

Pengembangan Model Pembelajaran Adaptif Berbasis *The Forgetting Curve* untuk Meningkatkan Retensi Konsep Spasial dalam Pembelajaran Geografi

Lalan Rojulan,¹ Siti Sanisah,^{1*} Arif¹

¹Program Studi Pendidikan Geografi, Fakultas Keguruan dan Ilmu Pendidikan,
Universitas Muhammadiyah Mataram, Indonesia

Email: lalanrojulan92@gmail.com, sitisanisah25@ummat.ac.id, arifmpd123@gmail.com,

***Korespondensi**

Article History: Received: 30-09-2025, Revised: 14-01-2026, Accepted: 15-01-2026, Published: 31-01-2026

Abstrak

Tantangan utama yang dihadapi dalam pembelajaran Geografi adalah penurunan ingatan terutama mengenai konsep spasial yang sering kali rumit dan tidak nyata. Teori kognitif *The Forgetting Curve* menjelaskan bahwa kemampuan memori manusia cenderung menurun seiring berjalannya waktu jika tidak ada pengulangan yang terorganisir. Penelitian ini bertujuan untuk menciptakan model pembelajaran adaptif yang didasarkan pada *The Forgetting Curve* untuk memperbaiki retensi siswa terhadap konsep spasial dalam mata pelajaran Geografi. Metode yang digunakan dalam penelitian adalah pendekatan *Research and Development* dengan model ADDIE yang meliputi analisis, desain, pengembangan, implementasi, dan evaluasi. Subjek penelitian adalah siswa kelas XI di MA Nurul Ittihad sebanyak 35 orang. Data penelitian diperoleh melalui instrumen berbentuk tes untuk mengukur retensi pengetahuan spasial, angket mengenai persepsi siswa, dan lembar observasi untuk menilai pelaksanaan model. Hasil penelitian menunjukkan bahwa model pembelajaran adaptif berbasis *The Forgetting Curve* memiliki tingkat kelayakan sangat tinggi dengan skor validasi ahli sebesar 87,9%. Model juga terbukti praktis, ditunjukkan oleh tingkat keberhasilan penerapan mencapai 91,4% dan keterlibatan siswa sebesar 86,2%. Nilai *Cohen's d* sebesar 3,80 mengindikasikan efektivitas model yang sangat besar terhadap peningkatan hasil belajar. Model juga efektif dalam meningkatkan retensi konsep spasial siswa, tercermin dari peningkatan skor *pretest* (61,04) menjadi 77,75 (*posttest*), dan tetap tinggi (73,91) pada *delayed test*. Temuan ini menegaskan bahwa implementasi *adaptive learning* berbasis *The Forgetting Curve* dapat memperkuat retensi jangka panjang siswa terhadap konsep spasial dalam pembelajaran Geografi.

Kata Kunci:

geografi; konsep spasial; pembelajaran adaptif; retensi pengetahuan; *the forgetting curve*

Abstract

The main challenge faced in Geography learning is memory decline, especially regarding spatial concepts that are often complex and abstract. The Forgetting Curve cognitive theory explains that human memory tends to decline over time if there is no organized repetition. This study aims to create an adaptive learning model based on the Forgetting Curve to improve student retention of spatial concepts in Geography. The method used in this study was a Research and Development approach with the ADDIE model, which includes analysis, design, development, implementation, and evaluation. The research subjects were 35 11th-grade students at MA Nurul Ittihad. Research data were obtained through test instruments to measure spatial knowledge retention, questionnaires about student perceptions, and observation sheets to assess the implementation of the model. The results

of the study indicate that the adaptive learning model based on The Forgetting Curve has a very high feasibility level with an expert validation score of 87.9%. The model has also been proven to be practical, as demonstrated by an implementation success rate of 91.4% and student engagement of 86.2%. Cohen's d value of 3.80 indicates the model's high effectiveness in improving learning outcomes. The model is also effective in improving students' spatial concept retention, as reflected in the increase in pretest scores (61.04) to 77.75 (posttest), and remains high (73.91) on the delayed test. These findings confirm that implementing adaptive learning based on The Forgetting Curve can strengthen students' long-term retention of spatial concepts in Geography learning.

Keywords:

adaptive learning; geography; knowledge retention; spatial concepts; the forgetting curve



This work is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License.

Pendahuluan

Salah satu pendekatan yang umum digunakan dalam pembelajaran Geografi adalah pendekatan spasial (keruangan) untuk memahami objek Geografi dan hubungan sebab akibatnya dalam ruang tertentu. Oleh karena itu, elemen mendasar dalam pembelajaran Geografi adalah mendesain cara untuk memastikan agar siswa dapat mempertahankan pengetahuannya tentang ruang dalam jangka waktu lama dan berkesinambungan. Banyak konsep Geografi yang disampaikan kepada siswa terutama dari tingkat Sekolah Menengah Pertama hingga Sekolah Menengah Atas seperti orientasi ruang, distribusi fenomena, dan hubungan ruang antarwilayah yang seringkali cepat dilupakan setelah kegiatan belajar berakhir. Hasil studi menunjukkan bahwa siswa di tingkat sekolah menengah memiliki pemahaman mengenai konsep spasial yang masih terbatas dan kurang berkembang ke ranah metakognitif (Carow & Pretorius, 2024; Duarte et al., 2022). Selain itu, upaya untuk meningkatkan kemampuan *spatial thinking* siswa dalam pelajaran Geografi di Indonesia masih menghadapi tantangan, diantaranya terkait dengan metode pembelajaran dan materi pelajaran (Astawa, 2022; Nursa'ban & Mukminan, 2023). Kondisi ini menandakan bahwa daya retensi siswa terhadap materi Geografi yang berbasis spasial masih rendah dan memerlukan pendekatan khusus.

Kemampuan *spatial thinking* dan pemahaman siswa terhadap konsep spasial merupakan elemen kunci dalam pembelajaran Geografi, karena memungkinkan siswa mampu menginterpretasikan peta, memahami relasi antarwilayah, dan melakukan analisis terhadap fenomena geospasial (Gersmehl, 2023). Penelitian di kalangan siswa sekolah menengah menunjukkan bahwa *geospatial thinking* memiliki korelasi kuat dan positif dengan hasil belajar Geografi. Sebuah studi di Tiongkok menemukan bahwa *geospatial thinking* berperan penting sebagai penghubung antara status ekonomi keluarga dan capaian siswa dalam pembelajaran Geografi (Zhang et al., 2023). Sejalan dengan itu, penelitian pada salah satu sekolah menengah di Jerman menemukan bahwa siswa masih mengalami hambatan cukup serius dalam memahami konsep '*space*' dan '*place*' yang dominan disebabkan oleh interferensi konsep lain serta kurang relevannya pengajaran yang dilakukan (Bienert, 2024). Dapat dikatakan bahwa selain aspek retensi, kualitas pemahaman tentang konsep spasial juga merupakan hal penting dalam proses pembelajaran Geografi.

Retensi siswa terhadap konsep spasial pada pembelajaran Geografi, cukup relevan disandingkan dengan *The Forgetting Curve Theory* yang dikemukakan Hermann Ebbinghaus (Murre & Chessa, 2022). Dalam konteks disiplin pendidikan dan psikologi kognitif menunjukkan bahwa kemampuan ingatan manusia akan menurun signifikan seiring dengan berjalannya waktu jika materi tidak diulang secara sistematis. Ebbinghaus (1885) juga menyatakan bahwa tanpa pengulangan (peninjauan kembali), sejumlah besar informasi yang baru saja dipelajari siswa akan cepat hilang dalam waktu yang tidak terlalu lama (Murre & Dros, 2015). Hasil kajian terkini mendukung bahwa metode seperti pengulangan terpadu (*spaced repetition*) dan pembelajaran adaptif (*adaptive learning*) berpotensi memperlambat laju pelupaan (Singh, 2024; Zixiang et al., 2025). Konsep *adaptive learning* dalam konteks ini terkait dengan mekanisme pembelajaran yang menyesuaikan proses pengulangan materi berdasarkan ritme pelupaan masing-masing individu, sebuah pendekatan yang semakin diajukan dalam dunia pendidikan berbasis teknologi (Contrino et al., 2024; Kabudi et al., 2021).

Meski demikian, implementasi model pembelajaran adaptif berbasis *The Forgetting Curve* dalam pengajaran Geografi masih sangat terbatas dilakukan. Sebagian besar penelitian terkait dengan kurva pelupaan dan *spaced repetition* dominan dilakukan pada bidang bahasa atau pembelajaran klinis (Singh, 2024; Zaidi et al., 2020). Seperti pada penelitian berjudul yang *Adaptive Forgetting Curves for Spaced Repetition Language Learning* menunjukkan bahwa mendesain *forgetting curve* individu dapat meningkatkan probabilitas *recall* kata dan juga kosakata (Zaidi et al., 2020). Akan tetapi, karakteristik yang melekat pada konsep spasial dalam Geografi, bersifat abstrak, terhubung dengan representasi peta, dan interaksi ruang, membutuhkan desain pengulangan yang berbeda dari sekadar menghafal. Sehingga mengembangkan strategi adaptif yang mempertimbangkan ritme pelupaan siswa dalam konteks pengajaran Geografi menjadi sangat penting dan relevan.

Beberapa hasil studi yang relevan dalam ranah pembelajaran Geografi telah berhasil mengidentifikasi pentingnya peningkatan dan pengembangan kemampuan spasial dan mempertahankan retensi dalam jangka panjang. Penelitian yang dilakukan oleh Zeng et al., (2023) mengeksplorasi bagaimana peningkatan *geospatial thinking* pada siswa Sekolah Menengah Atas melalui eksperimen pembelajaran yang fokus ke literasi spasial. Temuan menunjukkan adanya peningkatan signifikan dalam *geospatial thinking* setelah intervensi. Selain itu, kajian (Subhani & Agustina, 2018) yang mengembangkan lembar kerja berbasis *spatial thinking* untuk materi peta menemukan efektivitas yang moderat (efek sebesar 0,34) dalam meningkatkan hasil belajar. Temuan ini menegaskan bahwa intervensi yang fokus pada *spatial thinking* dapat meningkatkan pemahaman, tetapi penelitian tentang retensi pengetahuan dalam jangka panjang atau ritme pelupaan masih sangat terbatas.

Hasil observasi di MA Nurul Ittihad menemukan bahwa pembelajaran Geografi masih didominasi metode konvensional dengan fokus penyampaian materi secara tekstual dan *teacher centered*. Aktivitas eksploratif yang melibatkan konstruksi pengetahuan spasial melalui media interaktif jarang dilakukan, sehingga 63% siswa mengalami kesulitan mengingat kembali konsep spasial dasar seperti orientasi arah, pola persebaran fenomena, dan hubungan antarwilayah. Kondisi ini mengindikasikan lemahnya retensi jangka menengah dan panjang terhadap materi khususnya konsep spasial yang telah dipelajari. Selain itu, berdasarkan wawancara dengan guru Geografi diketahui bahwa pengulangan materi pelajaran belum

dilakukan secara sistematis dan masih tergantung pada kebutuhan sesaat, seperti menjelang ujian atau saat *remedial teaching*. Ketidakteraturan ini tentu berdampak pada proses penguatan memori yang tidak optimal, sebagaimana disampaikan (Singh, 2024) bahwa minimnya keterlibatan siswa dalam siklus pengulangan adaptif dapat mempercepat laju pelupaan informasi yang sudah diperoleh sebelumnya. Sejalan dengan itu (Li, 2025) juga menegaskan pentingnya *spaced repetition* atau pengulangan yang terjadwal dalam menjaga retensi konsep dalam pembelajaran secara tatap muka maupun daring (melalui media digital).

Kondisi di MA Nurul Ittihad juga mengindikasikan bahwa meski sebagian besar siswa sudah menunjukkan antusiasme tinggi pada awal pembelajaran, tetapi kenyataannya partisipasi mereka akan menurun signifikan pada pertemuan berikut. Hal ini disebabkan kurangnya aktivitas reflektif dan visualisasi konseptual yang dapat menghubungkan pengalaman belajar mereka dengan konteks spasial secara nyata. Terkait hal tersebut (Murre & Dros, 2015) menegaskan bahwa tanpa penguatan dan pengulangan dalam interval tertentu, memori konseptual yang terbentuk selama pembelajaran berpotensi mengalami degradasi eksponensial sesuai dengan pola yang ada pada *The Forgetting Curve*.

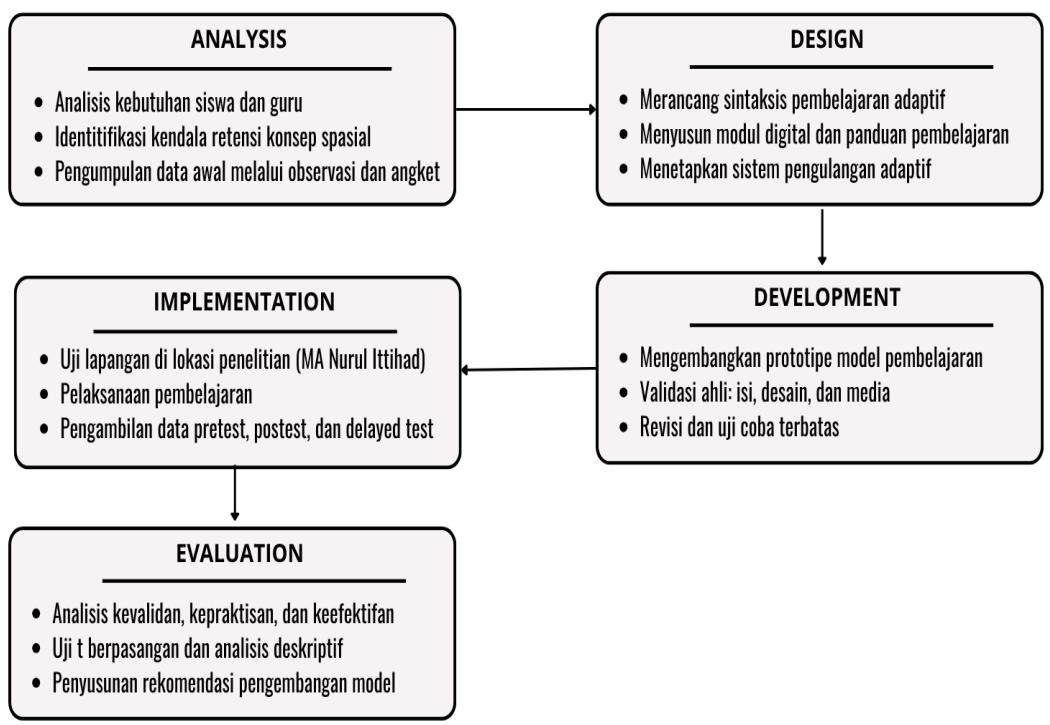
Hasil penelitian dan observasi awal menunjukkan sejumlah pola. Pertama, intervensi spasial cenderung meningkatkan pemahaman mengenai konsep ruang dalam waktu singkat. Kedua, mayoritas studi menilai hasil segera setelah intervensi, hanya sedikit yang melaksanakan *delayed test* untuk mendalami ritme bertahannya pengetahuan. Ketiga, belum ditemukan upaya eksplisit untuk mengintegrasikan mekanisme *spaced repetition* dan *adaptive learning* berdasarkan pola *forgetting curve* ke pembelajaran Geografi. Walaupun kualitas pemahaman spasial menjadi fokus, tetapi retensi jangka panjang dalam konteks pengelolaan informasi agar tetap bertahan lama menjadi kelemahan yang perlu perhatian dan upaya untuk ditingkatkan. Oleh karena itu, *gap research* yang cukup kentara dan menjadi peluang dilakukan penelitian pengembangan ini adalah belum ada model pembelajaran yang dirancang secara spesifik untuk digunakan pada pembelajaran Geografi, yang dapat mengintegrasikan interval pengulangan adaptif berdasar kurva pelupaan individu guna memperkuat ketahanan konsep spasial dalam jangka panjang. Inovasi penelitian ini terletak pada pengembangan model pembelajaran adaptif berdasarkan *The Forgetting Curve* yang secara terstruktur menyesuaikan interval pengulangan materi spasial sesuai profil pelupaan siswa, lalu mengukur retensi setelah periode waktu tertentu. Dengan demikian, penelitian ini diharapkan dapat menambah wawasan empiris dalam bidang pendidikan Geografi dan memperluas penerapan teori kognitif pelupaan di bidang Geografi.

Secara umum tujuan penelitian adalah mengembangkan dan menguji model pembelajaran adaptif berbasis *The Forgetting Curve* untuk meningkatkan retensi konsep spasial dalam pembelajaran Geografi. Manfaat teoritis yang diharapkan adalah hasil penelitian berkontribusi dalam pengembangan model pembelajaran kognitif dalam konteks Geografi. Sementara secara praktis, hasil penelitian dapat membantu para pendidik dan lembaga pendidikan dalam menyusun strategi pengulangan yang efektif agar pengetahuan spasial siswa tetap terjaga. Implikasi penelitian ini meliputi penerapan interval pengulangan yang dipersonalisasi dalam konteks pembelajaran Geografi, penggunaan media digital atau modul yang mendukung strategi pengulangan, serta evaluasi retensi jangka panjang sebagai bagian dari proses pembelajaran. Oleh karena itu, penelitian ini diharapkan dapat

membuka jalan baru untuk meningkatkan daya ingat dan pemahaman spasial siswa di zaman pembelajaran yang berbasis teknologi dan kemandirian daerah.

Metode

Penelitian ini menerapkan pendekatan *Research and Development* (R&D) dengan model pengembangan ADDIE yang terdiri dari lima fase utama yaitu *analysis, design, development, implementation, and evaluation* (Adeoye et al., 2024). Model ADDIE dipilih karena diyakini dapat memberikan struktur sistematis untuk mengembangkan produk pembelajaran berbasis teori kognitif yang sesuai dengan kebutuhan peserta didik. Kegiatan penelitian dilaksanakan di MA Nurul Ittihad. Sekolah berlokasi di Desa Perina Kecamatan Jonggat Kabupaten Lombok Tengah, dengan subjek penelitian sebanyak 35 siswa (19 perempuan dan 16 laki-laki) dari kelas XI IPS, yang mengikuti pembelajaran Geografi pada topik Pola Persebaran dan Interaksi Ruang. Pemilihan lokasi dilakukan secara *purposive* dengan mempertimbangkan kesiapan infrastruktur dan dukungan pihak sekolah terhadap inovasi pembelajaran yang adaptif. Prosedur pengembangan selengkapnya dapat diperhatikan pada Gambar 1.



Gambar 1. Tahapan Pengembangan Pembelajaran Adaptif Berbasis *The Forgetting Curve*

Gambar 1 menunjukkan bahwa fase pertama pengembangan adalah *analysis*, berfokus pada pemetaan kebutuhan belajar siswa dan guru terkait model pembelajaran yang efektif dan adaptif dalam mengatasi kendala pada daya ingat siswa, dan identifikasi kendala retensi pada konsep spasial. *Analysis* dilakukan melalui serangkaian kegiatan wawancara, observasi di kelas, dan penyebaran kuesioner kepada siswa dan guru. Fase *design* mengedepankan perancangan sintaks dari model pembelajaran adaptif berbasis *The Forgetting Curve*. Dalam fase ini,

peneliti menyusun modul digital dan panduan pembelajaran untuk guru, serta mengembangkan sistem pengulangan materi pelajaran yang disesuaikan dengan interval waktu berdasarkan tingkat retensi siswa.

Tahap *development* melibatkan pembuatan *prototipe* model pengajaran yang disajikan dalam bentuk modul digital dan panduan instruksional. Melakukan validasi ahli yang mencakup validasi isi, desain, dan media. Dalam hal ini dilakukan dengan melibatkan tiga orang validator yang ahli, yaitu pakar Geografi, spesialis dalam desain pembelajaran, dan profesional di bidang teknologi pendidikan. Uji validasi dilakukan untuk mengevaluasi kelayakan isi, penampilan, serta keterpaduan model berdasarkan prinsip *The Forgetting Curve*. Setelah melalui proses validasi, *prototipe* direvisi sesuai dengan saran dari para ahli, lalu diuji secara terbatas pada 10 orang siswa untuk mengevaluasi respons awal terkait kemudahan penggunaan dan pemahaman terhadap materi modul. Instrumen yang dikembangkan dalam penelitian untuk uji validasi didasarkan pada tabel 1.

Tabel 1. Indikator Penilaian Validasi Model

No	Aspek	Indikator	Skala/bentuk instrumen
1	Validasi isi	Kesesuaian dengan KI-KD/CP Ketepatan konsep geografi Kedalaman materi spasial Integrasi The Forgetting Curve	
2	Validasi desain	Kejelasan sintaks Keterpaduan fase pembelajaran Kejelasan alur adaptif Kesesuaian evaluasi	Skala Likert (1-5)
3	Validasi model	Tampilan visual Keterbacaan Navigasi Interaktivitas Kesesuaian media digital	

Kegiatan yang dilakukan pada tahap *implementation* adalah uji lapangan di lokasi penelitian, mengimplementasikan *adaptive learning model* yang berbasis pada *The Forgetting Curve* dalam pembelajaran Geografi untuk siswa kelas XI di MA Nurul Ittihad. Proses pembelajaran berlangsung dalam empat sesi dengan topik Pola Persebaran dan Interaksi Ruang. Dalam tahap ini, guru berperan sebagai fasilitator, dan peneliti mengamati pelaksanaan model yang diterapkan. Retensi konsep spasial siswa diukur melalui tiga tes yaitu *pretest* (sebelum pembelajaran dimulai), *posttest* (setelah pembelajaran selesai), dan tes tertunda atau *delayed test* yang dilakukan dua minggu setelah pembelajaran berakhir) untuk melihat sejauh mana siswa mengalami penurunan daya ingat. Selain itu, persepsi siswa terhadap pengalaman pembelajaran dikumpulkan melalui kuesioner, dan lembar observasi digunakan untuk mengevaluasi konsistensi pelaksanaan model dalam kelas. Alat ukur untuk memahami perkembangan retensi konsep spasial disusun berdasarkan kisi-kisi pada tabel 2.

Tabel 2. Indikator Penilaian Konsep Spasial

No	Aspek	Indikator	Bentuk Tes
1	Lokasi	Pemahaman posisi fenomena geografis	Pilihan
2	Persebaran (distribusi)	Kemampuan mengidentifikasi pola spasial	ganda
3	Jarak	Pemahaman hubungan jarak dan interaksi ruang	
4	Keterjangkauan	Analisis kemudahan akses wilayah	
5	Interaksi ruang	Analisis bentuk dan intensitas interaksi	
6	Pola dan struktur ruang	Pemahaman keterkaitan antarunsur ruang	
7	Diferensiasi areal	Pemahaman perbedaan wilayah	
8	Asosiasi keruangan	Analisis hubungan antarfenomena	Uraian
9	Skala	Kemampuan menentukan skala analisis	
10	Representasi spasial	Kemampuan menginterpretasikan hubungan spasial	

Tabel 2 menyajikan kisi-kisi instrumen tes retensi konsep spasial siswa yang disusun berdasarkan aspek utama konsep spasial pada materi Pola Persebaran dan Interaksi Ruang. Selanjutnya, tahap terakhir pengembangan adalah *evaluation* yang mencakup analisis hasil pengujian validitas, praktikalitas, dan efektivitas model yang digunakan. Data kualitatif yang diperoleh dari wawancara, observasi, dan tanggapan para ahli dianalisis menggunakan model Miles dan Huberman yang mencakup tiga langkah yaitu reduksi data, penyajian data, dan penarikan kesimpulan. Untuk data kuantitatif yang dihasilkan dari tes retensi, dianalisis menggunakan *t-test* berpasangan untuk mengevaluasi signifikansi peningkatan skor antara *pretest*, *posttest*, dan *delayed test*. Persentase peningkatan skor retensi juga dihitung dengan maksud untuk menilai efektivitas pembelajaran adaptif dalam meningkatkan daya ingat siswa. Hasil evaluasi dijadikan sebagai dasar untuk perbaikan dan penyusunan rekomendasi pengembangan model pembelajaran agar dapat diterapkan pada sekolah lainnya.

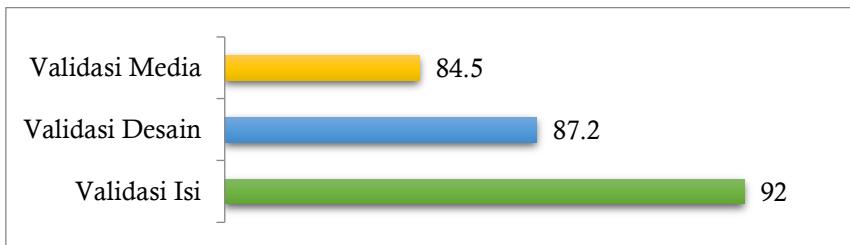
Hasil dan Pembahasan

Data yang diperoleh selama proses pengembangan berlangsung dianalisis bertahap sesuai dengan model pengembangan yang digunakan. Temuan pada tahap *analysis* menunjukkan bahwa siswa sering mengalami kesulitan dalam mempertahankan pemahaman jangka panjang mengenai konsep spasial seperti jarak, arah, dan distribusi fenomena geografis. Di samping itu, banyak guru yang belum mengaplikasikan strategi pengulangan yang berbasis pada ritme pelupaan, sehingga metode pembelajaran yang digunakan cenderung linier dan kurang mampu menyesuaikan diri dengan variasi kemampuan memori individu.

Sintaks pembelajaran adaptif yang dirancang pada tahap *design* mencakup beberapa aspek yaitu orientasi belajar, eksplorasi konsep, pengulangan yang adaptif, serta evaluasi retensi. Modul pembelajaran disajikan dalam bentuk digital untuk memudahkan akses dan mendukung aktivitas pengulangan yang terencana. Desain ini juga dilengkapi dengan panduan bagi guru untuk memantau kemajuan retensi siswa secara rutin. Sedangkan sistem pengulangan adaptif ditentukan dengan pola interval 1-3-7, merupakan strategi *spaced repetition* yang dirancang

berdasarkan teori *The Forgetting Curve* untuk mengintervensi titik kritis pelupaan sekaligus memperpanjang durasi retensi memori jangka panjang.

Rancangan yang sudah disesuaikan menjadi *prototype* model pembelajaran adaptif berbasis *The Forgetting Curve* diuji secara terbatas pada tahap *development*. Model pembelajaran diimplementasikan dalam tiga fase utama yaitu pertama, fase eksplorasi konsep, siswa mengonstruksikan pemahaman awalnya terhadap konsep spasial seperti lokasi, jarak, dan pola persebaran melalui kegiatan interpretasi peta konsep dan analisis fenomena lokal. Kedua, fase adaptasi retensi yakni penerapan pengulangan materi dengan interval waktu 1-3-7 hari untuk menyesuaikan ritme pelupaan individu. Ketiga, fase refleksi spasial dimana siswa merekonstruksi konsep yang telah dipelajari melalui aktivitas peta tematik, simulasi ruang, dan diskusi reflektif. Prototipe dikemas dalam modul digital interaktif dan panduan pembelajaran untuk guru dilengkapi dengan jadwal pengulangan adaptif, instrumen asesmen retensi, dan indikator keterlibatan siswa. Elemen visual dan instruksional disusun menggunakan prinsip *cognitive load theory* agar siswa tidak terbebani oleh informasi yang berlebih selama proses belajar berlangsung. Hasil validasi ahli terhadap prototipe tersebut dapat diperhatikan pada Gambar 2.



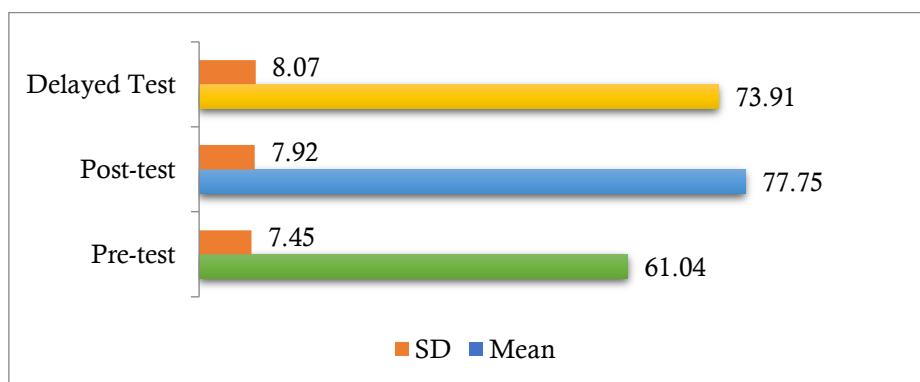
Gambar 2. Skor Rata-rata Hasil Validasi Ahli

Sumber: Data penelitian, 2025

Gambar 2 menunjukkan hasil validasi seluruh aspek penilaian yang berada pada kategori Sangat Layak untuk digunakan dalam pembelajaran. Nilai validasi isi (92%) mengindikasikan bahwa substansi materi Geografi dalam model sesuai dengan kurikulum dan mendukung pencapaian kompetensi dasar terkait konsep spasial. Ahli menilai bahwa materi yang disajikan mencerminkan keterpaduan antara pemahaman konsep dengan penerapannya pada fenomena geosfer yang kontekstual di lingkungan siswa. Nilai 87,2% pada aspek desain menunjukkan struktur sintaks model yang terdiri dari eksplorasi konsep, adaptasi retensi, dan refleksi spasial sudah tersusun secara logis dan selaras dengan prinsip *The Forgetting Curve*. Saran yang disampaikan ahli dalam aspek ini adalah memperjelas instruksi pada tahap refleksi dan memperkuat hubungan antara aktivitas siswa dengan indikator pencapaian kompetensi. Sedangkan nilai 84,5% pada validasi media menunjukkan bahwa tampilan visual dan interaktivitas media digital sudah memadai, meski masih membutuhkan penyempurnaan pada aspek kontras warna, ukuran teks, dan navigasi antarhalaman pada modul digital agar lebih ramah pengguna. Dapat disimpulkan bahwa model pembelajaran adaptif berbasis *The Forgetting Curve* yang dikembangkan telah memenuhi kriteria valid dalam konteks isi, desain, dan media sehingga dapat dilanjutkan ke tahap uji coba terbatas setelah dilakukan revisi sesuai dengan saran yang disampaikan oleh validator.

Hasil pengamatan pada uji coba terbatas menunjukkan tingkat keberhasilan penerapan sebesar 91,4% (kategori sangat baik), serta tingkat keterlibatan siswa dalam aktivitas konsep dan refleksi spasial mencapai 86,2% (sangat baik). Guru Geografi menyampaikan bahwa model mudah diimplementasikan dan membantu guru merencanakan pengulangan materi tanpa mengganggu proses pembelajaran yang biasa dilakukan. Secara umum, fase *development* menunjukkan bahwa model pembelajaran adaptif berbasis *The Forgetting Curve* telah memenuhi sejumlah kriteria valid, layak, dan praktis untuk digunakan dalam pembelajaran. Hasil validasi ahli dan hasil uji coba terbatas menegaskan bahwa model tidak hanya tepat dalam aspek teori, tetapi juga realistik dan efektif dalam konteks pembelajaran Geografi yang fokus pada retensi konsep spasial.

Hasil uji lapangan pada tahap *implementation* menunjukkan bahwa sekolah memiliki fasilitas memadai, guru Geografi yang terlibat diberikan *briefing* singkat terkait mekanisme penerapan model serta penggunaan sistem pengulangan adaptif berbasis interval 1-3-7 hari. Pelaksanaan pembelajaran dilakukan sebanyak tiga kali pertemuan dengan kegiatan eksplorasi konsep pada pertemuan pertama, adaptasi retensi pada pertemuan kedua, dan refleksi spasial pada pertemuan ketiga. Hasil pengukuran retensi dapat diperhatikan pada Gambar 3.



Gambar 3. Trend Retensi Konsep Spasial

Sumber: Data penelitian, 2025

Gambar 3 menunjukkan rata-rata dan standar deviasi nilai retensi siswa mengalami peningkatan signifikan. Nilai rata-rata *pretest* 61,04 dengan standar deviasi 7,45 mengindikasikan kemampuan awal siswa berada pada level menengah dan beragam. Hasil *posttest* meningkat menjadi 77,75 dengan standar deviasi 7,92, menunjukkan peningkatan signifikan dalam pemahaman konsep. Nilai *delayed test* menunjukkan rerata 73,91 dengan standar deviasi 8,07 setelah 14 hari. Peningkatan ini mengindikasikan bahwa pendekatan pembelajaran yang dirancang dapat meningkatkan serta mempertahankan pembelajaran siswa dengan baik, meskipun ada sedikit penurunan setelah periode waktu tertentu. Dapat disimpulkan bahwa model pembelajaran yang dikembangkan mampu diintegrasikan dengan baik ke dalam pembelajaran Geografi untuk memperkuat konsep sosial. Penerapan interval 1-3-7 hari terbukti dapat membantu siswa memperkuat memori jangka panjangnya melalui proses aktivasi ulang pengetahuan secara berkala. Selain itu, partisipasi aktif siswa dalam aktivitas peta konsep dan refleksi spasial berperan penting juga

dalam memperdalam pemahaman dan menstabilkan struktur kognitif siswa terhadap materi pelajaran. Guru juga menilai bahwa model ini praktis untuk diterapkan dan relevan dengan kebutuhan pembelajaran abad ke-21 yang menuntut adaptivitas, refleksi, dan penguasaan konsep spasial secara mendalam.

Validitas model pada fase *evaluation* dibuktikan dengan hasil validasi ahli isi (92%), desain (87,2%), dan media pembelajaran (84,5%), termasuk dalam kategori sangat valid. Model juga dinyatakan praktis melalui uji kepraktisan model yang menunjukkan bahwa tingkat keterlaksanaan sintaks model mencapai 91,4% (kategori sangat baik) dan respon siswa terhadap model menunjukkan tingkat yang sangat baik yaitu 86,2%, hal ini memperkuat temuan bahwa model bersifat praktis dan dapat diimplementasikan. Aspek keefektifan model didasarkan pada peningkatan hasil *pretest*, *posttest*, dan *delayed test*. Sementara hasil uji *t-test* secara berpasangan dapat diperhatikan pada tabel 3.

Tabel 3. Hasil Uji Statistik Retensi Konsep Spasial

Perbandingan	t-value	p-value	Cohen's d
Pretest-posttest	22,48	5,48x10 ⁻²²	3,80
Posttest-delayed test	-8,35	9,58x10 ⁻¹⁰	-1,41

Sumber: Data penelitian, 2025

Tabel 3 menunjukkan bahwa hasil uji *paired t-test* berpasangan *pretest-posttest* menghasilkan nilai $t=22,48$ dengan $p < 0,0001$, menandakan adanya peningkatan sangat signifikan. Nila *cohen's d* sebesar 3,80 merupakan indikasi efek pembelajaran yang sangat besar, melebihi ambang batas interpretasi Cohen ($d > 0,8$ = efek besar). Artinya, intervensi pembelajaran berbasis pengulangan adaptif memiliki pengaruh substansial terhadap peningkatan retensi dan pemahaman sosial. Uji *posttest-delayed test* menunjukkan penurunan dengan $t= -8,35$ dan $p < 0,0001$, dan *Cohen's d* -1,41 bermakna adanya efek pelupaan alami, tetapi masih dalam kategori *high retention* karena rerata hasil tes tetap berada di atas nilai *pretest*. Hasil evaluasi membuktikan bahwa model efektif secara statistik dan pedagogis dapat untuk diterapkan dalam pembelajaran Geografi yang berorientasi pada retensi pengetahuan jangka panjang.

Pembahasan

Model ini memungkinkan siswa belajar sesuai gaya belajarnya masing-masing baik sebagai aktivis yang menyukai tantangan, reflektif yang senang mengamati, teoretis yang berpikir logis, maupun pragmatis yang senang praktik langsung (Contrino et al., 2024; Supriyatmoko et al., 2025). Peningkatan retensi konsep spasial dalam Geografi setelah penerapan model adaptif yang berlandaskan pada *The Forgetting Curve* menunjukkan hasil yang konsisten dengan studi sebelumnya (Cepeda et al., 2006; Murre & Dros, 2015), menunjukkan bahwa *distributed practice* dan *spaced retrieval* dapat memperbaiki retensi jangka panjang pada berbagai aspek pembelajaran. Dalam ranah pembelajaran Geografi, penerapan *The Forgetting Curve* dengan interval 1–3–7 hari terbukti relevan karena menggabungkan prinsip kognitif dengan kebutuhan pembelajaran ruang (Bartlett & Camba, 2024; Murre & Chessa, 2022). Peningkatan partisipasi siswa dalam proses refleksi dan penyusunan kembali konsep, menjadi indikator signifikan dalam penguatan ingatan konseptual. Model ini bermanfaat dari segi kognisi, dan berpotensi memperkaya keterlibatan dan kolaborasi siswa dalam pembelajaran berbasis peta dan simulasi ruang.

Manfaat yang dapat diperoleh siswa dan guru dari metode *spaced repetition* pada pembelajaran adaptif lebih konsisten dibandingkan dengan praktik terpusat, terutama ketika digabungkan dengan pengujian ulang dan format yang interaktif (Istikomah et al., 2024; Khalafi et al., 2024). Dalam konteks pembelajaran terapan mengungkapkan bahwa protokol *spaced learning* yang terorganisir dapat memperbaiki hasil belajar dan menjaga akurasi pengingatan (*recall*) dalam jangka waktu menengah (Cepeda et al., 2006; Khalafi et al., 2024). Hal ini mendukung pemahaman bahwa pola peningkatan capaian hasil belajar (retensi) siswa dari evaluasi pada *pre-post test* dan penurunan yang cukup moderat pada *delayed test* dalam pengembangan ini merupakan efek yang *plausible* (dapat dijelaskan) oleh mekanisme konsolidasi memori yang dipicu pengulangan yang dilakukan secara terjadwal. Menjadi sangat rasional jika aspek adaptif sangat penting dan tidak dapat diabaikan dalam desain pengulangan pembelajaran.

Praktik *adaptive learning* menekankan penyesuaian interval pengulangan, baik menggunakan model statistik *The Forgetting Curve* maupun algoritma pembelajaran digital. Langkah ini berpeluang untuk menjadwalkan kembali materi pada momen yang tepat untuk setiap siswa, sehingga pemanfaatan sumber daya pembelajaran menjadi lebih efisien dan efektif (Halkiopoulos & Gkintoni, 2024; Villegas-Ch et al., 2025). Analisis kerangka pembelajaran adaptif yang lebih teknis menunjukkan bahwa integrasi kinerja dan model *The Forgetting Curve* yang dinamis dapat membantu memprediksi probabilitas *recall* dan menyesuaikan interval secara langsung (*real time*) (Arnau-gonzález et al., 2025; Zaidi et al., 2020). Dalam bidang pembelajaran Geografi, sifat adaptif ini sangat penting karena konsep spasial memiliki tingkat kompleksitas yang variatif dan tidak semua elemen kognitif menuntut interval pengulangan serupa. Oleh karena itu, dapat dipahami bahwa pengulangan yang bersifat adaptif lebih efektif dibandingkan dengan pengulangan yang didasarkan pada jadwal yang bersifat statis.

Materi pembahasan yang disajikan pada pembelajaran Geografi dan *spatial thinking* mengisyaratkan relevansi cukup tinggi dengan model ini dalam mencapai tujuan kurikulum yaitu untuk meningkatkan pemahaman spasial dan kemampuan *transfer of knowledge* ke dalam tugas representasi ruang (Sanisah & Tohirin, 2024). Penelitian mengenai perkembangan *geospatial thinking* menunjukkan bahwa intervensi yang menekankan literasi spasial, pemetaan konsep, serta pemanfaatan media geoteknologi dapat meningkatkan kemampuan spasial dalam jangka pendek secara signifikan (Farkhan et al., 2025; Zeng et al., 2023). Analisis mengenai penerapan pembelajaran adaptif pada pendidikan Geografi juga menekankan perlunya pengulangan dalam representasi konsep ruang agar relasi antarkonsep menjadi lebih mendalam dan melekat (Duarte et al., 2022; Nursa'ban & Mukminan, 2023). Karena itu, penggabungan pengulangan adaptif dengan kegiatan reflektif (misalnya pada materi tentang peta konseptual dan simulasi ruang) dalam penelitian ini sesuai dengan praktik terbaik yang teridentifikasi dalam literatur pendidikan Geografi untuk membangun pemahaman spasial yang berkelanjutan.

Dinamika pada level instruksional menunjukkan adanya temuan persepsi positif siswa dan guru yang memperkuat argumen bahwa intervensi ini mampu meningkatkan keterlibatan (*engagement*) dan pembelajaran mandiri (*self regulated learning*), yang merupakan dua aspek krusial untuk mempertahankan pengetahuan dalam jangka panjang. Dalam penelitian yang dilakukan Kang (2016) dan Mayer & Fiorella (2022), juga mengungkapkan bahwa pengulangan terjadwal dan elaborasi

konseptual dapat memperkuat struktur memori jangka panjang serta pemahaman konseptual dalam proses pembelajaran berbasis kognisi. Aktivitas ini memperkuat kemampuan berpikir spasial, yang merupakan inti dari pembelajaran Geografi. Penelitian Ramadhan et al., (2025), Katona & Gyonyoru (2025), serta Strielkowski et al., (2025) mengonfirmasi bahwa metode pembelajaran adaptif dapat meningkatkan rasa pengendalian dan kemandirian siswa dalam belajar karena mereka mendapatkan umpan balik langsung terkait performa memori mereka.

Temuan ini menunjukkan bahwa strategi konstruksi pengetahuan melalui peta konsep mampu mendorong siswa untuk lebih aktif dalam menghubungkan ide-ide spasial, berdiskusi dengan teman sebaya, dan merefleksikan kembali pemahaman yang telah diperoleh (Sanisah et al., 2022). Aktivitas ini juga memfasilitasi *active recall* dan *meaningful learning* sebagaimana disarankan oleh Ausubel (1968) dan diperkuat oleh penelitian kontemporer yang menegaskan efektivitas *visual-spasial mapping* dalam memperkuat retensi jangka panjang (Bryce & Blown, 2024; Plater et al., 2022; Walsh et al., 2023). Artinya, aktivitas peta konsep berfungsi sebagai alat bantu visual, sekaligus sebagai media reflektif yang memperkuat keterlibatan kognitif dan afektif siswa dalam proses belajar Geografi. Hal ini mendukung argumen bahwa pembelajaran adaptif yang mengintegrasikan unsur spasial dan interval pengulangan dapat menciptakan pengalaman belajar yang lebih bermakna dan berkelanjutan.

Penelitian terkait dengan *microlearning*, gamifikasi, serta metode pembelajaran terstruktur menemukan bahwa sesi pengulangan singkat yang disertai dengan umpan balik dan aktivitas aktif (*retrieval practice*) dapat meningkatkan motivasi serta memfasilitasi pengulangan yang dilakukan siswa secara sukarela di luar lingkungan kelas (Mostrady et al., 2025; Smiderle et al., 2020). Namun, literatur ini juga mengingatkan tentang adanya hambatan infrastruktur dan beban kerja guru apabila adaptasi masih dilakukan secara manual, sehingga otomatisasi (seperti melalui LMS/ITS) dan dukungan teknis lainnya menjadi faktor yang cukup krusial untuk memperluas cakupan (Halkiopoulos & Gkintoni, 2024; Villegas-Ch et al., 2025). Selain itu, temuan penelitian sebelumnya juga mengindikasikan adanya masalah akses digital dan kebutuhan pelatihan guru, sehingga saran praktis perlu mencakup elemen pelatihan serta solusi berbasis bandwidth rendah.

Hasil uji efektivitas penelitian sesuai ekspektasi dalam desain R&D pada tahap implementasi, meskipun masih terdapat keterbatasan yang perlu disikapi lebih lanjut. Dampak positif dari *spaced retrieval* cenderung variatif pada berbagai konteks, dan agar dapat digeneralisasi, maka dibutuhkan desain eksperimental yang lebih kompleks (misalnya, kontrol acak atau kuasi-eksperimental dengan kelompok kontrol) serta pengukuran tindak lanjut dalam jangka panjang (Serra et al., 2025; Thompson & Hughes, 2023). Selain itu, penelitian terbaru tentang hal yang serupa juga merekomendasikan adanya analisis statistik yang lebih kompleks seperti analisis varians dan analisis ukuran efek guna menilai kekuatan (*robustnes*) temuan (Hedges, 2025; Mera et al., 2025). Oleh karena itu, meskipun data ini menunjukkan peningkatan signifikan, tetapi membutuhkan penelitian replikasi dengan kontrol dan ukuran sampel lebih besar untuk menguji mekanisme kausal dan moderasi (misalnya, kemampuan awal, kebiasaan belajar, akses terhadap teknologi).

Implikasi teoritis studi ini memperdalam hubungan antara teori kognitif klasik (Ebbinghaus) serta praktik pembelajaran kontekstual pada mata pelajaran terapan. Pemahaman neurokognitif mengenai konsolidasi memori (seperti *sleep*, *retrieval*, dan

(reconsolidation) perlu diperhatikan saat merancang interval pengulangan; model adaptif yang mempertimbangkan kapasitas kognitif, tingkat kesulitan materi, dan konteks belajar, cenderung lebih efektif dalam memprediksi *retention curves*. Dalam pembelajaran Geografi, pemberian tugas kepada peserta didik dengan melibatkan representasi visual dan analisis spasial sangat penting. Hal ini dapat dilakukan dengan menerapkan strategi pengulangan yang mengintegrasikan *retrieval*, *elaboration*, serta tugas *representasional* (seperti membuat peta dan diagram) sehingga dapat berpotensi memperkuat jejak memori deklaratif dan prosedural secara bersamaan. Dengan demikian, penelitian ini menekankan pentingnya model pembelajaran yang bersifat *hybrid* yaitu kombinasi antara kognitif-berbasis memori dan kontekstual-berbasis tugas representasi.

Data empiris mendukung penciptaan modul digital atau LMS yang dapat mengotomatisasi penjadwalan pengulangan adaptif sehingga dapat mengurangi beban kerja guru dan memungkinkan intervensi dapat diperluas di antara kelas atau sekolah yang berbeda. Hal ini juga memerlukan investasi dalam pelatihan guru, dukungan infrastruktur, serta penyesuaian kurikulum supaya sesi pengulangan diakui sebagai bagian dari evaluasi formatif, bukannya tambahan tugas. Penelitian lebih lanjut disarankan untuk menilai model ini dalam konteks yang bervariasi (perkotaan/pedesaan, tingkat kelas lain), mengevaluasi efisiensi biaya, dan menciptakan *dashboard* analitik yang menampilkan profil pelupaan siswa secara individual, sebuah jalur penelitian yang sudah mulai terlihat dalam literatur pembelajaran adaptif dan ITS.

Kesimpulan

Pengembangan model pembelajaran adaptif berbasis *The Forgetting Curve* menggunakan model ADDIE untuk meningkatkan retensi konsep spasial dalam pembelajaran Geografi menunjukkan bahwa model pembelajaran sangat layak diterapkan (rata-rata skor validasi ahli 87,9%), praktis (keberhasilan penerapan 91,4% dan keterlibatan siswa 86,2%), dan efektif (dengan nilai *effect size cohen's d* mencapai 3,80) yang masuk dalam kategori efek sangat besar. Model juga sangat efisien dalam meningkatkan retensi konsep spasial yang dapat dibuktikan dengan skor *pretest* 61,04, *posttest* 77,75, dan *delayed test* 73,91). Pola perbaikan dan konsistensi nilai menggambarkan bahwa siklus pengulangan adaptif (1-3-7 hari) berhasil mengurangi secara signifikan kecepatan pelupaan yang sering muncul pascapembelajaran secara konvensional. Model dianggap sesuai untuk diterapkan baik dari segi teori maupun praktik, dan dapat diintegrasikan dalam proses belajar Geografi untuk memperkuat pemahaman jangka panjang tentang konsep spasial. Dalam konteks teori, penelitian mendukung pentingnya teori *The Forgetting Curve* dalam dunia pembelajaran modern berbasis adaptasi, sementara dari segi praktis, model dapat dimanfaatkan guru untuk meningkatkan efektivitas pengajaran dan membantu siswa menjaga pemahaman terhadap konsep yang diajarkan. Selain itu, dalam konteks kelambagaan, hasil penelitian mendorong penerapan sistem pengulangan yang disesuaikan dalam *platform* pembelajaran digital, guna mendukung personalisasi belajar serta memantau perkembangan retensi siswa. Karena itu, disarankan agar guru menggunakan model ini pada topik yang bersifat konseptual secara bertahap dan konsisten, sementara pihak sekolah menyediakan dukungan teknologi sederhana. Peneliti berikutnya juga dapat melakukan uji coba

model dalam konteks yang lebih luas serta dengan rancangan eksperimen yang lebih lanjut untuk mengevaluasi stabilitas retensi dalam jangka panjang.

Referensi

Adeoye, M. A., Adrian, K., Indra, S., Satya, M. S., & Septiarini, N. I. (2024). Revolutionizing Education: Unleashing the Power of the ADDIE Model for Effective Teaching and Learning. *Jurnal Pendidikan Indonesia*, 13(1), 202–209. <https://doi.org/10.23887/jpiundiksha.v13i1.68624>.

Arnaud-gonzález, P., Solera-monforte, S., Wu, Y., & Arevalillo-herráez, M. (2025). A Framework for Adapting Conversational Intelligent Tutoring Systems to Enable Collaborative Learning. *Expert Systems With Applications*, 271(6), 1–10. <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2025.126663>.

Astawa, I. B. M. (2022). Peningkatan Spatial Thinking Pembelajaran Geografi melalui Berpendekatan Kontekstual Skills Siswa dalam Metode Demonstrasi. *Journal of Education Action Research*, 6(2), 242–251. <https://doi.org/10.23887/jear.v6i2.45526>.

Bartlett, K. A., & Camba, J. D. (2024). Toward a Broader Understanding of Spatial Ability in CAD Education. *Computer-Aided Design and Applications*, 21(1), 39–54. <https://doi.org/10.14733/cadaps.2024.39-54>.

Bienert, N. (2024). Exploring German High School Students' Conceptual Learning Pathways of Space and Place. *Education Sciences Journal*, 14(69), 1–18. <https://doi.org/10.3390/educsci14010069>.

Bryce, T. G. K., & Blown, E. J. (2024). Ausubel's Meaningful Learning Re-visited. *Curret Psychology*, 43(2), 4579–4598. <https://doi.org/10.1007/s12144-023-04440-4>.

Carow, S., & Pretorius, R. (2024). An Evaluation of The Inclusion of Spatial Thinking in Undergraduate Geography Modules : A Case Study of Selected South African Universities. *Journal of Geography Education in Africa*, 1(7), 17–40. <https://doi.org/10.46622/jogea.v7i1.4738>.

Cepeda, N. J., Pashler, H., Vul, E., Wixted, J. T., & Rohrer, D. (2006). Distributed Practice in Verbal Recall Tasks : A Review and Quantitative Synthesis. *Psychological Bulletin*, 132(3), 354–380. <https://doi.org/10.1037/0033-2909.132.3.354>.

Contrino, M. F., Millán, M. R., Villegas, P. V., & Hernández, J. M. (2024). *Using an Adaptive Learning Tool to Improve Student Performance and Satisfaction in Online and Face-to-Face Education for A More Personalized Approach*. <https://doi.org/10.1186/s40561-024-00292-y>.

Duarte, L., Teodoro, A. C., & Goncalves, H. (2022). Evaluation of Spatial Thinking Ability Based on Exposure to Geographical Information Systems (GIS) Concepts in the Context of Higher Education. *International Journal of Geo-Information*, 11(417), 1–19. <https://doi.org/10.3390/ijgi11080417>.

Farkhan, M. R., Putri, H. E., & Amponsah, M. (2025). *Geography Learning : How to Know the Students Spatial Thinking Ability ?* 5(1), 26–39.

<https://doi.org/10.35719/hrtg.v5i1.133.geography>.

Gersmehl, P. (2023). Education Sciences Brain Science and Geographic Thinking : A Review and Research Agenda for K-3 Geography. *Education Sciences Journal*, 13(1199), 1–20. <https://doi.org/10.3390/educsci13121199>.

Halkiopoulos, C., & Gkintoni, E. (2024). Leveraging AI in E-Learning : Personalized Learning and Adaptive Assessment through Cognitive Neuropsychology—A Systematic Analysis. *Electronics Journal*, 13(3762), 1–50. <https://doi.org/10.3390/electronics13183762>.

Hedges, L. V. (2025). Effect Sizes For Experimental Research. *British Journal of Mathematical and Statistical Psychology*, 1(1), 1–15. <https://doi.org/10.1111/bmsp.12389>.

Istikomah, A., Kristiana, D., & Rusdiani, N. I. (2024). Space Repetition Sebagai Strategi Stimulasi Kemampuan Bicara Anak Usia 5-6 Tahun. *Jurnal Kajian Anak (J-Sanak)*, 6(01), 173–181. <https://doi.org/10.24127/j-sanak.v6i01.6500>.

Kabudi, T., Pappas, I., & Olsen, D. H. (2021). Computers and Education : Artificial Intelligence AI-enabled Adaptive Learning Systems : A Systematic Mapping of The Literature. *Computers and Education: Artificial Intelligence*, 2(1), 1–12. <https://doi.org/10.1016/j.caeari.2021.100017>.

Kang, S. H. K. (2016). Spaced Repetition Promotes Efficient and Effective Learning : Policy Implications for Instruction. *Policy Insights from the Behavioral and Brain Sciences*, 3(1), 12–19. <https://doi.org/10.1177/2372732215624708>.

Katona, J., & Gyonyoru, klara I. K. (2025). AI-Based Adaptive Programming Education for Socially Disadvantaged Students : Bridging the Digital Divide. *TechTrends*, 69(5), 925–942. <https://doi.org/10.1007/s11528-025-01088-8>.

Khalafi, A., Fallah, Z., & Sharif-nia, H. (2024). The Effect of Spaced Learning on The Learning Outcome and Retention of Nurse Anesthesia Students : A Randomized-Controlled Study. *BMC Medical Education*, 24(322), 1–7. <https://doi.org/10.1186/s12909-024-05290-9>.

Li, X. (2025). Spaced Repetition as A Basic Structural Method for Organizing English as A Second Language Teaching. *Porta Linguarum Journal*, 1(44), 11–28. <https://doi.org/10.30827/portaln.vi44.30170>.

Mayer, R. E., & Fiorella, L. (2022). Introduction to Mulimedia Learning. In *The Cambridge Handbook of Multimedia Learning (3rd ed.)* (3rd ed., pp. 1–15). Cambridge: Cambridge University Press. <https://doi.org/10.1017/9781108894333>.

Mera, Y., Dianova, N., & Marin, E. (2025). Testing Before Learning: Exploring The Robustness of The Pretesting Effect. *Memory & Cognition*, 1(1), 1–23. <https://doi.org/10.3758/s13421-025-01813-x>.

Mostrady, A., Sanchez-lopez, E., & Gonzalez-sanchez, A. F. (2025). Microlearning and its Effectiveness in Modern Education : A Mini Review. *Acta Pedagogia Asiana*, 4(1), 33–42. <https://doi.org/10.53623/apga.v4i1.496>.

Murre, J. M. J., & Chessa, A. G. (2022). Why Ebbinghaus' Savings Method from

1885 is A Very 'pure' Measure of Memory Performance. *Psychonomic Bulletin & Review*, 30(30), 303–307. <https://doi.org/10.3758/s13423-022-02172-3>.

Murre, J. M. J., & Dros, J. (2015). Replication and Analysis of Ebbinghaus' Forgetting Curve. *PLoS ONE*, 10(7), 1–23. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0120644>.

Nursa'ban, M., & Mukminan. (2023). The Implementation of Geography Learning with Spatial Representation Using the Discrepancy Evaluation Model. *REID (Research and Evaluation in Education)*, 9(1), 49–64. <https://doi.org/10.21831/reid.v9i1.53505>.

Plater, L., Nyman, S., Joubran, S., & Al-aidroos, N. (2022). Repetition Enhances The Effects of Activated Long-Term Memory. *Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 76(3), 621–631. <https://doi.org/10.1177/17470218221095755>.

Ramadhan, S., Atmazaki, A., Ningsih, A. G., & Hayati, Y. (2025). Exploring the Impact of Adaptive Real-Time Quiz Platforms with Differentiated Learning Features on Student Engagement and Learning Outcomes : A Mixed-Methods Approach. *International Journal of Information and Education Technology*, 15(6), 1261–1276. <https://doi.org/10.18178/ijiet.2025.15.6.2329>.

Sanisah, S., Rochayati, N., & Mas'ad. (2022). Meningkatkan Kemampuan Critical Thinking dan Mengkomunikasikan Hasil Belajar Geografi Dengan Teknik WS-2M. *Geodika: Jurnal Kajian Ilmu Dan Pendidikan Geografi*, 6(1), 47–56. <https://doi.org/10.29408/geodika.v6i1.4630>.

Sanisah, S., & Tohirin. (2024). *WS-2M Learning: Langkah Konkrit Meningkatkan Meningkatkan Critical Thinking Skill dan Mengkomunikasikan Hasil Belajar Siswa*. Deepublish.

Serra, M. J., Kaminske, A. N., & Nebel, C. (2025). The Use of Retrieval Practice in the Health Professions : A State-of-the-Art Review. *Behavioral Sciences Journal*, 15(7), 1–29. <https://doi.org/10.3390/bs15070974>.

Singh, M. (2024). AI, Memorization, and Forgetting: A Critical Analysis Through The Lens of The Ebbinghaus Curve. *Internasional Education & Research Journal (IERJ)*, 10(9), 81–86. <https://doi.org/10.21276/IERJ24719743498678>.

Smiderle, R., Rigo, S. J., Marques, L. B., Arthur, J., Miranda, P. De, & Jaques, P. A. (2020). The Impact of Gamification on Students' Learning, Engagement and Behavior Based on Their Personality Traits. *Smart Learning Environment*, 7(3), 1–11. <https://doi.org/10.1186/s40561-019-0098-x>.

Strielkowski, W., Grebennikova, V., Lisovskiy, A., & Vasileva, T. (2025). AI-Driven Adaptive Learning for Sustainable Educational Transformation. *Sustainable Development Journal*, 33(6), 1921–1947. <https://doi.org/10.1002/sd.3221>.

Subhani, A., & Agustina, S. (2018). Pengembangan Lembar Kerja Spatial Thinking to Solving Problem pada Program Studi Pendidikan Geografi. *Jurnal Geodika*, 2(2), 41–52. <https://doi.org/10.29408/geodika.v2i2.1105>.

Supriyatmoko, Anam, K., & Kurniawan, W. (2025). Model Pembelajaran Adaptif

Berbasis Kecerdasan Buatan: Peluang dan Tantangan dalam Mewujudkan Pendidikan Personalisasi. *STRATEGY: Jurnal Inovasi Strategi Dan Model Pembelajaran*, 5(1), 36–45.

Thompson, C. P., & Hughes, M. A. (2023). The Effectiveness of Spaced Learning, Interleaving, and Retrieval Practice in Radiology Education: A Systematic Review. *Hamalatul Qur'an: Jurnal Ilmu-Ilmu Al-Qur'an*, 20(11), 1–16. <https://doi.org/10.37985/hq.v6i1.469>.

Villegas-Ch, W., Fernandez, D. B., & Navarro, A. M. (2025). Adaptive Intelligent Tutoring Systems for STEM Education : Analysis of The Learning Impact and Effectiveness of Personalized Feedback. *Smart Learning Environments*, 12(41), 1–31. <https://doi.org/10.1186/s40561-025-00389-y-Smart>.

Walsh, M. M., Krusmark, M. A., Jastrembski, T., Hansen, D. A., Honn, K. A., & Gunzelmann, G. (2023). Enhancing Learning and Retention Through The Distribution of Practice Repetitions Across Multiple Sessions. *Memory & Cognition*, 51(1), 455–472. <https://doi.org/10.3758/s13421-022-01361-8>.

Zaidi, A., Caines, A., Moore, R., Butterly, P., & Rice, A. (2020). Adaptive Forgetting Curves for Spaced Repetition Language Learning. *Proceedings of the 28th International Conference on Computational Linguistics*, 358–363. <https://doi.org/10.1007/978-3-030-52240-7>.

Zeng, C., Hu, L., Yuan, Z., Tan, Y., & Hu, X. (2023). Teaching Experiment and Effect Analysis on Geospatial Thinking Cultivation among Senior High School Students under the Concept of Core Literacy. *Advances in Educational Techology and Psychology-Claisius Scientific Press, Canada*, 7(1), 21–28. <https://doi.org/10.23977/aetp.2023.070105>.

Zhang, J., Su, T., Liang, X., Xu, Y., Wang, Z., Yu, Y., & Ge, J. (2023). The Mediating Effect of Geospatial Thinking on The Relationship Between Family Capital and Academic Achievement in Geography. *Frontiers in Education*, 1(1), 1–12. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2023.1067198>.

Zixiang, L., Haibing, C., & Chuanxin, R. (2025). Advances in Intelligent Tutoring Systems : From Cognitive Modeling to Collaborative Learning. *Crimson Publishers: Wings to The Research*, 4(1), 1–3. <https://doi.org/10.31031/AES.2025.04.000580>.