



## Integrasi Pembelajaran Discovery STEM Learning dan V-Lab pada Materi Pesawat Sederhana untuk Meningkatkan Pemahaman Konsep Siswa dan Keterampilan Kolaborasi

Wahyu Sugiarto<sup>1</sup>; Sabar Nurrohma<sup>2</sup>; Ismail Fikri Natiadiwijaya<sup>3</sup>; Herlina Damayanti<sup>4</sup>

<sup>1,2,3</sup>Universitas Negeri Yogyakarta, Yogyakarta, Indonesia

<sup>4</sup>Sekolah Menengah Pertama Negeri 11 Yogyakarta, Yogyakarta, Indonesia

<sup>1</sup>Correspondence Email: [wahyusugiarto97@guru.smp.belajar.id](mailto:wahyusugiarto97@guru.smp.belajar.id)

### Article Info

Received: November 25, 2025

Accepted: March 8, 2026

Published: March 30, 2026

### Keywords

Discovery Learning;  
STEM;  
Virtual Laboratory.

### Abstract

*Understanding concepts and collaboration skills are very important to develop in supporting 21st century education. This study aims to analyze the effectiveness of Discovery Learning with a STEM approach integrated with a virtual laboratory on the topic of simple machines in improving conceptual understanding and collaboration skills among eighth-grade junior high school students. The study employed a one-group pretest-posttest experimental design involving 31 students. Data were collected through a conceptual understanding test and a collaboration questionnaire, and were analyzed using descriptive statistics, the Shapiro-Wilk test, the paired sample t-test, Cohen's d effect size, and N-Gain. The results showed an increase in the average conceptual understanding score from 55.16 to 64.52, and in collaboration from 37.00 to 39.53. The paired t-test yielded Sig. (2-tailed) values of 0.001 for conceptual understanding and 0.000 for collaboration, indicating significant differences. The effect size values of 0.80 (conceptual understanding) and 1.07 (collaboration) fall into the large category, while the N-Gain scores of 0.21 and 0.17 are categorized as low. These findings indicate that Discovery Learning with a STEM approach is effective in enhancing conceptual understanding and collaboration, although the relative improvement toward the maximum score still needs to be further optimized.*

Kata Kunci	Abstrak
Penemuan Pembelajaran: STEM; Laboratorium Virtual.	<p><i>Pemahaman konsep dan keterampilan kolaborasi sangat penting dikembangkan dalam mendukung pendidikan abad 21. Penelitian ini bertujuan menganalisis efektivitas pembelajaran Discovery Learning berpendekatan STEM yang dipadukan dengan virtual laboratory pada materi pesawat sederhana dalam meningkatkan pemahaman konsep dan keterampilan kolaborasi siswa kelas VIII SMP. Penelitian menggunakan desain eksperimen satu kelompok pretest–posttest pada 31 siswa. Data dikumpulkan melalui tes pemahaman konsep dan angket kolaborasi, kemudian dianalisis menggunakan statistik deskriptif, uji Shapiro–Wilk, uji Paired Sample t-Test, effect size Cohen’s d, dan N-Gain. Hasil menunjukkan peningkatan rata-rata pemahaman konsep dari 55,16 menjadi 64,52 dan kolaborasi dari 37,00 menjadi 39,53. Uji t berpasangan menghasilkan Sig. (2-tailed) 0,001 untuk pemahaman konsep dan 0,000 untuk kolaborasi, menandakan perbedaan yang signifikan. Nilai effect size sebesar 0,80 (konsep) dan 1,07 (kolaborasi) berada pada kategori besar, sedangkan N-Gain masing-masing 0,21 dan 0,17 termasuk kategori rendah. Temuan ini menunjukkan bahwa Discovery Learning berpendekatan STEM efektif meningkatkan pemahaman konsep dan kolaborasi, meskipun peningkatan relatif terhadap skor maksimum masih perlu dioptimalkan.</i></p>

**A. Pendahuluan**

Ilmu Pengetahuan Alam (IPA) merupakan wahana penting untuk mengembangkan kemampuan peserta didik menyelidiki fenomena alam secara ilmiah melalui kegiatan mengamati, mengumpulkan data, menganalisis, dan menarik kesimpulan berbasis bukti, sekaligus membangun literasi sains yang relevan dengan kehidupan sehari-hari dan pengambilan keputusan. Sejalan dengan itu, pemahaman konsep IPA dipandang sebagai fondasi utama karena menentukan sejauh mana peserta didik mampu menjelaskan fenomena, menafsirkan informasi ilmiah, serta memecahkan masalah secara bermakna dalam konteks Kurikulum Merdeka (Janah & Hidayati, 2025). Berbagai studi mutakhir menunjukkan bahwa rata-rata pemahaman konsep IPA siswa di berbagai jenjang masih berada pada kategori sedang hingga rendah, sehingga diperlukan inovasi pembelajaran yang lebih berpusat pada siswa untuk meningkatkan kedalaman pemahaman (Febriyana et al., 2021; Lestari & Fitriani, 2023). Temuan lain juga mengungkap bahwa miskonsepsi pada berbagai topik IPA seperti sistem reproduksi, gaya, suhu, dan kalor – masih cukup tinggi dan bersifat resisten, sehingga jika tidak diidentifikasi dan diremediasi secara sistematis akan menghambat pembentukan pengetahuan ilmiah yang benar pada tahap pembelajaran berikutnya (Amin et al., 2022; Hastuti et al., 2025; Ningkaula et al., 2021).

Materi pesawat sederhana termasuk topik IPA yang sering menimbulkan miskonsepsi. Penelitian Sari et al., (2018) menunjukkan bahwa 60% peserta didik tidak memahami konsep pesawat sederhana secara tepat. Beberapa bentuk miskonsepsi pada sub konsep usaha antara lain anggapan bahwa besar usaha hanya ditentukan oleh gaya tanpa mempertimbangkan perpindahan, serta keyakinan bahwa arah perpindahan tertentu selalu menghasilkan usaha positif atau negatif. Kondisi ini menunjukkan perlunya inovasi pembelajaran yang mampu membantu peserta didik mengonstruksi pemahaman konsep secara lebih mendalam dan bermakna.

Berbagai metode pembelajaran telah diterapkan, termasuk demonstrasi dan eksperimen langsung (*hands-on*). Eksperimen *hands-on* memberikan pengalaman belajar autentik serta melatih keterampilan proses sains melalui interaksi langsung dengan alat dan bahan (Nursa'ban et al., 2025). Namun, eksperimen langsung membutuhkan fasilitas laboratorium yang memadai, dapat memakan waktu, dan mengandung risiko keselamatan tertentu. Selain itu, tidak semua sekolah memiliki sarana laboratorium yang lengkap sehingga pelaksanaannya sering tidak optimal.

Perkembangan teknologi digital menghadirkan alternatif berupa *virtual laboratory*. Laboratorium virtual memungkinkan peserta didik melakukan eksperimen dalam simulasi interaktif yang aman, fleksibel, dan dapat diulang tanpa batas. Virtual lab juga mampu memvisualisasikan konsep abstrak yang sulit diamati secara langsung, sehingga membantu mengurangi miskonsepsi (Herlina et al., 2025). Namun demikian, penggunaan virtual lab memiliki keterbatasan pada aspek pengalaman nyata dan keterampilan psikomotorik yang tidak sepenuhnya dapat digantikan oleh simulasi komputer.

Perubahan paradigma pembelajaran abad 21 menuntut digunakannya pendekatan yang mengintegrasikan pengetahuan, keterampilan, dan teknologi secara terpadu. Pendekatan *Science, Technology, Engineering, and Mathematics* (STEM) menjadi salah satu alternatif yang relevan karena mampu mendorong peserta didik berpikir kritis, kreatif, kolaboratif, dan mampu memecahkan masalah secara kontekstual (Sumarno et al., 2021; Z et al., 2022). Integrasi STEM dengan penggunaan virtual lab maupun eksperimen *hands-on* dipandang berpotensi meningkatkan pemahaman konsep sekaligus mengurangi miskonsepsi pada materi pesawat sederhana.

Meskipun berbagai penelitian telah mengkaji pemanfaatan pendekatan STEM, *virtual laboratory*, maupun eksperimen *hands-on* secara terpisah, masih terdapat kesenjangan penelitian pada integrasi ketiganya dalam kerangka *Discovery Learning* yang sistematis, khususnya pada materi pesawat sederhana di jenjang SMP. Sejumlah studi

melaporkan bahwa pendekatan STEM efektif meningkatkan keterampilan berpikir kritis dan pemecahan masalah (Bybee, 2015; Sumarno et al., 2021), sementara virtual laboratory terbukti membantu visualisasi konsep abstrak dan mengurangi miskonsepsi (Herlina et al., 2025). Namun demikian, penelitian yang secara eksplisit memadukan sintaks *Discovery Learning* yang menekankan proses stimulasi, identifikasi masalah, pengumpulan data, pengolahan data, verifikasi, dan generalisasi dengan integrasi STEM dan dukungan V-Lab masih relatif terbatas (Baiti et al., 2025).

Sebagian besar penelitian lebih berfokus pada peningkatan hasil belajar kognitif, sedangkan aspek keterampilan kolaborasi sebagai kompetensi abad ke-21 belum banyak dikaji secara simultan dalam satu desain intervensi pembelajaran (Lubis & Jayanti, 2025; Rilianti et al., 2023). Kesenjangan ini menunjukkan perlunya penelitian komprehensif yang tidak hanya mengukur pemahaman konsep, tetapi juga keterampilan kolaboratif siswa dalam konteks pembelajaran inovatif berbasis teknologi.

Dari sisi teoretis, *Discovery Learning* berakar pada teori konstruktivisme yang dikembangkan oleh (Bruner, 1961), yang menegaskan bahwa pengetahuan akan lebih bermakna ketika ditemukan sendiri melalui proses eksplorasi dan penemuan. Dalam pendekatan ini, peserta didik didorong untuk aktif membangun konsep melalui pengalaman langsung dan interaksi dengan lingkungan belajar. Prinsip tersebut sejalan dengan pandangan konstruktivisme kognitif Piaget (1976) yang menekankan pentingnya proses asimilasi dan akomodasi dalam pembentukan struktur kognitif baru. Pada materi pesawat sederhana, pendekatan ini relevan karena memungkinkan siswa menguji hubungan antara gaya, usaha, dan keuntungan mekanik melalui kegiatan investigatif, sehingga miskonsepsi yang bersifat resisten dapat direstrukturisasi secara bertahap. Dengan demikian, integrasi *Discovery Learning* dalam kerangka STEM berbantuan V-Lab berpotensi memperkuat proses konstruksi pengetahuan secara konseptual sekaligus kontekstual.

Integrasi *Discovery Learning* dengan pendekatan STEM dan V-Lab juga didukung oleh perspektif konstruktivisme sosial (Vygotsky, 1978), yang menekankan peran interaksi sosial dan scaffolding dalam Zona Perkembangan Proksimal (ZPD). Dalam konteks pembelajaran kolaboratif, diskusi kelompok saat merancang dan menguji model pesawat sederhana – baik melalui simulasi virtual maupun eksperimen hands-on – memberikan ruang bagi negosiasi makna dan argumentasi ilmiah. Hal ini relevan dengan tuntutan kompetensi abad ke-21 yang mencakup kemampuan berpikir kritis, kreativitas, kolaborasi, dan komunikasi (4C).

Berdasarkan kondisi tersebut, diperlukan penelitian yang mengkaji efektivitas inovasi pembelajaran berbasis STEM dengan memanfaatkan kombinasi virtual lab dan aktivitas *hands-on* untuk meningkatkan pemahaman konsep peserta didik pada materi pesawat sederhana. Penelitian ini penting dilakukan mengingat masih tingginya miskonsepsi yang terjadi serta kebutuhan akan model pembelajaran yang adaptif terhadap perkembangan teknologi dan tuntutan pembelajaran abad 21.

## B. Metode

Penelitian ini menggunakan metode penelitian eksperimen. Penelitian eksperimen adalah jenis penelitian secara langsung mencoba mempengaruhi variable tertentu (Fraenkel et al., 2022). Menurut Sugiyono (2016) metode penelitian eksperimen diartikan sebagai metode penelitian yang digunakan untuk mencari pengaruh perlakuan tertentu terhadap yang lain dalam kondisi yang terkendali.

Terdapat beberapa bentuk desain penelitian eksperimen yang dapat digunakan dalam sebuah penelitian, yaitu: *Pre-Experimental Design*, *True Experimental Design*, *Factorial Design*, dan *Quasi Eksperimental Design* (Sugiyono, 2016). Adapun jenis desain penelitian eksperimen yang digunakan dalam penelitian ini *Pre-Experimental Design*.

$$(O_1) \times (O_2)$$

Gambar 1. Perlakuan kelas

Keterangan:

$O_1$  = Pretest (test awal sebelum perlakuan)

X = Perlakuan

$O_2$  = Posttest (test akhir setelah perlakuan)

Ellianawati et al., (2025) mengatakan bahwa *One-Group Pretest-Posttest* memiliki rancangan *pretest* dan *posttest* pada kelompok Tunggal:

1. Rancangan ini hanya satu kelompok saja yang diberikan pretest dan posttest
2. Terlebih dahulu melakukan pengetahuan awal, dilanjutkan pemberian perlakuan dan dilakukan posttest.
3. Selisih antara hasil pretest dan posttest dinilai sebagai efek perlakuan eksperimen.

Subjek penelitian ini adalah kelas VIII B SMPN 11 Yogyakarta semester 1 tahun ajaran 2025/2026. Instrumen penelitian adalah alat untuk mengumpulkan data yang

diperlukan dalam penelitian atau alat evaluasi untuk memperoleh data tentang sesuatu yang diteliti Afnan et al., (2025). Instrumen yang digunakan adalah lembar observasi, dan soal pretest-posttest.

Teknik analisis data merupakan langkah yang digunakan untuk menyederhana data yang sudah dikumpulkan secara akurat. Data yang diperoleh dalam penelitian ini berupa data kuantitatif hasil tes pemahaman konsep siswa. Data kuantitatif merupakan metode penelitian yang berlandaskan positivistic (data konkret), data penelitian berupa angka-angka yang akan diukur menggunakan statistik sebagai alat uji penghitungan, berkaitan dengan masalah yang diteliti untuk menghasilkan suatu kesimpulan (Sugiyono, 2016).

Pada penelitian ini, analisis data dilakukan melalui beberapa tahapan. Pertama, dilakukan analisis statistik deskriptif untuk memperoleh gambaran nilai rata-rata (*mean*), standar deviasi, nilai minimum, dan maksimum hasil pretest dan posttest. Kedua, dilakukan uji normalitas menggunakan uji Shapiro-Wilk untuk mengetahui apakah data berdistribusi normal sebagai dasar dalam menentukan uji statistik lanjutan. Ketiga, karena data berdistribusi normal, digunakan uji Paired Sample t-Test untuk mengetahui perbedaan yang signifikan antara nilai pretest dan posttest siswa setelah diterapkan model pembelajaran *Discovery Learning* berpendekatan STEM (Stylianidou et al., 2018).

Selain itu, untuk mengetahui besarnya pengaruh perlakuan, dilakukan perhitungan *effect size* menggunakan rumus Cohen's d. Selanjutnya, untuk mengetahui tingkat peningkatan pemahaman konsep siswa secara lebih mendalam, dilakukan analisis *normalized gain* (N-Gain) yang digunakan untuk mengukur peningkatan skor pembelajaran relatif terhadap skor maksimum yang dapat dicapai.

### C. Hasil dan Pembahasan

Penelitian ini dilaksanakan di SMPN 11 Yogyakarta pada siswa kelas VIII B yang berjumlah 31 orang dengan tujuan menganalisis peningkatan pemahaman konsep dan keterampilan kolaborasi pada materi Pesawat Sederhana melalui penerapan *Discovery Learning* berpendekatan STEM berbantuan *virtual laboratory*. Hasil analisis deskriptif pada tabel 1 menunjukkan bahwa rerata pemahaman konsep meningkat dari 55,16 (SD = 10,12) pada pretest menjadi 64,52 (SD = 13,06) pada posttest dengan selisih 9,36 poin. Pada aspek kolaborasi, rerata skor meningkat dari 37,00 menjadi 39,53 dengan selisih 2,53 poin. Uji normalitas Shapiro-Wilk menunjukkan data berdistribusi normal ( $p > 0,05$ ), sehingga digunakan uji paired sample t-test. Hasil uji menunjukkan nilai signifikansi  $p = 0,001$

untuk pemahaman konsep dan  $p < 0,001$  untuk kolaborasi, yang berarti terdapat perbedaan signifikan antara sebelum dan sesudah perlakuan.

Tabel 1. Hasil statistik deskriptif

Tahap	N	Mean	SD	Min	Maks
Pretest Pemahaman konsep	31	55.16	10.12	35	70
Posttest Pemahaman konsep	31	64.52	13.06	40	90
Pretest kolaborasi	31	37.00	14.79	28	57
Posttest kolaborasi	31	39.53	15.75	30	59

Hasil pretest dan posttest menunjukkan adanya peningkatan nilai rata-rata pemahaman konsep siswa. Terjadi peningkatan nilai rata-rata sebesar 9,36 poin, menunjukkan adanya peningkatan kemampuan siswa setelah perlakuan untuk pemahaman konsep, sedangkan untuk kemampuan kolaborasi meningkat 2,53 Poin.

Tabel 2. Hasil uji Shapiro-Wilk

Tahap	Statistic	df	Sig.
Pretest pemahaman konsep	.944	31	.105
Posttest pemahaman konsep	.967	31	.448
Pretest kolaborasi	.949	31	.163
Posttest kolaborasi	.950	31	.169

Data berdistribusi normal ( $\text{sig} > .005$ ) sehingga analisis dapat dilanjutkan menggunakan uji parametrik.

Tabel 3. Hasil Uji Paired Sample T-Test

Tahap	Mean	Std.Deviation	df	Sig. (2-tailed)
Pre-Post Pemahaman Konsep	-9.355	10.935	31	.001
Pre-Post Kolaborasi	2.53	5.68	31	.000

Nilai  $p < 0,001$  menunjukkan bahwa terdapat perbedaan yang signifikan antara hasil pretest dan posttest. Dengan demikian, pembelajaran *Discovery Learning* berpendekatan STEM berpengaruh signifikan terhadap peningkatan pemahaman konsep siswa.

Uji *effect Size* merupakan uji statistik tindakan lanjut dengan tujuan untuk mengetahui berapa besar pengaruh perlakuan. Dihitung menggunakan rumus Cohen's:

$$SD_{pooled} = \sqrt{\frac{(SD_{pre})^2 + (SD_{post})^2}{2}} = \sqrt{136.47} \approx 11.68$$

$$d = \frac{M_{post} - M_{pre}}{SD_{pooled}} = \frac{9.36}{11.68} \approx 0.80$$

Nilai 0.80 termasuk kategori efek besar, yang berarti penerapan model memberikan pengaruh kuat terhadap peningkatan kemampuan siswa. Keterampilan kolaborasi setelah uji effect Size menghasilkan skor 1.07. Jika dimasukkan dalam kategori menurut Cohen's termasuk kategori besar (*large effect*).

Besarnya pengaruh perlakuan dianalisis menggunakan effect size berdasarkan klasifikasi (Cohen, 1988). Nilai effect size sebesar 0,80 untuk pemahaman konsep dan 1,07 untuk kolaborasi termasuk kategori large effect, menunjukkan bahwa intervensi memberikan dampak kuat terhadap kedua variabel tersebut. Namun demikian, analisis N-Gain berdasarkan kriteria Hake (1998) menunjukkan nilai 0,21 untuk pemahaman konsep dan 0,17 untuk kolaborasi yang berada pada kategori rendah. Perbedaan antara effect size dan N-Gain ini mengindikasikan bahwa meskipun perubahan signifikan dan berdampak besar secara statistik, peningkatan relatif terhadap skor maksimum masih terbatas. Secara pedagogis, kondisi ini dapat dipengaruhi oleh durasi intervensi yang relatif singkat, adaptasi siswa terhadap pembelajaran eksploratif, serta belum terbentuknya budaya kolaboratif yang kuat di jenjang SMP.

Uji N-Gain digunakan untuk melihat rata-rata seberapa besar peningkatan pemahaman konsep siswa. Rumus yang digunakan yaitu:

$$g = \frac{\text{posttest} - \text{pretest}}{100 - \text{pretest}} = \frac{64.52 - 55.16}{100 - 55.16} = 0.21$$

Kategori N-Gain adalah rendah, yang menunjukkan bahwa peningkatan relatif terhadap skor maksimum masih terbatas. Sedangkan untuk kemampuan kolaborasi siswa juga memperoleh kategori rendah dengan skor N-gain 0.17.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa pembelajaran Discovery Learning berpendekatan STEM mampu meningkatkan pemahaman konsep siswa pada materi Pesawat Sederhana. Hal ini terlihat dari peningkatan nilai rata-rata pretest-posttest siswa sebesar 9.355 Uji paired sampel t-test menunjukkan nilai Sig. (2-tailed) = 0.001 < 0,05, sehingga terdapat perbedaan yang signifikan antara hasil belajar sebelum dan sesudah perlakuan. Temuan ini menegaskan bahwa pendekatan *Discovery Learning* berpendekatan STEM efektif dalam meningkatkan pemahaman konsep siswa.

Pembahasan hasil penelitian ini dapat dianalisis melalui tiga perspektif teori relevan, yaitu intrinsik (kognitif-individual), sosial (interaksi), dan masa depan (STEM dan kompetensi global). Dari perspektif intrinsik, peningkatan pemahaman konsep selaras

dengan teori konstruktivisme kognitif Piaget (1976) yang menegaskan bahwa pengetahuan dibangun melalui proses asimilasi dan akomodasi. Dalam *Discovery Learning*, siswa mengalami konflik kognitif ketika menguji konsep gaya dan keuntungan mekanik melalui proyek katrol. Konflik tersebut mendorong restrukturisasi skema kognitif sehingga terjadi perubahan konseptual. *Effect size* yang besar menunjukkan bahwa proses konstruksi pengetahuan berjalan efektif. Namun, rendahnya N-Gain mengindikasikan bahwa perubahan konseptual belum sepenuhnya mendalam, kemungkinan karena waktu eksplorasi terbatas atau refleksi belum optimal.

Penelitian intervensional dan meta-analitik terkini menunjukkan bahwa strategi yang memicu konflik kognitif yakni menimbulkan ketidaksesuaian antara gagasan awal siswa dan bukti atau fenomena baru yang berkontribusi secara konsisten terhadap restrukturisasi pengetahuan siswa serta peningkatan pemahaman konsep dan literasi sains dalam berbagai konteks pembelajaran sains. Meta-analisis komprehensif menemukan bahwa *conceptual change strategies* yang mencakup penciptaan konflik kognitif menghasilkan peningkatan belajar sains secara signifikan dibandingkan dengan metode konvensional, diukur melalui peningkatan performa konseptual siswa (Pacaci et al., 2024). Penelitian lain mengintegrasikan konflik kognitif dengan *generative learning* dalam pembelajaran fisika, mendemonstrasikan bahwa kerangka instruksional yang memanfaatkan konflik kognitif sistematis mampu memperluas pemahaman ilmiah siswa sekaligus menguatkan proses konstruksi pengetahuan yang lebih eksplisit dan berorientasi pada kompetensi sains abad 21 (Akmam et al., 2025). Selain itu, integrasi konflik kognitif dalam desain pembelajaran C-STEAM menunjukkan hubungan positif dengan peningkatan kemampuan berpikir kritis dan keterampilan penyelidikan ilmiah, yang selaras dengan kompetensi global dalam konteks pendidikan STEM (Safarini et al., 2026). Temuan-temuan ini konsisten dengan perspektif teoritis bahwa eksposur konflik terhadap skema kognitif awal siswa menstimulasi proses asimilasi-akomodasi yang relevan untuk perubahan konseptual dan integrasi pemahaman ilmiah.

Sweller (1988) menambahkan terkait teori beban kognitif yang menyatakan bahwa pembelajaran berbasis penemuan dapat kurang efektif apabila tidak disertai *scaffolding* yang memadai. Argumen ini diperkuat oleh (Braun, V., & Clarke, 2021) yang menyatakan bahwa pembelajaran dengan bimbingan minimal dapat meningkatkan beban kognitif sehingga menghambat pemahaman. Dengan demikian, meskipun *Discovery Learning-STEM* efektif, penguatan pada aspek *scaffolding* sistematis dan refleksi metakognitif sangat diperlukan agar peningkatan konseptual lebih optimal.

Dari perspektif sosial, peningkatan pemahaman konsep tidak dapat dilepaskan dari kualitas interaksi kolaboratif selama pembelajaran. Gredler (2009) menjelaskan bahwa perkembangan kognitif berlangsung melalui interaksi sosial dalam Zona Perkembangan Proksimal (ZPD), di mana dialog dan scaffolding memungkinkan siswa mencapai tingkat pemahaman yang lebih tinggi. Dalam proses perancangan dan pengujian prototipe katrol, siswa berdiskusi, membagi peran, melakukan argumentasi ilmiah, serta menegosiasikan makna konsep. Proses interpsikologis ini kemudian terinternalisasi menjadi pemahaman individu. Peningkatan kolaborasi dengan *effect size* sangat besar menunjukkan bahwa pendekatan ini efektif membangun kompetensi sosial siswa. Hal ini selaras dengan kerangka 4C (*critical thinking, creativity, collaboration, communication*) yang menjadi bagian penting dalam pembelajaran abad ke-21.

Pendekatan kolaboratif dalam pembelajaran sains telah diperkuat oleh berbagai studi yang menyoroti *interactional dynamics* dan *group-level regulation* sebagai mekanisme sosial utama yang memfasilitasi pemahaman konsep melalui keterlibatan bersama dalam diskusi dan pengaturan tugas kelompok (Vuorenmaa et al., 2025). Liu et al., (2024) dalam kajian literatur juga menunjukkan bahwa pembelajaran kolaboratif secara konsisten mendukung perkembangan kompetensi sosial dan kognitif siswa, meliputi kemampuan komunikasi, kerja tim, dan keterlibatan dalam konstruksi pengetahuan bersama melalui interaksi kelompok. Selaras dengan penelitian eksperimental pada konteks sains, model pembelajaran kolaboratif secara signifikan meningkatkan pemahaman konseptual siswa melalui diskusi sebaya, pembagian tanggung jawab, dan pemecahan masalah bersama, yang mencerminkan peran interaksi sosial intensif dalam mendukung internalisasi pemahaman individu (Mubarok et al., 2025).

Pendekatan STEM mampu memperluas pembelajaran dari sekadar penguasaan konsep menuju integrasi multidisipliner dalam memecahkan masalah nyata. Menurut Bybee (2015), pendidikan STEM meningkatkan relevansi pembelajaran dan kesiapan siswa menghadapi tantangan global. Proyek katrol pintar dalam penelitian ini menunjukkan integrasi sains, rekayasa, dan matematika dalam konteks autentik. Model ini mendukung literasi sains dan kompetensi transformatif yang diperlukan dalam era revolusi industri 4.0. Namun demikian, implementasi STEM di SMP masih menghadapi kendala struktural dan kultural, seperti keterbatasan fasilitas, kesiapan guru, dan orientasi pembelajaran yang masih berpusat pada hasil tes. Hal inilah yang menyebabkan praktik pembelajaran integratif seperti ini belum banyak diterapkan secara luas di jenjang SMP.

Penguatan melalui pendekatan STEM juga berperan penting dalam meningkatkan hasil belajar. Pendekatan STEM melibatkan integrasi pengetahuan Sains, Teknologi, Engineering, dan Matematika untuk memecahkan masalah nyata. Pada penelitian ini, penerapan proyek sederhana seperti pembuatan katrol pintar mampu memfasilitasi pemahaman konseptual siswa melalui aktivitas eksploratif dan kolaboratif.

Integrasi STEM dalam proyek katrol pintar tidak hanya menekankan penguasaan konsep gaya dan keuntungan mekanik, tetapi juga mendorong siswa menerapkan prinsip rekayasa (*engineering design process*) melalui tahapan merancang, menguji, mengevaluasi, dan memperbaiki produk. Menurut Bybee (2015), pendekatan STEM yang efektif harus menempatkan siswa dalam situasi pemecahan masalah autentik sehingga terjadi transfer pengetahuan lintas disiplin. Dalam konteks ini, konsep fisika tentang usaha dan gaya tidak dipelajari secara terpisah, melainkan diterapkan dalam desain sistem katrol yang berfungsi secara nyata. Proses tersebut memperkuat keterkaitan antara representasi matematis, prinsip ilmiah, dan solusi teknologis, sehingga pembelajaran menjadi lebih bermakna dan kontekstual.

Dari perspektif pedagogis, pendekatan ini selaras dengan teori konstruktivisme yang menekankan pembentukan pengetahuan melalui pengalaman langsung dan refleksi. (Bruner, 1961) menegaskan bahwa pembelajaran berbasis penemuan mendorong retensi konsep yang lebih kuat dibandingkan pembelajaran ekspositorik, karena siswa terlibat aktif dalam proses investigasi. Selain itu, integrasi STEM juga memperkuat dimensi kolaboratif sebagaimana dijelaskan dalam teori konstruktivisme sosial (Vygotsky, 1978), di mana interaksi antar anggota kelompok dalam merancang dan menguji prototipe menjadi wahana negosiasi makna dan pengembangan kemampuan komunikasi ilmiah.

Sintesis temuan menunjukkan bahwa penerapan proyek berbasis STEM dalam materi pesawat sederhana menciptakan ekosistem pembelajaran yang integratif: siswa membangun konsep melalui eksplorasi, mengaplikasikannya dalam desain rekayasa, serta merefleksikan hasilnya melalui diskusi kelompok. Pendekatan ini memperkuat literasi sains sekaligus kompetensi abad ke-21 (*critical thinking, creativity, collaboration, communication*). Oleh karena itu, integrasi STEM dalam pembelajaran tidak hanya meningkatkan pemahaman konseptual secara signifikan, tetapi juga menyiapkan siswa menghadapi tantangan pembelajaran kontekstual dan problematik di masa depan.

Dari sisi kolaborasi, hasil analisis angket menunjukkan adanya peningkatan skor kolaborasi yang signifikan antara pretest dan posttest, dengan nilai rata-rata selisih positif dan uji t berpasangan yang mengindikasikan perbedaan bermakna. Hal ini menandakan

bahwa siswa menjadi lebih terbiasa bekerja sama, berbagi peran, melakukan komunikasi dua arah, dan menyelesaikan tugas secara kolektif setelah mengikuti rangkaian pembelajaran *Discovery Learning* berpendekatan STEM.

Sejalan dengan itu, penelitian-penelitian terbaru melaporkan bahwa *Discovery Learning* yang dikemas dalam aktivitas kelompok kontekstual mampu meningkatkan keterampilan kolaborasi siswa (Dulyapit et al., 2025). Kotsis (2024) menunjukkan bahwa penggabungan *Discovery Learning*, *Cooperative Learning*, dan *Problem-Based Learning* dapat memperkuat kemampuan komunikasi dan kolaborasi melalui tugas-tugas investigatif dan pemecahan masalah berbasis proyek. Temuan serupa juga dilaporkan Callaghan et al., (2020) yang menunjukkan bahwa *Discovery Learning* dengan diferensiasi tugas meningkatkan profil pelajar Pancasila dalam aspek gotong royong sekaligus capaian akademik.

Sinergi antara peningkatan pemahaman konsep dan kolaborasi tampak jelas dalam dinamika kelas selama pembelajaran *Discovery Learning*-STEM. Ketika siswa bekerja dalam kelompok kecil untuk merancang dan menguji prototipe katrol, mereka harus mendiskusikan konsep gaya, lengan momen, dan keuntungan mekanik sambil membagi tugas seperti menggambar rancangan, merakit alat, melakukan pengukuran, dan mencatat data. Interaksi ini menumbuhkan kebutuhan untuk menjelaskan ide secara jelas, menegosiasikan solusi, dan merevisi pemahaman berdasarkan masukan teman, yang pada akhirnya memperkaya baik pemahaman konsep maupun keterampilan kolaboratif.

Dari sudut pandang konstruktivisme sosial, peningkatan pemahaman konsep tidak dapat dilepaskan dari kualitas interaksi kolaboratif yang terjadi di dalam kelompok. Hasil riset menekankan bahwa fungsi mental tingkat tinggi pertama-tama muncul pada tataran sosial (interpsikologis) sebelum kemudian terinternalisasi pada individu (intrapsikologis), sehingga diskusi, argumentasi ilmiah, dan negosiasi makna dalam kelompok menjadi medium penting untuk memperdalam penguasaan konsep sains (Gredler, 2009; Vygotsky, 1978). Dengan demikian, penguatan kolaborasi yang terukur melalui data angket turut menjelaskan mengapa peningkatan pemahaman konsep mampu mencapai effect size yang besar meskipun N-Gain berada pada kategori rendah.

Nilai *effect size* sebesar 0,80 menunjukkan pengaruh yang besar (*large effect*) menurut klasifikasi (Cohen, 1988). Artinya, pembelajaran ini memberikan dampak kuat terhadap peningkatan pemahaman konsep siswa. Namun demikian, nilai N-Gain sebesar 0,21 termasuk kategori rendah (Hake, 1998). Kondisi ini menandakan bahwa meskipun peningkatan signifikan, kemajuan siswa relatif belum optimal dibandingkan skor

maksimum. Hal ini dimungkinkan karena waktu pembelajaran terbatas, siswa belum terbiasa belajar mandiri, atau transisi dari pembelajaran konvensional ke pendekatan eksploratif membutuhkan adaptasi.

Hal ini sejalan dengan penelitian sebelumnya oleh Ningkaula et al., (2021) yang menyatakan bahwa *Discovery Learning* dengan pendekatan STEM mampu meningkatkan pemahaman konsep dan kemampuan pemecahan masalah siswa. Hasil ini juga konsisten dengan studi (Nursa'ban, 2025) yang menunjukkan bahwa penerapan *Discovery Learning* secara signifikan meningkatkan pemahaman konsep IPA siswa SMP. Dengan demikian, hasil penelitian ini memperkuat bukti empiris bahwa *Discovery Learning* berpendekatan STEM merupakan model pembelajaran yang efektif dalam meningkatkan *conceptual understanding* dan ketrampilan kolaborasi siswa.

Meskipun hasil penelitian menunjukkan dampak besar, beberapa data penelitian terdahulu menunjukkan hasil yang berbeda. Kirschner et al., (2006) menjelaskan bahwa *Discovery Learning* tanpa bimbingan intensif dapat menghasilkan pemahaman yang kurang optimal. Selain itu, penelitian-penelitian terbaru pada periode 2022–2024 menunjukkan bahwa efektivitas STEM sangat bergantung pada kualitas asesmen formatif dan refleksi metakognitif siswa (Chiu et al., 2025; Grangeat et al., 2024). Jika refleksi tidak terstruktur, peningkatan konseptual cenderung rendah meskipun aktivitas proyek berjalan aktif. Temuan penelitian ini yang menunjukkan *effect size* besar tetapi *N-Gain* rendah mendukung argumen tersebut, bahwa aktivitas pembelajaran sudah berdampak signifikan, namun optimalisasi durasi pembelajaran, pendalaman refleksi, dan penguatan *scaffolding* masih diperlukan agar peningkatan relatif mencapai kategori sedang atau tinggi.

Secara keseluruhan, penelitian ini menunjukkan bahwa *Discovery Learning* berpendekatan STEM berbantuan *virtual laboratory* efektif meningkatkan pemahaman konsep dan keterampilan kolaborasi siswa secara signifikan dengan dampak besar. Peningkatan tersebut selaras dengan teori konstruktivisme kognitif dan sosial, serta mendukung kerangka kompetensi abad ke-21 dan pendidikan STEM masa depan. Namun kategori *N-Gain* yang rendah menunjukkan bahwa implementasi perlu diperkuat melalui *scaffolding* sistematis, asesmen formatif berkelanjutan, dan pembiasaan budaya kolaboratif. Dengan demikian, penelitian ini tidak hanya membuktikan efektivitas model pembelajaran, tetapi juga memberikan arah pengembangan strategis untuk meningkatkan kualitas implementasi *Discovery Learning*-STEM di tingkat SMP.

#### D. Penutup

Berdasarkan hasil penelitian di kelas VIII B SMPN 11 Yogyakarta, dapat disimpulkan bahwa penerapan Discovery Learning berpendekatan STEM pada materi Pesawat Sederhana efektif meningkatkan pemahaman konsep siswa, yang tercermin dari kenaikan rata-rata nilai pretest 55,16 menjadi 64,52 dengan selisih 9,36 poin dan nilai  $p$  uji paired sample  $t$ -test  $< 0,001$  serta effect size sebesar 0,80 yang tergolong besar, meskipun nilai N-Gain 0,21 masih menunjukkan bahwa peningkatan relatif terhadap skor maksimum perlu terus dioptimalkan melalui perencanaan pembelajaran dan pendampingan belajar yang lebih intensif.

#### Ucapan Terimakasih

Ucapan terima kasih disampaikan kepada para dosen Program Studi Pendidikan IPA, Universitas Negeri Yogyakarta, yang telah memberikan bimbingan ilmiah, masukan konstruktif, dan dukungan fasilitas selama proses penelitian dan penulisan artikel ini. Penghargaan yang setinggi-tingginya juga ditujukan kepada Ibu Herlina Damayanti, S.Pd., selaku guru IPA SMP Negeri 11 Yogyakarta, atas kerja sama, izin penelitian, serta pendampingan yang sangat membantu pelaksanaan pembelajaran Discovery Learning berpendekatan STEM di kelas.

#### Referensi

- Afnan, M. Z., Utomo, B., & Purana, I. P. T. (2025). Making Kokedama as an Implementation of Ecological Awareness at NSA Surabaya High School. *Biodidaktika: Jurnal Biologi dan Pembelajarannya*, 20(2), 137-154. <https://doi.org/10.62870/biodidaktika.v20i2.32532>
- Akmam, A., Ahzari, S., Emiliannur, E., & Anshari, R. (2025). Enhancing Science Literacy through Cognitive Conflict-Based Generative Learning Model: An Experimental Study in Physics Learning. *Social Science and Humanities Journal*, 9(0), 8507-8522. <https://doi.org/10.18535/sshj.v9i07.1934>
- Amin, M., Rahmawati, Y., & Sudrajat, A. (2022). Enhancing Primary School Students' Critical Thinking Skills through the Integration of Inquiry-Based STEM Approach on Teaching Electricity in Science Learning. *Journal of Physics*. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/2377/1/012090>
- Dulyapit, A., Yunus, M., Kusuma, F. H., & Khotimah, S. H. (2025). Penerapan Model Discovery Inquiry Berbasis Deep Learning untuk Meningkatkan Hasil Belajar Siswa Kelas VI MI Fatahillah Kota Depok. *DIKODA Jurnal Pendidikan Sekolah Dasar*, 6(1), 81-92. <https://doi.org/10.37366/jpgsd.v6i1.6234>

- Baiti, E. N., Nurmadina, N., Novitasari, D., & Nurjanah, N. (2025). Discovery Learning: Meningkatkan Keterampilan Kolaborasi dan Komunikasi Matematis Siswa dalam Pembelajaran Matematika. *Jurnal Didaktika Pendidikan Dasar*, 9(3), 955–976. <https://doi.org/10.26811/didaktika.v9i3.1885>
- Braun, V., & Clarke, V. (2021). *Thematic Analysis: A Practical Guide*. SAGE Publications Ltd. <https://doi.org/10.58837/CHULA.PPJ.39.8>
- Bruner, J. S. (1961). The Act of Discovery. *Harvard Educational Review*, 31(1), 21–32.
- Bybee, R. W. (2015). The Case for STEM Education: Challenges and Opportunities. In *The Case for STEM Education: Challenges and Opportunities*. NSTA Press. <https://doi.org/10.2505/9781936959259>
- Callaghan, N. I., Cadavid, J. L., & Chang, H. (2020). Discovery: Differential Student Impact is Evident within an Inquiry-Focused Secondary/Post-Secondary Collaborative STEM Program. In *2020 ASEE Virtual Conference*. <https://peer.asee.org/discovery-differential-student-impact-is-evident-within-an-inquiry-focused-secondary-post-secondary-collaborative-stem-program>
- Chiu, T. K. F., Li, Y., Ding, M., Hallström, J., & Koretsky, M. D. (2025). A Decade of Research Contributions and Emerging Trends in the International Journal of STEM Education. *International Journal of STEM Education*, 12(1), 12. <https://doi.org/10.1186/s40594-025-00533-7>
- Cohen, J. (1988). *Statistical Power Analysis for the behavioral Sciences* (2nd ed.). Lawrence Erlbaum Associates.
- Ellianawati, E., Subali, B., Putra, B. R., Wahyuni, S., Dwijananti, P., Adhi, M. A., & Yusof, M. M. M. (2025). Critical Thinking and Creativity in STEAM-based Collaborative Learning on Renewable Energy Issues. *Journal of Education and Learning*, 19(1), 112–119. <https://doi.org/10.11591/edulearn.v19i1.21638>
- Febriyana, R., Setiani, N., & Isnarto, I. (2021). Analisis Kemampuan Pemahaman Konsep IPA Siswa Sekolah Dasar. *Jurnal Pendidikan Dasar Indonesia*, 6(2), 101–112. <https://doi.org/10.31004/basicedu.v6i4.3421>
- Fraenkel, J. R., Wallen, N. E., & Hyun, H. H. (2022). *How to Design and Evaluate Research in Education* (Eleventh Edition). McGraw-Hill Higher Education. <https://eric.ed.gov/?id=ED323168>
- Grangeat, M., Harrison, C., & Dolin, J. (2024). Introduction: Exploring Assessment in STEM Inquiry Learning Classrooms. *International Journal of Science and Mathematics Education*. <https://doi.org/10.4324/9781003466079-1>
- Gredler, M. E. (2009). Hiding in Plain Sight: The Stages of Mastery/Self-Regulation in Vygotsky's Cultural-Historical Theory. *Educational Psychologist*, 44, 1–19. <https://doi.org/10.1080/00461520802616259>

- Hake, R. R. (1998). Interactive-Engagement vs. Traditional Methods: A Six-Thousand-Student Survey of Mechanics Test Data for Introductory Physics Courses. *American Journal of Physics*, 64, 64–74. <https://doi.org/10.1119/1.18809>
- Hastuti, P. W., Tyas, R. A., Roektingroem, E., & Pramitasari, N. (2025). i-STEAM Model: How can Inquiry-Based Learning and STEAM be Integrated to Improve Students' Science Process Skills?. In *The 8th International Conference on Education Innovation (ICEI 2024)* (pp. 1156-1165). Atlantis Press. [https://doi.org/10.2991/978-2-38476-360-3\\_99](https://doi.org/10.2991/978-2-38476-360-3_99)
- Herlina, E., Hindriana, A. F., & Ismail, A. Y. (2025). Pengembangan E-Modul Interaktif IPA pada Pembelajaran Berdiferensiasi untuk Meningkatkan Berpikir Kreatif dan Mengembangkan Kreativitas Siswa. *Jurnal Didaktika Pendidikan Dasar*, 9(1), 67–88. <https://doi.org/10.26811/didaktika.v9i1.1713>
- Janah, F. R., & Hidayati, S. N. (2025). Analisis Pemahaman Konsep IPA Siswa SMP di Surabaya. *Jurnal Pendidikan MIPA*, 15(1), 204-209. <https://doi.org/10.37630/jpm.v15i1.2416>
- Kirschner, P. A., Sweller, J., & Clark, R. E. (2006). Why Minimal Guidance During Instruction Does Not Work: An Analysis of the Failure of Constructivist, Discovery, Problem-Based, Experiential, and Inquiry-Based Teaching. *Educational Psychologist*, 41(2), 75–86. [https://doi.org/10.1207/s15326985ep4102\\_1](https://doi.org/10.1207/s15326985ep4102_1)
- Kotsis, K. T. (2024). Significance of Experiments in Inquiry-based Science Teaching. *European Journal of Education and Pedagogy*, 5(2), 86–92. <https://doi.org/10.24018/ejedu.2024.5.2.815>
- Lestari, A. K., & Fitriani, A. (2023). Application of STEM-Integrated Guided Inquiry Model to Improve Science Process Skills of Junior High School Learners on Human Respiratory System Material. *Jurnal Penelitian Pendidikan IPA*, 9(12), 11078-11084. <https://doi.org/10.29303/jppipa.v9i12.5845>
- Liu, B., Ying Xu, Y., & Wan, Z. (2024). Systematic Review of Collaborative Learning Influencing Students' Social and Cognitive Development. *Proceedings of the 3rd International Conference on New Media Development and Modern Education (NMDME-24)*, 112–120. [https://doi.org/10.2991/978-94-6463-600-0\\_37](https://doi.org/10.2991/978-94-6463-600-0_37)
- Lubis, I., & Jayanti, U. N. A. D. (2025). Efektivitas Model Pembelajaran Berbasis Proyek terhadap Kemampuan Kolaborasi dan Literasi Lingkungan Siswa SMP pada Materi Ekosistem. *BIOEDUSAINS: Jurnal Pendidikan Biologi Dan Sains*, 8(5), 777–797. <https://doi.org/10.31539/z0tf9e98>
- Mubarok, M., Yulandra, R., & Iskandar, B. A. (2025). The Effect of Collaborative Learning Model on Improving Science Concept Understanding among Prospective Elementary School Teachers at Lambung Mangkurat University Student. *EDUKASIA Jurnal Pendidikan dan Pembelajaran*, 6(2), 1121-1132. <https://doi.org/10.62775/edukasia.v6i2.1716>

- Ningkaula, T. A., Laliyo, L. A. R., Iyabu, H., & Abdullah, R. (2021). Dampak Model Discovery Learning Berpendekatan STEM terhadap Pemahaman Konsep Hidrolisis Garam Siswa SMA. *Jurnal Pendidikan Kimia Indonesia*, 5(2), 76–84. <https://doi.org/10.23887/jpk.v5i1.28871>
- Nursa'ban, E., Ewisahrani, E., & Fathurrahmaniah, F. (2025). Upaya Meningkatkan Pemahaman Konsep IPA Siswa Melalui Model Pembelajaran Discovery Learning. *SENTRI: Jurnal Riset Ilmiah*, 4(8), 941-955. <https://doi.org/10.55681/sentri.v4i8.4348>
- Pacaci, C., Ustun, U., & Ozdemir, O. F. (2024). Effectiveness of Conceptual Change Strategies in Science Education: A Meta-Analysis. *Journal of Research in Science Teaching*, 61(6), 1263–1325. <https://doi.org/10.1002/tea.21887>
- Piaget, J. (1976). *The psychology of intelligence*. Littlefield, Adams & Co.
- Rilianty, A. P., Handayani, M., & Nugroho, W. (2024). Pendekatan Science, Technology, Engineering, Art, & Math (STEAM) untuk Meningkatkan Keterampilan Abad 21 Siswa Sekolah Dasar. *PRIMER: Journal of Primary Education Research*, 2(1), 78-85. <https://doi.org/10.57176/primer.v1i2.13>
- Safarini, M., Fitriani, S., Suwandi, T., & Rahmat, A. (2026). Student Engagement and Conceptual Change through Gamified Flipped Classrooms in Biology Education. *Biosfer: Jurnal Pendidikan Biologi*, 19(1), 320–334. <https://doi.org/10.21009/biosferjpb.62844>
- Sari, D. I. P., Sitompul, S. S., & Hamdani, H. (2018). Remediasi Miskonsepsi Siswa Menggunakan Model Direct Instruction Berbantuan Animasi Flash pada Materi Tuas. *Jurnal Pendidikan dan Pembelajaran Khatulistiwa (JPPK)*, 7(8). <https://doi.org/10.26418/jppk.v7i8.27155>
- Stylianidou, F., Glauert, E. B., Rossis, D., Compton, A., Cremin, T., Craft, A., & Havu-Nuutinen, S. (2018). Fostering Inquiry and Creativity in Early Years STEM Education: Policy Recommendations from the Creative Little Scientists Project. *European Journal of STEM Education*, 3(3), 15. <https://doi.org/10.20897/ejsteme/3875>
- Sugiyono. (2016). *Metode Penelitian Kuantitatif, Kualitatif, dan R&D* (13th ed.). ALFABETA.
- Sumarno, W. K., Shodikin, A., Rahmawati, A. A., Shafira, P. D., & Solikha, I. (2021). Gerakan Literasi Sains melalui Pengenalan STEAM pada Anak di Komunitas “Panggon Moco” Gresik. *JPM (Jurnal Pemberdayaan Masyarakat)*, 6(2), 702–709. <https://doi.org/10.21067/jpm.v6i2.5835>
- Sweller, J. (1988). Cognitive Load During Problem Solving: Effects on Learning. *Cognitive Science*, 12(2), 257-285. [https://doi.org/10.1016/0364-0213\(88\)90023-7](https://doi.org/10.1016/0364-0213(88)90023-7)
- Vuorenmaa, E., Nguyen, A., & Järvelä, S. (2025). How do Social Interaction and Group-Level Regulation Shape Task Perceptions in Collaborative Learning Task?.

*Scandinavian Journal of Educational Research*, 69(6), 1190-1206.  
<https://doi.org/10.1080/00313831.2024.2394409>

Vygotsky, L. S. (1978). *Mind in Society: The Development of Higher Psychological Processes*. Harvard University Press.

Z, M., Rokhmat, M., Muliadi, J., Azizi, A., Ardiansyah, A., Hamidi, B., Pauzi, H., Yamin, I., Rasyidi, M., Rahmatiah, M., Sudirman, R., & Khery, S. (2022). Pemahaman Nature of Science (Hakekat IPA) Bagi Guru IPA: Solusi Membelajarkan IPA Multidimensi. *Jurnal Ilmiah Wahana Pendidikan*, 8(21), 8-15.  
<https://doi.org/10.5281/zenodo.7272704>