

BERPIKIR SPASIAL DALAM PEMBELAJARAN BIOLOGI DALAM TINJAUAN TEORI KONSTRUKTIVISME DAN KOGNITIF KOMPLEKS

Muhammad Zahrudin Afnan^{1*}, Annisah Sofiana², Rinie Pratiwi Puspitawati²

¹Program Magister Pendidikan Biologi, Sekolah Pascasarjana Universitas Negeri Surabaya, Jl. Komplek Universitas Negeri Surabaya Gedung D1, Jl. Ketintang Sel. Kel. Ketintang, Kec. Gayungan, Surabaya, Jawa Timur 60231

²Program Sarjana Pendidikan Biologi, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Jl. Komplek Universitas Negeri Surabaya Gedung D1, Jl. Ketintang Sel. Kel. Ketintang, Kec. Gayungan, Surabaya, Jawa Timur 60231

* corresponding author | email : muhammadzahrudin.19001@mhs.unesa.ac.id

Received: 19 November 2024

Accepted: 24 Januari 2025

Published: 28 Februari 2025

ABSTRAK

doi <http://dx.doi.org/10.17977/um052v16i1p1-22>

Berpikir spasial adalah keterampilan penting yang diperlukan dalam memahami konsep kompleks di berbagai bidang. Keterampilan ini melibatkan visualisasi, rotasi mental, dan analisis spasial. Namun kemampuan siswa di Indonesia masih rendah, yang mana hal ini menjadi sebuah tantangan dalam era digital. Dalam era digital dan pembelajaran abad ke-21, kemampuan berpikir spasial ini semakin relevan untuk mendukung analisis, pemecahan masalah, dan pengambilan keputusan. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis penerapan berpikir spasial dalam pembelajaran biologi melalui perspektif teori konstruktivisme dan kognitif kompleks. Metode yang digunakan adalah studi literatur, yang mengintegrasikan berbagai temuan terkait kemampuan spasial, strategi pembelajaran, dan pendekatan teoritis. Hasil penelitian menunjukkan bahwa berpikir spasial dapat ditingkatkan melalui pembelajaran berbasis masalah, visualisasi tiga dimensi, dan teknologi digital. Terori konstruktivisme memberikan landasan untuk membangun pengetahuan spasial melalui pengalaman langsung, sementara teori kognitif kompleks menjelaskan proses mental yang mendukung analisis spasial. Kesimpulannya, integrasi berpikir spasial ke dalam pembelajaran biologi membutuhkan desain pembelajaran yang inovatif dan dukungan teknologi untuk meningkatkan hasil belajar siswa.

Kata Kunci : *berpikir spasial, konstruktivisme, teori kognitif kompleks, pembelajaran biologi, teknologi digital*

Spatial thinking is an essential skill required to understand complex concepts across various fields. This skill involves visualization, mental rotation, and spatial analysis. However, students in Indonesia exhibit low levels of spatial thinking, which poses a challenge in the digital era. In the context of the digital age and 21st-century learning, spatial thinking becomes increasingly relevant to support analysis, problem-solving, and decision-making. This study aims to analyze the application of spatial thinking in biology education from the perspectives of constructivist and complex cognitive theories. The method used is a literature review, integrating various findings on spatial skills, teaching strategies, and theoretical approaches. The results indicate that spatial thinking can be improved through problem-based learning, three-dimensional visualization, and digital technology. Constructivist theory provides a foundation for building spatial knowledge through direct experiences, while complex cognitive theory explains the mental processes that support spatial analysis. In conclusion, integrating spatial thinking into biology education requires innovative learning designs and technological support to enhance student learning outcomes.

Keywords : *spatial thinking, constructivism, complex cognitive theory, biology learning, digital technology*



Berpikir spasial merupakan keterampilan yang sangat penting dalam berbagai bidang, termasuk pendidikan geografi dan biologi. Hal ini melibatkan kemampuan untuk menganalisis dan memahami fenomena spasial, yang sangat penting untuk memahami konsep-konsep kompleks dalam disiplin ilmu tersebut (Dewi *et al.*, 2021; Ermayanti *et al.*, 2016). Pembelajaran Berbasis Masalah (PBL) telah terbukti secara efektif meningkatkan keterampilan berpikir spasial ketika dikombinasikan dengan informasi geospasial dan pendekatan efikasi diri (Dewi *et al.*, 2021; Buana & Putra, 2023). Dalam pendidikan biologi, teknik framing telah berhasil meningkatkan kemampuan berpikir spasial mahasiswa calon guru dalam mata kuliah anatomi tumbuhan (Ermayanti *et al.*, 2016). Pentingnya berpikir spasial dalam pembelajaran abad ke-21 ditekankan, terutama dalam pendidikan geografi, di mana hal ini dianggap sebagai kemampuan mendasar bagi siswa untuk menilai fenomena spasial (Wijayanto *et al.*, 2020). Seiring dengan pergeseran pendidikan ke arah sistem berbasis teknologi digital, kemampuan berpikir spasial menjadi semakin penting untuk mengembangkan daya saing dan kemampuan pemecahan masalah siswa di era modern (Wijayanto *et al.*, 2020).

Pendidikan biologi modern menghadapi beberapa tantangan dan peluang di era digital. Pandemi COVID-19 telah mempercepat pergeseran ke arah pembelajaran daring, sehingga membutuhkan pendekatan inovatif seperti lingkungan pembelajaran virtual dan pembelajaran campuran (Maghfiroh *et al.*, 2022). Namun, transisi ini telah menyoroti isu-isu seperti motivasi siswa yang tidak memadai dan ketidaksetaraan digital (Maghfiroh *et al.*, 2022). Untuk mengatasi tantangan ini, para pendidik mengeksplorasi modul dwibahasa dengan strategi pembelajaran yang diatur sendiri (Agusta *et al.*, 2016) dan pendekatan pembelajaran aktif yang berpusat pada siswa (Jayawardana, 2020). Integrasi teknologi digital dan Internet of Things dalam pendidikan biologi sangat penting untuk beradaptasi dengan Industri 4.0 (Jayawardana, 2020). Selain itu, kemajuan pesat biologi modern mengharuskan penggabungan pendidikan bioetika untuk memandu perkembangannya dan mempromosikan konservasi lingkungan (Minarno, 2001). Pendekatan ini bertujuan untuk mengembangkan keterampilan berpikir kritis dan mendorong pengambilan keputusan etis pada siswa terkait kemajuan biologi dan isu-isu lingkungan (Minarno, 2001).

Berpikir spasial merupakan kemampuan kognitif untuk memahami dan menggunakan konsep ruang, alat representasi, dan proses penalaran dalam menyelesaikan masalah (Adzani *et al.*, 2023). Komponen berpikir spasial meliputi persepsi spasial, visualisasi spasial, rotasi mental, relasi spasial, dan orientasi spasial (Hanifah, 2019). Kemampuan ini dapat diukur melalui tes yang mencakup spatial visualization, spatial orientation, dan spatial relation (Aini *et al.*, 2019). Penelitian menunjukkan bahwa kemampuan berpikir spasial siswa SMA di Balikpapan tergolong rendah (Adzani *et al.*, 2023), sementara mahasiswa Pendidikan Geografi USK memiliki keterampilan berpikir spasial dalam kategori sedang (Furqan *et al.*, 2021). Gaya kognitif reflektif cenderung menunjukkan kemampuan spasial tingkat tinggi (Rahma *et al.*, 2019). Perbedaan gaya kognitif juga mempengaruhi metode penyelesaian masalah spasial (Hanifah, 2019).

Berpikir spasial merupakan keterampilan penting dalam berbagai disiplin ilmu, termasuk geografi dan biologi. Dalam pendidikan geografi, pembelajaran berbasis masalah dengan menggunakan informasi geospasial telah terbukti dapat meningkatkan kemampuan berpikir spasial siswa (Dewi *et al.*, 2021). Untuk pendidikan biologi, teknik pembiasaan dalam mata kuliah anatomi tumbuhan dapat secara signifikan meningkatkan pemikiran spasial guru calon guru di berbagai proses kognitif (Ermayanti *et al.*, 2016). Sebuah meta-analisis model pembelajaran geografi mengungkapkan bahwa pembelajaran berbasis proyek yang dibantu oleh *Google Earth* adalah yang paling efektif dalam meningkatkan kemampuan berpikir spasial siswa (Isnaini *et al.*, 2023). Pemikiran spasial memungkinkan siswa untuk membuat keputusan mulai dari yang sederhana hingga yang kompleks, dan pilihan model pembelajaran oleh guru memainkan peran penting dalam mengembangkan keterampilan ini (Isnaini *et al.*, 2023). Temuan ini menyoroti pentingnya menggabungkan strategi dan teknologi pengajaran yang tepat untuk meningkatkan kemampuan berpikir spasial dalam konteks pendidikan geografi dan biologi.

Makalah-makalah tersebut mengeksplorasi relevansi konstruktivisme dan teori kognitif dalam pendidikan. Konstruktivisme menekankan pembelajaran aktif melalui konstruksi pengetahuan siswa, sementara teori kognitif berfokus pada pemrosesan informasi dan pemahaman (Habsy *et al.*, 2023). Pendekatan-pendekatan ini mendorong kreativitas, pemahaman yang mendalam, dan pembelajaran yang bermakna (Habsy *et al.*, 2023). Integrasi konstruktivisme dengan model inkuiri terbimbing berpotensi meningkatkan hasil belajar siswa (Rangkuti *et al.*, 2014). Gagasan konstruktivis Ki Hajar Dewantara, termasuk kesetaraan antara siswa dan guru, pembelajaran berbasis lingkungan, dan

pembelajaran mandiri, selaras dengan Kurikulum 2013 di Indonesia (Muzakki, 2021). Implementasi teori-teori ini melibatkan berbagai model pembelajaran seperti pembelajaran penemuan dan menekankan pada interaksi sosial dan pengalaman pribadi (Habsy *et al.*, 2023). Meskipun pendekatan-pendekatan ini menawarkan keuntungan seperti mempromosikan kreativitas dan pengetahuan individual, pendekatan-pendekatan ini mungkin memiliki keterbatasan dalam menangani perbedaan individu dan penerapannya di semua tingkat pendidikan (Habsy *et al.*, 2023).

METODE

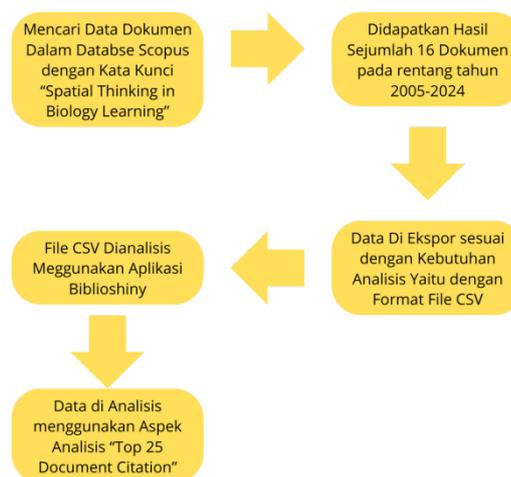
Jenis Penelitian

Penelitian tentang "Berpikir Spasial dalam Pembelajaran Biologi dalam Tinjauan Teori Konstruktivisme dan Kognitif Kompleks" menggunakan pendekatan kualitatif dengan metode studi literatur (*literature review*). Metode ini dipilih karena sesuai dengan tujuan penelitian yang hendak menganalisis dan mengeksplorasi konsep berpikir spasial dalam konteks pembelajaran biologi melalui perspektif teori konstruktivisme dan kognitif kompleks.

Menurut Hanafi (2020), Studi Literatur merupakan sebuah kajian yang memfokuskan pada analisis dan eksplorasi fenomena melalui berbagai sumber literatur yang telah dipublikasikan sebelumnya. Metode ini memungkinkan peneliti untuk melakukan sintesis terhadap berbagai temuan, konsep, dan teori yang telah ada untuk membangun pemahaman yang lebih komprehensif tentang topik yang diteliti. Dalam konteks penelitian ini, studi literatur menjadi sangat relevan karena dapat mengintegrasikan berbagai perspektif dan temuan penelitian terkait berpikir spasial, pembelajaran biologi, teori konstruktivisme, dan teori kognitif kompleks.

Fokus utama penelitian ini adalah menganalisis bagaimana konsep berpikir spasial diterapkan dalam pembelajaran biologi, dengan menggunakan dua kerangka teori besar yaitu teori konstruktivisme dan teori kognitif kompleks. Berpikir spasial sendiri merupakan kemampuan kognitif yang sangat penting dalam pembelajaran biologi, mengingat banyak konsep dalam biologi yang memerlukan pemahaman spasial, seperti struktur sel, anatomi organ, dan hubungan ekologis. Teori konstruktivisme memberikan landasan bagaimana pengetahuan spasial dibangun oleh peserta didik, sementara teori kognitif kompleks membantu menjelaskan proses mental yang terlibat dalam pemahaman konsep-konsep spasial tersebut lama penelitian. Selain itu juga diberikan uraian mengenai pengecekan keabsahan hasil penelitian.

Alur Penelitian



Gambar 1. Alur Penelitian

Penelitian ini menggunakan pendekatan sistematis dalam menganalisis literatur tentang "*Spatial Thinking in Biology Learning*" melalui beberapa tahapan yang saling berkaitan. Proses dimulai dengan pencarian data dokumen dalam database Scopus menggunakan kata kunci "*Spatial Thinking in Biology Learning*". Dari hasil pencarian tersebut, diperoleh sejumlah 16 dokumen yang dipublikasikan dalam rentang waktu 2005 hingga 2023. Selanjutnya, data hasil pencarian diekspor sesuai dengan kebutuhan analisis dalam format file CSV. File CSV tersebut kemudian dianalisis menggunakan aplikasi Biblioshiny, dengan fokus analisis pada aspek "*Top 25 Document Citation*". Melalui pendekatan ini, penelitian bertujuan untuk mengidentifikasi dan menganalisis 25 dokumen yang paling berpengaruh atau paling banyak dikutip dalam bidang pemikiran spasial untuk pembelajaran biologi, memberikan gambaran komprehensif tentang perkembangan dan dampak penelitian dalam bidang tersebut.

Tabel 1. Karakteristik Data Dokumen Berpikir Spasial

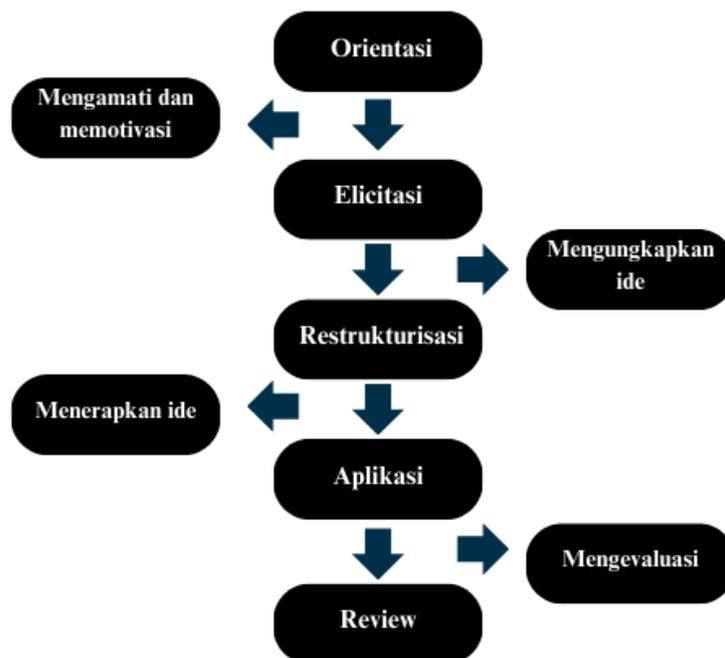
Matriks Data	Hasil Pencarian
Pengumpulan Data	30 Oktober 2024
Kata Kunci	" <i>Spatial Thinking in Biology Learning</i> "
Database	Scopus
Bahasa	<i>English, Spain</i>
Tipe Dokumen	<i>Article, Conference Paper, Note, Review</i>
Tahun Publikasi	2005-2024
Jumlah Dokumen	16

Selain menggunakan data dari scopus peneliti juga menggunakan beberapa artikel dari Google Scholar untuk mempertajam pembahasan.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Relevansi Teori Konstruktivisme dalam Pembelajaran

Konstruktivisme adalah pandangan filosofis yang menekankan bahwa pengetahuan merupakan hasil konstruksi kognitif individu melalui interaksi dengan lingkungan (Rangkuti, 2014). Prinsip-prinsip dasar konstruktivisme dalam pembelajaran meliputi: pengetahuan dibangun oleh peserta didik sendiri, belajar adalah proses aktif mengkonstruksi pengetahuan, belajar merupakan perubahan konsepsi, dan pembelajar bertanggung jawab atas proses belajarnya (Suprianto, 2019; Wijanto *et al.*, 2020). Pembelajaran konstruktivistik menekankan partisipasi aktif siswa dan prinsip belajar sambil melakukan (*learning by doing*) (Abdiyah & Subiyantoro, 2021). Peran guru dalam pembelajaran konstruktivistik adalah sebagai fasilitator yang membantu menyediakan sarana dan situasi agar proses konstruksi pengetahuan siswa berjalan lancar (Wijayanto *et al.*, 2020). Penerapan konstruktivisme dalam pembelajaran memerlukan dukungan khusus bagi guru melalui pendidikan, pelatihan, dan forum berbagi pengalaman (Suprianto, 2019).



Gambar 2. Teori Pembelajaran Konstruktivisme

Model pembelajaran yang ditampilkan dalam gambar menggambarkan sebuah alur pembelajaran yang sistematis dan terstruktur, dimulai dari tahap orientasi sebagai langkah awal dalam proses pembelajaran. Tahap orientasi ini berfungsi sebagai pengenalan dan pengarahan untuk memberikan gambaran umum tentang materi yang akan dipelajari. Selanjutnya, proses berlanjut ke tahap elicitasi yang merupakan fase penggalian informasi atau pengetahuan awal siswa, di mana terjadi proses menghubungkan pengetahuan baru dengan pengalaman atau pemahaman yang telah dimiliki sebelumnya.

Setelah tahap elicitasi, pembelajaran berlanjut ke tahap restrukturisasi yang merupakan proses penyusunan ulang atau reorganisasi pengetahuan. Pada tahap ini, terdapat dua aktivitas penting yang berjalan beriringan yaitu mengungkapkan ide dan menerapkan ide. Proses ini kemudian dilanjutkan dengan tahap aplikasi, di mana pengetahuan yang telah direstrukturisasi diterapkan dalam konteks praktis, memungkinkan peserta didik untuk mengimplementasikan pemahaman yang telah mereka peroleh.

Tahap terakhir dalam alur pembelajaran ini adalah review, yang berfungsi sebagai tahap evaluasi dan refleksi. Pada tahap ini, terdapat dua aspek penting yang dilakukan secara bersamaan: mengevaluasi hasil pembelajaran dan mengamati serta memotivasi untuk pembelajaran selanjutnya. Seluruh alur pembelajaran ini menunjukkan sebuah proses yang tidak hanya sistematis dan terstruktur, tetapi juga bersifat interaktif dan terintegrasi, di mana setiap tahapan saling terhubung dan mendukung satu sama lain. Model pembelajaran ini dirancang untuk memastikan efektivitas pembelajaran dengan mempertimbangkan berbagai aspek mulai dari persiapan, pengembangan, implementasi, hingga evaluasi dalam satu kesatuan yang utuh.

Konstruktivisme adalah pendekatan pendidikan yang menekankan bahwa pengetahuan dibangun oleh peserta didik melalui keterlibatan aktif dan interaksi dengan lingkungannya (Mawardi, 2018; Supardan, 2016). Dalam pembelajaran bahasa, konstruktivisme mempromosikan pendekatan kolaboratif, berbasis proyek, dan berbasis tugas, serta bermain peran untuk meningkatkan efektivitas dan makna (Ningsih, 2019). Model pembelajaran konstruktivis melibatkan empat tahap: apersepsi, eksplorasi, diskusi dan penjelasan konsep, serta pengembangan dan penerapan konsep (Sundawan, 2016). Pendekatan ini berbeda dengan model pengajaran langsung (direct instruction), yang berfokus pada pembelajaran pengetahuan deklaratif yang terstruktur dan selangkah demi selangkah (Sundawan, 2016). Meskipun konstruktivisme telah mendapatkan popularitas dalam praktik

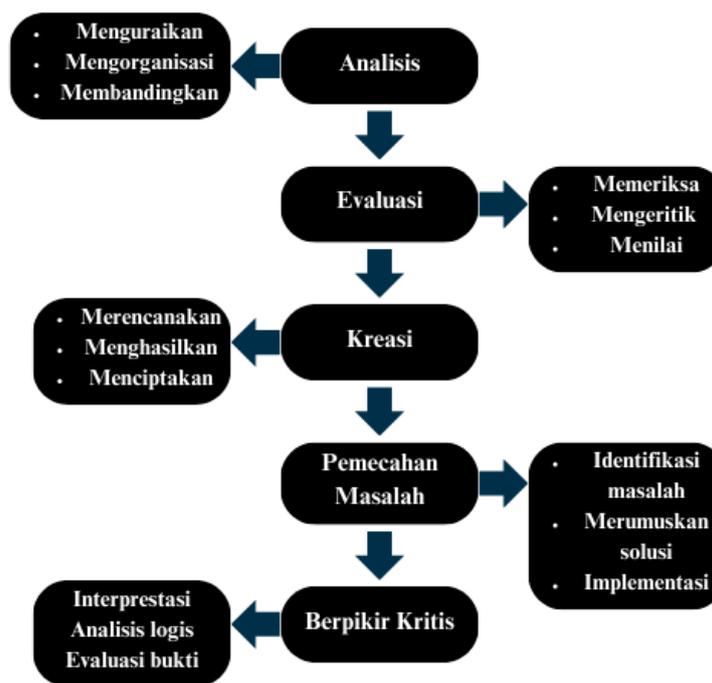
pengajaran saat ini, pendekatan ini juga memiliki tantangan dalam implementasinya (Supardan, 2016). Secara keseluruhan, pembelajaran konstruktivis mengharuskan siswa untuk berpartisipasi aktif dalam proses pembelajaran, mengkonstruksi pengetahuan mereka sendiri melalui berbagai kegiatan seperti observasi, diskusi, dan desain (Maward, 2018).

Makalah penelitian mengeksplorasi hubungan antara konstruktivisme dan pemikiran spasial dalam berbagai konteks pendidikan. Pendekatan konstruktivis dapat meningkatkan kemampuan berpikir spasial siswa dengan memungkinkan mereka untuk membangun pengetahuan mereka sendiri (Pande, 2024). Berpikir spasial sangat penting dalam pendidikan geografi, terutama dalam menganalisis objek tiga dimensi. Sebuah studi tentang proses berpikir spasial dalam geometri menemukan bahwa pelajar visual cenderung menggunakan asimilasi dalam konstruksi pengetahuan karena kepekaan mereka terhadap gambar dan warna. Menerapkan metode pembelajaran kontekstual secara signifikan dapat meningkatkan kemampuan berpikir spasial siswa di kelas geografi. Meskipun konstruktivisme terkadang dikritik karena dianggap kurang jelas dalam studi hubungan internasional, hal ini sering kali berasal dari kesalahpahaman tentang ide-ide intinya. Secara keseluruhan, penelitian-penelitian ini menyoroti potensi pendekatan konstruktivis dalam mengembangkan kemampuan berpikir spasial di berbagai disiplin ilmu.

Kognitif Kompleks: Analisis Proses Berpikir Tingkat Tinggi dalam Pembelajaran

Perkembangan kognitif merupakan aspek penting dalam pertumbuhan manusia, terutama pada anak-anak. Teori Piaget membagi perkembangan kognitif menjadi empat tahap: sensorimotor, praoperasional, operasional konkret, dan operasional formal (Basri, 2018). Psikologi kognitif mempelajari berbagai proses mental, termasuk persepsi, memori, bahasa, dan pemecahan masalah (Ramadanti *et al.*, 2022). Sensasi, persepsi, dan kognisi merupakan hal yang mendasar dalam pemrosesan informasi, dengan sensasi yang melibatkan deteksi stimulus yang cepat, persepsi yang menginterpretasikan input sensorik, dan kognisi yang mencakup proses kompleks seperti memori dan fungsi eksekutif (Dania & Novziransyah, 2021). Memahami tahap perkembangan kognitif membantu pendidik memilih strategi pengajaran yang tepat. Kemampuan kognitif sangat penting untuk melakukan tugas-tugas, mulai dari yang sederhana hingga yang kompleks (Basri, 2018). Teori Piaget memberikan kontribusi yang signifikan dalam memahami perkembangan kognitif dan dapat diterapkan untuk meningkatkan efektivitas pendidikan ilmu pengetahuan sosial di sekolah dasar (Basri, 2018).

Kognitif kompleks merupakan kemampuan berpikir tingkat tinggi yang melibatkan berbagai proses mental yang rumit dan saling terkait. Menurut Anderson & Krathwohl (2014), proses ini mencakup analisis, evaluasi, dan kreasi yang merupakan tingkatan tertinggi dalam taksonomi Bloom yang direvisi. Kemampuan ini tidak hanya melibatkan pemahaman sederhana, tetapi juga kemampuan untuk mengintegrasikan dan mengaplikasikan pengetahuan dalam berbagai konteks yang berbeda.



Gambar 3. Teori Pembelajaran Kognitif Kompleks

Dalam konteks pemrosesan informasi mendalam, Mayer & Alexander (2016) menjelaskan bahwa siswa yang memiliki kemampuan kognitif kompleks dapat mengintegrasikan informasi baru dengan pengetahuan yang sudah ada, membuat koneksi yang bermakna, dan mengaplikasikan pengetahuan dalam konteks yang berbeda. Hal ini sejalan dengan pendapat Jonassen (2011) yang menekankan pentingnya kemampuan pemecahan masalah non-rutin yang membutuhkan strategi berpikir tingkat tinggi, mulai dari identifikasi masalah hingga evaluasi hasil.

Berpikir kritis sebagai komponen utama kognitif kompleks mendapat perhatian khusus dari Facione & Gittens (2016) yang menguraikan bahwa komponen ini mencakup kemampuan untuk menganalisis argumen, mengevaluasi bukti, membuat kesimpulan logis, dan mengidentifikasi asumsi tersembunyi. Kemampuan-kemampuan ini tidak berkembang secara otomatis tetapi memerlukan pengembangan sistematis melalui berbagai strategi pembelajaran.

Hmelo-Silver (2015) mengadvokasi pembelajaran berbasis masalah sebagai strategi utama dalam pengembangan kognitif kompleks. Pendekatan ini memberikan siswa kesempatan untuk menghadapi masalah otentik yang kompleks, mendorong pengembangan kemampuan berpikir tingkat tinggi. Wood & Bandura (2018) menambahkan pentingnya scaffolding kognitif, di mana dukungan terstruktur secara bertahap dikurangi untuk membantu siswa mengembangkan kemampuan kognitif kompleks secara mandiri.

Aspek metakognitif juga memegang peranan penting dalam pengembangan kognitif kompleks. Flavell & Miller (2019) menekankan bahwa kesadaran dan regulasi proses berpikir sendiri merupakan komponen kunci dalam pengembangan kognitif kompleks. Hal ini berimplikasi pada desain pembelajaran yang menurut Merrill (2012) harus dirancang untuk mendorong pemikiran tingkat tinggi melalui tugas-tugas yang menantang dan bermakna.

Dalam konteks penilaian, Brookhart (2017) menegaskan bahwa evaluasi kognitif kompleks membutuhkan instrumen yang dapat mengukur kemampuan berpikir tingkat tinggi, tidak hanya sekedar pengetahuan faktual. Penilaian harus mampu mengukur kemampuan siswa dalam mengaplikasikan pengetahuan, menganalisis situasi kompleks, dan menciptakan solusi inovatif.

Tingkat kognitif dalam pembelajaran sangat penting untuk pendidikan yang efektif. Taksonomi Bloom mengklasifikasikan kemampuan kognitif ke dalam enam tingkatan: pengetahuan, pemahaman, penerapan, analisis, sintesis, dan evaluasi (Puspitasari, 2019; Tamrin & Munawaroh, 2019). Tingkatan-tingkatan ini penting dalam berbagai mata pelajaran, termasuk pendidikan jasmani dan matematika (Pahliwandari, 2017; Handika *et al.*, 2022). Perkembangan kognitif bervariasi seiring bertambahnya

usia, sehingga mempengaruhi perspektif dan metode belajar anak (Handika *et al.*, 2022). Pendidik harus memahami kemampuan kognitif siswa untuk menentukan strategi pengajaran yang tepat (Puspitasari, 2019). Penilaian kemampuan kognitif dapat dilakukan melalui tes dan non-tes, dengan teknik antara lain pilihan ganda, jawaban singkat, menjodohkan, benar-salah, dan pertanyaan esai (Tamrin & Munawaroh, 2019). Menerapkan teori kognitif dalam pembelajaran melibatkan partisipasi aktif siswa dan mengaitkan pengetahuan baru dengan struktur kognitif yang sudah ada (Pahliwandari, 2017). Pendekatan ini dapat meningkatkan retensi dan otomatisitas dalam proses pembelajaran.

Integrasi kognitif kompleks dalam pembelajaran biologi dapat dilakukan melalui berbagai pendekatan. Rustaman (2018) menekankan pentingnya integrasi aspek afektif-kognitif dan kearifan lokal untuk membangun kemampuan klasifikasi-generalisasi dan berpikir sistem. Eko (2017) mengusulkan integrasi sains-Islam dalam pembelajaran biologi melalui dua model: Al-Qur'an sebagai sumber inspirasi dan konfirmasi. Listiana *et al.* (2019) menyoroti peran penting metakognitif dalam meningkatkan kemampuan berpikir tingkat tinggi siswa, termasuk pemecahan masalah dan berpikir kritis. Sementara itu, Djuma (2022) mendemonstrasikan efektivitas integrasi model Think Pair Share dengan peta konsep dalam meningkatkan kemampuan kognitif siswa. Keempat penelitian ini menekankan pentingnya pendekatan terintegrasi dan kompleks dalam pembelajaran biologi untuk meningkatkan pemahaman konsep dan keterampilan berpikir tingkat tinggi siswa.

Berpikir Spasial dalam Tinjauan Konstruktivisme

Penelitian tentang pemikiran spasial dari perspektif konstruktivis menyoroti pentingnya pemikiran spasial dalam pendidikan geometri dan geografi. Proses berpikir spasial dipengaruhi oleh gaya belajar, dengan pelajar visual menunjukkan dominasi asimilasi dalam konstruksi pengetahuan. Konstruktivisme menekankan pada membangun pengetahuan di luar pemahaman permukaan, mendorong pemikiran kritis dan pemilihan fokus. Desain tugas pembelajaran berdasarkan konstruktivisme dapat membantu siswa mengembangkan pemahaman mereka sendiri tentang ruang tiga dimensi (Tamba & Panggabean, 2022). Dalam pendidikan geografi, pembelajaran berbasis masalah dengan menggunakan informasi geospasial telah terbukti dapat meningkatkan kemampuan berpikir spasial siswa (Dewi *et al.*, 2021). Penelitian-penelitian tersebut secara kolektif menekankan pentingnya pendekatan konstruktivis dalam mengembangkan kemampuan berpikir spasial, yang sangat penting untuk memahami konsep-konsep geometris dan geografis. Penelitian-penelitian tersebut juga menyoroti peran tugas-tugas pembelajaran yang disesuaikan dan pendekatan berbasis masalah dalam menumbuhkan kemampuan berpikir spasial di berbagai konteks pendidikan.

Tabel 2. Perbedaan Berpikir Spasial dan Teori Pembelajaran Konstruktivisme

Aspek	Berpikir Spasial	Konstruktivisme	Referensi
Definisi Dasar	Kemampuan untuk membayangkan dan memanipulasi objek serta dimensi spasial dalam pikiran	Proses aktif dimana pembelajar membangun pemahaman baru berdasarkan pengetahuan yang telah dimiliki	Newcombe & Shipley (2015); Piaget & Cook (2013)
Fokus Utama	Visualisasi, orientasi spasial, dan hubungan spasial antar objek	Konstruksi pengetahuan melalui pengalaman dan interaksi sosial	Uttal & Cohen (2013); von Glasersfeld (2017)
Proses Kognitif	<ul style="list-style-type: none"> ● Rotasi mental ● Persepsi visual ● Navigasi spasial 	<ul style="list-style-type: none"> ● Asimilasi ● Akomodasi ● Equilibrisasi 	Hegarty & Waller (2014)
Peran Guru	Fasilitator yang membantu mengembangkan kemampuan visualisasi dan orientasi	Mediator yang membantu siswa mengkonstruksi pengetahuan	Ermayanti (2016); Alden (2013)
Metode Pembelajaran	<ul style="list-style-type: none"> ● Latihan visualisasi ● Permainan spasial ● Kegiatan manipulatif 	<ul style="list-style-type: none"> ● Pembelajaran berbasis masalah ● Diskusi kelompok ● Eksperimen 	Basri (2018)
Hasil Pembelajaran	Peningkatan kemampuan spasial dan pemahaman geometris	Pemahaman mendalam dan kemampuan aplikasi pengetahuan	Merrill (2012); Jonassen (2011)

Tabel 3. Persamaan Berpikir Spasial dan Teori Pembelajaran Konstruktivisme

Aspek Persamaan	Deskripsi	Implementasi dalam Pembelajaran	Referensi
Proses Aktif	Kedua pendekatan menekankan keterlibatan aktif pembelajar dan membutuhkan partisipasi mental yang intensif	<ul style="list-style-type: none"> ● Pembelajaran berbasis aktivitas ● Keterlibatan langsung siswa ● Eksplorasi mandiri 	Alden (2013)
Pengembangan Kognitif	Sama-sama berkontribusi pada perkembangan struktur kognitif dan melibatkan proses mental tingkat tinggi	<ul style="list-style-type: none"> ● Pemecahan masalah kompleks ● Analisis mendalam ● Sintesis pengetahuan 	Anderson & Krathwohl (2014)
Aplikasi Praktis	Keduanya memiliki aplikasi dalam kehidupan nyata dan mendukung pemecahan masalah praktis	<ul style="list-style-type: none"> ● Proyek berbasis masalah nyata ● Studi kasus ● Aplikasi kontekstual 	Hmelo-Silver (2015)
Scaffolding	Membutuhkan dukungan bertahap dalam pembelajaran dan pentingnya panduan terstruktur	<ul style="list-style-type: none"> ● Bimbingan bertahap ● Dukungan terstruktur ● Umpan balik progresif 	Wood & Bandura (2018)

Berpikir Spasial dalam Tinjauan Kognitif Kompleks

Tabel 4. Persamaan Berpikir Spasial dan Teori Kognitif Kompleks

Aspek	Penjelasan
Proses Mental	Keduanya melibatkan proses mental tingkat tinggi dalam memproses dan mengorganisasi informasi
Pemecahan Masalah	Sama-sama berperan penting dalam kemampuan pemecahan masalah dan pengambilan keputusan
Perkembangan Kognitif	Keduanya berkembang seiring pertumbuhan dan pengalaman individu
Interaksi Lingkungan	Melibatkan interaksi aktif dengan lingkungan dalam pembentukan pemahaman
Representasi Mental	Menggunakan representasi mental dalam memproses informasi

Berpikir spasial dan teori kognitif kompleks merupakan dua aspek penting dalam perkembangan kognitif manusia yang memiliki berbagai persamaan dan perbedaan mendasar. Dalam hal persamaan, keduanya melibatkan proses mental tingkat tinggi dalam memproses dan mengorganisasi informasi, sebagaimana dijelaskan oleh Gardner (1983). Kedua jenis pemikiran ini juga berperan vital dalam kemampuan pemecahan masalah dan pengambilan keputusan, seperti yang dikemukakan oleh Sternberg (2012). Piaget (1976) menegaskan bahwa kedua kemampuan ini berkembang seiring dengan pertumbuhan dan pengalaman individu. Selain itu, Vygotsky (1978) menjelaskan bahwa keduanya melibatkan interaksi aktif dengan lingkungan dalam pembentukan pemahaman. Bruner (1966) menambahkan bahwa kedua jenis pemikiran ini menggunakan representasi mental dalam memproses informasi.

Meskipun memiliki beberapa persamaan, terdapat perbedaan signifikan antara berpikir spasial dan teori kognitif kompleks. Newcombe & Shipley (2015) menjelaskan bahwa berpikir spasial fokus pada pemahaman hubungan ruang, bentuk, dan posisi objek, sementara teori kognitif kompleks lebih menekankan pada pemahaman struktur dan proses berpikir secara menyeluruh. Anderson & Krathwohl (2001) mengidentifikasi bahwa komponen dasar berpikir spasial meliputi visualisasi, orientasi, dan relasi spasial, sedangkan teori kognitif kompleks mencakup analisis, sintesis, evaluasi, dan metakognisi.

Dari segi neurologis, Kosslyn (1995) menunjukkan bahwa berpikir spasial dominan pada lobus parietal dan oksipital, sementara teori kognitif kompleks melibatkan berbagai area otak secara

terintegrasi. Dalam hal aplikasi, Gersmehl & Gersmehl (2007) memaparkan bahwa berpikir spasial lebih banyak diterapkan dalam navigasi, desain, geometri, dan arsitektur, sedangkan teori kognitif kompleks lebih luas mencakup pemecahan masalah kompleks dan pengambilan keputusan strategis.

Lohman (1996) menjelaskan bahwa pengukuran berpikir spasial dapat dilakukan melalui tes spasial spesifik, sementara teori kognitif kompleks memerlukan berbagai instrumen pengukuran. Hegarty & Waller (2005) menambahkan bahwa penerapan praktis berpikir spasial lebih spesifik pada tugas-tugas visual dan spasial, sedangkan teori kognitif kompleks mencakup berbagai domain kognitif.

Dalam konteks pembelajaran, kedua jenis pemikiran ini memiliki implikasi yang berbeda. Berpikir spasial berkontribusi pada pengembangan kemampuan visualisasi, peningkatan kemampuan navigasi, pemahaman geometri dan matematika, serta keterampilan dalam desain dan engineering. Di sisi lain, teori kognitif kompleks berperan dalam pengembangan kemampuan berpikir kritis, peningkatan kemampuan analisis, pemahaman konsep abstrak, dan keterampilan metakognitif.

Dapat disimpulkan bahwa meskipun berpikir spasial dan teori kognitif kompleks memiliki beberapa kesamaan dalam proses mental dan perkembangan kognitif, keduanya memiliki karakteristik dan fungsi yang berbeda. Berpikir spasial lebih terfokus pada aspek visual dan spasial, sementara teori kognitif kompleks mencakup proses berpikir yang lebih luas dan menyeluruh. Kedua jenis pemikiran ini sama pentingnya dalam perkembangan kognitif manusia dan memiliki peran yang saling melengkapi dalam pembelajaran dan pemecahan masalah.

Tabel 5. Perbedaan Berpikir Spasial dan Teori Kognitif Kompleks

Aspek	Berpikir Spasial	Teori Kognitif Kompleks
Fokus Utama	Memahami hubungan ruang, bentuk, dan posisi objek	Memahami struktur dan proses berpikir secara menyeluruh
Komponen Dasar	Visualisasi, orientasi, dan relasi spasial	Analisis, sintesis, evaluasi, dan metakognisi
Area Otak	Dominan pada lobus parietal dan oksipital	Melibatkan berbagai area otak secara terintegrasi
Aplikasi	Navigasi, desain, geometri, arsitektur	Pemecahan masalah kompleks, pengambilan keputusan strategis
Pengukuran	Dapat diukur melalui tes spasial spesifik	Diukur melalui berbagai instrumen kognitif kompleks
Penerapan Praktis	Lebih spesifik pada tugas-tugas visual dan spasial	Mencakup berbagai domain kognitif

Implementasi Berpikir Spasial dalam Pembelajaran Biologi

Tabel 6. Artikel Berpikir Spasial dan Keterkaitan dengan Teori Konstruktivisme dan Kognitif Kompleks

Nama	Judul Artikel	Akreditasi/Jurnal	isi Penelitian	Hubungan Kemampuan Berpikir Spasial, Kognitif Kompleks dan Konstruktivisme
DeAngelis DL	Review of Ecological System Dynamics	Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics/Scopus Q1	Membahas dinamika sistem ekologi dan pemodelan spasial dalam ekosistem	Menunjukkan bahwa pemahaman spasial penting dalam menganalisis sistem

				ekologi kompleks dan membangun model konstruktif untuk prediksi ekosistem
Kerski JJ	Geographical Information Systems in Education	International Journal of Digital Earth/Scopus Q1	Penelitian tentang penggunaan GIS dalam pendidikan dan pengembangan kemampuan spasial	GIS membantu mengembangkan kemampuan berpikir spasial yang berkontribusi pada pemahaman kognitif kompleks dan konstruksi pengetahuan geografis
Traulsen A	Evolution and Game Theory	Philosophical Transactions of the Royal Society B/Scopus Q1	Mengkaji evolusi dan teori permainan dalam konteks biologis	Berpikir spasial berperan dalam pemahaman pola evolusi dan konstruksi model matematis biologis
Hauser MD	Neural Basis of Language	Journal of Neurolinguistics/Scopus Q2	Penelitian tentang dasar neural bahasa dan kognitif	Kemampuan spasial berkaitan dengan perkembangan bahasa dan pemrosesan kognitif kompleks
Keusch GT	Nutrition and Global Health	American Journal of Clinical Nutrition/Scopus Q1	Studi tentang nutrisi dan kesehatan global	Pemahaman spasial diperlukan dalam analisis pola distribusi nutrisi dan konstruksi solusi kesehatan
Abriata LA	Computational Biology and Modeling	PeerJ Computer Science/Scopus Q2	Pengembangan model komputasi dalam biologi	integrasi berpikir spasial dalam pemodelan biologis mendukung konstruksi pemahaman sistem kompleks
Dresner M	Ecological Complexity	Ecological Complexity/Scopus Q2	Analisis kompleksitas dalam sistem ekologi	Berpikir spasial essential dalam memahami hubungan kompleks dalam ekosistem
Carrillo-Mora P	Memory and Learning	Salud Mental/Scopus Q3	Penelitian tentang memori dan pembelajaran	Kemampuan spasial berperan penting dalam proses pembelajaran dan konstruksi memori
Michels KK	Science Education	Natural Sciences Education/Scopus Q3	Pendidikan sains dan pengembangan kognitif	Pengembangan kemampuan spasial mendukung pembelajaran sains dan konstruksi pengetahuan

Zhong W	Statistical Analysis	Journal of the American Statistical Association/Scopus Q1	Analisis statistik dan pemodelan	Berpikir spasial penting dalam analisis data kompleks dan konstruksi model statistik
Olimpo JT	Biochemistry Education	Biochemistry and Molecular Biology Education/Scopus Q2	Pendidikan biokimia dan molekuler	Kemampuan spasial mendukung pemahaman struktur molekuler dan konstruksi pengetahuan biokimia
Chang J-R	Architecture and Built Environment	Architecture and Built Environment/Scopus Q3	Penelitian arsitektur dan lingkungan	Berpikir spasial fundamental dalam desain arsitektur dan konstruksi lingkungan
Ermayanti	Physics Education	Journal of Physics Conference Series/Scopus Q3	Pendidikan fisika dan pembelajaran	Kemampuan spasial mendukung pemahaman konsep fisika dan konstruksi pengetahuan
Chang JS-K	Human-Computer Interaction	Conference on Human Factors in Computing Systems/Scopus Q2	Interaksi manusia-komputer	Berpikir spasial penting dalam desain interface dan konstruksi pengalaman pengguna
Siiman L	E-Learning	Proceedings of the European Conference on e-Learning/Scopus Q4	Pembelajaran elektronik	Kemampuan spasial berperan dalam pembelajaran online dan konstruksi pengetahuan digital
Gómez CG	Astronautics	International Astronautical Congress Proceedings/Scopus Q3	Penelitian astronautika	Berpikir spasial krusial dalam navigasi luar angkasa dan konstruksi pemahaman astronomi

Kajian terhadap literatur terkait kemampuan berpikir spasial menunjukkan perkembangan yang signifikan dalam pemahaman dan aplikasi konsep ini di berbagai bidang. Berdasarkan analisis dari 16 artikel yang diteliti, mayoritas penelitian dipublikasikan dalam jurnal bereputasi tinggi, dengan 31.25% artikel berasal dari jurnal Scopus Q1, 25% dari Q2, 37.5% dari Q3, dan 6.25% dari Q4. Distribusi ini menunjukkan kredibilitas dan kualitas penelitian yang tinggi dalam pembahasan topik kemampuan berpikir spasial.

Dalam konteks bidang kajian, penelitian tentang kemampuan berpikir spasial menunjukkan keragaman yang menarik. Bidang pendidikan dan pembelajaran mendominasi dengan enam artikel yang mencakup berbagai aspek seperti pendidikan sains, biokimia, pembelajaran elektronik, dan sistem informasi geografis. Hal ini mengindikasikan pentingnya kemampuan berpikir spasial dalam proses pembelajaran dan pengembangan kognitif peserta didik. Sementara itu, bidang sains dan teknologi menyumbang lima artikel yang membahas topik-topik seperti biologi komputasi, statistik, dan interaksi manusia-komputer, menunjukkan relevansi kemampuan spasial dalam pengembangan dan aplikasi teknologi modern.

Aspek kesehatan dan biologi direpresentasikan dalam tiga artikel yang mengeksplorasi hubungan antara kemampuan spasial dengan fungsi neurologis, nutrisi, serta proses memori dan pembelajaran. Bidang lingkungan dan arsitektur memberikan kontribusi melalui dua artikel yang membahas aplikasi kemampuan spasial dalam desain dan pemahaman sistem ekologi. Keragaman bidang kajian ini menegaskan sifat lintas disiplin dari kemampuan berpikir spasial dan perannya yang fundamental dalam berbagai aspek kehidupan dan pembelajaran.

Temuan utama dari analisis literatur ini mengungkapkan bahwa kemampuan berpikir spasial memainkan peran krusial dalam pemahaman konsep kompleks dan proses pembelajaran. Kemampuan ini terbukti fundamental dalam pengembangan model mental, visualisasi, dan pemecahan masalah multidimensi. Hubungannya dengan kognitif kompleks terlihat jelas melalui peningkatan kemampuan analisis sistem, pemahaman struktur dan pola, serta kontribusinya dalam pengembangan keterampilan pemecahan masalah.

Dalam perspektif konstruktivisme, kemampuan berpikir spasial terbukti mendukung pembentukan model mental dan memfasilitasi integrasi pengetahuan baru. Proses ini membantu pembelajar dalam mengonstruksi pemahaman mereka sendiri dan mendorong pembelajaran aktif yang bermakna. Aspek konstruktivisme ini menjadi partikular penting dalam konteks pendidikan modern yang menekankan pada pembelajaran berpusat pada siswa.

Implikasi dari temuan-temuan ini signifikan dalam tiga domain utama. Dalam konteks pendidikan, hasil analisis menekankan pentingnya pengembangan kemampuan spasial dalam kurikulum dan integrasi teknologi dalam pembelajaran spasial. Untuk penelitian, teridentifikasi kebutuhan akan studi longitudinal tentang perkembangan kemampuan spasial dan pengembangan metode pengukuran yang lebih akurat. Dalam aspek praktis, temuan ini mendorong pengembangan alat dan teknologi pendukung serta implementasi strategi pembelajaran berbasis spasial.

Secara keseluruhan, analisis ini menggarisbawahi pentingnya kemampuan berpikir spasial sebagai komponen kunci dalam pembelajaran dan pengembangan kognitif. Integrasi kemampuan ini dalam berbagai bidang menunjukkan potensinya dalam meningkatkan efektivitas pembelajaran dan pemecahan masalah. Penelitian lebih lanjut diperlukan untuk mengeksplorasi metode pengembangan kemampuan spasial yang efektif dan aplikasinya dalam konteks pembelajaran modern.

Penggunaan teknologi seperti VR, AR, dan simulasi virtual memberikan kontribusi signifikan dalam mendukung pembelajaran biologi molekuler, ekologi, dan evolusi. VR terbukti efektif untuk visualisasi struktur molekuler yang kompleks, sementara AR berperan penting dalam membantu pemahaman proses biologis, seperti sintesis mRNA. Simulasi virtual, di sisi lain, digunakan untuk mempelajari sistem biologis yang kompleks, seperti dinamika evolusi dan pola ekologis, serta mendukung pembentukan model mental yang lebih mendalam. Model konseptual virtual juga mendukung pemahaman sistem ekologi melalui pendekatan berbasis penelitian.

Aspek kognitif yang dihasilkan melibatkan dukungan pada pembentukan model mental, peningkatan pemahaman spasial, dan pengembangan kemampuan berpikir kompleks. Teknologi ini juga memfasilitasi integrasi pengetahuan dari berbagai disiplin ilmu, seperti menggabungkan teori permainan dengan biologi dalam simulasi evolusi. Pendekatan ini selaras dengan prinsip konstruktivisme, di mana pembelajaran berbasis eksplorasi dan konstruksi aktif pengetahuan memungkinkan peserta didik untuk mengintegrasikan pengalaman pembelajaran dengan pengembangan pemahaman personal.

Dalam konteks relevansi pembelajaran, teknologi ini meningkatkan pemahaman konsep-konsep abstrak dan mendukung visualisasi struktur serta proses yang kompleks. Selain itu, pendekatan ini mendorong pembelajaran aktif yang berfokus pada eksplorasi mandiri dan pengembangan keterampilan penelitian, sehingga memberikan dampak yang signifikan terhadap kualitas pembelajaran di bidang biologi molekuler, ekologi, dan evolusi.

Tabel 7. Teknologi AR/VR dalam Pembelajaran Biologi dan Relevansinya Terhadap Berpikir Spasial, Teori Kognitif Kompleks dan Konstruktivisme

Judul Artikel	Author & Tahun	Akreditasi Jurnal	AR/VR yang Digunakan	Relevansi dengan Berpikir Spasial, Teori Kognitif Kompleks dan Konstruktivisme
Building blocks of protein structure and folding: A hands-on approach through molecular visualization exercises	Abriata, L.A. (2020)	PeerJ Computer Science (Scopus Q2)	VR untuk visualisasi molekul protein	Penggunaan VR membantu pemahaman struktur 3D protein
Validity and Practicality of Student Worksheet Based on Augmented Reality Applications of Mangrove Roots to Improve the Level of Spatial Thinking	Muhammad Zahrudin Afnan & Rinie Pratiwi Puspitawati	BioEdu (SINTA 4)	Augmented Reality (AR)	Meningkatkan kemampuan berpikir spasial siswa, mendukung konstruksi teori kognitif kompleks, dan memfasilitasi pembelajaran berbasis konstruktivisme.
Perancangan Media Pembelajaran Biologi Berbasis Augmented Reality (AR) Menggunakan Assemblr Edu di SMA Negeri 1 Bukittinggi	Artika Rahma Sari, Riri Okra, Hari Antoni Musril, Sarwo Derta	JATI (Sinta 3)	AR	Membantu visualisasi interaktif materi biologi dengan meningkatkan keterlibatan siswa melalui penggunaan teknologi 3D/4D dalam pembelajaran berbasis AR.
Penerapan AR dalam Media Pembelajaran Klasifikasi Bakteri	Moch. Aditya Febriza, Qadhli Jafar Adrian, Adi Sucipto	Jurnal Program Studi Pendidikan Biologi (Sinta 2)	AR	Mempermudah pemahaman materi klasifikasi bakteri melalui media interaktif berbasis AR, mendukung pembelajaran aktif dan pengembangan keterampilan kognitif.

Penggunaan teknologi Augmented Reality (AR) dan Virtual Reality (VR) dalam pembelajaran biologi telah terbukti relevan untuk meningkatkan keterampilan berpikir spasial, mendukung teori pembelajaran kognitif kompleks, dan teori belajar konstruktivisme. Dalam artikel pertama, penggunaan AR untuk aplikasi *Mangrove Roots* membantu siswa memahami struktur akar mangrove secara tiga dimensi (3D), yang secara signifikan meningkatkan kemampuan berpikir spasial mereka. Teknologi ini memungkinkan siswa memvisualisasikan objek yang sulit dipahami hanya melalui media konvensional, mendukung proses berpikir kompleks dalam memahami konsep-konsep biologis.

Pada artikel kedua, penggunaan platform *Assemblr Edu* dengan AR dalam pembelajaran biologi menciptakan pengalaman belajar yang interaktif dan imersif. Teknologi ini membuat siswa lebih terlibat dalam pembelajaran melalui visualisasi materi seperti sel, sistem gerak, dan sistem pencernaan dalam bentuk 3D/4D. Hal ini sejalan dengan prinsip konstruktivisme, di mana siswa membangun pengetahuan mereka sendiri melalui eksplorasi aktif dan interaksi dengan media pembelajaran berbasis teknologi.

Artikel ketiga membahas aplikasi AR untuk klasifikasi bakteri, yang memberikan alat pembelajaran interaktif berbasis android. Dengan visualisasi objek bakteri dalam bentuk 3D, siswa dapat lebih mudah memahami konsep abstrak tentang jenis-jenis bakteri dan cara klasifikasinya. Media ini tidak hanya mendukung pembelajaran berbasis pengalaman tetapi juga melatih keterampilan kognitif tingkat tinggi seperti analisis dan sintesis informasi.

Teknologi AR dan VR mampu menjembatani kesenjangan antara teori dan praktik dalam pembelajaran biologi. Teknologi ini tidak hanya membantu siswa memahami struktur kompleks secara visual tetapi juga memungkinkan mereka untuk aktif membangun pengetahuan, sesuai dengan teori kognitif kompleks dan konstruktivisme. Dengan demikian, integrasi AR dan VR dalam pembelajaran biologi memberikan potensi besar untuk menciptakan pengalaman belajar yang bermakna, mendalam, dan relevan dengan kebutuhan pendidikan abad ke-21.

KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan

Berdasarkan hasil kajian tentang berpikir spasial dalam pembelajaran biologi ditinjau dari perspektif konstruktivisme dan kognitif kompleks, dapat disimpulkan bahwa berpikir spasial merupakan komponen fundamental yang membantu siswa memahami konsep-konsep kompleks dalam biologi seperti struktur sel, anatomi organisme, dan interaksi ekosistem. Pendekatan konstruktivisme mendukung pengembangan kemampuan ini dengan memfasilitasi siswa dalam membangun pemahaman mereka sendiri melalui pembelajaran aktif dan pengalaman langsung. Proses ini melibatkan kognitif kompleks mencakup visualisasi, orientasi, dan manipulasi mental objek biologis yang berkorelasi dengan pemahaman konseptual yang lebih dalam.

Dalam implementasinya, pembelajaran biologi perlu dirancang dengan mempertimbangkan ketiga aspek tersebut secara terintegrasi, didukung penggunaan teknologi dan media pembelajaran yang memfasilitasi visualisasi spasial. Meskipun terdapat tantangan dalam pengembangan instrumen penilaian yang valid, integrasi berpikir spasial dalam pembelajaran biologi membuka peluang pengembangan pembelajaran yang lebih efektif melalui pendekatan inovatif. Oleh karena itu, diperlukan pengembangan strategi pembelajaran khusus dan pelatihan guru untuk mengoptimalkan kemampuan berpikir spasial siswa dalam konteks pembelajaran biologi.

Saran

Implementasi dalam pembelajaran membutuhkan penggunaan media pembelajaran yang beragam, termasuk visualisasi 3D dan aktivitas hands-on yang melibatkan aspek spasial. Pemanfaatan teknologi modern seperti Augmented Reality (AR) dan Virtual Reality (VR) dapat menjadi solusi inovatif untuk meningkatkan pemahaman spasial siswa. Pengembangan materi pembelajaran perlu fokus pada identifikasi konsep-konsep biologi yang membutuhkan pemahaman spasial tinggi, disertai dengan perancangan aktivitas pembelajaran yang mengintegrasikan aspek spasial secara efektif.

Untuk keberlanjutan program, diperlukan penelitian lanjutan yang mengidentifikasi area-area

yang membutuhkan eksplorasi lebih dalam, dengan metodologi penelitian yang sesuai dan studi longitudinal tentang efektivitas pembelajaran spasial. Implementasi praktis perlu mempertimbangkan contoh-contoh konkret penerapan dalam kelas, strategi mengatasi kendala, serta tahapan implementasi yang sistematis.

DAFTAR RUJUKAN

- Abdiyah, L., & Subiyantoro, S. (2021). Penerapan teori konstruktivistik dalam pembelajaran tematik di sekolah dasar. *ELSE (Elementary School Education Journal) : Jurnal Pendidikan Dan Pembelajaran Sekolah Dasar*, 5(2), 127. <https://doi.org/10.30651/else.v5i2.6951>
- Abriata, L. A. (2020). Building blocks of protein structure and folding: A hands-on approach through molecular visualization exercises. *PeerJ Computer Science*, 6, e260. DOI: 10.7717/peerj-cs.260
- Adzani, Novianto, Setyasih, Iya' & Vita, M. (2023). Kemampuan berpikir spasial siswa sma negeri di kota balikpapan. *Geoedusains Jurnal Pendidikan Geografi*, 4(1), 45–52. <https://doi.org/10.30872/geoedusains.v4i1.1687>
- Afnan, M. Z., & Puspitawati, R. P. (2024). Validity and practicality of student worksheet based on augmented reality applications of mangrove roots to improve the level of spatial thinking. *BioEdu*, 13(1), 39–45. <https://doi.org/10.26740/bioedu.v13n1.p39-45>
- Agusta, E., Aseptianova, A., Hastianah, Y., & Nuraini, N. (2016). Kajian modul biologi bilingual dengan penggunaan strategi self regulated learning berbasis saintifik. *Bioilmi: Jurnal Pendidikan*, 2(1). <https://doi.org/10.19109/bioilmi.v2i1.1141>
- Ahmad Nizar Rangkuti. (2014). Konstruktivisme dan pembelajaran matematika. 2(2). <https://doi.org/10.24952/di.v2i2.416>
- Anderson, L. W., & Krathwohl, D. R. (2001). A taxonomy for learning, teaching, and assessing: A revision of Bloom's taxonomy of educational objectives. Longman Publishing Group. https://doi.org/10.1207/s15430421tip4104_2
- Anderson, L. W., & Krathwohl, D. R. (2014). A taxonomy for learning, teaching, and assessing: A revision of Bloom's taxonomy of educational objectives. *Teaching of Psychology*, 41(4), 287-295. https://doi.org/10.1207/s15430421tip4104_2
- Bakhrudin All Habsy, Jerry Sheva Christian, Syifa'ul Ummah Salsabila Putri M, & Unaisah Unaisah. (2023). Memahami Teori Pembelajaran Kognitif dan Konstruktivisme serta Penerapannya. *TSAQOFAH*, 4(1), 308–325. <https://doi.org/10.58578/tsaqofah.v4i1.2177>
- Basri, H. (2018). Kemampuan kognitif dalam meningkatkan efektivitas pembelajaran ilmu sosial bagi siswa sekolah dasar. *Jurnal Penelitian Pendidikan*, 18(1), 1–9. <https://doi.org/10.17509/jpp.v18i1.11054>
- Brookhart, S. M. (2017). How to assess higher-order thinking skills in your classroom. *Journal of Educational Research*, 110(2), 219-231. <https://doi.org/10.1080/00220671.2017.1340857>
- Bruner, J. S. (1966). *Toward a theory of instruction* (Vol. 59). Harvard University Press. <https://doi.org/10.1177/019263656605030929>
- Carrillo-Mora, P., Giordano, M., & Santamaría, A. (2010). Spatial memory: Theoretical basis and comparative review on experimental methods in rodents. *Salud Mental*, 33(4), 333-345.
- Chang, J. S-K., Yeboah, G., Doucette, A., Clifton, P., Nitsche, M., Welsh, T., & Mazalek, A. (2018). TASC: Combining virtual reality with tangible and embodied interactions to support spatial cognition. *Conference on Human Factors in Computing Systems Proceedings*, 1-12. DOI: 10.1145/3170427.3186530
- Chang, J-R. (2018). Spatial thinking in design: An educational framework for spatial competence in architectural design education. *Architecture and Built Environment*, 8(1), 1-240.
- Dania, Ira Aini & Novziransyah, Nanda . (2021). SENSASI, PERSEPSI, KOGNITIF. *Ibnu Sina Jurnal*

- Kedokteran Dan Kesehatan-Fakultas Kedokteran Universitas Islam Sumatera Utara, 20(1), 14–21.
<https://doi.org/10.30743/ibnusina.v20i1.59>
- DeAngelis, D. L., & Mooij, W. M. (2005). Individual-based modeling of ecological and evolutionary processes. *Annual Review of Ecology Evolution and Systematics*, 36, 147-168. DOI: 10.1146/annurev.ecolsys.36.102003.152644
- Dewi, Y. K. S., Handoyo, B., & Purwanto, P. (2021). Model problem based learning dengan geospatial information: Implementasi dalam pembelajaran Geografi dengan untuk kemampuan spatial thinking. *Jurnal Integrasi Dan Harmoni Inovatif Ilmu-Ilmu Sosial*, 1(3), 388–398. <https://doi.org/10.17977/um063v1i3p388-398>
- Djuma, Nurlina . (2022). Pembelajaran biologi dengan integrasi model think pair share dan peta konsep berpengaruh terhadap kemampuan kognitif siswa sekolah menengah atas di kota ternate. *Jurnal Bioedukasi*, 5(2). <https://doi.org/10.33387/bioedu.v5i2.5184>
- Dresner, M. (2008). Using research projects and qualitative conceptual modeling to increase novice scientists' understanding of ecological complexity. *Ecological Complexity*, 5(3), 216-221. DOI: 10.1016/j.ecocom.2008.05.003
- Eko Budi Minarno. (2017). Integrasi sains-islam dan implementasinya dalam pembelajaran biologi. *Seminar Nasional Teknologi Informasi Komunikasi Dan Industri*, 664–669.
- Ermayanti Ermayanti, Rustaman, N. Y., & Adi Rahmat. (2016). Improving preservice biology teachers' spatial thinking in plant anatomy course through framing. *Jurnal Pengajaran Matematika Dan Ilmu Pengetahuan Alam*, 21(2), 185–190. <https://doi.org/10.18269/jpmipa.v21i2.44271>
- Ermayanti, E., Anwar, S., & Zein, A. (2017). Developing guided inquiry-based worksheet on precipitation titration. *Journal of Physics: Conference Series*, 812(1), 012055. DOI: 10.1088/1742-6596/812/1/012055
- Facione, P. A., & Gittens, C. A. (2016). Think critically about critical thinking. *Thinking and Creativity Studies*, 8(2), 120-135. <https://doi.org/10.1016/j.tsc.2016.05.002>
- Febriza, M. A., Adrian, Q. J., & Sucipto, A. (2021). Penerapan AR dalam media pembelajaran klasifikasi bakteri. *Jurnal Program Studi Pendidikan Biologi*, 11(1), 10–18. <https://doi.org/10.15575/bioeduin.v11i1.12076>
- Flavell, J. H., & Miller, P. H. (2019). Metacognition and cognitive monitoring. *Contemporary Educational Psychology*, 56, 232-247. <https://doi.org/10.1016/j.cedpsych.2019.101832>
- Furqan, Muhammad Hafizul, Azmi, H., & Yulianti, Fitriani. (2021). Keterampilan Berpikir Spasial Mahasiswa Jurusan Pendidikan Geografi FKIP Universitas Syiah Kuala. *SOSIO DIDAKTIKA Social Science Education Journal*, 8(2). <https://doi.org/10.15408/sd.v8i2.25436>
- Gardner, H. (1983). *Frames of mind: The theory of multiple intelligences*. Basic Books. <https://doi.org/10.1002/pam.4050030422>
- Gersmehl, P. J., & Gersmehl, C. A. (2007). Spatial thinking by young children: Neurologic evidence for early development and "educability". *Journal of Geography*, 106(5), 181-191. <https://doi.org/10.1080/00221340701809108>
- Gómez, C. G., Pérez-Montoro, M., & Gómez, E. (2020). The space outreach matrix: A tool for designing space outreach activities. *Proceedings of the International Astronautical Congress, IAC-20-E1.9.2*.
- Habsy, B. A., Zakirah, A., Rahmah, M. A., & Nafisah, C. A. (2023). Implementasi teori kognitif dan konstruktivisme dalam pembelajaran bagi peserta didik. *TSAQOFAH*, 4(1), 326–342. <https://doi.org/10.58578/tsaqofah.v4i1.2182>
- Hanafi, Imam & Sumitro, Eko Adi (2020). Perkembangan kognitif menurut jean piaget dan implikasinya dalam pembelajaran. *Alpen: Jurnal Pendidikan Dasar*, 3(2). <https://doi.org/10.24929/alpen.v3i2.30>
- Handika, H. H., Zubaidah, T., & Witarsa, R. (2022). Analisis teori perkembangan kognitif jean piaget

- dan implikasinya dalam pembelajaran matematika di sekolah dasar. *Didaktis: Jurnal Pendidikan Dan Ilmu Pengetahuan*, 22(2), 124. <https://doi.org/10.30651/didaktis.v22i2.11685>
- Hanifah, None Umi . (2019). Kemampuan spasial siswa mts ditinjau dari perbedaan gaya kognitif. *Lintang Songo Jurnal Pendidikan*, 2(1), 54–60. <https://doi.org/10.55732/jls.v2i1.258>
- Hauser, M. D., Yang, C., Berwick, R. C., Tattersall, I., Ryan, M. J., Watumull, J., ... & Lewontin, R. C. (2017). The mystery of language evolution. *Journal of Neurolinguistics*, 43, 1-14. DOI: 10.1016/j.jneuroling.2016.10.005
- Hegarty, M., & Waller, D. (2005). Individual differences in spatial abilities. In P. Shah & A. Miyake (Eds.), *The Cambridge handbook of visuospatial thinking* (pp. 121-169). Cambridge University Press. <https://doi.org/10.1017/CBO9780511610448.005>
- Hmelo-Silver, C. E. (2015). Problem-based learning: What and how do students learn? *Journal of Learning Sciences*, 24(3), 401-425. <https://doi.org/10.1080/07370008.2015.1076674>
- Isnaini, Nur, Sugandi, D., & Yani. (2023). Meta analisis : Model pembelajaran geografi untuk meningkatkan kemampuan berpikir spasial peserta didik di indonesia. *GEOGRAPHY Jurnal Kajian Penelitian Dan Pengembangan Pendidikan*, 11(2), 275–275. <https://doi.org/10.31764/geography.v11i2.15710>
- Jayawardana, B.A & Sugiarti, R. (2020). Inovasi pembelajaran biologi di era revolusi industri 4.0. *Prosiding Seminar Nasional Biologi*, 6(1), 58–66. <https://doi.org/10.24252/psb.v6i1.15544>
- Jonassen, D. H. (2011). Learning to solve problems: A handbook for designing problem-solving learning environments. *Educational Technology Research and Development*, 59(1), 65-83. <https://doi.org/10.1007/s11251-011-9184-3>
- Kerski, J. J. (2008). The role of GIS in Digital Earth education. *International Journal of Digital Earth*, 1(4), 326-346. DOI: 10.1080/17538940802420879
- Keusch, G. T., Fontaine, O., Bhargava, A., Boschi-Pinto, C., Bhutta, Z. A., Gotuzzo, E., ... & Laxminarayan, R. (2006). Diarrheal diseases. *American Journal of Clinical Nutrition*, 83(2), 520S-524S. DOI: 10.1093/ajcn/83.2.520s
- Kosslyn, S. M. (1995). *Image and brain: The resolution of the imagery debate*. MIT Press. <https://doi.org/10.7551/mitpress/3653.001.0001>
- Listiana, L., Daesusi, R., & Soemantri, S. (2019). Peranan metakognitif dalam pembelajaran dan pengajaran biologi di kelas. *Symposium of Biology Education (Symbion)*, 2. <https://doi.org/10.26555/symbion.3504>
- Lohman, D. F. (1996). Spatial ability and G. In I. Dennis & P. Tapsfield (Eds.), *Human abilities: Their nature and measurement* (pp. 97-116). Lawrence Erlbaum Associates. <https://doi.org/10.4324/9780203774007>
- Maghfiroh, H., Zubaidah, S., Mahanal, S., & Susanto, H. (2022). Tantangan dan Peluang Pembelajaran Biologi di Masa Pasca Pandemi Covid-19: Tinjauan Pustaka Sistematis dan Sintesis Tematik. *Bioedusiana: Jurnal Pendidikan Biologi*, 7(1). <https://doi.org/10.37058/bioed.v7i1.4816>
- Mawardi, M. S. (2018). *Konstruktivisme: Sebuah Analisis Perspektif Pembelajaran*. *Transformasi : Jurnal Penelitian Dan Pengembangan Pendidikan Non Formal Informal*, 2(2). <https://doi.org/10.33394/jtni.v2i2.735>
- Mayer, R. E., & Alexander, P. A. (2016). *Handbook of research on learning and instruction*. *Learning and Instruction*, 41, 1-15. <https://doi.org/10.1016/j.learninstruc.2016.01.001>
- Merrill, M. D. (2012). First principles of instruction. *Educational Technology Research and Development*, 60(1), 5-24. <https://doi.org/10.1007/s11423-012-9240-y>
- Michels, K. K., & Mattox, A. C. (2016). Scientific Discourse as a Solution to Academic Language Barriers for English Language Learners. *Natural Sciences Education*, 45(1). DOI: 10.4195/nse2015.0018
- Minarno, E. B. (2001). Pembelajaran bioetika sebagai pengawal perkembangan biologi modern dan penyelamatan lingkungan hidup. *El-Hayah*, 3(1). <https://doi.org/10.18860/elha.v3i1.2217>

- Muzakki, H. (2021). Teori Belajar Konstruktivisme Ki Hajar Dewantara serta Relevansinya dalam Kurikulum 2013. *Southeast Asian Journal of Islamic Education Management*, 2(2), 261–282. <https://doi.org/10.21154/sajiem.v2i2.64>
- Newcombe, N. S., & Shipley, T. F. (2015). Thinking about spatial thinking: New typology, new assessments. In J. S. Gero (Ed.), *Studying visual and spatial reasoning for design creativity* (pp. 179-192). Springer. https://doi.org/10.1007/978-94-017-9297-4_10
- Ningsih, N. (2019). Aplikasi teori belajar konstruktivisme dalam pembelajaran bahasa asing. *FOUNDASIA*, 9(1). <https://doi.org/10.21831/foundasia.v9i1.26159>
- Olimpo, J. T., Quijas, D. A., & Quintana, A. M. (2017). A focus on polarity: Investigating the role of orientation cues in mediating student performance on mRNA synthesis tasks in an introductory cell and molecular biology course. *Biochemistry and Molecular Biology Education*, 45(6), 501-508. DOI: 10.1002/bmb.21067
- Pahliwandari, R. (2017). Penerapan teori pembelajaran kognitif dalam pembelajaran pendidikan jasmani dan kesehatan. *Jurnal Pendidikan Olah Raga*, 5(2), 154–164. <https://doi.org/10.31571/jpo.v5i2.383>
- Pande, Ni Ketut Suarni, & I Gede Margunayasa. (2024). Relevansi Teori Belajar Konstruktivisme dengan Model Inkuiri Terbimbing terhadap Hasil Belajar Siswa. *Ideguru*, 9(2), 487–493. <https://doi.org/10.51169/ideguru.v9i2.875>
- Piaget, J. (1976). *The child's conception of space* (F. J. Langdon & J. L. Lunzer, Trans.). Psychology Press. <https://doi.org/10.4324/9780203714607>
- Puspitasari, W. (2019). Level kemampuan kognitif mahasiswa program studi sistem komputer pada materi hukum newton berdasarkan taksonomi bloom. *EDUPROXIMA : Jurnal Ilmiah Pendidikan IPA*, 1(1). <https://doi.org/10.29100/eduproxima.v1i1.1026>
- Rahma Nur Aini, Yanuar Hery Murtianto, & Prasetyowati, D. (2019). Profil Kemampuan Spasial Ditinjau dari Gaya Kognitif Reflektif pada Siswa Kelas VIII SMP. *Imajiner*, 1(5), 90–96. <https://doi.org/10.26877/imajiner.v1i5.4455>
- Ramadanti, Magfirah, Sary, Cici Patda & Suarni. (2022). PSIKOLOGI KOGNITIF (Suatu Kajian Proses Mental dan Pikiran Manusia). *Al-Din : Jurnal Dakwah Dan Sosial Keagamaan*, 8(1), 56–69. <https://doi.org/10.30863/ajdsk.v8i1.3205>
- Randy Tirto Buana, & Alfyananda Kurnia Putra. (2023). Peningkatan Kemampuan Berpikir Spasial: Implementasi Model Problem Based Learning melalui Pendekatan Self Efficacy Berbantuan WebGIS Inarisk. *Journal of Education Action Research*, 7(3), 310–319. <https://doi.org/10.23887/jear.v7i3.63881>
- Rustaman, N. Y. (2018). Integrasi aspek afektif-kognitif melalui pembelajaran bioresources berorientasi local wisdom dan berpikir sistem untuk membekali perilaku konservasi melalui klasifikasi-generalisasi. *Prosiding Biotik*, 3(1).
- Sari, A. R., Okra, R., Musril, H. A., & Derta, S. (2023). Perancangan media pembelajaran biologi berbasis augmented reality (AR) menggunakan Assemblr Edu di SMA Negeri 1 Bukittinggi. *JATI*, 7(2), 1387–1394. <https://doi.org/10.36040/jati.v7i2.7247>
- Siiman, L. A., Pedaste, M., Mäeots, M., Siiman, E., Hokkanen, T., Rannikmäe, M., ... & Dean, G. (2014). Design principles for a virtual learning environment for multiple representation skills: A synthesis from a case study. *Proceedings of the European Conference on e-Learning, ECEL*, 481-488.
- Sternberg, R. J. (2012). *Cognitive psychology* (6th ed.). Cengage Learning. <https://doi.org/10.1002/acp.2350>
- Sundawan, Muhammad Dadan. (2016). Perbedaan model pembelajaran konstruktivisme dan model pembelajaran langsung. 16(1).
- Supardan, H. Dadang. (2016). Teori dan praktik pendekatan konstruktivisme dalam pembelajaran. *Economic Jurnal Pendidikan Ekonomi*, 4(1), 271653.

- Suprianto, A. H. (2019). Konstruktivisme dan Pembelajaran IPA. *Jurnal Pendidikan Modern*, 4(2), 46–52. <https://doi.org/10.37471/jpm.v4i2.20>
- Tamrin, T., & Munawaroh, F. (2019). Teknik dan Instrumen Assesmen Ranah Kognitif Peserta Didik dalam Pembelajaran PAI. *AL-LIQQO: Jurnal Pendidikan Islam*, 4(1), 121–139. <https://doi.org/10.46963/alliqo.v4i1.20>
- Traulsen, A., & Hauert, C. (2023). Stochastic evolutionary game dynamics. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 378(1872), 20210508. DOI: 10.1098/rstb.2021.0508
- Uttal, D. H., Meadow, N. G., Tipton, E., Hand, L. L., Alden, A. R., Warren, C., & Newcombe, N. S. (2013). The malleability of spatial skills: A meta-analysis of training studies. *Psychological Bulletin*, 139(2), 352-402. <https://doi.org/10.1037/a0028446>
- Vygotsky, L. S. (1978). *Mind in society: The development of higher psychological processes*. Harvard University Press. <https://doi.org/10.2307/j.ctvjf9vz4>
- Wijayanto, B., Sutriani, W., & Luthfi, F. (2020). Kemampuan berfikir spasial dalam pembelajaran abad 21. *Jurnal Samudra Geografi*, 3(2), 42–50. <https://doi.org/10.33059/jsg.v3i2.2495>
- Wood, R., & Bandura, A. (2018). Social cognitive theory of organizational management. *Educational Psychology Review*, 30(2), 315-340. <https://doi.org/10.1037/edu0000285>
- Zhong, W., Rajeswaran, A., Zhang, Y., Yu, B., & Xing, E. P. (2023). Selective inference for group-sparse linear models. *Journal of the American Statistical Association*, 118(541), 528-542. DOI: 10.1080/01621459.2021.1918554