

Penggunaan Laboratorium Virtual dalam Meningkatkan Kemampuan Berpikir Kreatif Siswa

Ani Sahara¹, Azmiatun Sholehah¹, Putri Ayu Febriani¹, Syaharuddin¹, Vera Mandailina¹,
David Hermansyah²

¹Pendidikan Matematika, Universitas Muhammadiyah Mataram, Indonesia

²PGMI, Universitas Muhammadiyah Mataram, Indonesia

anisahara2020@gmail.com

Abstrak: Tujuan dari penelitian ini adalah untuk melakukan analisis yang lebih mendalam terhadap peran laboratorium virtual dalam meningkatkan kemampuan berpikir kreatif siswa. Data yang digunakan terdiri dari 46 artikel penelitian yang diterbitkan dalam kurun waktu 5 tahun terakhir. Analisis dilakukan menggunakan metode meta-analisis dengan memanfaatkan nilai effect size (ES) dan standard error (SE), dan hasilnya diolah melalui perangkat lunak JASP untuk mendapatkan nilai summary effect. Hasil penelitian menunjukkan bahwa laboratorium virtual memiliki dampak positif signifikan dalam meningkatkan kemampuan berpikir kreatif siswa, dengan nilai rata-rata sebesar 76% atau 0.76, yang masuk dalam kategori efek tinggi. Lebih lanjut, analisis berdasarkan jenjang pendidikan mengindikasikan bahwa dampak positif ini berbeda-beda, yakni sebesar 74% di tingkat Perguruan Tinggi, 79% di tingkat SMA, dan 71% di tingkat SMP. Terdapat peningkatan nilai yang lebih signifikan pada tingkat SMA, menunjukkan bahwa implementasi laboratorium virtual seharusnya lebih difokuskan di tingkat tersebut di masa mendatang.

Kata kunci: Berpikir Kreatif; Laboratorium Virtual; Meta-analisis

Abstract: The purpose of this study is to analyze more deeply about virtual laboratories in improving students' creative thinking skills. The data obtained were 46 articles from previous research published in the last 5 years, then analyzed using meta-analysis through the effect size (ES) value and standard error (SE) to see the summary effect value using JASP software. The results show that virtual laboratories can improve students' creative thinking skills with an average value of 76% or 0.76 with a high effect category. Furthermore, the results of the analysis based on the level of education show that the university level has an effect of 74%, high school level of 79%, and junior high school of 71%. The greater value at the high school level, so that in the future, virtual laboratories are highly emphasized to be implemented at the high school level.

Keywords: Creative Thinking; Virtual Laboratory; Meta-analysis

A. Pendahuluan

Pendidikan adalah usaha sadar dan terencana untuk mewujudkan suasana belajar dan proses pembelajaran agar siswa aktif mengembangkan potensi dirinya untuk memiliki kekuatan dan keterampilan yang diperlukan dirinya, masyarakat, bangsa dan negara (Dwiranata et al., 2019) (Subandi et al., 2018). Abad ke-21 menuntut keterampilan berpikir kreatif, inovasi, berpikir kritis, pemecahan masalah, dan kemampuan berkomunikasi sehingga siswa harus menyiapkan keterampilan tersebut di era industri saat ini (Sari & Slamet, 2019). Kemampuan berpikir kreatif merupakan kemampuan yang harus dimiliki seorang siswa untuk menghadapi masa depan dan perlu dikembangkan untuk menghadapi era informasi dan suasana saing yang semakin ketat (Erdawati et al., 2019) (Wang et al., 2018).

Kemampuan berpikir kreatif dalam proses pembelajaran diperlukan untuk membantu siswa dalam mengeluarkan ide atau gagasan agar memiliki pola pikir tingkat tinggi dalam memecahkan masalah (Andini & Rusmini, 2022) (Irawan et al., 2021) (Siradjudin et al., 2020). Proses pembelajaran dikatakan efektif sesuai dengan zaman teknologi, diperlukan media pembelajaran agar visi, misi suatu pembelajaran dapat tercapai (Siburian et al., 2019). Salah satu contoh media yang diperlukan ialah laboratorium virtual (Quraisy et al., 2023) (Satria & Sahidu, 2020) (Rani et al., 2019).

Laboratorium virtual adalah program simulasi komputer yang dirancang seperti laboratorium nyata untuk mendemonstrasikan suatu konsep materi pembelajaran dengan tujuan tertentu (Yuniarti et al., 2021). Sedangkan menurut Febriyandi & Andromeda (2019) laboratorium virtual adalah media yang dapat digunakan untuk memahami suatu pokok bahasan dan dapat memberikan solusi terhadap keterbatasan atau ketiadaan perangkat laboratorium. Laboratorium virtual banyak digunakan pada kegiatan praktikum pada pelajaran IPA, karena lebih efisien dan murah, kegiatan praktikum lebih aman dan tidak khawatir kerusakan alat laboratorium, tidak memerlukan biaya perawatan mahal (Darojat, 2022) (Nurfidah, 2021). Praktik merupakan salah metode belajar yang memberikan suatu pengalaman langsung pada peserta didik (Majda et al., 2023) . Laboratorium virtual mampu mengembangkan model-model pembelajaran yang lebih inovatif dan selaras dengan perkembangan zaman teknologi (Isroqmi & Septiati, 2023) (Fuldiaratman et al., 2023) (Murnilasari et al., 2021).

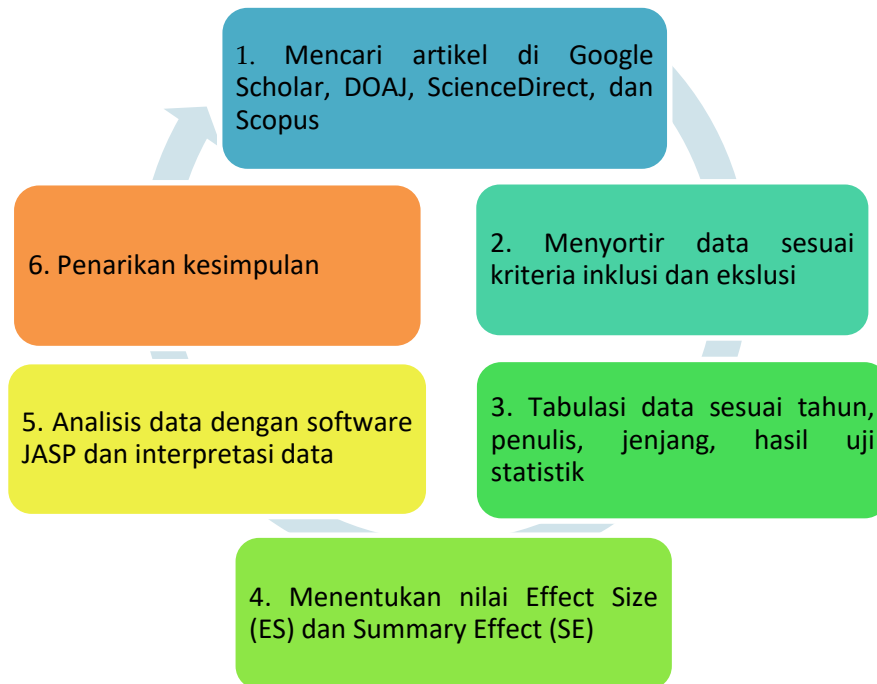
Penggunaan media pembelajaran, seperti laboratorium virtual dapat menarik perhatian dan minat belajar siswa sehingga meningkatkan kemampuan berpikir kreatif terhadap konsep yang diajarkan (Dwikoranto & Widiasih, 2023) (Ubaidillah et al., 2022) (Mariko et al., 2022) (Akbar & Budiarti, 2022) (Usman et al., 2021) (Gunawan et al., 2020). Hal ini sesuai dengan penelitiannya Muhajarah & Sulthon (2020) dan Makiyah et al (2019) yang menyatakan bahwa laboratorium virtual secara signifikansi dapat meningkatkan keterampilan abad ke-21 meliputi berpikir kritis dan kreatif serta keterampilan berkomunikasi untuk menghadapi pengalaman nyata pada mahasiswa pendidikan fisika.

Abdjula & Ntobuo (2018) mengungkapkan bahwa perangkat pembelajaran berbasis laboratorium virtual sangat efektif digunakan dalam proses pembelajaran fisika pada siswa SMA dengan rata-rata hasil belajar pada keterampilan berpikir kreatif siswa yaitu 78% dengan kategori baik. Tupalessy et al (2022) menunjukkan bahwa hasil analisis aspek kognitif pada kemampuan berpikir kreatif selama proses pembelajaran berlangsung menggunakan laboratorium virtual PhET dalam model *discovery learning* menunjukkan bahwa rerata skor pencapaian peserta didik pada siswa SMA adalah 95,63 pada kualifikasi sangat baik dan dilihat dari nilai N-Gain diperoleh 0,7 yang berada pada kategori tinggi.

Dari pemaparan tersebut, sangat direkomendasikan menggunakan laboratorium virtual dalam proses pembelajaran, sehingga peserta didik dapat memiliki kemampuan berpikir kreatif, kritis, inovasi, pemecahan masalah, serta kemampuan berkomunikasi terhadap konsep yang diajarkan, sehingga peserta didik mampu berdaya saing di era digitalisasi sekarang ini. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui tingkat pengaruh penggunaan laboratorium virtual terhadap kemampuan berpikir kreatif siswa.

B. Metode Penelitian

Metode penelitian ini adalah kuantitatif tipe meta-analisis dengan teknik pengumpulan data dari artikel-artikel yang telah dipublikasikan dari penelitian yang telah dilakukan sebelumnya. Meta-analisis merupakan kajian atas sejumlah hasil penelitian dalam masalah yang sejenis (Syaharuddin et al., 2022) (Wahyuni, 2018). Data dikumpulkan dari artikel yang telah dipublikasikan di database pengindeks seperti Google Scholar, DOAJ, ScienceDirect, dan Scopus. Analisis data menggunakan software JASP. Adapun tahapan penelitian ini ditunjukkan pada Gambar 1.



Gambar 1. Tahapan penelitian

Tahapan penelitian seperti tersaji pada Gambar 1 dapat dijelaskan sebagai berikut:

1. Mencari artikel di Google scholar, DOAJ, ScienceDirect, dan Scopus yang diinginkan.
2. Menyortir data sesuai kriteria inklusi dan eksklusi.
3. Tabulasi data sesuai tahun, penulis, jenjang dan hasil uji statistik.
4. Data yang sudah diseleksi berdasarkan kriteria kelayakan, kemudian mengkonversi nilai F-hitung dan t-hitung menjadi r dengan rumus:

$$F = t^2 \quad (1)$$

$$t = \sqrt{F} \quad (2)$$

$$r = \frac{t}{\sqrt{t^2 + N - 2}} \quad (3)$$

Kemudian ditabulasi untuk menentukan nilai effect size (ES) dan summary effect (SE) dengan rumus sebagai berikut:

$$ES = 0,5 \times \ln \frac{1+r}{1-r} \quad (4)$$

$$SE = \sqrt{\frac{1}{N-3}} \quad (5)$$

Jika diketahui nilai klasikal (k), maka nilai ES dan SE dapat dihitung dengan rumus sebagai berikut:

$$p = SE = \frac{1}{N} \quad (6)$$

$$SE = \sqrt{\frac{p(1-p)}{N}} \quad (7)$$

Setelah memperoleh nilai ES dan SE, selanjutnya dilakukan analisis data menggunakan software JASP untuk menentukan (1) metode atau model analisis yang sesuai (2) nilai koefisien penduga (3) nilai p-value uji korelasi Rank, dan (4) tingkat ketepatan berdasarkan forest plot. Beberapa kriteria yang harus dipenuhi sebagai berikut:

1. Jika data bersifat heterogen dari hasil Test of Residual Heterogenity, maka model meta-analisis yang digunakan adalah model random effect (RE).
2. Kriteria penentuan kategori tingkat akurasi dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Kategori nilai ES

Effect Size (ES)	Kategori
< 0.15	Diabaikan
0.15 – 0.40	Efek Kecil
0.40 – 0.75	Efek Sedang
0.75 – 1.10	Efek Tinggi
1.10 – 1.45	Efek Sangat Tinggi
> 1.45	Sangat Baik

Setelah dilakukan penentuan kategori, selanjutnya dilakukakn uji hepotesis, adapun hipotesis penelitian ini yaitu: H_1 : Terdapat pengaruh laboratorium virtual dalam meningkatkan kemampuan berpikir kreatif siswa; H_0 : Tidak terdapat pengaruh laboratorium virtual dalam meningkatkan kemampuan berpikir kreatif siswa.

3. Jika nilai p-value pada Rank Correlation Test lebih besar dari 0,01 maka tidak terindikasi adanya bias publikasi. Artinya, data yang digunakan cukup mewakili populasi yang ada.
4. Analisis data menggunakan software JASP dan interpretasi data.
5. Mengambil kesimpulan dari hasil penelitian dengan merujuk artikel yang hasilnya sama dengan hasil penelitian yang diteliti.

C. Temuan dan Pembahasan

Data dipilih berdasarkan kriteria kelayakan yang telah ditetapkan. Terdapat 46 artikel yang memenuhi syarat kelayakan. Data-data yang dikumpulkan hasil dari nilai uji fisher (F), uji student (t), uji korelasi (r), nilai klasikal (k), dan jumlah sampel pada penelitian (N). Adapun hasil konversi sesuai Tabel 2.

Tabel 2. Hasil perhitungan nilai ES dan SE

Study	Tahun	Jenjang	N	ES	SE	Kategori
Study 1	2022	PT	30	0.793	0.193	Efek Tinggi
Study 2	2022	PT	34	0.549	0.180	Efek Sedang
Study 3	2021	PT	15	0.790	0.289	Efek Tinggi
Study 4	2020	PT	17	0.310	0.267	Efek Kecil
Study 5	2018	PT	61	0.720	0.131	Efek Sedang
Study 6	2022	PT	54	0.693	0.140	Efek Sedang
Study 7	2021	PT	20	0.489	0.243	Efek Sedang
Study 8	2021	PT	25	0.800	0.213	Efek Tinggi
Study 9	2019	PT	38	0.950	0.169	Efek Tinggi
Study 10	2022	PT	35	1.000	0.177	Efek Tinggi
Study 11	2021	SMA	31	0.867	0.189	Efek Tinggi
Study 12	2022	SMA	25	0.950	0.213	Efek Tinggi
Study 13	2022	SMA	60	0.810	0.133	Efek Tinggi
Study 14	2019	SMA	24	0.630	0.218	Efek Sedang
Study 15	2019	SMA	40	0.633	0.164	Efek Sedang
Study 16	2020	SMA	34	0.640	0.180	Efek Sedang
Study 17	2022	SMA	30	0.633	0.193	Efek Sedang
Study 18	2019	SMA	64	0.264	0.128	Efek Kecil
Study 19	2023	SMA	62	0.590	0.130	Efek Sedang
Study 20	2020	SMA	34	0.563	0.180	Efek Sedang
Study 21	2019	SMA	32	0.867	0.186	Efek Tinggi
Study 22	2023	SMA	64	0.870	0.128	Efek Tinggi
Study 23	2023	SMA	33	0.830	0.183	Efek Tinggi
Study 24	2021	SMA	43	0.940	0.158	Efek Tinggi
Study 25	2022	SMA	36	0.750	0.174	Efek Sedang
Study 26	2021	SMA	25	0.920	0.213	Efek Tinggi
Study 27	2020	SMA	33	1.649	0.183	Sangat Baik
Study 28	2019	SMA	70	0.709	0.122	Efek Sedang
Study 29	2022	SMA	67	0.830	0.125	Efek Tinggi
Study 30	2020	SMA	68	0.803	0.124	Efek Tinggi
Study 31	2020	SMA	90	0.848	0.107	Efek Tinggi

Study 32	2023	SMA	30	0.830	0.193	Efek Tinggi
Study 33	2023	SMA	18	0.940	0.258	Efek Tinggi
Study 34	2019	SMA	40	0.950	0.164	Efek Tinggi
Study 35	2018	SMA	32	0.780	0.186	Efek Tinggi
Study 36	2023	SMP	100	0.309	0.102	Efek Kecil
Study 37	2020	SMP	59	0.830	0.134	Efek Tinggi
Study 38	2023	SMP	28	0.412	0.200	Efek Sedang
Study 39	2021	SMP	23	0.750	0.224	Efek Tinggi
Study 40	2022	SMP	469	0.937	0.046	Efek Tinggi
Study 41	2023	SMP	19	0.576	0.250	Efek Sedang
Study 42	2020	SMP	67	0.800	0.243	Efek Tinggi
Study 43	2020	SMP	32	0.940	0.125	Efek Tinggi
Study 44	2021	SMP	20	0.590	0.186	Efek Sedang
Study 45	2020	SMP	20	0.840	0.243	Efek Tinggi
Study 46	2023	SMP	22	0.800	0.229	Efek Tinggi
Rata-rata				0.760	0.179	Efek Tinggi

Data pada Tabel 2 menunjukkan bahwa rata-rata nilai ES sebesar 0,760 dengan kategori efek tinggi. Informasi yang didapatkan bahwa 10 data pada jenjang Perguruan Tinggi (PT), 25 data pada jenjang Sekolah Menengah Atas, 11 data jenjang Sekolah Menengah Pertama, dimana 1 data dengan kategori “sangat baik”, 27 data kategori “efek tinggi”, 15 data kategori “efek sedang” dan 3 data kategori “efek kecil”. Setelah itu, peneliti melakukan uji hipotesis dan uji *publication bias* terhadap data yang diperoleh menggunakan software JASP dan dapat menarik kesimpulan pada nilai Q-Heterogen, Estimate, *p-value*, $I^2(\%)$, dan p-Rank Test. Pada tahap pertama dilakukan uji hipotesis menggunakan software JASP dan hasilnya pada Tabel 3.

Tabel 3. Output JASP coefficients

	Coefficients				95% Confidence Interval	
	Estimate	Standard Error	z	P	Lower	Upper
Intercept	0.762	0.035	22.000	< .001	0.694	0.830

Tabel 3 menunjukkan nilai z sebesar 22.000 dan nilai p-value sebesar 0.001 yang berarti lebih kecil dari nilai signifikansi 5% (0.05). Artinya hipotesis H_0 ditolak atau dengan kata lain laboratorium virtual memiliki pengaruh terhadap kemampuan berpikir kreatif siswa. Setelah melakukan uji hipotesis, peneliti melakukan uji publikasi bias. Adapun hipotesis uji bias sebagai berikut: H_0 : true effect size = 0 : data sampel terindikasi *publication bias*; H_1 : true effect size $\neq$ 0 : data sampel tidak terindikasi *publication bias*. Berdasarkan hasil simulasi diperoleh output JASP pada Tabel 4 dan Tabel 5.

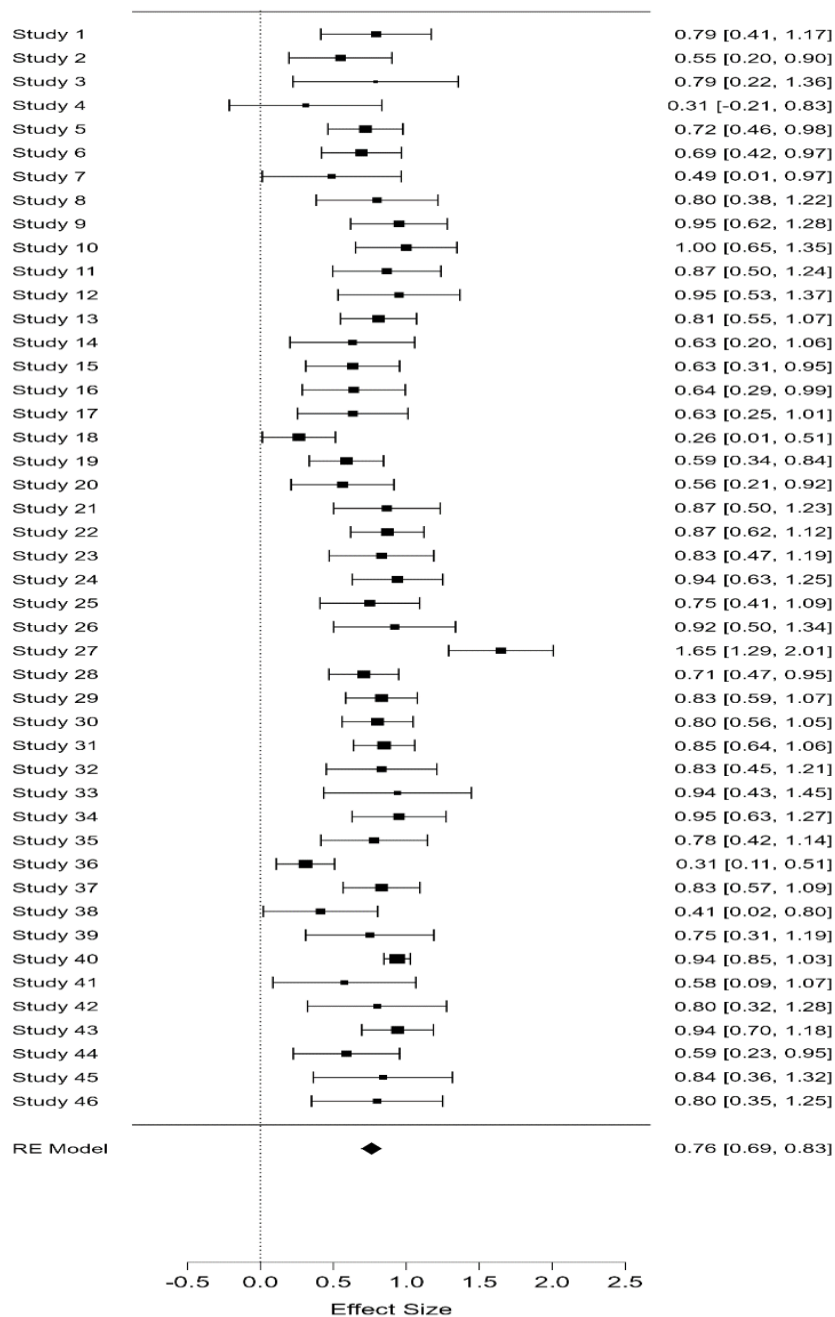
Tabel 4. Output JASP uji bias pertama (*Rank correlation test for Funnel plot asymmetry*)

	Kendall's τ	P
Rank test	-0.096	0.353

Tabel 5. Output JASP uji bias kedua

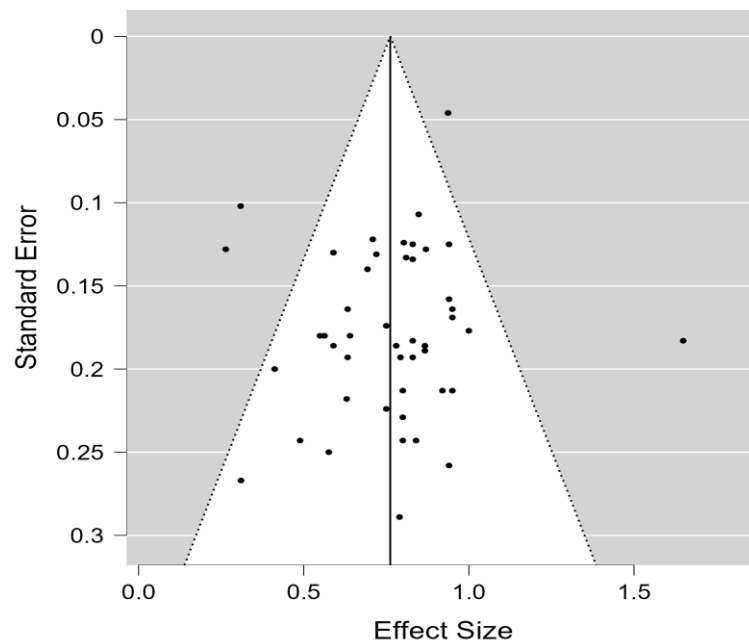
Regression test for Funnel plot asymmetry ("Egger's test")		
	Z	P
Sei	-0.160	0.873

Pada Tabel 4 terkait Rank correlation dapat dilihat nilai Kendall's sebesar -0.160 yang menunjukkan besar koefisien korelasi antara effect size dengan varians. Kemudian nilai p-value sebesar 0.353 lebih besar dari nilai 0.05, artinya hipotesis H_0 ditolak atau dengan kata lain tidak terindikasi publication bias. Tabel 5 menunjukkan nilai z yang merupakan besarnya koefisien regresi sebesar -0.160, sedangkan nilai p-value sebesar 0.873 lebih besar dari 0.05. Artinya hipotesis H_0 ditolak atau dengan kata lain laboratorium virtual berpengaruh dalam meningkatkan kemampuan berpikir kreatif siswa. Selanjutnya sebaran hasil output JASP bisa dilihat pada Gambar 2.



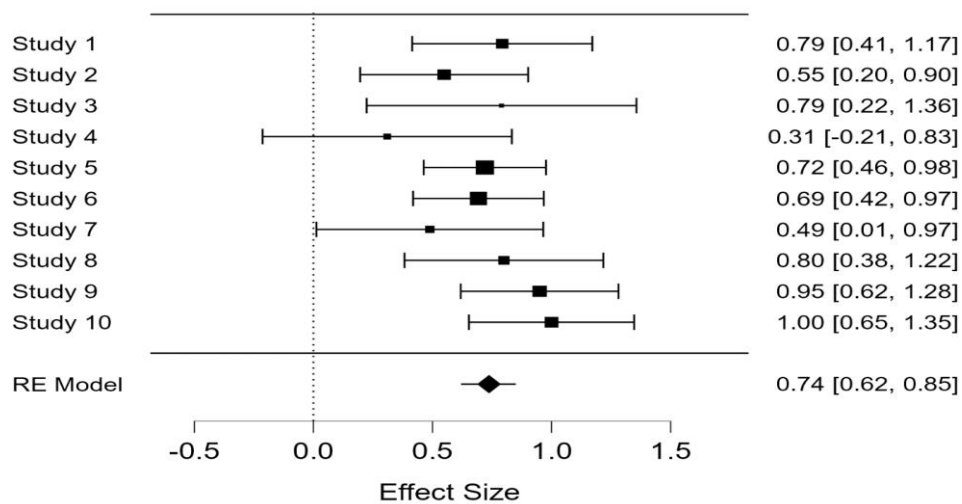
Gambar 2. Output JASP RE model

Pada Gambar 2 menunjukkan nilai summary effect sebesar 0.76 (76%). Nilai ini menjelaskan bahwa rata-rata pengaruh laboratorium virtual dalam meningkatkan kemampuan berpikir kreatif siswa sebesar 0.76 atau 76%. Sedangkan 24% nya dipengaruhi oleh variabel lainnya, selanjutnya sebaran data hasil output JASP bisa dilihat pada Gambar 3.

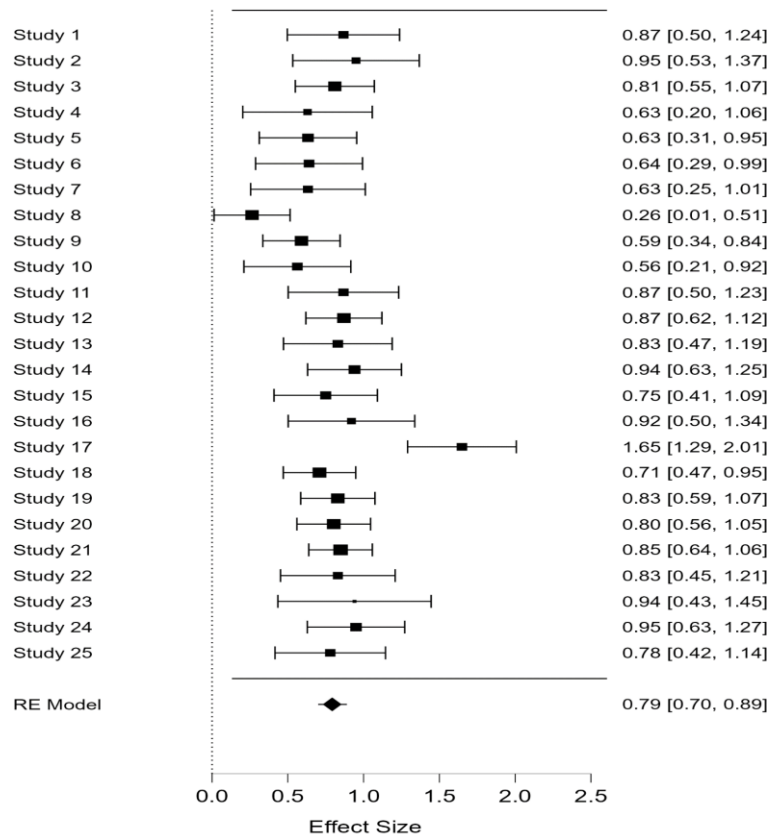


Gambar 3. Output JASP funnel plot

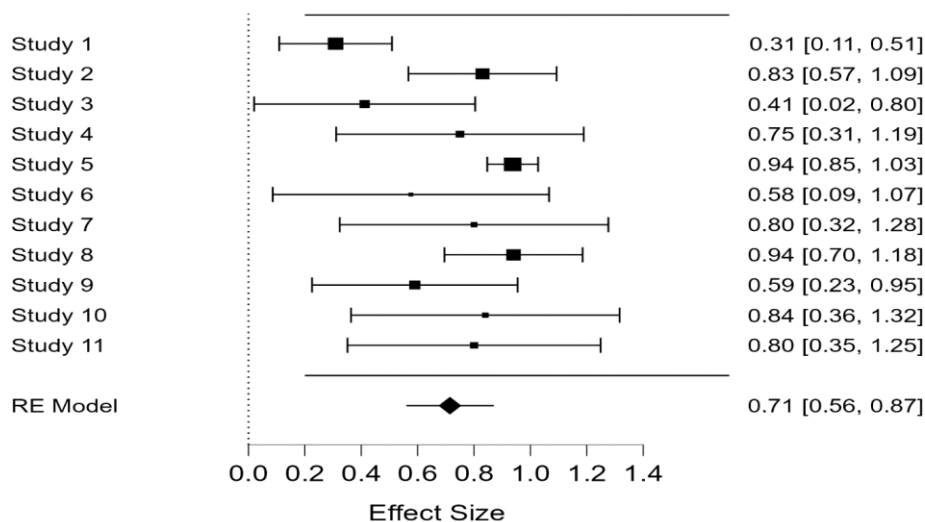
Berdasarkan plotting publikasi pada Gambar 3 dapat dilihat bahwa tidak ada penelitian yang hilang ditandai lingkaran terbuka, seluruh lingkaran tertutup. Secara rinci pada tingkat Perguruan Tinggi, Sekolah Menengah Atas, dan Sekolah Menengah Peetama bisa dilihat pada Gambar 4, Gambar 5, dan Gambar 6.



Gambar 4. Output JASP Funnel Plot Tingkat Perguruan Tinggi



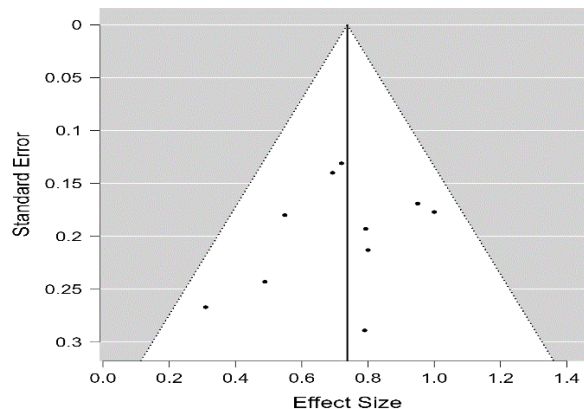
Gambar 5. Output JASP funnel plot tingkat sekolah menengah atas



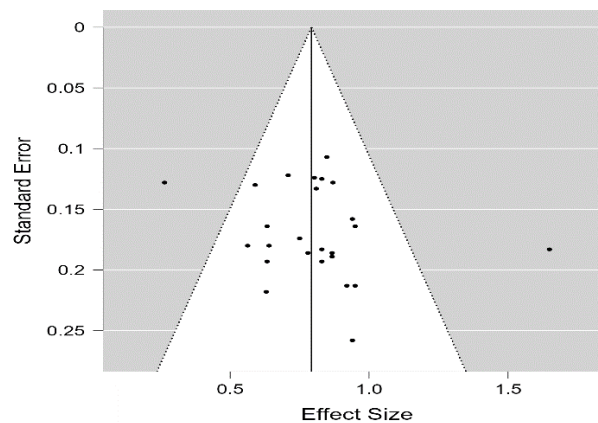
Gambar 6. Output JASP funnel plot tingkat sekolah menengah pertama

Pada Gambar 4 terdapat nilai RE Model pada jenjang Perguruan Tinggi sebesar 0.74 atau sebesar 74%, berarti laboratorium virtual memiliki pengaruh terhadap kemampuan berpikir kreatif siswa. Gambar 5 juga menunjukkan nilai RE Model sebesar 0.79, artinya pengaruh laboratorium virtual terhadap kemampuan berpikir kreatif siswa pada jenjang Sekolah Menengah Atas sebesar 79%, dan selanjutnya Gambar 6 terdapat nilai RE Model pada jenjang Sekolah Menengah Pertama sebesar 0.71. Artinya pengaruh laboratorium virtual dalam meningkatkan kemampuan berpikir kreatif sebesar 71%. Artinya laboratorium virtual memiliki pengaruh terhadap kemampuan

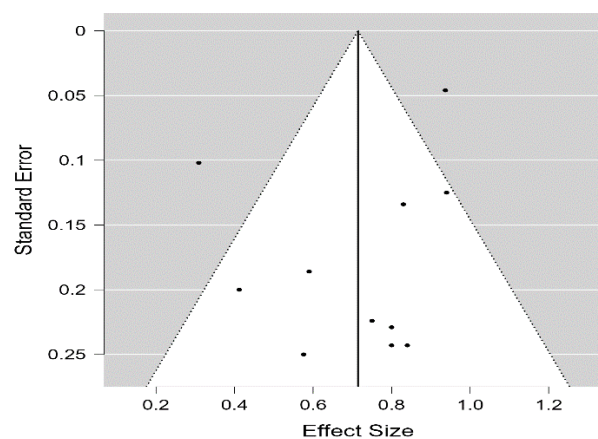
berpikir kreatif siswa. Bisa juga dilihat dari hasil output JASP Funnel Plot secara rinci pada Gambar 7, Gambar 8 dan Gambar 9.



Gambar 7. Hasil funnel plot tingkat perguruan tinggi



Gambar 8. Hasil funnel plot tingkat sekolah menengah atas



Gambar 9. Hasil funnel plot tingkat sekolah menengah pertama

Berdasarkan *funnel plot* pada Gambar 7, 8, dan 9 dilihat bahwa pada tingkat Perguruan Tinggi, Sekolah Menengah Atas, dan Sekolah Menengah Peetama tidak ada penelitian yang hilang ditandai lingkaran terbuka, seluruh lingkaran tertutup. Laboratorium virtual adalah program simulasi komputer yang dirancang seperti laboratorium nyata untuk mendemonstrasikan suatu

konsep materi pembelajaran dengan tujuan tertentu yang dapat meningkatkan kemampuan berpikir kreatif siswa, bisa dilihat nilai summary effect untuk keseluruhan data sebesar 0.76 atau 76% dengan kategori efek tinggi. Hal ini sejalan dengan penelitian yang dilakukan oleh Al-nakhle (2022); Sahfitri et al (2019); Abdjula & Ntobuo (2018) dapat meningkatkan kemampuan berpikir kreatif siswa dengan hasil penelitian diperoleh nilai rata-rata sebesar 97% atau 0.97, 78.5% atau 0.785, 86% atau 0.86 dengan kategori efek tinggi. Dilihat juga pada jenjang Perguruan Tinggi sebesar 0.74 atau sebesar 74%, hal ini sesuai dengan penelitian Ramadhany et al. (2022) yang menyebutkan bahwa laboratorium virtual dapat meningkatkan kemampuan berpikir kreatif siswa dengan nilai sebesar 75% atau 0.75, selanjutnya pada jenjang Sekolah Menengah Atas dengan nilai sebesar 79% atau 0.79, hal ini sesuai dengan penelitian Sari et al. (2022); Widiarini et al. (2021) bahwa nilai rata-rata sebesar 79.3% atau 0.793, 79% atau 0.79 dengan kategori efek tinggi, dan selanjutnya terdapat nilai pada jenjang Sekolah Menengah Pertama sebesar 71% atau 0.71, hal ini sesuai dengan penelitian Rambega (2018) yang menyebutkan bahwa laboratorium virtual dapat meningkatkan kemampuan berpikir kreatif siswa dengan nilai sebesar 72% atau 0.72 kategori sedang.

D. Simpulan dan Saran

Penelitian ini digunakan untuk merangkum bukti-bukti dari banyaknya penelitian sebelumnya yang menganalisis pengaruh laboratorium virtual dalam meningkatkan kemampuan berpikir kreatif siswa. Dari data yang sudah dianalisis terdapat rata-rata pengaruh laboratorium virtual dalam meningkatkan kemampuan berpikir kreatif siswa sebesar 0.76 atau 76%. Sedangkan 24% nya dipengaruhi oleh variabel lainnya. Lebih rincinya, pada jenjang Perguruan Tinggi sebesar 0.74 atau sebesar 74%, berarti laboratorium virtual memiliki pengaruh terhadap kemampuan berpikir kreatif siswa, pada jenjang Sekolah Menengah Atas nilai RE Model sebesar 0.79, artinya pengaruh laboratorium virtual terhadap kemampuan berpikir kreatif siswa sebesar 79%, dan selanjutnya terdapat nilai RE Model pada jenjang Sekolah Menengah Pertama sebesar 0.71. Artinya pengaruh laboratorium virtual dalam meningkatkan kemampuan berpikir kreatif sebesar 71%. Saran yang bisa diberikan adalah jika ada penelitian lanjutan, maka laboratorium virtual harus digandengkan dengan variabel lainnya, karena laboratorium virtual 24% dipengaruhi oleh variabel lainnya. Penelitian lanjutan bisa menambah data penelitian.

Daftar Pustaka

- Abdjula, T., & Ntobuo, N. (2018). Developing Device of Learning Based on Virtual Laboratory through Phet Simulation for Physics Lesson with Sound Material. *International Journal of Sciences: Basic and Applied Research (IJSBAR)*, 39, 105–115. <https://gssrr.org/index.php?journal=JournalOfBasicAndApplied>
- Akbar, M., & Budiarti, I. S. (2022). Analysis of Higher Order Thinking Skills (HOTs) on Simple Harmonic Motion Concept Using Virtual Laboratory Based on VBA Excel Study in Physics Education Students of Universitas Cenderawasih. *630(Icetek 2021)*, 81–90. Doi:10.2991/assehr.k.220103.014
- Al-nakhle, H. (2022). *The effectiveness of scenario-based virtual laboratory simulations to improve learning outcomes and scientific report writing skills*. 1–13. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0277359>
- Andini, S., & Rusmini, R. (2022). Project-based learning model to promote students critical and creative thinking skills. *Jurnal Pijar Mipa*, 17(4), 525–532. <https://doi.org/10.29303/jpm.v17i4.3717>
- Darojat, A. (2022). Studi literatur efektivitas penggunaan virtual laboratory dalam pembelajaran kimia secara luring. *INCARE : International Journal of Educational Resources.*, 03(03).

- Dwikoranto, & Widiasih. (2023). *Utilization Virtual Laboratory in Physics Learning : Bibliometric Analysis*. 4(1), 123–133. <https://doi.org/10.59689/incare.v3i3.494>
- Dwiranata, D., Pramita, D., & Syaharuddin, S. (2019). Pengembangan Media Pembelajaran Matematika Interaktif Berbasis Android Pada Materi Dimensi Tiga Kelas X SMA. *Jurnal Varian*, 3(1), 1–5. <https://doi.org/10.30812/varian.v3i1.487>
- Erdawati, N., Ridha, H., Risnawati, & Granita. (2019). Pengembangan Lembar Kerja Siswa Berbasis Pendekatan Open-Ended untuk Memfasilitasi Kemampuan Berpikir Kreatif Matematis Siswa Madrasah Tsanawiyah. *Jurnal Mercumatika: Jurnal Penelitian Matematika Dan Pendidikan Matematika*, 4(2548-1819). <https://doi.org/10.26486/jm.v4i1.500>
- Febriyandi, F., & Andromeda. (2019). Pengembangan E-Modul Berbasis Inkuiri Terbimbing Terintegrasi Laboratorium Virtual Pada Materi Sistem Koloid Kelas XI SMA / MA. *Journal, Edukimia*, 1(2), 24–30. <http://edukimia.ppj.unp.ac.id/ojs/index.php/edukimia/article/view/31>
- Fuldiaratman, Rusdi, M., Harizon, Dewi, F., & Ekaputra, F. (2023). Pelatihan Pengembangan Media Laboratorium Virtual Berbasis Aplikasi Construct Bagi Guru SMA Negeri 5 Muaro Jambi Program Studi Pendidikan Kimia FKIP Universitas Jambi menawarkan alternatif untuk Aplikasi construct merupakan suatu aplikasi berbasis Hyper T. 3(3), 1346–1353. doi:10.33379/icom.v3i3.3145
- Gunawan, G., Susilawati, Dewi, S. M., Herayanti, L., Lestari, P. A. S., & Fathoroni, F. (2020). *Gender Influence on Students Creativity in Physics Learning with Virtual Laboratory Gender Influence on Students Creativity in Physics Learning with Virtual Laboratory*. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1471/1/012036>
- Irawan, F., Zubaidah, S., Sulisetijono, & Astriani, M. (2021). Does Remap-STAD have the potential to promote students' creative thinking skills. *AIP Conference Proceedings*, 2330(March). <https://doi.org/10.1063/5.0043179>
- Isroqmi, A., & Septiati, E. (2023). Pemanfaatan E-learning Moodle Sebagai Laboratorium Matematika Virtual di Universitas PGRI Palembang. 5(2), 244–254. doi: 10.31851/indiktika.v5i2.11653
- Majda, L., Ibrahim, N., Waspodo, M., & Khaldun, U. I. (2023). Pengaruh penggunaan media pembelajaran laboratorium virtual dan motivasi peserta didik terhadap hasil belajar ipa fisika di smpt ar rahmah cijeruk bogor. *Jurnal teknologi pendidikan*, 12/2 <https://ejournal2.uika-bogor.ac.id/index.php/TEK/article/view/163>
- Makiyah, Y. S., Malik, A., Susanti, E., & Mahmudah, I. R. (2019). *Higher Order Thinking Real and Virtual Laboratory (HOTRVL) untuk Meningkatkan Keterampilan Abad Ke-21 Mahasiswa Pendidikan Fisika*. 1(1), 34–38. <http://103.123.236.7/index.php/Diffraction/article/viewFile/807/524>
- Mariko, S., Ajeng, E., Pinahayu, R., Putu, L., & Adnyani, W. (2022). Pemanfaatan digital virtual laboratory pada kelompok masyarakat RT . 09 / 03 Pondok Rangan Kota Jakarta Timur dilaksanakan oleh Tim PKM Unindra , yang menjadi Mitra PKM / sasaran kegiatan proses pembelajaran. 05(5), 598–606.
- Muhajarah, K., & Sulthon, M. (2020). *Pengembangan Laboratorium Virtual sebagai Media Pembelajaran : Peluang dan Tantangan*. 3(2), 77–83.
- Murnilasari, Y., Widyasari, O. A., & Oktaviani, R. (2021). *Seminar Nasional PGMI 2021 Efektivitas Pengembangan Metode Eksperimen berbasis Laboratorium Virtual PhET dalam Pembelajaran IPA Materi Rangkaian Listrik pada Masa Pandemi kehidupan manusia , yang mampu mempersiapkan warga*. 428–445.
- Nurfidah. (2021). Penerapan pembelajaran berbasis laboratorium virtual dengan bantuan aplikasi rekam layar pada materi routing. *Jurnal Inovasi Pendidikan Kejuruan*, 1. doi:10.51878/vocational.v1i3.349
- Quraisy, A., Muzaini, M., Ilhamsyah, & Gaffar, A. (2023). Pemanfaatan laboratorium virtual dalam pembelajaran matematika. *Abdimas Indonesia*, 3(3). doi:10.53769/jai.v3i3.514
- Rambega, L. U. (2018). Implementasi Media Laboratorium Virtual Pada Pendekatan Kooperatif Terhadap Peningkatan Kreativitas Fisika Mahasiswa STMIK Handayani Makassar. *Jurnal Pendidikan Mipa*, 8(2), 137–141. <https://doi.org/10.37630/jpm.v8i2.66>
- Rani, S. A., Mundilarto, Warsono, & Dwandaru, W. S. B. (2019). Physics virtual laboratory : an innovative media in 21 st century learning Physics virtual laboratory : an innovative media in 21 st century learning. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1321/2/022026>
- Sahfitri, N., Darvina, Y., Masril, & Hidayati. (2019). Efektivitas lks untuk virtual laboratory pada materi fluida. *Pillar of Physics Education*, 12(1), 129–136. doi: 10.24036/4786171074

- Sari, R. T., Angreni, S., & Salsa, F. J. (2022). Pengembangan Virtual-Lab Berbasis STEM Untuk Meningkatkan Keterampilan Berpikir Kritis Mahasiswa. *Jurnal Pendidikan Sains Indonesia*, 10(2), 391–402. <https://doi.org/10.24815/jpsi.v10i2.23833>
- Sari, P. P., & Slamet, I. (2019). Profile of physics laboratory-based higher order thinking skills (HOTs) in Indonesian high schools Profile of physics laboratory-based higher order thinking skills (HOTs) in Indonesian high schools. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1280/5/052053>
- Satria, R. P., & Sahidu, H. (2020). Pengembangan perangkat pembelajaran fisika model inkuiri terbimbing berbantuan laboratorium virtual untuk meningkatkan keterampilan berpikir kreatif peserta didik. *ORBITA: Jurnal pendidikan dan ilmu fisika*, 6(November), 221–224.
- Siburian, J., Corebima, A. D., Ibrohim, & Saptasari, M. (2019). The correlation between critical and creative thinking skills on cognitive learning results. *Eurasian Journal of Educational Research*, 2019(81), 99–114. <https://doi.org/10.14689/ejer.2019.81.6>
- Siradjudin, N., Suratno, J., Studi, P., Biologi, P., Khairun, U., Studi, P., Matematika, P., Khairun, U., Studi, P., Guru, P., Dasar, S., Khairun, U., & Komunikasi, K. (2020). *Pengembangan laboratorium virtual biologi berbasis science , technology , engineering , and mathematics (stem) untuk*. 5(2), 71–76.
- Subandi, A., Wiyanarti, E., & Ratmaningsih, N. (2018). Use of Learning Model Cooperative Learning Type Team Games Tournament (TGT) to Improve Interpersonal Intellegence of Students in Social Studies Learning . *International Journal Pedagogy of Social Studies*, 3(1), 21–27.
- Syahrudin, Fatmawati, & Suprajitno, H. (2022). A meta-analysis of the implementation of ANN back propagation methods in time series data forecasting: Case studies in Indonesia. *AIP Conference Proceedings*, 2633. <https://doi.org/10.1063/5.0102174>
- Tupalessy, A., Kereh, C. T., & Singerin, S. (2022). *Penggunaan laboratorium virtual phet dalam model discovery learning pada materi*. 3, 47–55.
- Ubaidillah, M., Marwoto, P., & Subali, B. (2022). *Higher Order Thinking Laboratory (HOT Lab) -Based Physics Learning : A Systematic Literature Review*. 96–107.
- Usman, M., Suyanta, & Huda, K. (2021). *Virtual lab as distance learning media to enhance student's science process skill during the COVID-19 pandemic*. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1882/1/012126>
- Wahyuni, M. (2018). Meta Analisis Assesmen Formatif Di Pendidikan Tinggi. *Jurnal Cendekia : Jurnal Pendidikan Matematika*, 2(1), 62–69. <https://doi.org/10.31004/cendekia.v2i1.33>
- Wang, Y., Lavonen, J., & Tirri, K. (2018). Aims for learning 21st century competencies in national primary science Curricula in China and Finland. *Eurasia Journal of Mathematics, Science and Technology Education*, 14(6), 2081–2095. <https://doi.org/10.29333/ejmste/86363>
- Widiarini, P., Pramadi, I. P. W. Y., & Mardana, I. B. P. (2021). Pengaruh Model Pembelajaran Berbasis Proyek Berbantu Lab Virtual Terhadap Kreativitas Mahasiswa. *ORBITA. Jurnal Hasil Kajian, Inovasi, Dan Aplikasi Pendidikan Fisika*, 7(1), 25–29.
- Wulansari Ramadhany, F., Hakim, A., & Sulaeman, N. (2022). Analisis Penguasaan Konsep Siswa pada Materi Elastisitas dan Hukum Hooke dengan Pembelajaran Discovery Learning Berbantuan Laboratorium Virtual PhET (The Physics education Technology). *Jurnal Literasi Pendidikan Fisika (JLPF)*, 3(2), 165–175. <https://doi.org/10.30872/jlpf.v3i2.1477>
- Yuniarti, A., Yeni, L. F., & Lestari, D. P. (2021). *The development of prototype virtual laboratory through biology , technology , engineering , and The development of prototype virtual laboratory through biology , technology , engineering , and mathematics (BTEM)*. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1806/1/012171>