

Integrasi Gamifikasi dan Video Animasi dalam Model Problem Based Learning terhadap Peningkatan Kemampuan Spasial pada Materi Ikatan Kimia

Dewi Satria Ahmar¹, Muhammad Fath Azzajjad²

¹Progam Studi S-1 Pendidikan Kimia, Universitas Tadulako, Kota Palu, Indonesia;

²Program Studi S-1 Pendidikan Kimia, Universitas Sembilanbelas November Kolaka, Indonesia;

Email: dewisatriaahmar@gmail.com

Abstract

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh penggunaan gamifikasi dan video animasi dalam model Problem Based Learning (PBL) terhadap kemampuan spasial siswa pada materi ikatan kimia. Metode penelitian yang digunakan adalah kuantitatif dengan desain eksperimen semu (quasi-experiment) menggunakan Nonequivalent Control Group Design. Subjek penelitian terdiri dari dua kelas XI di salah satu SMA Negeri 1 Sindue Tobata, yaitu kelas XI IPA 1 sebagai kelas eksperimen (33 siswa) dan XI IPA 2 sebagai kelas kontrol (32 siswa), yang dipilih menggunakan teknik purposive sampling. Instrumen yang digunakan adalah tes kemampuan spasial yang diberikan sebelum (pretest) dan sesudah (posttest) perlakuan. Hasil uji-t independen menunjukkan adanya perbedaan yang signifikan antara kelompok eksperimen dan kontrol ($p < 0,001$), di mana kelompok eksperimen memperoleh peningkatan kemampuan spasial yang lebih tinggi. Temuan ini menunjukkan bahwa integrasi gamifikasi dan video animasi dalam model PBL efektif dalam meningkatkan kemampuan spasial siswa. Penelitian ini merekomendasikan penerapan pendekatan pembelajaran inovatif berbasis teknologi untuk mendukung pengembangan keterampilan kognitif siswa, khususnya dalam memahami konsep-konsep abstrak dalam kimia.

Article History:

Received: 09 May 2025

Revised: 15 May 2025

Accepted: 21 May 2025

Published 01 Oktober 2025

Keyword:

Kemampuan spasial,
gamifikasi, video animasi,
Problem Based Learning.

© 2025 The Authors. This open access article is distributed under a (CC-BY License) 

DOI: <https://doi.org/10.47945/search.v4i1.1930>

How to Cite:

Ahmar, Dewi Satria; Azzajjad, Muhammad Fath. (2025). Integrasi Gamifikasi dan Video Animasi dalam Model Problem Based Learning terhadap Peningkatan Kemampuan Spasial pada Materi Ikatan Kimia. *Science Education Research Journal*, 4(1), 1-10.

PENDAHULUAN

Kemampuan spasial merupakan salah satu keterampilan kognitif penting dalam pendidikan abad ke-21 yang berperan besar dalam menyelesaikan permasalahan kompleks, terutama dalam bidang matematika, geografi, sains, teknologi, dan arsitektur (Abdullah et al., 2022; Ahmar et al., 2023). Secara global, rendahnya kemampuan spasial siswa menjadi perhatian serius karena berdampak pada daya saing generasi muda dalam era industri berbasis teknologi dan visualisasi data (Wang et al., 2021). Laporan Trends in International Mathematics and Science Study (TIMSS) dan Programme for International Student Assessment (PISA) secara konsisten menunjukkan bahwa siswa di berbagai negara, termasuk Indonesia, masih menunjukkan capaian rendah dalam aspek berpikir visual dan spasial (Aslan & Turan, 2020; Mayoli & Tamrin, 2024; Swanzy-Impraim et al., 2023).

Di Indonesia, hasil studi PISA tahun 2018 menunjukkan bahwa sebagian besar siswa Indonesia belum mampu menyelesaikan soal-soal yang membutuhkan penalaran spasial

tingkat menengah hingga tinggi (Joo et al., 2021; Kemendikbud Ristek, 2023). Hal ini diperkuat oleh data dari Asesmen Nasional (AN) yang menunjukkan lemahnya kemampuan pemecahan masalah kontekstual, terutama dalam representasi visual dan berpikir geometri. Permasalahan ini mencerminkan bahwa pembelajaran di sekolah masih cenderung bersifat konvensional, belum mengoptimalkan strategi inovatif yang dapat mengembangkan kemampuan spasial secara aktif, kreatif, dan menyenangkan.

Salah satu pendekatan yang berpotensi mengatasi permasalahan ini adalah pembelajaran berbasis masalah atau Problem Based Learning (PBL) (Meng et al., 2023). PBL telah terbukti efektif dalam mengembangkan keterampilan berpikir kritis, pemecahan masalah, dan kolaborasi (Ge & Huang, 2023; Satria Ahmar et al., 2023). Namun demikian, implementasi PBL di kelas seringkali menemui tantangan dalam hal keterlibatan siswa dan daya tarik media pembelajaran. Untuk mengatasi hal tersebut, diperlukan inovasi dalam desain pembelajaran, salah satunya melalui integrasi gamifikasi dan video animasi.

Gamifikasi memberikan unsur motivasi, kompetisi sehat, dan keterlibatan aktif siswa melalui elemen-elemen permainan seperti poin, badge, level, dan tantangan (Charry et al., 2024; Limantara et al., 2023; Maryono et al., 2022). Sementara itu, video animasi dapat menyajikan materi pembelajaran secara visual, dinamis, dan kontekstual, sehingga membantu siswa memahami konsep spasial dengan lebih baik (Ahmar & Azzajjad, 2025; Satria Ahmar & Azzajjad, n.d.; Satria Ahmar & Fath Azzajjad, 2024). Kombinasi keduanya dalam kerangka PBL diyakini mampu menciptakan suasana belajar yang menyenangkan dan efektif dalam meningkatkan kemampuan spasial siswa.

Urgensi penelitian ini terletak pada kebutuhan untuk mengembangkan model pembelajaran yang adaptif terhadap karakteristik generasi digital native, yang akrab dengan media visual dan interaktif. Meskipun telah banyak penelitian yang mengkaji efektivitas PBL, gamifikasi, atau video animasi secara terpisah, masih sedikit penelitian yang mengintegrasikan ketiganya dalam satu model pembelajaran terpadu, khususnya untuk meningkatkan kemampuan spasial siswa di tingkat pendidikan dasar atau menengah. Penelitian ini memiliki kebaruan (novelty) pada aspek integrasi strategi pembelajaran inovatif yaitu PBL, gamifikasi, dan video animasi dalam satu desain utuh. Pendekatan ini tidak hanya menekankan pada proses pemecahan masalah, tetapi juga meningkatkan keterlibatan siswa melalui stimulasi visual dan permainan edukatif. Dengan menggunakan metode kuantitatif, penelitian ini memberikan data empiris yang kuat mengenai efektivitas pendekatan tersebut.

Kontribusi penelitian ini diharapkan dapat menjadi rujukan dalam pengembangan desain pembelajaran yang lebih efektif dan menarik, terutama untuk materi yang menuntut kemampuan spasial. Selain itu, hasil penelitian ini dapat memberikan masukan bagi guru, pengembang media pembelajaran, dan pengambil kebijakan pendidikan dalam merancang strategi pembelajaran abad ke-21 berbasis teknologi dan keterampilan berpikir tingkat tinggi.

Adapun tujuan dari penelitian ini adalah untuk menganalisis pengaruh integrasi gamifikasi dan video animasi dalam model Problem Based Learning terhadap peningkatan kemampuan spasial siswa. Secara khusus, penelitian ini bertujuan untuk: (1) mengetahui perbedaan kemampuan spasial antara siswa yang belajar dengan model integratif tersebut

dan yang belajar dengan metode konvensional; serta (2) mengevaluasi efektivitas media pembelajaran berbasis gamifikasi-animasi dalam mendukung pelaksanaan PBL.

METODE PENELITIAN

Penelitian ini merupakan penelitian kuantitatif dengan desain eksperimen semu (quasi experiment). Desain yang digunakan adalah *Nonequivalent Control Group Design*, di mana terdapat dua kelompok yaitu kelas eksperimen dan kelas kontrol. Kelompok eksperimen diberikan pembelajaran menggunakan integrasi gamifikasi dan video animasi dalam model Problem Based Learning (PBL), sedangkan kelompok kontrol menerima pembelajaran dengan metode konvensional (ceramah dan tanya jawab). Desain penelitian ini dapat digambarkan sebagai berikut:

Tabel 1. Desain penelitian

Kelompok	Pretest	Perlakuan	Posttest
Eksperimen	O ₁	PBL + Gamifikasi + Video Animasi	O ₂
Kontrol	O ₃	Pembelajaran Konvensional	O ₄

Keterangan:

O₁ dan O₃: Tes awal (pretest) kemampuan spasial

O₂ dan O₄: Tes akhir (posttest) kemampuan spasial

Subjek dalam penelitian ini adalah siswa kelas XI di salah satu SMA Negeri 1 Sindue Tobata. Penelitian dilakukan pada dua kelas yaitu: Kelas XI IPA 1 sebagai kelas eksperimen yang terdiri dari 33 siswa sedangkan kelas XI IPA 2 sebagai kelas kontrol yang terdiri dari 32 siswa. Pemilihan subjek menggunakan teknik purposive sampling, dengan mempertimbangkan kesetaraan karakteristik akademik antar kedua kelas berdasarkan nilai rapor semester sebelumnya.

Prosedur pelaksanaan penelitian ini dilakukan dalam beberapa tahap berikut: Tahap persiapan dalam penelitian ini mencakup serangkaian kegiatan penting untuk memastikan kelancaran dan validitas proses pembelajaran dan pengukuran. Kegiatan awal melibatkan penyusunan perangkat pembelajaran berbasis Problem Based Learning (PBL) yang diintegrasikan dengan elemen gamifikasi dan media video animasi interaktif guna mendukung peningkatan pemahaman konsep dan motivasi belajar siswa. Selain itu, disusun pula instrumen tes kemampuan spasial berupa pretest dan posttest yang dirancang sesuai indikator kemampuan spasial, kemudian dilakukan validasi instrumen oleh para ahli di bidang materi dan pendidikan. Instrumen yang telah divalidasi selanjutnya diuji validitas dan reliabilitasnya melalui uji coba di luar sampel penelitian untuk memastikan kualitas pengukuran.

Pada tahap pelaksanaan, kegiatan dilakukan di dua kelas berbeda, yaitu kelas eksperimen dan kelas kontrol. Kelas eksperimen menerima pembelajaran menggunakan model Problem Based Learning yang dipadukan dengan unsur gamifikasi seperti poin, level, dan badge, serta didukung oleh media pembelajaran berupa video animasi interaktif. Sebaliknya, kelas kontrol mengikuti pembelajaran dengan metode konvensional tanpa penggunaan media maupun strategi pembelajaran khusus. Proses pembelajaran berlangsung selama 4 hingga 6 pertemuan, sesuai dengan rencana pelaksanaan pembelajaran yang telah disusun sebelumnya.

Tahap evaluasi dan pengumpulan data dimulai dengan pelaksanaan pretest untuk mengukur kemampuan spasial awal siswa di kedua kelas. Setelah seluruh rangkaian perlakuan selesai dilaksanakan, dilakukan posttest guna mengetahui sejauh mana peningkatan kemampuan spasial terjadi sebagai dampak dari perlakuan yang diberikan di kelas eksperimen dibandingkan dengan kelas kontrol.

Adapun instrumen pengumpulan data utama dalam penelitian ini adalah tes kemampuan spasial yang terdiri dari soal-soal representasi visual, rotasi objek, dan hubungan spasial. Soal disusun dalam bentuk pilihan ganda dan uraian pendek yang sesuai dengan indikator kemampuan spasial yang telah ditetapkan. Validasi instrumen dilakukan oleh para ahli materi dan pendidikan untuk menjamin kesesuaian isi dan konteks pembelajaran. Selain itu, reliabilitas instrumen dianalisis menggunakan rumus Alpha Cronbach dengan bantuan perangkat lunak SPSS guna memperoleh nilai konsistensi internal yang memadai.

(Chandra et al., 2023; Suwandi et al., 2024).

Analisis data dilakukan secara kuantitatif menggunakan bantuan SPSS. Langkah-langkah analisis meliputi: Uji Prasyarat Analisis (Uji Normalitas menggunakan Kolmogorov-Smirnov, Uji Homogenitas menggunakan Levene's Test), Uji Hipotesis (Untuk mengetahui pengaruh perlakuan, digunakan uji-t (independent sample t-test) terhadap hasil posttest antara kelas eksperimen dan kelas kontrol) dengan rumus dasar uji-t dua sampel independen:

$$t = \frac{\bar{X}_1 - \bar{X}_2}{\sqrt{\frac{S_1^2}{n_1} + \frac{S_2^2}{n_2}}}$$

Keterangan:

$\bar{X}_1$: Rata-rata posttest kelas eksperimen

$\bar{X}_2$: Rata-rata posttest kelas kontrol

S_1^2 : Varians posttest kelas eksperimen

S_2^2 : Varians posttest kelas kontrol

n_1 : Jumlah siswa kelas eksperimen

n_2 : Jumlah siswa kelas kontrol

(Chen et al., 2024)

Jika nilai Sig. < 0,05, maka terdapat perbedaan signifikan antara dua kelompok, yang berarti perlakuan berpengaruh terhadap kemampuan spasial siswa.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh penerapan integrasi gamifikasi dan video animasi dalam model Problem Based Learning (PBL) terhadap kemampuan spasial siswa. Desain penelitian yang digunakan adalah Nonequivalent Control Group Design, dengan dua kelompok yaitu kelas eksperimen dan kelas kontrol. Kelas eksperimen menerima pembelajaran berbasis integrasi gamifikasi dan video animasi dalam PBL, sedangkan kelas kontrol memperoleh pembelajaran dengan metode konvensional (ceramah dan tanya jawab).

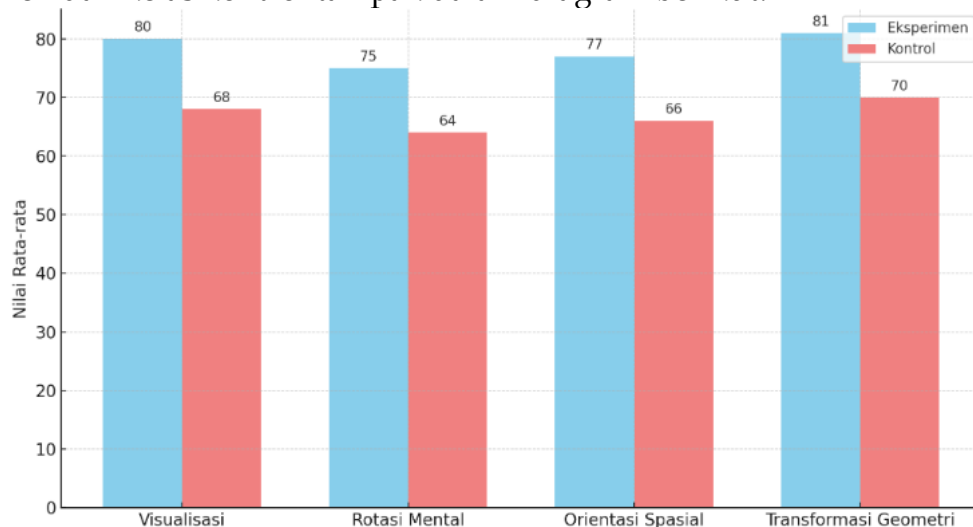
Hasil Analisis Deskriptif

Tes kemampuan spasial diberikan pada kedua kelompok sebelum dan sesudah perlakuan. Berikut adalah hasil deskriptif nilai pretest (O_1 dan O_3) dan posttest (O_2 dan O_4):

Tabel 2. Hasil deskriptif nilai pretest (O_1 dan O_3) dan posttest (O_2 dan O_4)

Kelompok	Jumlah Siswa	Rata-rata Pretest	SD Pretest	Rata-rata Posttest	SD Posttest
Eksperimen	33	58.15	6.92	78.42	7.31
Kontrol	32	57.87	7.03	67.23	6.85

Sementara itu, Perbandingan hasil pengukuran indikator kemampuan spasial antara kelas eksperimen dan kelas kontrol tampak dalam diagram berikut:



Gambar 1. Perbandingan hasil pengukuran indikator kemampuan spasial antara kelas eksperimen dan kelas kontrol.

Grafik batang menunjukkan bahwa rata-rata capaian pada seluruh indikator kemampuan spasial siswa di kelas eksperimen secara konsisten lebih tinggi dibandingkan dengan kelas kontrol. Indikator-indikator tersebut meliputi:

1. Visualisasi

Kelas eksperimen menunjukkan rata-rata nilai sebesar 80, sedangkan kelas kontrol hanya mencapai 68. Hal ini menunjukkan bahwa penggunaan video animasi dalam model PBL membantu siswa membayangkan dan memvisualisasikan objek spasial secara lebih konkret. Secara kausal, visualisasi yang interaktif dan dinamis dari animasi membuat konsep yang bersifat abstrak menjadi lebih mudah dipahami (He et al., 2024; Kuba & Jeong, 2023).

Siswa perlu memvisualisasikan model atom dan molekul, serta bagaimana elektron berpindah atau berbagi dalam pembentukan ikatan (ionik, kovalen, logam). Contoh: Membayangkan bentuk orbital atom, atau model 3D dari molekul air (H_2O) dengan sudut ikatan tertentu. Dampak: Visualisasi yang kuat memudahkan siswa memahami struktur molekul dan bentuk ikatan yang berbeda.

2. Rotasi Mental

Kelas eksperimen memperoleh nilai rata-rata 75, sementara kelas kontrol hanya 64. Gamifikasi yang mengandung elemen tantangan dan rotasi objek dalam tugas-tugas PBL kemungkinan besar mendorong siswa untuk lebih aktif melatih rotasi mental. Refleksi dari data ini menunjukkan bahwa keterlibatan aktif dan motivasi melalui game dapat mempercepat penguasaan keterampilan kognitif tingkat tinggi seperti rotasi mental.

Siswa dituntut untuk memutar bayangan struktur molekul dalam pikiran mereka untuk memahami orientasi spasial atom. Contoh: Menentukan simetri molekul atau melihat

perubahan bentuk molekul ketika dilihat dari sudut pandang yang berbeda. Dampak: Membantu dalam memahami stereoisomerisme atau struktur geometri molekul kompleks seperti tetrahedral atau trigonal planar.

3. Orientasi Spasial

Nilai rata-rata kelas eksperimen (77) juga lebih tinggi dibandingkan kelas kontrol (66). Integrasi gamifikasi dan simulasi animasi memungkinkan siswa mengalami orientasi spasial dalam berbagai konteks masalah yang disimulasikan. Hal ini menunjukkan adanya hubungan kausal antara pengalaman belajar yang kontekstual dan meningkatnya kemampuan menentukan posisi relatif antar objek.

Kemampuan menentukan posisi relatif atom atau pasangan elektron di sekitar atom pusat. Contoh: Menentukan arah gaya tolak-menolak pasangan elektron dalam teori VSEPR (Valence Shell Electron Pair Repulsion). Dampak: Menunjang pemahaman prediksi bentuk molekul berdasarkan pasangan elektron ikatan dan bebas.

4. Transformasi Geometri

Indikator ini menunjukkan nilai tertinggi di kelas eksperimen (81) dibandingkan kelas kontrol (70). Transformasi geometri merupakan kemampuan yang kompleks, namun dapat dipelajari lebih efektif melalui visualisasi animasi yang memperlihatkan langkah demi langkah transformasi objek. Model PBL yang dipadukan dengan teknologi ini memfasilitasi eksplorasi mandiri yang mendorong konstruksi pengetahuan lebih dalam.

Melibatkan perubahan bentuk atau struktur molekul akibat pembentukan atau pemutusan ikatan. Contoh: Proses resonansi struktur, isomerisasi, atau reaksi kimia yang mengubah bentuk molekul. Dampak: Membantu siswa memahami dinamika struktur molekul dalam reaksi kimia, serta perubahan bentuk selama pembentukan ikatan.

Hasil pengukuran kemampuan spasial siswa menunjukkan bahwa pembelajaran ikatan kimia dapat meningkatkan indikator spasial jika dilakukan dengan pendekatan visual dan interaktif. Sebaliknya, rendahnya hasil pada indikator spasial juga dapat menunjukkan kesulitan siswa dalam memahami konsep ikatan kimia yang bersifat tiga dimensi dan abstrak. Dengan kata lain, semakin baik kemampuan spasial siswa, semakin tinggi potensi mereka untuk memahami materi ikatan kimia secara mendalam, khususnya dalam hal struktur dan dinamika molekul (Rahman et al., 2024).

Secara keseluruhan, hasil ini mengindikasikan adanya hubungan kausal antara strategi pembelajaran inovatif (PBL + gamifikasi + animasi) dengan peningkatan kemampuan spasial siswa. Kombinasi ini menciptakan lingkungan belajar yang: a) Interaktif, sehingga meningkatkan keterlibatan siswa, b) Visual, sehingga mempermudah pemahaman konsep abstrak, c) Kontekstual, sehingga menghubungkan materi dengan situasi nyata yang bermakna. Metode konvensional di kelas kontrol cenderung bersifat pasif dan abstrak, sehingga kurang mendukung perkembangan aspek spasial secara optimal.

Hasil penelitian ini menunjukkan pentingnya pembelajaran yang berorientasi pada keterlibatan aktif siswa dan pemanfaatan teknologi visual dalam meningkatkan kemampuan spasial. Refleksi praktisnya adalah bahwa guru sebaiknya mempertimbangkan integrasi media interaktif dan pendekatan berbasis masalah dalam pembelajaran geometri dan topik-topik spasial lainnya.

Hasil Analisis Uji Hipotesis

Uji normalitas dilakukan dengan uji Kolmogorov-Smirnov, dan menunjukkan bahwa data pretest dan posttest dari kedua kelompok berdistribusi normal ($p > 0.05$). Uji homogenitas varians menggunakan Levene's Test menunjukkan bahwa varians antar kelompok homogen ($p > 0.05$).

Tabel 3. Hasil Uji Hipotesis

Uji Perbedaan Pretest (O_1 vs O_3)	Uji Perbedaan Posttest (O_2 vs O_4)
$t(63) = 0.167, p = 0.868$	$t(63) = 6.221, p < 0.001$

Berdasarkan hasil uji-t independen, terdapat perbedaan signifikan antara nilai posttest kemampuan spasial siswa pada kelas eksperimen dan kelas kontrol. Kelas eksperimen yang mendapatkan perlakuan berupa integrasi gamifikasi dan video animasi dalam model Problem Based Learning (PBL) menunjukkan peningkatan yang jauh lebih besar dibandingkan kelas kontrol yang mengikuti metode konvensional. Temuan ini menunjukkan bahwa strategi pembelajaran yang berbasis masalah dan dilengkapi dengan elemen visual serta interaktif seperti gamifikasi dan animasi secara signifikan meningkatkan kemampuan spasial siswa. Setiap indikator spasial, seperti visualisasi, rotasi mental, orientasi spasial, dan trans Terdapat hubungan kausal yang logis dan didukung teori antara perlakuan dan hasil.

PBL mendorong eksplorasi aktif dan pemecahan masalah kontekstual (Isnaeni Putri et al., 2023; Marcinauskas et al., 2024; Ngoc Lê, 2023). Gamifikasi meningkatkan motivasi, keterlibatan, dan fokus siswa (Satria Ahmar & Azzajjad, 2025; Zeybek & Saygi, 2024; Zhang, 2023). Animasi memperkuat proses visualisasi dan imajinasi spasial karena menyajikan representasi konkret dari konsep-konsep abstrak. Kombinasi ketiganya memberikan pengalaman belajar yang lebih imersif, memicu keterlibatan kognitif yang lebih tinggi, dan memperkuat pemahaman spasial. formasi geometri, menunjukkan hasil yang lebih baik di kelas eksperimen.

Temuan ini memberikan bukti kuat bahwa integrasi gamifikasi dan video animasi dalam PBL mampu meningkatkan kemampuan spasial siswa secara signifikan. Dengan pendekatan yang berbasis masalah dan visual, pembelajaran menjadi lebih kontekstual dan menyenangkan, sehingga mendukung pembentukan pemahaman jangka panjang. Kemampuan spasial adalah bagian dari keterampilan berpikir kritis dan pemecahan masalah yang sangat penting di era modern. Temuan ini mendukung pentingnya transformasi pembelajaran menuju literasi visual dan teknologi. Memberikan dasar empiris bagi pengembangan media animasi dan platform gamifikasi dalam pembelajaran sains.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil analisis data dan uji hipotesis yang telah dilakukan, dapat disimpulkan bahwa terdapat perbedaan yang signifikan antara kemampuan spasial siswa yang mendapatkan pembelajaran menggunakan integrasi gamifikasi dan video animasi dalam model Problem Based Learning (PBL) dengan siswa yang menerima pembelajaran konvensional. Hasil uji-t independen menunjukkan nilai signifikansi ($p < 0,001$), yang berarti hipotesis nol ditolak dan hipotesis alternatif diterima. Dengan demikian, pembelajaran berbasis PBL yang dipadukan dengan gamifikasi dan animasi terbukti lebih efektif dalam

meningkatkan kemampuan spasial siswa dibandingkan metode ceramah dan tanya jawab. Temuan ini secara langsung menjawab tujuan penelitian, yaitu untuk mengetahui pengaruh penggunaan gamifikasi dan video animasi dalam PBL terhadap peningkatan kemampuan spasial siswa pada materi ikatan kimia. Pendekatan inovatif ini tidak hanya meningkatkan hasil belajar siswa secara kuantitatif, tetapi juga memberikan pengalaman belajar yang lebih kontekstual dan interaktif, yang relevan dengan pengembangan keterampilan abad 21.

UCAPAN TERIMA KASIH

Peneliti mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada seluruh pihak yang telah memberikan dukungan dan kontribusi dalam pelaksanaan penelitian ini

KONTRIBUSI PENELITI

Dewi Satria Ahmar selaku penulis pertama (first author) berperan dalam menyusun instrumen penelitian, melakukan observasi awal, serta mengoordinasikan proses pengumpulan data di lapangan. Muhammad Fath Azzajjad berkontribusi dalam proses analisis data kuantitatif dan penyusunan artikel hasil penelitian. Keduanya berkolaborasi dalam diskusi hasil, penyusunan kesimpulan, serta revisi akhir naskah.

DAFTAR PUSTAKA

- Abdullah, A. H., Wahab, R. A., Mokhtar, M., Atan, N. A., Halim, N. D. A., Surif, J., Zaid, N. M., Ashari, Z. M., Ibrahim, N. H., Kohar, U. H. A., Hamzah, M. H., & Rahman, S. N. S. A. (2022). DOES Sketchup Make Improve Students' Visual-Spatial Skills? *IEEE Access*, 10. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2022.3147476>
- Ahmar, D. S., & Azzajjad, M. F. (2025). OPTIMIST-G (Optimization of Metacognitive Thinking Skills through STEAM-Based Gamification) in Chemical Bonding Learning. *Daengku: Journal of Humanities and Social Sciences Innovation*, 5(1), 121-128. <https://doi.org/10.35877/454RI.daengku3748>
- Ahmar, D. S., Muhammad Fath Azzajjad, & Ahmar, A. S. (2023). The Effect of Review Video Making on Problem Based Learning to Spatial Ability. *JINAV: Journal of Information and Visualization*, 3(2). <https://doi.org/10.35877/454ri.jinav1441>
- Aslan, H., & Turan, I. (2020). The Effect of Teachers' Level of Visual Use on Students' Visual Reading Skills: Comparison Between the Students of Expert and Novice Teachers. *International Education Studies*, 13(3). <https://doi.org/10.5539/ies.v13n3p100>
- Chandra, R., Syahril, S., Ambiyar, A., & Refdinal, R. (2023). Validity of Video Tutorials CNC/CAM for Learning in the Machining Engineering Department of Vocational High Schools. *Jurnal Penelitian Pendidikan IPA*, 9(SpecialIssue), 836-842. <https://doi.org/10.29303/jppipa.v9ispecialissue.6109>
- Charry, K., Poncin, I., Kullak, A., & Hollebeek, L. D. (2024). Gamification's role in fostering user engagement with healthy food-based digital content. *Psychology and Marketing*, 41(1). <https://doi.org/10.1002/mar.21892>

- Chen, D., Laini, A., & Blonder, B. W. (2024). Statistical inference methods for n-dimensional hypervolumes: Applications to niches and functional diversity. *Methods in Ecology and Evolution*, 15(4). <https://doi.org/10.1111/2041-210X.14310>
- Ge, X., & Huang, K. (2023). Designing Online Learning Environments to Support Problem-Based Learning. In *Handbook of Open, Distance and Digital Education* (pp. 1269–1286). Springer Nature. https://doi.org/10.1007/978-981-19-2080-6_76
- He, S., Chen, Y., Xia, Y., Li, Y., Liang, H. N., & Yu, L. (2024). Visual harmony: text-visual interplay in circular infographics. *Journal of Visualization*, 27(2). <https://doi.org/10.1007/s12650-024-00957-3>
- Isnaeni Putri, A. D., Septiyanto, R. F., & Saefullah, A. (2023). The Use of Learning Media "Fun Physics Learning" Based on Android to Improve Problem-Solving Skills of Students. *JURNAL EKSAKTA PENDIDIKAN (JEP)*, 7(2), 264–273. <https://doi.org/10.24036/jep/vol7-iss2/796>
- Joo, S. H., Khorramdel, L., Yamamoto, K., Shin, H. J., & Robin, F. (2021). Evaluating Item Fit Statistic Thresholds in PISA: Analysis of Cross-Country Comparability of Cognitive Items. *Educational Measurement: Issues and Practice*, 40(2). <https://doi.org/10.1111/emip.12404>
- Kemendikbud Ristek. (2023). PISA 2022 dan Pemulihan Pembelajaran di Indonesia. *Laporan Pisa Kemendikbud Ristek*.
- Kuba, R., & Jeong, A. (2023). Demystifying visual design: a sequential analysis of design processes in infographic visual composition. *Journal of Visual Literacy*, 42(1). <https://doi.org/10.1080/1051144X.2023.2168394>
- Limantara, N., Meyliana, Gaol, F. L., & Prabowo, H. (2023). Designing Gamified Learning Management Systems for Higher Education. *International Journal of Information and Education Technology*, 13(1). <https://doi.org/10.18178/ijiet.2023.13.1.1776>
- Marcinauskas, L., Iljinas, A., Čyvienė, J., & Stankus, V. (2024). Problem-Based Learning versus Traditional Learning in Physics Education for Engineering Program Students. *Education Sciences*, 14(2). <https://doi.org/10.3390/educsci14020154>
- Maryono, D., Budiyo, Sajidan, & Akhyar, M. (2022). Implementation of Gamification in Programming Learning: Literature Review. *International Journal of Information and Education Technology*, 12(12). <https://doi.org/10.18178/ijiet.2022.12.12.1771>
- Mayoli, E., & Tamrin, M. I. (2024). Efektivitas Pembelajaran Dengan Menggunakan Media Audio Visual Pada Mata Pelajaran Pai Di Sdn 27 Ladang Hutan. *Jurnal Pendidikan Dan Keguruan*, 2(1).
- Meng, N., Dong, Y., Roehrs, D., & Luan, L. (2023). Tackle implementation challenges in project-based learning: a survey study of PBL e-learning platforms. *Educational Technology Research and Development*, 71(3), 1179–1207. <https://doi.org/10.1007/s11423-023-10202-7>

- Ngọc Lê, P. T. (2023). Investigation into the Effectiveness of Using Problem-Based Learning in Teaching Communication Skills in English to Engineering Students. *Interdisciplinary Journal of Problem-Based Learning*, 17(1). <https://doi.org/10.14434/ijpbl.v17i1.33869>
- Rahman, H., Wahid, S. A., Ahmad, F., & Ali, N. (2024). Game-based learning in metaverse: Virtual chemistry classroom for chemical bonding for remote education. *Education and Information Technologies*. <https://doi.org/10.1007/s10639-024-12575-5>
- Satria Ahmar, D., & Azzajjad, M. F. (n.d.). *Konflik Teori Belajar dalam Pola Belajar Siswa Digital Native*.
- Satria Ahmar, D., & Azzajjad, M. F. (2025). Empowering local wisdom for enhancing students' social skills in the global era. In *Journal of Education, Social & Communication Studies* (Vol. 2, Issue 2). <https://ojs.ptmjb.com/index.php/JESCS>
- Satria Ahmar, D., & Fath Azzajjad, M. (2024). Recent Trends in Green Chemistry: A Bibliometric Analysis of Materials and Innovations. *Science Education Research (Search) Journal*, 2(2), 9–24. <https://doi.org/10.47945/search.v2i2.1334>
- Satria Ahmar, D., Fath Azzajjad, M., & Saleh Ahmar, A. (2023). Adapting to Change: The Effects of Case Study Approaches on Problem-Solving Skills. *ARRUS Journal of Mathematics and Applied Science*, 3(2). <https://doi.org/10.35877/mathscience2206>
- Suwandi, R. A., Suciati, S., & Suranto, S. (2024). Validity and Effectiveness of e-Modules Based on Discovery Learning Combined with Scaffolding Questions to Improve Science Literacy Skills. *International Journal of Interdisciplinary Educational Studies*, 19(1). <https://doi.org/10.18848/2327-011X/CGP/v19i01/1-23>
- Swanzy-Impraim, E., Morris, J. E., Lummis, G. W., & Jones, A. (2023). An investigation into the role of innovative learning environments in fostering creativity for secondary visual arts programmes in Ghana. *Journal of Creativity*, 33(2). <https://doi.org/10.1016/j.yjoc.2023.100054>
- Wang, D., Zhou, T., Lan, F., & Wang, M. (2021). ICT and socio-economic development: Evidence from a spatial panel data analysis in China. *Telecommunications Policy*, 45(7). <https://doi.org/10.1016/j.telpol.2021.102173>
- Zeybek, N., & Saygi, E. (2024). Gamification in Education: Why, Where, When, and How? – A Systematic Review. In *Games and Culture* (Vol. 19, Issue 2). <https://doi.org/10.1177/15554120231158625>
- Zhang, Y. (2023). Improvement of Learning Engagement of Primary School Students by Gamification. *Journal of Education, Humanities and Social Sciences*, 22. <https://doi.org/10.54097/ehss.v22i.12462>