



BERPIKIR ALJABAR MAHASISWA DALAM PERSPEKTIF NEUROSAINS: KAJIAN LITERATUR PADA ASPEK GENERALISASI, TRANSFORMASI, LEVEL METAGLOBAL, DAN METAKOGNISI

Masnia¹, Emy Sohila², Anis Shobikhah³, Sri Lestari⁴

¹Universitas Media Nusantara Citra Jakarta

²STKIP Gotong Royong Masohi

³Institut Teknologi Insan Cendekia Mandiri

⁴SMK Negeri 1 Demak

Email :m_nia83@yahoo.com

ABSTRAK

Berpikir aljabar merupakan kemampuan esensial bagi mahasiswa dalam memahami konsep matematika abstrak, merepresentasikan hubungan, serta menyelesaikan masalah secara simbolik dan struktural. Artikel ini bertujuan mengkaji berpikir aljabar mahasiswa dalam perspektif neurosains melalui empat aspek utama, yaitu generalisasi, transformasi, level metaglobal, dan metakognisi, berdasarkan literatur bereputasi yang relevan. Penelitian ini menggunakan metode kajian literatur dengan menelaah berbagai publikasi mengenai berpikir aljabar, pembelajaran aljabar, metakognisi, dan neurosains kognitif dalam pendidikan matematika. Hasil kajian menunjukkan bahwa generalisasi berperan dalam mengenali pola, membangun relasi, dan merumuskan ekspresi aljabar secara abstrak. Transformasi berkaitan dengan kemampuan memanipulasi simbol, mengubah representasi, serta menerapkan aturan aljabar secara fleksibel. Level metaglobal mencerminkan kapasitas mahasiswa dalam memahami struktur aljabar secara menyeluruh dan mengintegrasikan konsep dengan prosedur. Sementara itu, metakognisi berfungsi dalam perencanaan, pemantauan, pengendalian, dan evaluasi strategi penyelesaian masalah. Dalam perspektif neurosains, keempat aspek tersebut berkaitan erat dengan memori kerja, kontrol eksekutif, perhatian, fleksibilitas kognitif, dan pemrosesan simbolik. Kajian ini memberikan penguatan teoretis mengenai berpikir aljabar mahasiswa serta menjadi dasar konseptual bagi pengembangan pembelajaran aljabar yang selaras dengan proses kognitif.

Kata kunci: berpikir aljabar, mahasiswa, neurosains, generalisasi, transformasi, level metaglobal, metakognisi.

Dikirim: Mei 2026; Diterima: Juni 2026; Dipublikasikan: Juni 2026

Cara sitasi: Masnia, Sohila, E., Shobikhah, A., Lestari, S. (2026). Berpikir Aljabar Mahasiswa dalam Perspektif Neurosains: Kajian Literatur pada Aspek Generalisasi, Transformasi, Level Metaglobal, dan Metakognisi. *Proceeding Galuh Mathematics National Conference*, 6(1), 179-193.



PENDAHULUAN

Berpikir aljabar merupakan salah satu kemampuan fundamental dalam pembelajaran matematika karena memungkinkan mahasiswa mengidentifikasi pola, membangun relasi, menggunakan representasi simbolik, serta memahami struktur matematika secara abstrak. Kemampuan ini tidak terbatas pada penguasaan prosedur manipulasi simbol, tetapi juga mencakup proses generalisasi, penalaran relasional, dan pemaknaan terhadap hubungan matematis dalam berbagai konteks. Dalam kajian pendidikan matematika, berpikir aljabar dipandang sebagai komponen penting yang mendukung perkembangan penalaran matematis tingkat lanjut dan menjadi landasan bagi pemecahan masalah secara sistematis (Sibgatullin, 2022; Torres, 2024).

Meskipun demikian, pengembangan berpikir aljabar masih menghadapi berbagai kendala. Peralihan dari aritmetika menuju aljabar menuntut perubahan cara berpikir, dari operasi terhadap bilangan konkret menuju pemahaman terhadap variabel, relasi, dan struktur simbolik yang lebih abstrak. Kondisi tersebut menyebabkan mahasiswa sering mengalami kesulitan dalam menafsirkan makna simbol, menghubungkan prosedur dengan konsep, serta memilih strategi penyelesaian yang sesuai. Temuan empiris menunjukkan bahwa keberhasilan dalam menyelesaikan masalah aljabar sangat dipengaruhi oleh tingkat pengetahuan aljabar dan kemampuan mengenali struktur matematis secara tepat (Chan et al., 2022). Selain itu, kajian mutakhir menegaskan bahwa aljabar secara konsisten menjadi salah satu ranah matematika yang menimbulkan hambatan konseptual karena menuntut pemahaman relasional yang lebih kompleks dibandingkan aritmetika (Ozmantar et al., 2025).

Secara teoretis, (Kieran, 2004) mengemukakan bahwa berpikir aljabar mencakup tiga aktivitas utama, yaitu aktivitas generasional, transformasional, dan level metaglobal. Aktivitas generasional berkaitan dengan kemampuan membentuk ekspresi, persamaan, atau aturan umum berdasarkan pola dan relasi. Aktivitas transformasional berhubungan dengan kemampuan memanipulasi bentuk aljabar, menyederhanakan ekspresi, melakukan substitusi, serta menerapkan prinsip ekuivalensi secara fleksibel. Sementara itu, aktivitas level metaglobal mencerminkan kemampuan menggunakan aljabar sebagai sarana untuk memahami struktur matematika secara menyeluruh, menganalisis hubungan antarkonsep, dan menyelesaikan masalah pada tingkat yang lebih abstrak. Ketiga aspek tersebut memberikan kerangka konseptual yang kuat untuk menelaah karakteristik berpikir aljabar mahasiswa.

Selain ketiga aspek tersebut, metakognisi merupakan komponen penting yang berperan dalam menunjang kualitas berpikir aljabar. Metakognisi berkaitan dengan kesadaran individu terhadap proses berpikirnya sendiri serta kemampuan untuk merencanakan, memantau, mengendalikan, dan mengevaluasi strategi yang digunakan dalam pemecahan masalah. Dalam pembelajaran aljabar, metakognisi membantu mahasiswa memilih pendekatan yang relevan, menilai ketepatan langkah penyelesaian, mendeteksi kesalahan, dan melakukan perbaikan secara mandiri. Penelitian Öztürk, (2021) menunjukkan bahwa pembelajaran berbasis metakognisi dapat meningkatkan pemahaman terhadap ekspresi aljabar. Sejalan dengan itu, Masnia et al., (2023) menegaskan bahwa proses berpikir aljabar berkaitan erat dengan kemampuan metakognitif dalam perencanaan, pemantauan, dan evaluasi penyelesaian masalah.

Perspektif neurosains kognitif memberikan landasan tambahan untuk memahami berpikir aljabar sebagai aktivitas mental yang melibatkan berbagai fungsi kognitif. Proses mengenali pola, menggeneralisasi relasi, memanipulasi simbol, berpindah antarrepresentasi, serta mengevaluasi strategi berkaitan dengan kerja memori, perhatian, kontrol eksekutif, fleksibilitas kognitif, dan inhibisi. Fleur et al., (2021) menjelaskan bahwa metakognisi berhubungan dengan mekanisme pemantauan dan pengendalian proses kognitif. Sementara itu, Khatin-Zadeh et al., (2025) menunjukkan bahwa



kemampuan matematika simbolik dan situasional berkaitan dengan fungsi eksekutif, terutama fleksibilitas kognitif dan kontrol inhibisi. Temuan-temuan tersebut memperlihatkan bahwa berpikir aljabar tidak hanya relevan dikaji dari sisi pedagogis, tetapi juga dari sisi neurosains yang menjelaskan mekanisme kognitif yang mendasarinya.

Berdasarkan uraian tersebut, kajian mengenai berpikir aljabar mahasiswa perlu dilakukan secara integratif melalui perspektif neurosains dengan menitikberatkan pada aspek generalisasi, transformasi, level metaglobal, dan metakognisi. Kajian ini penting untuk memperkuat landasan teoretis mengenai proses berpikir mahasiswa dalam pembelajaran aljabar sekaligus memberikan dasar konseptual bagi pengembangan strategi pembelajaran yang selaras dengan karakteristik kognitif. Oleh karena itu, artikel ini bertujuan mengkaji berpikir aljabar mahasiswa dalam perspektif neurosains melalui empat aspek utama tersebut berdasarkan literatur yang relevan.

METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan metode kajian literatur terstruktur (*structured literature review*) dengan pendekatan deskriptif kualitatif. Kajian ini bertujuan untuk menganalisis perkembangan pemikiran aljabar berdasarkan empat aspek utama, yaitu generalisasi, transformasional, level metaglobal, dan metakognisi. Fokus tersebut dipilih karena keempatnya merepresentasikan dimensi penting dalam proses berpikir aljabar, mulai dari kemampuan menemukan pola, melakukan manipulasi simbolik, menggunakan aljabar dalam pemecahan masalah tingkat tinggi, hingga mengontrol dan merefleksikan proses berpikir.

Sumber data dalam penelitian ini berupa 17 artikel ilmiah yang relevan dengan tema kajian. Artikel dipilih berdasarkan kesesuaian substansi dengan topik berpikir aljabar, kejelasan identitas publikasi, ketersediaan DOI yang dapat diverifikasi, serta keterkaitannya dengan pendidikan matematika. Sebagian besar artikel berasal dari publikasi internasional bereputasi dalam rentang sepuluh tahun terakhir, sedangkan beberapa sumber konseptual digunakan untuk memperkuat landasan teoretis, khususnya terkait klasifikasi aktivitas berpikir aljabar.

Proses pengumpulan literatur dilakukan melalui penelusuran artikel berdasarkan kata kunci utama, seperti *algebraic thinking*, *algebraic generalization*, *transformational algebraic thinking*, *level metaglobal algebraic thinking*, dan *metacognition in algebra learning*. Artikel yang ditemukan kemudian diseleksi melalui tiga tahap, yaitu pemeriksaan judul, abstrak, dan kesesuaian isi dengan fokus penelitian. Literatur yang tidak berkaitan langsung dengan aspek kajian dikeluarkan dari analisis.

Setelah artikel terpilih, dilakukan proses ekstraksi data dengan mencatat beberapa komponen penting, meliputi nama penulis dan tahun terbit, judul artikel, tujuan penelitian, metode yang digunakan, subjek atau konteks penelitian, hasil utama, serta kontribusi artikel terhadap salah satu dari empat aspek berpikir aljabar. Data yang terkumpul selanjutnya diklasifikasikan ke dalam empat kategori utama, yaitu:

- a. generalisasi
- b. transformasional
- c. level metaglobal
- d. metakognisi.

Analisis data dilakukan menggunakan teknik analisis isi (*content analysis*) dan sintesis tematik komparatif. Pada tahap ini, setiap artikel dibaca secara mendalam untuk mengidentifikasi gagasan utama, temuan penting, serta keterkaitan antarkonsep. Selanjutnya, hasil tiap artikel dibandingkan untuk menemukan pola, persamaan, perbedaan, dan kecenderungan penelitian pada masing-masing



aspek. Melalui proses tersebut, diperoleh sintesis konseptual mengenai bagaimana berpikir aljabar dipahami dan dikembangkan dalam berbagai konteks pembelajaran.

Keabsahan kajian dijaga melalui pemilihan sumber yang relevan, penggunaan artikel dengan DOI yang terverifikasi, pengelompokan literatur secara konsisten berdasarkan tema, serta perbandingan temuan dari berbagai publikasi. Dengan prosedur tersebut, kajian ini diharapkan mampu memberikan gambaran komprehensif mengenai posisi generalisasi, transformasional, level metaglobal, dan metakognisi dalam studi berpikir aljabar, sekaligus menjadi dasar konseptual bagi pembahasan berpikir aljabar dalam perspektif neurosains

HASIL DAN PEMBAHASAN

1. Hasil

Hasil kajian terhadap 17 artikel pada Tabel 1 menunjukkan bahwa berpikir aljabar merupakan proses kognitif yang berkembang melalui empat aspek utama, yaitu generalisasi, transformasional, level metaglobal, dan metakognisi. Keempat aspek tersebut tidak berdiri secara terpisah, melainkan saling berkaitan dalam membentuk kemampuan berpikir aljabar yang komprehensif.

Tabel 1 Literatur Berpikir Aljabar

No	Aspek	Penulis & Tahun	Jurnal	DOI	Relevansi
1	Generalisasi	(Torres, 2024)	<i>International Journal of Science and Mathematics Education</i>	10.1007/s10763-023-10414-6	Membahas transisi dari generalisasi aritmetika menuju generalisasi aljabar.
2		(Ramírez, 2022)	<i>ZDM – Mathematics Education</i>	10.1007/s11858-022-01423-w	Mengkaji struktur dan representasi dalam memahami pola dan fungsi.
3		(Schifter dan Russell, 2022)	<i>ZDM – Mathematics Education</i>	10.1007/s11858-022-01379-x	Menekankan pentingnya representasi siswa dalam proses generalisasi.
4		(Ureña, 2024)	<i>International Journal of Mathematical Education in Science</i>	10.1080/0020739X.2022.2058429	Mengulas strategi generalisasi dan representasi yang



			<i>and Technology</i>		digunakan siswa.
5		(Wilkie, 2024)	<i>Thinking Skills and Creativity</i>	10.1016/j.tsc.2024.101550	Menghubungkan generalisasi pola dengan kreativitas dan berpikir aljabar.
6	Transformasio nal	(Tondorf & Prediger, 2022)	<i>Educational Studies in Mathematics</i>	10.1007/s10649-022-10158-0	Berkaitan dengan pemahaman kesetaraan ekspresi dan transformasi simbolik.
7		(Tirpáková et al., 2023)	<i>Educational Studies in Mathematics</i>	10.1007/s10649-023-10264-7	Membahas transformasi, substitusi, dan kesetaraan bentuk matematika.
8		(Noster dan Siller, 2025)	<i>Educational Studies in Mathematics</i>	10.1007/s10649-025-10419-8	Sangat relevan untuk kemampuan transformasi persamaan.
9		(Chan et al., 2022)	<i>Contemporary Educational Psychology</i>	10.1016/j.cedpsych.2022.102114	Membahas pengaruh simbol dan pengetahuan aljabar terhadap strategi pemecahan masalah.
10		Level Metaglobal	(Kieran, 2018)	Referensi ensiklopedis akademik	10.1007/978-3-319-77487-9_6-5



11	Metakognisi	(Sibgatullin, 2022)	<i>EURASIA Journal of Mathematics, Science and Technology Education</i>	10.29333/ejmste/11486	Memberikan peta kajian berpikir aljabar dalam pendidikan.
12		(Agoestanto, 2019)	<i>Journal of Physics: Conference Series</i>	10.1088/1742-6596/1321/3/032082	Secara langsung menganalisis tiga level berpikir aljabar.
13		(Agoestanto, 2020)	<i>Journal of Physics: Conference Series</i>	10.1088/1742-6596/1567/2/022092	Fokus pada kesalahan siswa dalam berpikir aljabar level global-meta.
14		(Öztürk, 2021)	<i>Thinking Skills and Creativity</i>	10.1016/j.tsc.2021.100787	Mengkaji pelatihan metakognitif dalam pembelajaran ekspresi aljabar.
15		(Okumuş & Öztürk, 2024)	<i>Learning and Motivation</i>	10.1016/j.lmot.2024.102064	Meneliti penguatan pembelajaran aljabar melalui pelatihan metakognitif.
16		(Torregrossa & Albarracín, 2026)	<i>Educational Studies in Mathematics</i>	10.1007/s10649-025-10451-8	Relevan untuk proses metakognitif dalam pemecahan masalah matematika.
17		(Masnia et al., 2023)	<i>FIBONACCI : Jurnal Pendidikan Matematika</i>	10.24853/fbc.9.1.89-94	Relevan sebagai rujukan konteks Indonesia,



			<i>dan Matematika</i>		tetapi bukan artikel Scopus.
--	--	--	---------------------------	--	---------------------------------

Generalisasi berperan dalam menemukan pola dan membangun hubungan umum, transformasional berkaitan dengan kemampuan mengolah simbol dan bentuk aljabar, level metaglobal mengarah pada penggunaan aljabar dalam pemecahan masalah secara lebih luas, sedangkan metakognisi berfungsi sebagai pengendali proses berpikir.

a. Generalisasi dalam Berpikir Aljabar

Generalisasi merupakan fondasi awal dalam perkembangan berpikir aljabar. Torres, (2024) menegaskan bahwa perpindahan dari pemikiran aritmetika menuju aljabar terjadi tidak hanya menyelesaikan kasus khusus, tetapi juga mampu mengenali pola yang berlaku secara umum. Proses ini melibatkan kemampuan melihat keteraturan, membangun relasi, dan mengekspresikannya dalam bentuk verbal, visual, maupun simbolik.

Ramírez, (2022) menunjukkan bahwa pemahaman terhadap pola dan fungsi sangat dipengaruhi oleh berbagai representasi. Representasi visual dan simbolik membantu mengenali struktur hubungan, meskipun tidak semua dapat segera menuangkannya ke dalam bentuk aljabar formal. Hal ini diperkuat oleh Schifter dan Russell, (2022) yang menemukan bahwa representasi buatan siswa memiliki peran penting dalam membangun pemahaman terhadap generalisasi operasi matematika.

Ureña, (2024) juga menemukan bahwa strategi generalisasi berkembang melalui penggunaan pola numerik dan figural. mahasiswa mampu menghubungkan kedua bentuk representasi tersebut cenderung lebih mudah merumuskan aturan umum. Sementara itu, Wilkie, (2024) menekankan bahwa tugas berbasis pola kuadratik dapat mendorong kreativitas matematis sekaligus memperkuat proses generalisasi dalam pembelajaran aljabar.

Berdasarkan temuan tersebut, generalisasi dapat dipahami sebagai proses membangun struktur konseptual melalui identifikasi pola, relasi, dan keteraturan yang kemudian dinyatakan dalam bentuk yang lebih umum. Dalam konteks berpikir aljabar, generalisasi menjadi pintu masuk menuju pemahaman simbolik yang lebih kompleks.

b. Transformasional dalam Berpikir Aljabar

Transformasional berkaitan dengan kemampuan memanipulasi ekspresi, persamaan, dan simbol aljabar secara bermakna. Tondorf & Prediger, (2022) menemukan bahwa pemahaman terhadap ekuivalensi ekspresi aljabar berkembang lebih baik ketika mampu mengaitkan bentuk simbolik dengan representasi visual. Transformasi aljabar tidak seharusnya dipandang sebagai prosedur mekanis, tetapi sebagai proses memahami kesetaraan makna antara berbagai bentuk representasi.

Tirpáková et al., (2023) menunjukkan bahwa kemampuan transformasional meningkat ketika memahami tanda sama dengan secara relasional dan mampu mendefinisikan sendiri bentuk-bentuk ekuivalensi. Hal ini menunjukkan bahwa transformasi aljabar menuntut pemahaman konseptual, bukan sekadar penguasaan aturan operasional.

Noster dan Siller, (2025) mengklasifikasikan kemampuan transformasi persamaan ke dalam beberapa dimensi, meliputi kemampuan menyelesaikan, menormalkan, dan mengorganisasi ulang bentuk persamaan. Hasil penelitian mereka memperlihatkan bahwa reorganisasi bentuk persamaan merupakan salah satu kemampuan yang paling kompleks karena menuntut fleksibilitas berpikir dan penguasaan struktur simbolik.



Chan et al., (2022) menambahkan bahwa penggunaan variabel dan simbol dalam soal memengaruhi strategi pemecahan masalah. Mahasiswa yang memiliki pengetahuan aljabar lebih baik cenderung menggunakan strategi yang lebih efisien dan lebih fleksibel dalam menghadapi permasalahan simbolik.

Temuan pada aspek transformasional menegaskan bahwa kemampuan berpikir aljabar tidak hanya ditentukan oleh keterampilan prosedural, tetapi juga oleh kemampuan memahami struktur, ekuivalensi, dan makna simbol secara mendalam.

c. Level Metaglobal dalam Berpikir Aljabar

Level metaglobal merepresentasikan kemampuan berpikir aljabar pada tingkat yang lebih tinggi, yaitu ketika seseorang mampu mengintegrasikan berbagai konsep, strategi, dan representasi dalam pemecahan masalah. Kieran, (2018) menempatkan aktivitas level metaglobal sebagai bagian penting dari berpikir aljabar, di samping aktivitas generasional dan transformasional. Pada tahap ini, aljabar digunakan bukan hanya untuk membentuk atau mengubah ekspresi, tetapi juga untuk merencanakan, menafsirkan, dan mengevaluasi penyelesaian masalah.

Sibgatullin, (2022) menemukan bahwa perkembangan berpikir aljabar dipengaruhi oleh pembelajaran yang mendorong penggunaan representasi ganda, penyelesaian masalah nonrutin, dan penguatan pemahaman relasional. Ketiga hal tersebut berkaitan erat dengan kemampuan metaglobal karena menuntut untuk melihat permasalahan secara menyeluruh.

Agoestanto, (2019) menunjukkan bahwa level level metaglobal tercermin dalam kemampuan menghubungkan konsep, memilih strategi penyelesaian, serta menjelaskan alasan di balik prosedur yang digunakan. Sementara itu, Agoestanto, (2020) menemukan bahwa kesalahan pada level metaglobal sering muncul karena belum mampu mengintegrasikan informasi, strategi, dan pemahaman simbolik secara utuh.

Dari hasil tersebut, level metaglobal dapat dimaknai sebagai kemampuan berpikir reflektif dan integratif dalam aljabar. Kemampuan ini menuntut untuk tidak hanya memahami prosedur, tetapi juga mampu menilai konteks, memilih strategi, serta menafsirkan hasil secara logis.

d. Metakognisi dalam Berpikir Aljabar

Metakognisi berperan penting sebagai mekanisme pengendali dalam proses berpikir aljabar. Öztürk, (2021) menunjukkan bahwa pembelajaran berbasis pelatihan metakognitif dapat meningkatkan pemahaman ekspresi aljabar dan kemampuan berpikir tingkat tinggi. Mahasiswa menjadi lebih mampu merencanakan langkah penyelesaian, memantau proses berpikir, dan mengevaluasi kebenaran jawabannya.

Okumuş & Öztürk, (2024) menegaskan bahwa pelatihan metakognitif dalam pembelajaran aljabar berkontribusi terhadap peningkatan kesadaran belajar, kemampuan monitoring, prediksi kesalahan, dan pemilihan strategi. Metakognisi membantu menjadi lebih aktif dalam mengontrol proses belajarnya sendiri.

Torregrosa & Albarracín, (2026) menunjukkan bahwa regulasi diri dalam pemecahan masalah matematika dapat berkembang melalui dukungan perangkat orientasi yang mendorong refleksi terhadap strategi. Temuan ini relevan dengan berpikir aljabar karena penyelesaian masalah aljabar sering memerlukan pemilihan strategi yang tepat serta evaluasi berulang terhadap langkah-langkah yang digunakan.

Dalam konteks Indonesia, Masnia et al., (2023) menekankan bahwa metakognisi berperan dalam proses berpikir aljabar, khususnya pada tahap memahami masalah, merancang strategi, dan



memeriksa kembali hasil penyelesaian. Metakognisi tidak hanya mendukung keberhasilan menyelesaikan masalah, tetapi juga memperdalam kualitas pemahaman aljabar.

e. Sintesis Temuan

Secara keseluruhan, hasil review menunjukkan bahwa berpikir aljabar berkembang melalui hubungan yang saling melengkapi antara empat aspek utama. Generalisasi menjadi dasar untuk mengenali pola dan hubungan umum. Transformasional memungkinkan mahasiswa memanipulasi dan merepresentasikan hubungan tersebut dalam bentuk simbolik. Level metaglobal memperluas kemampuan berpikir aljabar ke arah pemecahan masalah yang lebih integratif dan reflektif. Sementara itu, metakognisi mengatur keseluruhan proses dengan cara merencanakan, memantau, dan mengevaluasi aktivitas berpikir.

Keempat aspek tersebut membentuk kerangka konseptual yang kuat untuk memahami berpikir aljabar sebagai proses yang kompleks dan multidimensional. Dalam konteks kajian yang lebih luas, temuan ini memberikan dasar bagi pengembangan perspektif neurosains, khususnya untuk menjelaskan bagaimana otak mengelola pengenalan pola, manipulasi simbol, integrasi strategi, dan regulasi kognitif selama proses berpikir aljabar.

2. Pembahasan

Hasil kajian menunjukkan bahwa berpikir aljabar mahasiswa merupakan proses kognitif yang kompleks, multidimensional, dan bertahap. Proses tersebut tidak hanya berkaitan dengan kemampuan menyelesaikan ekspresi atau persamaan, tetapi juga melibatkan kemampuan mengenali pola, membangun generalisasi, memahami relasi, melakukan transformasi simbolik, memilih strategi, memantau proses berpikir, serta mengevaluasi hasil penyelesaian. Temuan ini memperkuat posisi berpikir aljabar sebagai kemampuan fundamental dalam pembelajaran matematika di perguruan tinggi, terutama karena aljabar menjadi dasar bagi penalaran matematis tingkat lanjut dan pemecahan masalah yang lebih abstrak.

Kajian terhadap 17 artikel memperlihatkan bahwa berpikir aljabar dapat dianalisis melalui empat aspek utama, yaitu generalisasi, transformasional, level metaglobal, dan metakognisi. Keempat aspek tersebut tidak berdiri sendiri, tetapi saling melengkapi dalam membentuk kemampuan berpikir aljabar yang utuh. Generalisasi berfungsi sebagai dasar untuk mengenali pola dan membangun hubungan umum. Aspek transformasional mendukung kemampuan mahasiswa dalam mengolah bentuk simbolik secara bermakna. Level metaglobal memperluas penggunaan aljabar sebagai alat untuk menganalisis dan menyelesaikan masalah secara menyeluruh. Metakognisi berperan sebagai mekanisme pengendali yang membantu mahasiswa merencanakan, memantau, dan mengevaluasi proses berpikirnya.

Aspek generalisasi menjadi fondasi awal dalam perkembangan berpikir aljabar karena memungkinkan mahasiswa berpindah dari kasus khusus menuju hubungan matematis yang bersifat umum. Torres menunjukkan bahwa transisi dari pemikiran aritmetika menuju aljabar terjadi ketika individu mulai mengenali struktur umum di balik pola numerik atau relasi fungsional (Torres, 2024). Generalisasi tidak hanya berkaitan dengan kemampuan menemukan aturan, tetapi juga mencakup kemampuan memahami keteraturan, membangun relasi, dan mengekspresikan hubungan tersebut dalam bentuk verbal, visual, maupun simbolik. Temuan ini sejalan dengan Ramirez, (2022) yang menekankan pentingnya struktur dan representasi dalam memahami pola dan fungsi.

Generalisasi juga berkaitan erat dengan representasi yang dibangun oleh mahasiswa. Schifter dan Russell menegaskan bahwa representasi yang dihasilkan oleh individu berperan penting dalam



menginvestigasi generalisasi operasi matematika (Schifter & Russell, 2022). Representasi tersebut membantu mahasiswa melihat hubungan antarbilangan, operasi, dan struktur secara lebih eksplisit. Pada saat yang sama, Ureña menunjukkan bahwa strategi generalisasi berkembang melalui penggunaan pola numerik dan figural yang saling terhubung (Ureña, 2024). Wilkie juga memperlihatkan bahwa tugas berbasis pola, khususnya pola kuadrat, dapat mendorong kreativitas matematis dan memperkuat kemampuan generalisasi aljabar (Wilkie, 2024).

Dalam perspektif neurosains, generalisasi dapat dipahami sebagai aktivitas mental yang melibatkan pengenalan pola, abstraksi, perhatian selektif, dan memori kerja. Ketika mahasiswa berusaha menemukan aturan umum dari suatu pola, otak harus mempertahankan informasi yang relevan, membandingkan beberapa kasus, dan menghambat informasi yang tidak mendukung pembentukan struktur umum. Proses ini menunjukkan bahwa generalisasi bukan hanya aktivitas matematis, tetapi juga aktivitas kognitif yang menuntut koordinasi antara representasi simbolik, pemrosesan relasional, dan kontrol perhatian. Dehaene et al., (2003) menjelaskan bahwa pemrosesan bilangan melibatkan sirkuit parietal yang mendukung representasi kuantitas dan hubungan antara simbol dengan makna numerik. Temuan tersebut relevan karena generalisasi aljabar menuntut mahasiswa menghubungkan pola numerik dengan bentuk simbolik yang lebih abstrak.

Aspek transformasional menempati posisi penting karena berpikir aljabar tidak berhenti pada pembentukan aturan umum, tetapi berlanjut pada kemampuan mengolah ekspresi, persamaan, dan simbol secara bermakna. Transformasi aljabar mencakup kegiatan menyederhanakan ekspresi, melakukan substitusi, mengubah bentuk persamaan, mempertahankan prinsip ekuivalensi, dan mengorganisasi ulang struktur simbolik. Tondorf & Prediger, (2022) menunjukkan bahwa pemahaman terhadap kesetaraan ekspresi aljabar berkembang ketika bentuk simbolik dihubungkan dengan representasi visual dan makna konseptual. Temuan ini menegaskan bahwa transformasi aljabar tidak dapat dipahami sebagai prosedur mekanis semata, melainkan sebagai proses konseptual yang menuntut pemahaman terhadap struktur dan relasi.

Tirpáková et al., (2023) menunjukkan bahwa kemampuan transformasional berkaitan dengan pemahaman relasional terhadap tanda sama dengan, substitusi, dan kesetaraan bentuk matematika. Noster & Siller, (2025) juga mengklasifikasikan transformasi persamaan ke dalam kemampuan menyelesaikan, menormalkan, dan mengorganisasi ulang bentuk persamaan. Reorganisasi bentuk persamaan menjadi bagian yang kompleks karena mahasiswa harus melihat suatu persamaan sebagai struktur yang dapat diubah tanpa kehilangan makna matematisnya. Hal ini memperlihatkan bahwa aspek transformasional menuntut fleksibilitas berpikir, pemahaman ekuivalensi, dan ketelitian dalam memaknai simbol.

Chan et al., (2022) menemukan bahwa penggunaan variabel dan simbol memengaruhi strategi pemecahan masalah matematika. Mahasiswa dengan pengetahuan aljabar yang lebih kuat cenderung lebih mampu mengenali struktur dalam ekspresi dan memilih strategi penyelesaian yang efisien. Temuan ini menunjukkan bahwa simbol aljabar tidak hanya berfungsi sebagai tanda formal, tetapi juga sebagai representasi dari hubungan matematis yang harus ditafsirkan secara konseptual. Kesulitan dalam memahami simbol dapat menyebabkan mahasiswa menjalankan prosedur tanpa memahami alasan matematis di baliknya.

Peran working memory sangat penting dalam aspek transformasional. Ketika mahasiswa menyederhanakan ekspresi, memindahkan ruas persamaan, atau mengganti variabel dengan bentuk ekuivalen, working memory bekerja untuk menyimpan informasi sementara, memperbarui langkah penyelesaian, dan memantau perubahan simbolik yang sedang dilakukan. Menon, (2016) menjelaskan



bahwa working memory berperan dalam pembelajaran matematika karena mendukung integrasi informasi numerik, spasial, dan prosedural secara simultan. Raghubar et al., (2010) juga menegaskan bahwa working memory berhubungan erat dengan performa matematika karena proses matematika menuntut penyimpanan dan manipulasi informasi aktif dalam waktu yang sama. Pada konteks aljabar, keterbatasan working memory dapat menyebabkan mahasiswa kehilangan urutan operasi, keliru mempertahankan tanda, atau gagal melihat kesetaraan antar bentuk simbolik.

Aktivasi parietal cortex juga berperan penting dalam pemrosesan simbol matematika. Area parietal, terutama intraparietal sulcus, superior parietal lobule, dan inferior parietal lobule, berkaitan dengan representasi kuantitas, pemrosesan angka, dan kalkulasi. Dehaene et al., (2003) menjelaskan bahwa pemrosesan bilangan melibatkan beberapa sirkuit parietal yang mendukung representasi kuantitas, manipulasi numerik, dan pemetaan simbol terhadap makna kuantitatif. Arsalidou & Taylor, (2011) melalui meta analisis fMRI menemukan bahwa tugas bilangan dan kalkulasi secara konsisten mengaktifkan wilayah parietal, frontal, cingulate, insula, dan cerebellum. Pada pembelajaran aljabar, temuan ini penting karena simbol aljabar perlu dipahami sebagai representasi dari struktur kuantitatif dan relasional, bukan sekadar lambang formal.

Level metaglobal merepresentasikan kemampuan berpikir aljabar pada tingkat yang lebih tinggi. Pada level ini, mahasiswa tidak hanya membentuk aturan atau mengubah ekspresi, tetapi juga menggunakan aljabar untuk menganalisis hubungan antarkonsep, menafsirkan konteks masalah, memilih strategi, serta mengevaluasi kelayakan solusi. Kieran, (2018) menempatkan aktivitas level metaglobal sebagai bagian penting dari berpikir aljabar, di samping aktivitas generasional dan transformasional. Kerangka ini membantu menjelaskan bahwa berpikir aljabar tidak hanya bergerak pada tataran prosedural, tetapi juga pada tataran reflektif dan strategis.

Sibatullin, (2022) menunjukkan bahwa berpikir aljabar berkembang melalui penggunaan representasi, pemecahan masalah, dan penalaran relasional yang terintegrasi. Agoestanto, (2019) juga menemukan bahwa level metaglobal tampak pada kemampuan menghubungkan konsep, memilih strategi, dan menjelaskan alasan di balik prosedur yang digunakan. Pada kajian berikutnya, Agoestanto, (2020) menunjukkan bahwa kesalahan pada level metaglobal sering muncul ketika individu belum mampu mengintegrasikan informasi, strategi, dan pemahaman simbolik secara utuh. Temuan ini memperlihatkan bahwa level metaglobal merupakan indikator penting dari kedalaman berpikir aljabar.

Dari sudut pandang neurosains, level metaglobal berkaitan dengan fungsi eksekutif tingkat tinggi. Fungsi ini mencakup perencanaan, pengambilan keputusan, kontrol inhibisi, fleksibilitas kognitif, dan evaluasi strategi. Korteks prefrontal berperan sebagai pusat pengendali yang membantu mahasiswa menentukan langkah penyelesaian, memilih informasi yang relevan, menghambat respons impulsif, dan memutuskan kapan strategi perlu diubah. Pada pemecahan masalah aljabar, peran korteks prefrontal tampak ketika mahasiswa harus menjaga tujuan penyelesaian, mengatur urutan langkah, dan mengevaluasi kesesuaian solusi dengan struktur masalah.

Korteks prefrontal juga membantu mengoordinasikan interaksi antara pemahaman konseptual dan operasi simbolik. Ketika mahasiswa menyelesaikan persamaan yang memerlukan beberapa langkah, mereka harus mempertahankan informasi dalam working memory, mengarahkan perhatian pada unsur penting, serta menghambat prosedur yang tidak relevan. Rivera et al., (2005) menunjukkan bahwa perkembangan kemampuan aritmetika berkaitan dengan perubahan aktivasi dari ketergantungan yang lebih besar pada wilayah frontal menuju spesialisasi yang lebih kuat pada wilayah parietal kiri. Temuan ini memberi petunjuk bahwa kematangan kemampuan matematika



melibatkan koordinasi yang semakin efisien antara kontrol eksekutif frontal dan pemrosesan kuantitatif parietal.

Metakognisi menjadi aspek penting yang mengendalikan seluruh proses berpikir aljabar. Melalui metakognisi, mahasiswa dapat merencanakan strategi, memantau langkah penyelesaian, mendeteksi kesalahan, dan mengevaluasi hasil akhir. Öztürk, (2021) menunjukkan bahwa pelatihan metakognitif dapat meningkatkan pemahaman terhadap ekspresi aljabar dan kemampuan berpikir tingkat tinggi. Okumuş & Öztürk, (2024) juga menegaskan bahwa pelatihan metakognitif dalam pembelajaran aljabar berkontribusi terhadap peningkatan kesadaran belajar, monitoring, prediksi kesalahan, dan pemilihan strategi. Hal ini menunjukkan bahwa metakognisi tidak hanya mendukung keberhasilan penyelesaian masalah, tetapi juga memperdalam kualitas pemahaman aljabar.

Metakognisi berhubungan erat dengan executive function. Executive function membantu mahasiswa menghambat respons yang tidak tepat, memperbarui informasi dalam working memory, dan mengalihkan strategi ketika cara sebelumnya tidak efektif. Metakognisi memungkinkan mahasiswa menyadari proses berpikirnya sendiri, menilai kecukupan strategi, dan melakukan koreksi. Roebers, (2017) menjelaskan bahwa executive function dan metakognisi memiliki hubungan erat dalam regulasi diri kognitif karena keduanya mendukung pemantauan, kontrol, dan penyesuaian tindakan. Cragg & Gilmore, (2014) juga menegaskan bahwa fungsi eksekutif menjadi salah satu keterampilan dasar yang menopang perkembangan kemahiran matematika. Pada konteks aljabar, hubungan ini tampak ketika mahasiswa mampu menahan prosedur yang keliru, memilih strategi baru, memantau konsistensi simbol, dan menilai kelogisan jawaban.

Temuan Torregrosa & Albarracín, (2026) menunjukkan bahwa regulasi diri dalam pemecahan masalah matematika dapat berkembang melalui perangkat orientasi yang mendorong refleksi strategi. Temuan Masnia et al., (2023), juga menunjukkan bahwa metakognisi berperan pada tahap memahami masalah, merancang strategi, memantau proses, dan memeriksa kembali hasil penyelesaian. Pada pembelajaran aljabar, kemampuan ini sangat dibutuhkan karena kesalahan sering muncul bukan hanya akibat kelemahan prosedural, tetapi juga karena kurangnya pemantauan terhadap makna simbol, relasi antarvariabel, dan kesesuaian strategi.

Temuan neuroimaging melalui fMRI dan EEG memberikan dasar empiris bahwa pembelajaran matematika melibatkan jaringan otak yang luas. Studi fMRI menunjukkan keterlibatan wilayah prefrontal dalam kontrol eksekutif dan pemilihan strategi, wilayah parietal dalam pemrosesan kuantitas dan simbol, serta wilayah temporal dan angular gyrus dalam pengambilan fakta aritmetika. Grabner et al., (2009) menemukan bahwa left angular gyrus berperan dalam pengambilan fakta aritmetika, sedangkan strategi kalkulasi yang lebih menuntut usaha kognitif melibatkan jaringan frontal parietal. Temuan EEG melengkapi fMRI karena mampu merekam dinamika temporal proses berpikir matematika, seperti peningkatan beban kognitif, perhatian, deteksi kesalahan, dan perubahan strategi selama penyelesaian masalah.

Integrasi temuan pendidikan matematika dan neurosains memperlihatkan bahwa berpikir aljabar mahasiswa merupakan hasil interaksi antara kemampuan konseptual, simbolik, strategis, regulatif, dan neural. Generalisasi menuntut kemampuan mengenali pola dan membentuk abstraksi. Transformasional menuntut working memory dan pemahaman simbolik. Level metaglobal menuntut kontrol eksekutif dan fleksibilitas kognitif. Metakognisi menuntut monitoring, evaluasi, dan regulasi diri. Keempat aspek tersebut saling menguatkan dalam membentuk proses berpikir aljabar yang matang.

Implikasi dari kajian ini adalah pembelajaran aljabar di perguruan tinggi perlu dirancang tidak hanya untuk meningkatkan ketepatan prosedural, tetapi juga untuk mengembangkan abstraksi,



fleksibilitas representasi, pemahaman ekuivalensi, manipulasi simbol yang bermakna, pemilihan strategi, dan kesadaran reflektif. Tugas pembelajaran perlu memberi ruang bagi mahasiswa untuk menemukan pola, menjelaskan alasan matematis, membandingkan berbagai strategi, merepresentasikan hubungan dalam beragam bentuk, dan memeriksa kembali solusi yang diperoleh. Melalui rancangan seperti ini, pembelajaran aljabar dapat lebih selaras dengan karakteristik kognitif dan neural yang mendasari berpikir aljabar mahasiswa.

DAFTAR PUSTAKA

- Agoestanto, A. (2019). An analysis on generational, transformational, global meta-level algebraic thinking ability in junior high school students. *Journal of Physics Conference Series*, 1321(3). <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1321/3/032082>
- Agoestanto, A. (2020). Student error analysis in global meta-level algebraic thinking on treffinger learning assisted by scaffolding. *Journal of Physics Conference Series*, 1567(2). <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1567/2/022092>
- Arsalidou, M., & Taylor, M. J. (2011). Is $2+2=4$? Meta-analyses of brain areas needed for numbers and calculations. *NeuroImage*, 54(3), 2382–2393. <https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2010.10.009>
- Chan, J. Y.-C., Ottmar, E. R., Smith, H., & Closser, A. H. (2022). Variables versus numbers: Effects of symbols and algebraic knowledge on students' problem-solving strategies. *Contemporary Educational Psychology*, 71, 102114. <https://doi.org/10.1016/j.cedpsych.2022.102114>
- Cragg, L., & Gilmore, C. (2014). Skills underlying mathematics: The role of executive function in the development of mathematics proficiency. *Trends in Neuroscience and Education*, 3(2), 63–68. <https://doi.org/10.1016/j.tine.2013.12.001>
- Dehaene, S., Piazza, M., Pinel, P., & Cohen, L. (2003). Three Parietal Circuits for Number Processing. *Cognitive Neuropsychology*, 20(3–6), 487–506. <https://doi.org/10.1080/02643290244000239>
- Fleur, D. S., Bredeweg, B., & Van Den Bos, W. (2021). Metacognition: Ideas and insights from neuro- and educational sciences. *Npj Science of Learning*, 6(1), 13. <https://doi.org/10.1038/s41539-021-00089-5>
- Grabner, R. H., Ansari, D., Koschutnig, K., Reishofer, G., Ebner, F., & Neuper, C. (2009). To retrieve or to calculate? Left angular gyrus mediates the retrieval of arithmetic facts during problem solving. *Neuropsychologia*, 47(2), 604–608. <https://doi.org/10.1016/j.neuropsychologia.2008.10.013>
- Khatin-Zadeh, O., Banaruee, H., & Farsani, D. (2025). The role of executive functions in symbolic and situational mathematical abilities. *European Journal of Psychology of Education*, 40(1), 1. <https://doi.org/10.1007/s10212-024-00903-9>
- Kieran, C. (2004). The Core of Algebra: Reflections on its Main Activities. In K. Stacey, H. Chick, & M. Kendal (Eds.), *The Future of the Teaching and Learning of Algebra The 12th ICMI Study* (Vol. 8, pp. 21–33). Kluwer Academic Publishers. https://doi.org/10.1007/1-4020-8131-6_2
- Kieran, C. (2018). Algebra Teaching and Learning. In S. Lerman (Ed.), *Encyclopedia of Mathematics Education* (pp. 1–9). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-319-77487-9_6-5
- Masnía, M., Waluya, S. B., Dewi, N. R., & Sohilit, E. (2023). Proses berpikir aljabar berdasarkan metakognisi. *FIBONACCI: Jurnal Pendidikan Matematika Dan Matematika*, 9(1), 89. <https://doi.org/10.24853/fbc.9.1.89-94>



- Menon, V. (2016). Working memory in children's math learning and its disruption in dyscalculia. *Current Opinion in Behavioral Sciences*, 10, 125–132. <https://doi.org/10.1016/j.cobeha.2016.05.014>
- Noster, N., & Siller, H.-S. (2025). Transforming equations into equivalent equations—An empirical study of the equation transformation capability as a multidimensional construct. *Educational Studies in Mathematics*, 120(2), 249–267. <https://doi.org/10.1007/s10649-025-10419-8>
- Okumuş, Ö., & Öztürk, M. (2024). Metacognitive training for algebra teaching to high school students: An action research study. *Learning and Motivation*, 88, 102064. <https://doi.org/10.1016/j.lmot.2024.102064>
- Ozmantar, M. F., Bozkurt, A., & Simsekler-Dizman, T. H. (2025). Algebraic Thinking and Habits of Mind: A Systematic Review of Conceptual Foundations and Pedagogical Challenges. *The Eurasia Proceedings of Educational and Social Sciences*, 47, 296–305. <https://doi.org/10.55549/epess.1004>
- Öztürk, M. (2021). An embedded mixed method study on teaching algebraic expressions using metacognition-based training. *Thinking Skills and Creativity*, 39(Query date: 2025-12-22 03:43:39). <https://doi.org/10.1016/j.tsc.2021.100787>
- Raghubar, K. P., Barnes, M. A., & Hecht, S. A. (2010). Working memory and mathematics: A review of developmental, individual difference, and cognitive approaches. *Learning and Individual Differences*, 20(2), 110–122. <https://doi.org/10.1016/j.lindif.2009.10.005>
- Ramírez, R. (2022). Structures and representations used by 6th graders when working with quadratic functions. *Zdm Mathematics Education*, 54(6), 1393–1406. <https://doi.org/10.1007/s11858-022-01423-w>
- Rivera, S. M., Reiss, A. L., Eckert, M. A., & Menon, V. (2005). Developmental Changes in Mental Arithmetic: Evidence for Increased Functional Specialization in the Left Inferior Parietal Cortex. *Cerebral Cortex*, 15(11), 1779–1790. <https://doi.org/10.1093/cercor/bhi055>
- Roebers, C. M. (2017). Executive function and metacognition: Towards a unifying framework of cognitive self-regulation. *Developmental Review*, 45, 31–51. <https://doi.org/10.1016/j.dr.2017.04.001>
- Schifter, D., & Russell, S. J. (2022). The centrality of student-generated representation in investigating generalizations about the operations. *ZDM – Mathematics Education*, 54(6), 1289–1302. <https://doi.org/10.1007/s11858-022-01379-x>
- Sibgatullin, I. R. (2022). A Systematic Review on Algebraic Thinking in Education. *Eurasia Journal of Mathematics Science and Technology Education*, 18(1), 1–15. <https://doi.org/10.29333/EJMSTE/11486>
- Tirpáková, A., Gonda, D., Wiegerová, A., & Navrátilová, H. (2023). Developing the concept of task substitution and transformation by defining own equivalences. *Educational Studies in Mathematics*, 114(3), 483–502. <https://doi.org/10.1007/s10649-023-10264-7>
- Tondorf, A., & Prediger, S. (2022). Connecting characterizations of equivalence of expressions: Design research in Grade 5 by bridging graphical and symbolic representations. *Educational Studies in Mathematics*, 111(3), 399–422. <https://doi.org/10.1007/s10649-022-10158-0>
- Torregrosa, A., & Albarracín, L. (2026). Characterizing metacognitive processes and mathematical skills during problem solving by using a non-linear orientation base as a self-regulation tool. *Educational Studies in Mathematics*, 121(2), 333–364. <https://doi.org/10.1007/s10649-025-10451-8>



- Torres, M. D. (2024). The Evolution from “I think it plus three” Towards “I think it is always plus three.” Transition from Arithmetic Generalization to Algebraic Generalization. *International Journal of Science and Mathematics Education*, 22(5), 971–991. <https://doi.org/10.1007/s10763-023-10414-6>
- Ureña, J. (2024). Generalization strategies and representations used by final-year elementary school students. *International Journal of Mathematical Education in Science and Technology*, 55(1), 23–43. <https://doi.org/10.1080/0020739X.2022.2058429>
- Wilkie, K. J. (2024). Creative thinking for learning algebra: Year 10 students’ problem solving and problem posing with quadratic figural patterns. *Thinking Skills and Creativity*, 52(Query date: 2025-12-22 03:43:39). <https://doi.org/10.1016/j.tsc.2024.101550>