajaran menggunakan model *discovery learning* berbantuan laboratorium

virtual berbasis *smartphone*, pengumpulan data, hingga analisis data dan penarikan kesimpulan. Alur pelaksanaan penelitian secara rinci disajikan pada Gambar 2.

Gambar 2. Alur Penelitian

Gambar 2. Alur Penelitian



HASIL DAN PEMBAHASAN

Bagian ini menyajikan temuan penelitian mengenai efektivitas *discovery learning* berbantuan laboratorium virtual berbasis *smartphone* dalam meningkatkan HOTS peserta didik. Hasil penelitian disajikan melalui analisis statistik deskriptif dan inferensial, yang meliputi skor *pretest* dan *posttest*, *normalized gain (N-Gain)*, pengujian hipotesis, serta analisis *effect size*. Analisis tersebut dilakukan untuk mengetahui model pembelajaran yang diterapkan berkontribusi terhadap peningkatan HOTS peserta didik dibandingkan dengan pembelajaran konvensional.

Tabel 1. Peningkatan Kemampuan HOTS Peserta Didik

Grup	N	Pretest	Posttest	N-Gain
Kontrol	20	51.00	71.50	0.42
Eksperimen	24	60.83	87.08	0.67

Tabel 2. Hasil Tes Mann-Whitney U

Statistik	Nilai
Mann-Whitney U	121.500
Z	-3.444
Effect Size	0.519
Category	Besar

Peningkatan HOTS pada peserta didik di kelompok eksperimen dapat dikaitkan dengan keterlibatan aktif mereka dalam seluruh tahapan model *discovery learning*, mulai dari tahap stimulasi hingga generalisasi. Melalui

laboratorium virtual, peserta didik dapat mengeksplorasi konsep, memanipulasi variabel eksperimen, mengumpulkan data, serta menganalisis hubungan sebab-akibat. Aktivitas-aktivitas tersebut secara langsung mengembangkan kemampuan analitis peserta didik yang merupakan komponen utama dari HOTS.

Temuan penelitian ini sejalan dengan teori konstruktivisme yang menekankan bahwa pengetahuan dibangun secara aktif melalui pengalaman belajar yang bermakna. Selain itu, hasil penelitian ini juga mendukung penelitian-penelitian sebelumnya yang menunjukkan bahwa *discovery learning* dan laboratorium virtual efektif dalam meningkatkan kemampuan berpikir tingkat tinggi peserta didik. Nilai *effect size* sebesar 0,519 menunjukkan bahwa perlakuan yang diberikan tidak hanya menghasilkan pengaruh yang signifikan secara statistik, tetapi juga memberikan dampak praktis yang cukup besar terhadap peningkatan HOTS peserta didik. Oleh karena itu, penerapan *discovery learning* berbantuan laboratorium virtual berbasis *smartphone* dapat dianggap sebagai pendekatan pembelajaran yang efektif untuk mengembangkan kemampuan berpikir tingkat tinggi dalam pembelajaran fisika.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa model *discovery learning* berbantuan laboratorium virtual berbasis *smartphone* efektif dalam meningkatkan kemampuan HOTS peserta didik. Peningkatan tersebut dapat dijelaskan melalui setiap tahapan dalam model *discovery learning* yang mendorong peserta didik untuk terlibat secara aktif dalam proses pembelajaran dan membangun pengetahuannya secara mandiri.

Pada tahap *stimulation* (stimulasi), peserta didik diberikan rangsangan berupa fenomena fisika yang disajikan

melalui laboratorium virtual berbasis *smartphone*. Tahap ini bertujuan untuk membangkitkan rasa ingin tahu peserta didik terhadap materi yang dipelajari. Melalui pengamatan fenomena yang ditampilkan, peserta didik mulai mengidentifikasi permasalahan dan menghubungkannya dengan pengetahuan awal yang telah dimiliki. Aktivitas tersebut melatih kemampuan peserta didik dalam mengamati dan menganalisis fenomena, yang merupakan bagian dari kemampuan berpikir tingkat tinggi.

Selanjutnya, pada tahap *problem statement* (identifikasi masalah), peserta didik diarahkan untuk merumuskan permasalahan berdasarkan fenomena yang telah diamati. Pada tahap ini peserta didik dituntut untuk berpikir kritis dalam menentukan faktor-faktor yang memengaruhi suatu peristiwa fisika serta merumuskan pertanyaan yang akan diselidiki. Kegiatan ini membantu peserta didik mengembangkan kemampuan analisis dan pemecahan masalah yang menjadi indikator HOTS.

Pada tahap *data collection* (pengumpulan data), peserta didik melakukan eksperimen menggunakan laboratorium virtual berbasis *smartphone*. Melalui simulasi yang tersedia, peserta didik dapat memanipulasi variabel, mengamati perubahan yang terjadi, dan mengumpulkan data hasil percobaan. Laboratorium virtual memberikan kesempatan kepada peserta didik untuk melakukan eksplorasi secara lebih luas tanpa terkendala keterbatasan alat dan bahan laboratorium. Proses ini mendorong peserta didik untuk memperoleh informasi secara mandiri melalui kegiatan penyelidikan ilmiah.

Tahap berikutnya adalah *data processing* (pengolahan data). Pada tahap ini peserta didik menganalisis data yang telah diperoleh dari hasil

eksperimen, mengidentifikasi pola, serta menghubungkan hasil pengamatan dengan konsep fisika yang dipelajari. Kegiatan mengolah dan menafsirkan data secara langsung melatih kemampuan analisis peserta didik karena mereka harus menentukan hubungan antara variabel dan menarik makna dari data yang diperoleh. Oleh karena itu, tahap ini berperan penting dalam meningkatkan kemampuan HOTS peserta didik.

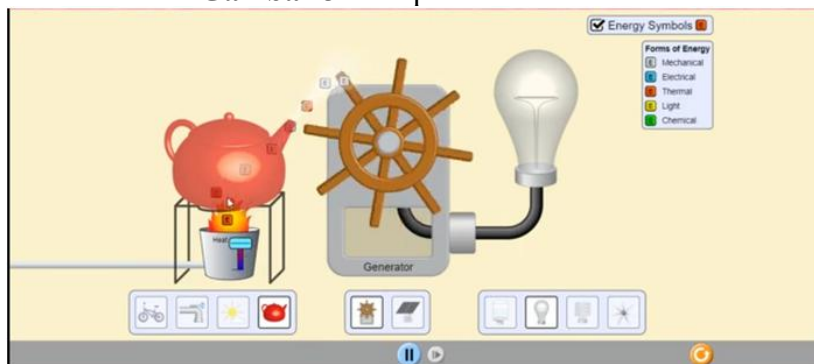
Tahap *verification* (verifikasi), peserta didik membandingkan hasil analisis yang diperoleh dengan teori atau konsep yang relevan. Melalui kegiatan diskusi dan refleksi, peserta didik mengevaluasi ketepatan hasil yang diperoleh serta memperbaiki pemahaman yang masih kurang tepat. Tahap verifikasi membantu peserta didik mengembangkan kemampuan evaluasi yang merupakan salah satu aspek penting dalam HOTS. Tahap terakhir *generalization* (generalisasi), yaitu tahap peserta didik menyusun kesimpulan berdasarkan hasil penyelidikan yang telah dilakukan. Peserta didik mengintegrasikan berbagai informasi yang diperoleh selama proses pembelajaran untuk membentuk suatu konsep atau prinsip yang lebih umum. Kegiatan ini melatih peserta didik dalam menyimpulkan, menghubungkan konsep, dan menerapkan pengetahuan pada situasi yang berbeda, sehingga mendukung perkembangan kemampuan

berpikir tingkat tinggi.

Selain itu, penggunaan laboratorium virtual berbasis *smartphone* memberikan kontribusi yang signifikan dalam mendukung keberhasilan setiap tahapan *discovery learning*. Media ini memungkinkan peserta didik melakukan eksperimen secara interaktif, memvisualisasikan konsep fisika yang abstrak, serta memberikan fleksibilitas dalam proses pembelajaran. Dengan demikian, integrasi antara *discovery learning* dan laboratorium virtual berbasis *smartphone* menciptakan pengalaman belajar yang lebih bermakna dan berpusat pada peserta didik.

Temuan penelitian ini sejalan dengan teori konstruktivisme yang menyatakan bahwa pengetahuan dibangun secara aktif melalui pengalaman belajar (Sarita & Poonam, 2017). Hasil penelitian juga mendukung penelitian-penelitian sebelumnya yang menunjukkan bahwa model *discovery learning* dan laboratorium virtual mampu meningkatkan kemampuan berpikir tingkat tinggi peserta didik. Hal ini diperkuat oleh nilai *effect size* sebesar 0,519 yang termasuk kategori besar, sehingga menunjukkan bahwa perlakuan yang diberikan tidak hanya signifikan secara statistik tetapi juga memiliki dampak praktis yang kuat terhadap peningkatan HOTS peserta didik. Berikut tampilan laboratorium virtual menggunakan *path*.

Gambar 3. Tampilan Virtual Lab



Temuan penelitian ini memiliki beberapa implikasi penting, baik secara teoretis maupun praktis. Secara teoretis, hasil penelitian ini memperkuat teori konstruktivisme yang menyatakan bahwa pengetahuan dibangun secara aktif melalui pengalaman belajar yang bermakna (Kahar et al., 2023). Penelitian ini juga sejalan penelitian oleh Susanti et al., membuktikan bahwa pendekatan inkuiri kolaboratif berbantuan laboratorium virtual cukup efektif dalam meningkatkan HOTS peserta didik (Susanti et al., 2023). Secara praktis, model pembelajaran ini dapat dijadikan alternatif bagi pendidik, terutama di sekolah dengan keterbatasan fasilitas laboratorium fisik, karena laboratorium virtual berbasis *smartphone* memberikan fleksibilitas bagi peserta didik untuk melakukan eksperimen secara mandiri dan interaktif. Penelitian Hasan et al., juga menunjukkan bahwa media berbasis teknologi digital yang memvisualisasikan konsep abstrak dapat meningkatkan keterampilan berpikir kritis peserta didik dalam pembelajaran fisika (Hasan et al., 2025).

Bagi sekolah dan pembuat kebijakan, hasil penelitian menjadi dasar pertimbangan mengintegrasikan teknologi mobile ke dalam kurikulum sains serta mendorong pengembangan infrastruktur pendukung seperti akses internet dan pelatihan guru. Penelitian lanjutan disarankan menggunakan desain eksperimen yang lebih ketat dengan sampel yang lebih besar dan beragam, serta mengintegrasikan model ini dengan pendekatan STEM atau *project-based learning* untuk memperluas manfaat pedagogisnya.

Penelitian ini memiliki beberapa keterbatasan yang perlu diperhatikan. Pertama, penelitian menggunakan

desain *quasy-experimental* tanpa randomisasi, sehingga perbedaan karakteristik awal antara kelompok eksperimen dan kontrol tidak dapat dikendalikan sepenuhnya. Kedua, jumlah sampel yang terbatas (44 peserta didik) membuat hasil penelitian ini belum dapat digeneralisasikan ke populasi yang lebih luas. Ketiga, penelitian tidak mengukur dampak jangka panjang model pembelajaran terhadap retensi kemampuan HOTS peserta didik.

Keempat, efektivitas laboratorium virtual berbasis *smartphone* sangat bergantung pada ketersediaan perangkat dan akses internet, sehingga kurang optimal diterapkan di daerah dengan keterbatasan infrastruktur teknologi. Kelima, instrumen tes HOTS yang digunakan hanya mengukur aspek kognitif tertentu dan belum mencakup seluruh dimensi HOTS secara mendalam. Selain itu, faktor eksternal seperti motivasi dan gaya belajar peserta didik tidak dikontrol secara ketat, yang berpotensi mempengaruhi hasil penelitian. Dengan demikian, hasil penelitian ini perlu diinterpretasikan secara hati-hati dengan mempertimbangkan berbagai keterbatasan tersebut.

SIMPULAN DAN SARAN

Model *discovery learning* berbantuan laboratorium virtual berbasis *smartphone* terbukti efektif dalam meningkatkan HOTS peserta didik di MTs Darul A'mal Lampung. Efektivitas tersebut ditunjukkan oleh skor *posttest* dan N-Gain yang lebih tinggi pada kelompok eksperimen dibandingkan dengan kelompok kontrol, serta hasil *uji Mann-Whitney U* menunjukkan adanya perbedaan yang signifikan dengan nilai *effect size* yang termasuk dalam kategori besar.

Oleh karena itu, model pembelajaran ini dapat dianggap sebagai alternatif yang efektif dalam pembelajaran fisika untuk mendukung pengembangan kemampuan berpikir tingkat tinggi peserta didik.

Penelitian selanjutnya disarankan untuk menguji efektivitas model *discovery learning* berbantuan laboratorium virtual berbasis smartphone pada jenjang pendidikan, materi fisika, atau mata pelajaran lain yang berbeda. Selain itu, penelitian dapat mengembangkan laboratorium virtual dengan fitur yang lebih interaktif, seperti simulasi berbasis *Augmented Reality* (AR), *Virtual Reality* (VR), atau integrasi kecerdasan buatan (*Artificial Intelligence*) untuk meningkatkan kualitas pengalaman belajar peserta didik. Penelitian juga dapat menambahkan variabel lain, seperti kreativitas, literasi sains, kemampuan pemecahan masalah, motivasi belajar, atau keterampilan abad ke-21 sehingga diperoleh gambaran yang lebih komprehensif mengenai dampak penggunaan laboratorium virtual.

DAFTAR PUSTAKA

- Ahmad, L. S., & Prasetyo, Z. K. (2023). Discovery learning model-based virtual lab on photoelectric effect material to improve critical thinking skills. *Jurnal Ilmiah Pendidikan Fisika Al-Biruni*, 12(2), 153–165. <https://doi.org/10.24042/jipfalbiruni.v12i2.17553>
- Anisa, M. K., P, N. D. P., & Nova, T. L. (2020). Penggunaan simulasi virtual pada pembelajaran fisika untuk meningkatkan higher order thinking skill (hots) siswa: meta-analisis. *Jurnal Kumparan Fisika*, 3(2).
- Azizah, R. S. N., Samsudin, A., & Suparmo. (2024). Discovery-learning based handout teaching media using design-thinking model to improve students' learning outcomes on earth structure material. *OLER (Online Learning in Educational Research)*, 4(1), 13–29. <https://doi.org/https://doi.org/10.58524/oler.v4i1.389>
- Saepulloh, Gunawan, I., & Agustin, A. (2022). Android-based virtual laboratory development (case study of class xi of sma in bandar lampung). *Asia Information System Journal*, 1(1), 27–35.
- Diansah, I., Febriyani, U., Anggalia, F., & Negara, H. S. (2023). Stem multimedia to stimulate hots in renewable. *Indonesian Journal of Science and Mathematics Education*, 6(3), 480–491. <https://doi.org/10.24042/ijsme.v5i1.25150>
- Fitriah, I., & Zawanis, S. F. (2024). The effectiveness of virtual laboratory media in physics education: A meta-analysis on students' conceptual understanding and higher-order thinking skills. *ISEJ: Indonesian Science Education Journal*, 5(2), 65–74. <https://doi.org/10.62159/isej.v5i2.1761>
- Fitriani, A. (2024). Comparison of the effect of using virtual laboratory based on phet simulation and real laboratory in improving mastery of electronic concepts of physics education students. *Tekno-Pedagogi: Jurnal Teknologi Pendidikan*, 14(2). <https://doi.org/10.22437/teknopedagogi.v14i2.37487>

- Hasan, I., Arafah, K., & Hasyim, M. (2025). Jurnal pendidikan fisika the impact of augmented reality media on high school students' critical thinking skills in physics. *Jurnal Pendidikan Fisika*, 13(3), 600-613. <https://doi.org/10.26618/zsft6997>
- Kahar, M. S., Arsyad, R. Bin, & Fathurrahman, M. (2023). Component display theory (cdt) learning model design in basic physics lectures. *Jurnal Penelitian Pendidikan IPA*, 9(11), 9629-9635. <https://doi.org/10.29303/jppipa.v9i11.5427>
- Kusuma, F., Anggraeni, A., & Prihandono, T. (2025). Analysis of college students' critical thinking skills in learning physics case method assisted by lumio by smart. *Tadris: Jurnal Keguruan dan Ilmu Tarbiyah*, 10(1), 181-192. <https://doi.org/10.24042/tadris.v10i1.24799>
- Latifah, S., Meisuri, M., & Kesuma, A. A. (2023). Development of physics worksheet based on higher order thinking skills (hots) integrated with bilingual class learning. *Indonesian Journal of Science and Mathematics Education*, 6(1), 82-95. <https://doi.org/10.24042/ij sme.v6i1.14131>
- Maharani, K. A., Shofa, S., Barid, Q., Rejeki, S., Astuti, D., & Wahyuni, S. (2026). Integration of digital media in the discovery learning model to enhance junior high school students conceptual understanding in science: a review. *Jurnal Pijar MIPA*, 21(1), 74-85. <https://doi.org/10.29303/jpm.v21i1.10924>
- Maiyanti, A. A., Huda, S., Anggraini, A., Laili, U. F., Muniroh, L., & Umam, R. (2025). Transformation of physics learning: integrating virtual laboratories to improve students' scientific literacy skills. *Online Learning in Educational Research (OLER)*, 5(1), 155-172. <https://doi.org/10.58524/oler.v5i1.661>
- Muhajarah, K., & Sulthon, M. (2020). Pengembangan laboratorium virtual sebagai media pembelajaran: Peluang dan tantangan. *Justek: Jurnal Sains dan Teknologi*, 3(2), 77-83. <https://dx.doi.org/10.31764/justek.v3i2.3553>
- Permana, A. A., & Kartika, I. (2021). Brain-based learning: The impact on student's higher order thinking skills and motivation. *Jurnal Ilmiah Pendidikan Fisika Al-BiRuNi*, 10(1), 47-58. <https://doi.org/10.24042/jipfalbir uni.v10i1.6908>
- Rahmawati, A., Nisfah, N. L., & Kusairi, S. (2019). The capability analysis of high order thinking skills (hots) on dynamic electricity material in junior high. *JPPPF (Jurnal Penelitian Dan Pengembangan Pendidikan Fisika)*, 5(2), 163-168. <https://doi.org/https://doi.org/10.21009/1.05211>
- Rusmaya, A., A, S. K., Suprpto, N., & Admoko, S. (2025). Exploration of physics concepts in the process of making siwalan dawet ice: Does it have the potential as a source of physics learning in the independent learning curriculum?. *Jurnal*

- Ilmiah Pendidikan Fisika Al-Birun*, 14(2), 1–19. <https://doi.org/10.24042/jipfalbir.uni.v14i2.24471>
- Sarita, & Poonam. (2017). Constructivism: A new paradigm in teaching and learning. *International Journal of Academic Research and Development*, 2(4), 183–186.
- Sihombing, J. P., & Hutahaean, J. (2022). The effect of learning models discovery helpful lab virtual against the ability to understand Physics. *Indonesian Physics Education Research*, 03(02), 68–78. <https://doi.org/10.24114/iper.v4i1.44511>
- Suryadi, A. F., & Kurnia, A. (2025). The effect of using hots-based student worksheets on student learning outcomes and activities at ma mannilingi bulo-bulo jenepono. *Jurnal Iqra (Kajian Ilmu Pendidikan)*, 10(2). <https://doi.org/https://doi.org/10.25217/ji.v10i2.6457>
- Susanti, D., Serevina, V., & Mahligawati, F. (2022). The effectiveness of discovery learning model on exoplanet materials in distances learning. *Journal of Physics: Conference Series*. <https://doi.org/10.1088/17426596/2309/1/012041>
- Susanti, W., Tendra, G., Siswati, S., Nasution, T., & Simeru, A. (2023). Virtual programming laboratory in collaborative inquiry learning to improve higher order thinking skills for work readiness in the industrial world. *Paper Asia*, 39(6):63-70. [https://doi.org/10.59953/paperasia.v39i6\(b\).51](https://doi.org/10.59953/paperasia.v39i6(b).51)
- Wardana, I. I., Sukaesih, S., & Dewi, N. R. (2024). Visualizing research trends on the impact of stem-integrated project-based learning model on 21st-century skills using vosviewer and harzing's publish or perish: a systematic literature review. *Journal of Innovative Science Education*, 13(3), 159–175. <https://doi.org/10.15294/jise.v13i3.16998>
- Yudisthira, A., Fitri, S. C., Izzatika, A., & Perdana, D. R. (2024). Discovery learning model to improve critical thinking skills of grade iv elementary school students. *Terampil: Jurnal Pendidikan dan Pembelajaran Dasar*, 11(2). 141-160. <https://doi.org/10.24042/terampil.v11i2.21435>