KUANTUM
Jurnal Pembelajaran & Sains Fisika
e-ISSN: 2774-1966
Volume. 7. Nomor 2. November 2026
Halaman: 175-182
DOI: https://doi.org/10.63976/kuantum.v7i2.1571

Pembelajaran Berbasis STEM untuk Meningkatkan Keaktifan Siswa pada Perubahan Wujud Benda

M. Riadi Amir[1]*, Asyhari A. Usman[1], dan Siti Nahria Hasan[1]

[1]Program Studi Pendidikan Fisika, Fakultas Ilmu Pendidikan, Institut Sains dan Kependidikan Kie Raha Maluku Utara, Indonesia
***Email penulis korespondensi**: riadiamir0056@gmail.com*

ABSTRAK

Keaktifan siswa menentukan kualitas pengalaman belajar IPA karena konsep perubahan wujud benda perlu dipahami melalui pengamatan, percobaan, diskusi, dan argumentasi berbasis bukti. Penelitian ini bertujuan meningkatkan keaktifan siswa kelas VII melalui pembelajaran terintegrasi Science, Technology, Engineering, and Mathematics (STEM). Penelitian menggunakan desain Penelitian Tindakan Kelas model Kemmis–McTaggart yang mencakup perencanaan, tindakan, observasi, dan refleksi dalam dua siklus. Subjek penelitian adalah 28 siswa kelas VII SMP Negeri 58 Halmahera Selatan, terdiri atas 18 laki-laki dan 10 perempuan. Data dikumpulkan menggunakan lembar observasi keaktifan siswa dengan 10 indikator, lembar observasi aktivitas guru dengan 18 indikator yang dinilai dua observer, dan dokumentasi. Data dianalisis secara deskriptif melalui persentase skor dan distribusi kategori pada prasiklus, siklus I, dan siklus II. Keaktifan siswa meningkat dari 54,10% pada prasiklus menjadi 63,66% pada siklus I dan 81,07% pada siklus II. Peningkatan total mencapai 26,97 poin persentase. Pada siklus II, 15 siswa (53,57%) berkategori sangat aktif dan 13 siswa (46,43%) berkategori aktif. Aktivitas guru meningkat dari 65,98% pada siklus I menjadi 84,72% pada siklus II. Perbaikan berupa pembagian peran kelompok, kesempatan berpendapat bagi setiap anggota, kartu pertanyaan, dan pengelolaan waktu presentasi membantu pemerataan partisipasi. Pembelajaran STEM dapat digunakan sebagai strategi perbaikan kelas yang memadukan investigasi sains, pemanfaatan media, desain solusi, pengukuran, dan komunikasi hasil. Namun, temuan dibatasi oleh satu kelas serta belum tersedianya koefisien validitas, reliabilitas, dan kesepakatan antarobserver.

Kata-kata kunci: *STEM; keaktifan siswa; perubahan wujud benda; pembelajaran IPA; penelitian tindakan kelas*

PENDAHULUAN

Pembelajaran IPA yang bermakna menuntut siswa bukan hanya menerima informasi, tetapi mengamati fenomena, mengajukan pertanyaan, menggunakan bukti, merancang penyelidikan, dan mengomunikasikan penjelasan. Keterlibatan tersebut penting pada topik perubahan wujud benda karena siswa harus menghubungkan gejala makroskopis misalnya mencair, menguap, dan mengembun dengan perpindahan kalor serta perubahan susunan dan gerak partikel. Tanpa pengalaman konkret, konsep mudah dipahami sebagai daftar istilah yang terpisah dari mekanismenya.

Observasi awal di kelas VII SMP Negeri 58 Halmahera Selatan menunjukkan bahwa pembelajaran masih didominasi penjelasan guru. Kesempatan bertanya, menyampaikan pendapat, bereksperimen, mengolah data, dan mempresentasikan hasil belum merata. Kondisi ini penting ditangani karena keterlibatan tidak hanya berkaitan dengan kehadiran fisik, tetapi juga partisipasi perilaku, kognitif, dan sosial dalam aktivitas belajar. Studi longitudinal menunjukkan hubungan positif antara keterlibatan dan capaian sains dalam konteks STEM terintegrasi (Guzey & Li, 2022), sedangkan penelitian kelas menunjukkan bahwa kualitas

KUANTUM
Jurnal Pembelajaran & Sains Fisika
e-ISSN: 2774-1966
Volume. 7. Nomor 2. November 2026
Halaman: 175-182
DOI: https://doi.org/10.63976/kuantum.v7i2.1571

lingkungan sosial dan budaya memengaruhi keterlibatan dalam pembelajaran aktif STEM (Choi et al., 2025).

Pendekatan STEM mengintegrasikan sains, teknologi, rekayasa, dan matematika melalui masalah kontekstual serta proses desain. Sintesis penelitian K–12 menemukan bahwa STEM terintegrasi berkaitan dengan capaian pengetahuan, keterampilan berpikir, sikap, dan keterlibatan, meskipun kekuatan hasil bergantung pada kualitas integrasi dan desain tugas (Le et al., 2023; Chen et al., 2026). Kerangka STEM yang efektif umumnya menggabungkan masalah autentik, penyelidikan, desain rekayasa, kerja kolaboratif, dan penggunaan matematika sebagai alat analisis, bukan sekadar menampilkan empat label disiplin secara berdampingan (Tytler et al., 2023).

Keterlibatan dapat tumbuh ketika siswa memiliki peran yang bermakna dalam proses desain. Attard et al. (2021) menunjukkan bahwa pembelajaran berbasis inkuiri dan kemitraan autentik dapat memperkuat keterlibatan STEM. Holincheck et al. (2024) menekankan pentingnya inklusi percakapan dalam pembelajaran transdisipliner, sedangkan Sauder dan Strouse (2026) melaporkan efek positif aktivitas STEM terintegrasi terhadap keterlibatan siswa. Namun, manfaat tersebut tidak otomatis: kompetensi guru, struktur kerja kelompok, akses teknologi, waktu, dan kejelasan hubungan antardisiplin menentukan kualitas implementasi (Kareem et al., 2022; Kayan-Fadlelmula et al., 2022).

Dalam konteks yang dijelaskan, Manaf dan Ismail (2024) melaporkan penggunaan STEM pada pembelajaran fisika panel surya, sedangkan Zulaeha (2025) menunjukkan bahwa proyek STEAM berbasis budaya dapat memperkuat literasi sains secara kontekstual. Azhari et al. (2026) juga menegaskan kegunaan media digital kontekstual untuk menjembatani konsep fisika dengan pengalaman siswa. Temuan tersebut mendukung penggunaan integrasi lintas disiplin, tetapi penelitian mengenai keaktifan siswa pada perubahan wujud benda melalui siklus perbaikan kelas di Halmahera Selatan masih terbatas.

Celah penelitian ini tidak diletakkan pada klaim bahwa STEM selalu unggul, melainkan pada bagaimana refleksi antarsiklus digunakan untuk memperbaiki pemerataan partisipasi. Penelitian bertujuan mendeskripsikan peningkatan keaktifan siswa kelas VII melalui pembelajaran STEM pada materi perubahan wujud benda serta perubahan kualitas pelaksanaan guru setelah refleksi siklus I. Indikator keberhasilan ditetapkan apabila persentase keaktifan kelas mencapai sekurang-kurangnya 76% pada kategori aktif.

METODE PENELITIAN

Jenis Penelitian

Penelitian menggunakan Penelitian Tindakan Kelas model Kemmis–McTaggart dalam dua siklus. Setiap siklus meliputi perencanaan, pelaksanaan tindakan, observasi, dan refleksi. PTK dipilih karena fokus penelitian adalah memperbaiki masalah partisipasi pada satu kelas secara iteratif. Hasilnya diposisikan sebagai bukti perbaikan lokal, bukan estimasi efek kausal yang dapat digeneralisasi ke seluruh populasi.

KUANTUM
Jurnal Pembelajaran & Sains Fisika
e-ISSN: 2774-1966
Volume. 7. Nomor 2. November 2026
Halaman: 175-182
DOI: https://doi.org/10.63976/kuantum.v7i2.1571

Subjek dan Konteks

Penelitian dilaksanakan pada semester genap di SMP Negeri 58 Halmahera Selatan. Subjek adalah 28 siswa kelas VII, terdiri atas 18 siswa laki-laki dan 10 siswa perempuan. Seluruh siswa mengikuti pembelajaran pada kondisi awal, siklus I, dan siklus II.

Instrumen Penelitian

Instrumen utama berupa lembar observasi keaktifan siswa yang memuat 10 indikator dengan skor 1–4. Instrumen pendukung berupa lembar observasi aktivitas guru yang memuat 18 indikator dan dinilai oleh dua observer, serta dokumentasi kegiatan. Naskah sumber belum melaporkan validitas isi, reliabilitas, atau koefisien kesepakatan antarobserver; karena itu, hasil ditafsirkan sebagai kecenderungan observasional kelas.

Tabel 1. Instrumen dan Fokus Pengukuran

Instrumen	Indikator/fungsi	Skala
Observasi keaktifan siswa	Perhatian, bertanya, menjawab, berpendapat, diskusi, percobaan, penggunaan alat, kerja sama, presentasi, simpulan	10 indikator; skor 1–4
Observasi aktivitas guru	Pendahuluan, integrasi STEM, fasilitasi diskusi, umpan balik, presentasi, refleksi	18 indikator; skor 1–4; dua observer
Dokumentasi	Menguatkan catatan pelaksanaan tindakan dan hasil kerja	Foto, perangkat, dan hasil kerja

Prosedur Tindakan

Pada prasiklus, observer memotret keaktifan dalam pembelajaran reguler. Siklus I menerapkan lima tahap: identifikasi masalah perubahan wujud; eksplorasi konsep sains; pemanfaatan video, gambar, alat dan bahan; perancangan serta pengujian solusi; pengukuran, tabulasi, presentasi, dan refleksi. Refleksi siklus I mengidentifikasi partisipasi yang belum merata dan pengelolaan waktu yang belum optimal. Siklus II memperjelas peran ketua, pencatat, pengamat, dan penyaji; mewajibkan kontribusi setiap anggota; menggunakan kartu pertanyaan; serta memperbaiki alokasi waktu presentasi dan refleksi.

Tabel 2. Perbaikan Tindakan dari Siklus I ke Siklus II

Temuan refleksi Siklus I	Perbaikan pada Siklus II
Sebagian siswa pasif dan kurang percaya diri	Pembagian peran dan kewajiban minimal satu kontribusi per siswa
Kesempatan bertanya belum merata	Kartu pertanyaan dan giliran respons
Kerja kelompok belum optimal	Tanggung jawab spesifik bagi setiap anggota
Waktu presentasi dan refleksi terbatas	Alokasi waktu dan urutan presentasi diperjelas

Analisis Data

Skor kelas dihitung sebagai jumlah skor yang diperoleh dibagi skor maksimum, kemudian dikalikan 100%. Kategori operasional digunakan secara tidak tumpang tindih: sangat aktif 81–

KUANTUM
Jurnal Pembelajaran & Sains Fisika
e-ISSN: 2774-1966
Volume. 7. Nomor 2. November 2026
Halaman: 175-182
DOI: https://doi.org/10.63976/kuantum.v7i2.1571

100%, aktif 61–80%, cukup aktif 41–60%, dan kurang aktif 0–40%. Perubahan dilaporkan dalam poin persentase serta distribusi jumlah siswa. Karena data individu lengkap per indikator dan koefisien kesepakatan observer tidak tersedia, analisis inferensial tidak dilakukan.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil Penelitian

Pada prasiklus, skor keaktifan siswa adalah 606 dari maksimum 1.120 atau 54,10%. Tiga siswa (10,71%) berada pada kategori aktif, 24 siswa (85,71%) cukup aktif, dan satu siswa (3,57%) kurang aktif. Temuan ini menjadi dasar penerapan tindakan STEM.

Siklus I menghasilkan skor 713 atau 63,66%, meningkat 9,56 poin persentase. Empat siswa (14,29%) sangat aktif, 12 siswa (42,86%) aktif, dan 12 siswa (42,86%) masih cukup aktif. Aktivitas guru rata-rata 65,98% berdasarkan skor dua observer, yaitu 49 dan 46 dari maksimum 72. Refleksi menunjukkan perlunya pemerataan kesempatan berpendapat, perbaikan peran kelompok, dan pengelolaan waktu.

Setelah perbaikan, skor keaktifan Siklus II mencapai 908 atau 81,07%, meningkat 17,41 poin dari Siklus I dan 26,97 poin dari prasiklus. Sebanyak 15 siswa (53,57%) sangat aktif dan 13 siswa (46,43%) aktif; tidak ada siswa pada kategori cukup atau kurang aktif. Aktivitas guru meningkat menjadi 84,72%, berdasarkan skor 59 dan 63 dari maksimum 72.

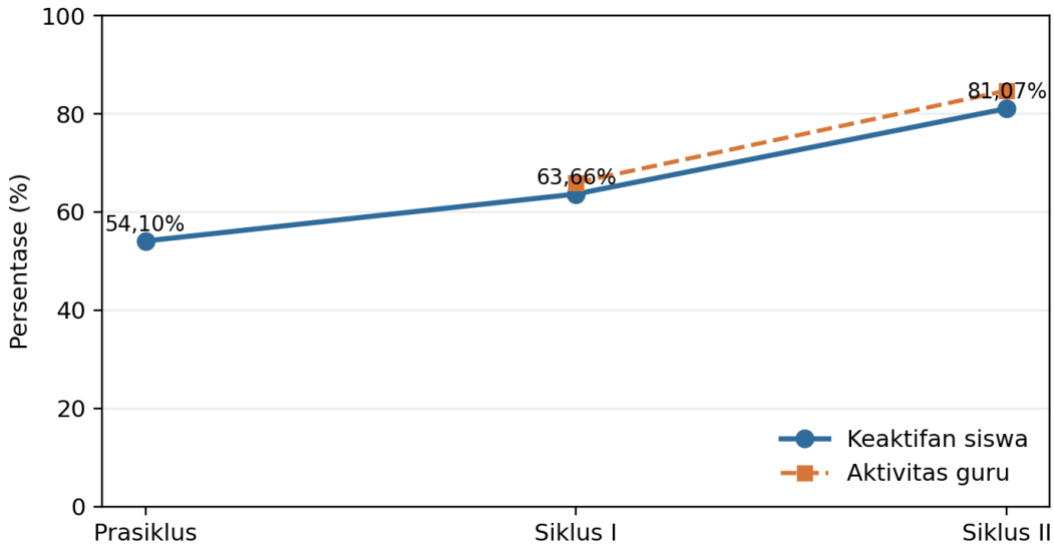
Tabel 3. Perkembangan Keaktifan Siswa dan Aktivitas Guru

Tahap	Skor siswa/maks.	Keaktifan siswa	Perubahan	Aktivitas guru
Prasiklus	606/1.120	54,10%	—	—
Siklus I	713/1.120	63,66%	+9,56 poin	65,98%
Siklus II	908/1.120	81,07%	+17,41 poin	84,72%
Total	—	—	+26,97 poin	+18,74 poin

Tabel 4. Distribusi Kategori Keaktifan Siswa

Kategori	Prasiklus	Siklus I	Siklus II
Sangat aktif	0 (0,00%)	4 (14,29%)	15 (53,57%)
Aktif	3 (10,71%)	12 (42,86%)	13 (46,43%)
Cukup aktif	24 (85,71%)	12 (42,86%)	0 (0,00%)
Kurang aktif	1 (3,57%)	0 (0,00%)	0 (0,00%)

KUANTUM
Jurnal Pembelajaran & Sains Fisika
e-ISSN: 2774-1966
Volume. 7. Nomor 2. November 2026
Halaman: 175-182
DOI: https://doi.org/10.63976/kuantum.v7i2.1571



Gambar 1. Perkembangan keaktifan siswa dan aktivitas guru

Pembahasan

Kenaikan keaktifan dari 54,10% menjadi 81,07% menunjukkan bahwa perubahan struktur aktivitas belajar berjalan searah dengan meningkatnya partisipasi. Peningkatan tidak hanya tampak pada rerata kelas, tetapi juga pada distribusi: pada Siklus II seluruh siswa berada pada kategori aktif atau sangat aktif. Hal ini penting karena rerata tinggi dapat menyembunyikan siswa yang tetap pasif; distribusi kategori memberi bukti bahwa partisipasi menjadi lebih merata.

Mekanisme peningkatan dapat ditelusuri pada desain tugas. Unsur science muncul melalui pengamatan dan penjelasan perubahan wujud; technology melalui video, gambar, dan alat; engineering melalui perancangan serta pengujian solusi; mathematics melalui pengukuran, tabulasi, dan perbandingan data. Integrasi ini mendekati karakteristik STEM yang berpusat pada masalah dan desain (Tytler et al., 2023). Kajian sistematis Le et al. (2023) serta meta-analisis Chen et al. (2026) menunjukkan bahwa manfaat STEM lebih mungkin muncul ketika disiplin dihubungkan melalui aktivitas autentik dan strategi pendukung, bukan hanya dicantumkan sebagai label.

Perbaikan Siklus II memperlihatkan bahwa struktur sosial pembelajaran sama pentingnya dengan konten STEM. Pembagian peran, kewajiban kontribusi, dan kartu pertanyaan mengurangi peluang dominasi beberapa siswa. Temuan ini konsisten dengan Holincheck et al. (2024), yang menekankan inklusi percakapan, dan Choi et al. (2025), yang menunjukkan peran lingkungan sosial-budaya dalam keterlibatan pembelajaran aktif STEM. Kenaikan aktivitas guru dari 65,98% menjadi 84,72% juga mengindikasikan bahwa hasil siswa berkembang bersamaan dengan peningkatan kualitas fasilitasi.

Temuan lokal ini sejalan dengan studi yang dilakukan oleh Manaf dan Ismail (2024) menunjukkan potensi STEM pada konteks panel surya, sedangkan Zulaeha (2025) memperlihatkan bahwa proyek STEAM kontekstual dapat menguatkan literasi sains. Persamaannya terletak pada penggunaan masalah dan produk yang bermakna; perbedaannya,

KUANTUM
Jurnal Pembelajaran & Sains Fisika
e-ISSN: 2774-1966
Volume. 7. Nomor 2. November 2026
Halaman: 175-182
DOI: https://doi.org/10.63976/kuantum.v7i2.1571

penelitian ini memusatkan perhatian pada keaktifan dan refleksi antarsiklus pada materi perubahan wujud benda. Dengan demikian, kontribusi penelitian bukan sekadar melaporkan persentase akhir, tetapi mengidentifikasi tindakan spesifik yang membantu pemerataan partisipasi.

Penafsiran tetap perlu dibatasi. PTK tidak menggunakan kelompok pembanding, sehingga peningkatan tidak dapat diatribusikan hanya kepada STEM; pengulangan, familiaritas dengan observer, perkembangan kelas, dan peningkatan keterampilan guru dapat ikut berkontribusi. Selain itu, validitas dan reliabilitas lembar observasi serta kesepakatan antarobserver belum dilaporkan. Penggunaan kategori juga menyederhanakan variasi perilaku antarikator. Penelitian lanjutan perlu memvalidasi rubrik, menghitung inter-rater reliability, menyajikan skor individual per indikator, serta menguji desain kuasi-eksperimen jika tujuan bergeser dari perbaikan kelas menuju pengujian efektivitas.

Implikasinya, guru IPA dapat menerapkan STEM dengan tiga syarat: masalah harus benar-benar menghubungkan disiplin, setiap siswa memperoleh peran yang dapat diamati, dan refleksi harus menghasilkan perubahan tindakan konkret. Teknologi sebaiknya dipilih karena membantu pengamatan atau komunikasi, bukan sekadar dekorasi. Kegiatan rekayasa perlu melibatkan kriteria, pengujian, dan revisi, sedangkan matematika digunakan untuk mengukur dan menafsirkan data. Dengan prinsip tersebut, STEM dapat menjadi arsitektur partisipasi, bukan hanya variasi metode.

KESIMPULAN

Pembelajaran berbasis STEM yang dilaksanakan melalui dua siklus tindakan meningkatkan keaktifan siswa kelas VII pada materi perubahan wujud benda dari 54,10% pada prasiklus menjadi 63,66% pada Siklus I dan 81,07% pada Siklus II. Peningkatan keseluruhan mencapai 26,97 poin persentase, dan seluruh siswa berada pada kategori aktif atau sangat aktif pada akhir tindakan. Aktivitas guru meningkat dari 65,98% menjadi 84,72%. Perbaikan yang paling bermakna adalah pembagian peran kelompok, kewajiban kontribusi setiap siswa, kartu pertanyaan, bimbingan lebih intensif, serta pengelolaan waktu presentasi. Hasil mendukung penggunaan STEM sebagai strategi perbaikan pembelajaran lokal, tetapi tidak membuktikan kausalitas umum. Validasi instrumen, reliabilitas antarobserver, data per indikator, serta kelompok pembanding diperlukan untuk memperkuat bukti berikutnya.

REFERENSI

Apedoe, X., Fu, M., Nielsen, K., Smith, R., & Allen, J. (2025). Co-learning: A hybrid model for integrated STEM teacher professional learning and student out-of-school learning. Education Sciences, 15(6), 726. https://doi.org/10.3390/educsci15060726

Appelgate, M. H., & Jurgenson, K. (2022). How engagement with mathematics in an integrated STEM lesson evolved over four years. Investigations in Mathematics Learning, 14(1), 63–86. https://doi.org/10.1080/19477503.2021.2023965

Attard, C., Berger, N., & Mackenzie, E. (2021). The positive influence of inquiry-based learning teacher professional learning and industry partnerships on student engagement with STEM. Frontiers in Education, 6, 693221. https://doi.org/10.3389/feduc.2021.693221

KUANTUM
Jurnal Pembelajaran & Sains Fisika
e-ISSN: 2774-1966
Volume. 7. Nomor 2. November 2026
Halaman: 175-182
DOI: https://doi.org/10.63976/kuantum.v7i2.1571

Azhari, G., Aminoto, T., & AJ, S. (2026). Pengembangan e-modul fisika interaktif berbasis kontekstual pada materi suhu dan kalor siswa SMP. KUANTUM: Jurnal Pembelajaran dan Sains Fisika, 7(1), 1–11. https://doi.org/10.63976/kuantum.v7i1.1315

Chen, B., Chen, J., Wang, M., Tsai, C.-C., & Kirschner, P. A. (2026). The effects of integrated STEM education on K–12 students' achievements: A meta-analysis. Review of Educational Research, 96(2). https://doi.org/10.3102/00346543251318297

Chen, S.-K., & Lin, S. S. J. (2026). STEM class momentary investigation: Teaching and learning engagement. Learning and Instruction, 102, 102270. https://doi.org/10.1016/j.learninstruc.2025.102270

Choi, Y. H., Theobald, E., Velasco, V., & Eddy, S. L. (2025). Exploring how course social and cultural environmental features influence student engagement in STEM active learning courses. International Journal of STEM Education, 12(1). https://doi.org/10.1186/s40594-025-00526-6

Guzey, S. S., & Li, W. (2022). Engagement and science achievement in the context of integrated STEM education: A longitudinal study. Journal of Science Education and Technology. https://doi.org/10.1007/s10956-022-10023-y

Holincheck, N. M., Kraft, T., Galanti, T. M., Baker, C. K., & Nelson, J. K. (2024). "Everybody was included in the conversation": Teachers' perceptions of student engagement in transdisciplinary STEM learning. Education Sciences, 14(3), 242. https://doi.org/10.3390/educsci14030242

Hsieh, T.-L., & Yu, P. (2022). Exploring achievement motivation, student engagement, and learning outcomes for STEM college students. Research in Science & Technological Education, 41(3), 1072–1087. https://doi.org/10.1080/02635143.2021.1983796

Kareem, J., Thomas, R. S., & Nandini, V. S. (2022). A conceptual model of teaching efficacy, student technology use, student engagement, and 21st-century learning attitudes. Interdisciplinary Journal of Environmental and Science Education, 18(4), e2282. https://doi.org/10.21601/ijese/12025

Kayan-Fadlelmula, F., Sellami, A., Abdelkader, N., & Umer, S. (2022). A systematic review of STEM education research in the GCC countries: Trends, gaps and barriers. International Journal of STEM Education, 9, 2. https://doi.org/10.1186/s40594-021-00319-7

Khalid, I. L., Abdullah, M. N. S., & Mohd Fadzil, H. (2024). A systematic review: Digital learning in STEM education. Journal of Advanced Research in Applied Sciences and Engineering Technology, 51(1), 98–115. https://doi.org/10.37934/araset.51.1.98115

Le, H. C., Nguyen, V. H., & Nguyen, T. L. (2023). Integrated STEM approaches and associated outcomes of K–12 student learning: A systematic review. Education Sciences, 13(3), 297. https://doi.org/10.3390/educsci13030297

Manaf, F., & Ismail, S. (2024). Penggunaan pendekatan STEM untuk meningkatkan kemampuan kognitif peserta didik pada konsep panel surya. KUANTUM: Jurnal Pembelajaran dan Sains Fisika, 5(2), 65–82. https://doi.org/10.5281/zenodo.14675867

Mulyani, W. S., Aripin, A., & Rizal, R. (2026). Pengaruh model flipped classroom berbantuan Google Sites terhadap hasil belajar kognitif siswa pada materi dinamika Hukum Newton. KUANTUM: Jurnal Pembelajaran dan Sains Fisika, 7(1), 12–30. https://doi.org/10.63976/kuantum.v7i1.1376

Quigley, C. F., Herro, D., & Jamil, F. M. (2021). Dispositions and development of educators integrating STEAM in their teaching practices. Journal of Science Teacher Education, 32(1), 1–23. https://doi.org/10.1080/1046560X.2020.1776564

KUANTUM
Jurnal Pembelajaran & Sains Fisika
e-ISSN: 2774-1966
Volume. 7. Nomor 2. November 2026
Halaman: 175-182
DOI: https://doi.org/10.63976/kuantum.v7i2.1571

Sauder, L. D., & Strouse, G. A. (2026). Effects of integrated STEM learning activities on student engagement. Journal for STEM Education Research. https://doi.org/10.1007/s41979-025-00180-1

Tytler, R., Anderson, J., & Williams, G. (2023). Exploring a framework for integrated STEM: Challenges and benefits for promoting engagement in learning mathematics. ZDM–Mathematics Education, 55(7), 1299–1313. https://doi.org/10.1007/s11858-023-01519-x

Zulaeha, O. (2025). Asesmen dampak penggunaan STEAM berbasis Kabaroko dalam membentuk literasi budaya dan literasi sains siswa. KUANTUM: Jurnal Pembelajaran dan Sains Fisika, 6(1), 126–133. https://doi.org/10.63976/kuantum.v6i1.933