

# Ontogenic Obstacle in Computational Thinking: Case of Primary Students when Solving Number Pattern Problems

## Hambatan Ontogenik dalam Berpikir Komputasional: Studi Kasus Siswa Sekolah Dasar dalam Memecahkan Masalah Pola Bilangan

Erlina Widya Santri<sup>1</sup>, Mohammad Faizal Amir<sup>2\*</sup>, Fitria Wulandari<sup>3</sup>

<sup>1</sup>) Program Studi Pendidikan Guru Sekolah Dasar, Universitas Muhammadiyah Sidoarjo, Indonesia

<sup>2</sup>) Program Studi Pendidikan Guru Sekolah Dasar, Universitas Muhammadiyah Sidoarjo, Indonesia

<sup>3</sup>) Program Studi Pendidikan Guru Sekolah Dasar, Universitas Muhammadiyah Sidoarjo, Indonesia

\* Email: [faizal.amir@umsida.ac.id](mailto:faizal.amir@umsida.ac.id)

**Abstract.** *Computational thinking is considered a fundamental aspect of literacy, analytic, and logical skills in problem-solving. However, students often encounter obstacles when dealing with number pattern problems, particularly ontogenic obstacles that hinder their thinking processes. This study aims to explore the characteristics of ontogenic obstacles in computational thinking among primary students when solving number pattern problems. A case study approach was employed involving sixth-grade students, with data analyzed through stages of reduction, presentation, and conclusion drawing. The findings indicate that ontogenic obstacles occur in three main components of computational thinking: decomposition, abstraction, and algorithm. In decomposition, students face difficulties connecting given information with appropriate symbols to break down problems into specific parts. In abstraction, they struggle to generalize symbolic models to represent the  $n$ th pattern. In algorithms, they experience challenges in formulating structured steps for solving complex problems related to the  $n$ th pattern.*

**Keywords -** *Ontogenic Obstacle, Computational Thinking, Number Pattern*

**Abstrak.** *Berpikir komputasional dianggap sebagai aspek fundamental dari literasi, keterampilan analitis, dan logis dalam pemecahan masalah. Namun, siswa sering menghadapi hambatan saat menghadapi masalah pola bilangan, terutama hambatan ontogenik yang menghambat proses berpikir mereka. Studi ini bertujuan untuk mengeksplorasi karakteristik hambatan ontogenik dalam berpikir komputasional di kalangan siswa sekolah dasar saat memecahkan masalah pola angka. Pendekatan studi kasus diterapkan melibatkan siswa kelas enam, dengan data dianalisis melalui tahap reduksi, presentasi, dan penarikan kesimpulan. Hasil penelitian menunjukkan bahwa hambatan ontogenik terjadi pada tiga komponen utama pemikiran komputasional: dekomposisi, abstraksi, dan algoritma. Pada dekomposisi, siswa mengalami kesulitan menghubungkan informasi yang diberikan dengan simbol yang sesuai untuk memecah masalah menjadi bagian-bagian spesifik. Pada abstraksi, mereka kesulitan menggeneralisasi model simbolik untuk mewakili pola ke- $n$ . Pada algoritma, mereka mengalami tantangan dalam merumuskan langkah-langkah terstruktur untuk memecahkan masalah kompleks terkait pola ke- $n$ .*

**Kata Kunci -** *Hambatan Ontogenik, Berpikir Komputasional, Pola Bilangan*

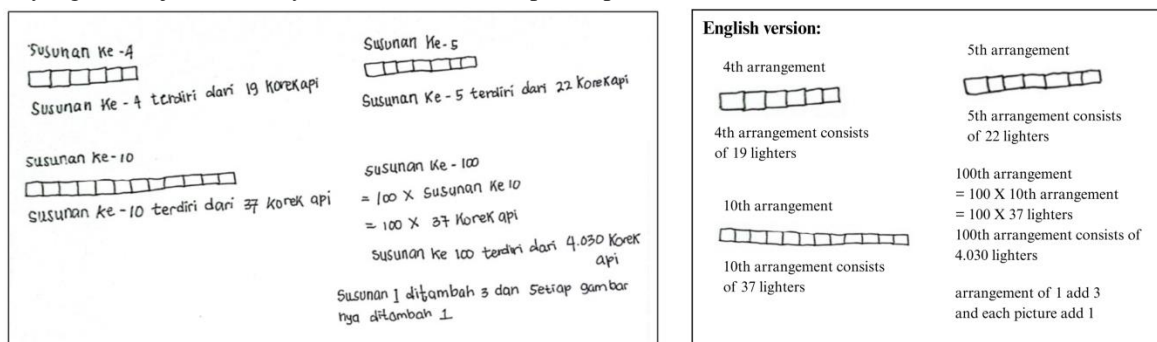
## I. PENDAHULUAN

Keberhasilan berpikir komputasional dapat membantu siswa dalam pemecahan masalah di berbagai bidang, termasuk pemrograman. (Tsarava et al., 2022; Wong & Cheung, 2020), matematika dan sains (Weintrop et al., 2016), ekonomi (Muilu et al., 2021), matematika dan komputer (Li et al., 2020; Stokke, 2019). Dalam kaitannya dengan pendidikan matematika, Pérez (2018) menyatakan bahwa berpikir komputasional dapat menekankan disposisi matematis, sehingga siswa dapat memahami konsep-konsep matematis dengan lebih mudah. Dalam kaitannya dengan pembelajaran, menurut Lee et al. (2011), Berpikir komputasional yang memadai pada siswa dapat meningkatkan perhatian siswa dan interaksi siswa selama pemecahan masalah. Oleh karena itu, khususnya dalam konteks pemecahan masalah, berpikir komputasional dianggap sebagai keterampilan dalam hal dasar-dasar literasi. (Harangus & Kátai, 2020; Hunsaker, 2018; Larson & Miller, 2011), berpikir analitis (Wing, 2006), dan berpikir logis (Bocconi et al., 2022).

Hambatan terjadi karena kegagalan koneksi matematis antara pengetahuan sebelumnya dengan pengetahuan baru (Brousseau, 2002). Berdasarkan bukti empiris dari penelitian sebelumnya, hambatan disebabkan oleh kesulitan-kesulitan dalam pemecahan masalah. Secara lebih spesifik, kesulitan-kesulitan pemecahan masalah disebabkan oleh kegagalan abstraksi (Rijke et al., 2018), pengenalan pola (Yasin & Nusantara, 2023), berpikir algoritma (Chen et al., 2017), semiotics (Purwasih, Turmudi, & Dahlan, 2024), dan koneksi pada konsep-konsep matematis Cui and Ng (2021). Pada umumnya, studi tentang berpikir komputasional dibahas dalam pemecahan masalah pada topik pola

bilangan (Chan et al., 2021; Rivera, 2018). Chan et al. (2021) mengungkapkan bahwa dekomposisi diperlukan dalam berpikir komputasional ketika menyederhanakan pola bilangan. Rivera (2018) menemukan bahwa hambatan bagi sekolah dasar terjadi ketika menghubungkan dan menggeneralisasi pola bilangan.

Oleh karena itu, diduga primary students mengalami hambatan dalam berpikir komputasional ketika menyelesaikan pola bilangan. Studi pendahuluan dilakukan untuk menelusuri fenomena jenis hambatan tersebut dengan memberikan problem mencari jumlah korek api dalam pola susunan tertentu. Salah satu jawaban tertulis siswa yang menunjukkan adanya fenomena ini ditampilkan pada Gambar 1.



**Gambar 1.** Fenomena hambatan dalam berpikir komputasional pada siswa sekolah dasar

Siswa berhasil membuat susunan korek api mulai dari susunan ke-4, ke-5, dan ke-10, namun gagal pada susunan ke-100. Pada susunan ke-4, siswa menambahkan 3 korek api dari jumlah korek api pada susunan ke-3. Pada susunan ke-5, siswa menambahkan 3 korek api dari jumlah korek api pada susunan ke-4. Pada susunan ke-10, siswa menambahkan 3 korek api dari jumlah korek api pada susunan ke-5 dan terus berlanjut hingga susunan ke-10. Namun, pada susunan ke-100, siswa memberikan abstraksi yang salah dengan mengalikan jumlah korek api pada susunan ke-10 dengan 100. Dalam hal ini, siswa mengalami hambatan dalam menggeneralisasi pola susunan ke-100.

Menurut Hunsaker (2018), siswa menjalankan proses berpikir komputasional dalam hal dekomposisi, pengenalan pola, abstraksi, dan algoritma. Oleh karena itu, terdapat fenomena hambatan dalam berpikir komputasional. Lebih lanjut, Brousseau (2002) menjelaskan bahwa jenis-jenis hambatan terdiri dari faktor ontogenik, epistemologi, and didaktik. Fenomena hambatan tersebut dapat dijelaskan dari pendapat Milinia and Amir (2022). Hambatan yang terjadi tidak bersifat didaktik karena disebabkan oleh kesalahan siswa dalam proses berpikir, bukan kesalahan proses pembelajaran oleh guru. Selain itu, hambatan tersebut tidak bersifat epistemologi karena siswa tidak mencari pola yang setara, tetapi siswa mencari pola yang lebih berkembang atau membuat generalisasi. Hambatan dalam mencari pola yang lebih berkembang atau generalisasi semacam ini disebut dengan hambatan ontogenik (Rivera, 2018). Oleh karena itu, dapat dijelaskan bahwa terdapat fenomena hambatan ontogenik dalam berpikir komputasional ketika memecahkan masalah pola bilangan oleh siswa sekolah dasar.

Studi-studi terkait yang telah dilakukan oleh peneliti sebelumnya, antara lain ontogenic obstacle dalam problem-solving pada topik segitiga dan segiempat (Lutfi et al., 2021), ontogenic obstacle dalam problem-solving pada geometri berdasarkan indikator kemampuan spasial (Pertiwi et al., 2023), ontogenic obstacle dalam students' understanding pada konsep volume limas (Mujahidah & Rosjanuardi, 2024), ontogenic obstacle pada kemampuan visualisasi matematis siswa (Ferdianto & Hartinah, 2020), kemampuan berpikir komputasi siswa ditinjau dari gaya kognitif FI dan FD pada materi number patterns (Hasanah & Masduki, 2024), pengaruh computational thinking pada topik number patterns terhadap prestasi belajar siswa (Chan et al., 2021), students' computational thinking skills pada number patterns (Rosali & Suryadi, 2021), perbedaan gaya belajar siswa terhadap karakteristik computational thinking pada konsep number patterns (Purwasih et al., 2024), dan learning obstacles of junior high school students dalam computational thinking pada number patterns (Rosali et al., 2024).

Meskipun studi sebelumnya telah membahas hambatan ontogenik dalam berbagai topik matematika dan berpikir komputasional dalam konteks pola bilangan, mereka belum menganalisis bagaimana setiap komponen spesifik dari berpikir komputasional dekomposisi, pengenalan pola, abstraksi, dan algoritma, dipengaruhi oleh hambatan ontogenik pada siswa sekolah dasar (Hunsaker, 2018; Rivera, 2018). Kesenjangan-kesenjangan ini penting karena menganalisis hambatan dalam setiap komponen dapat membantu pendidik mengidentifikasi secara tepat di mana pemikiran siswa kurang memadai dan merancang intervensi (Brousseau, 2002; Sidik et al., 2021). Tanpa analisis tingkat komponen semacam itu, studi yang ada mungkin mengabaikan kompleksitas bagaimana berpikir komputasional berkembang dalam tahap awal perkembangan matematika.

Dengan demikian, terdapat kesenjangan antara masalah dan kebutuhan mengenai karakteristik hambatan ontogenik dalam berpikir komputasional dalam memecahkan masalah pola bilangan oleh siswa sekolah dasar. Dalam hal ini, menganalisis karakteristik hambatan tersebut penting bagi siswa untuk menemukan solusi dari

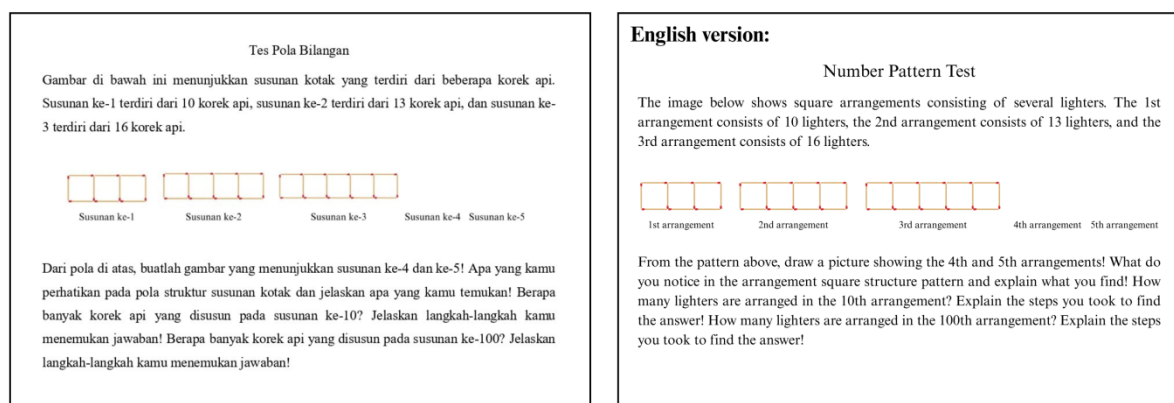
kesulitan belajar (Sidik et al., 2021) dan mengoptimalkan pencapaian hasil belajar siswa (Brousseau, 2002; Muilu et al., 2021). Di sisi lain, berpikir komputasional memiliki komponen, yaitu dekomposisi, pengenalan pola, abstraksi, dan algoritma (Hunsaker, 2018). Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk mengeksplorasi karakteristik hambatan ontogenik yang terjadi pada setiap komponen berpikir komputasional oleh siswa sekolah dasar ketika menyelesaikan pola bilangan.

## II. METODE

Study ini menggunakan metode kualitatif dengan pendekatan studi kasus. Studi kasus menggunakan pendekatan kualitatif untuk mengeksplorasi suatu kasus secara mendetail (Creswell & Creswell, 2018). Kasus yang ditelusuri dalam study ini adalah karakteristik hambatan ontogenik yang terjadi pada pemikiran komputasional siswa sekolah dasar dalam menyelesaikan masalah pola bilangan. Karakteristik hambatan ontogenik ditelusuri pada setiap komponen berpikir komputasional: dekomposisi, pengenalan pola, abstraksi, dan algoritma menurut (Hunsaker, 2018).

Partisipan dalam penelitian ini adalah 35 siswa kelas enam di Sekolah Dasar Muhammadiyah 2 dan Sekolah Dasar Muhammadiyah 5. Dalam hal ini, 4 siswa dipilih secara sengaja dengan memeriksa jawaban tertulis siswa dengan setidaknya tiga komponen berpikir komputasional yang terpenuhi. Dengan kata lain, jika pekerjaan tertulis siswa hanya mengandung dua atau kurang komponen berpikir komputasional, maka siswa tersebut tidak diikutsertakan sebagai subjek.

Instrumen penelitian meliputi tes pola bilangan (NPT) dan pedoman wawancara. NPT memiliki satu soal mengenai pola bilangan yang diadaptasi dari Bennett et al. (2012). NPT dibuat dengan mengakomodasi komponen berpikir komputasional menurut Hunsaker (2018), yaitu dekomposisi, pengenalan pola, abstraksi, dan algoritma. Sementara itu, pedoman wawancara terdiri dari pertanyaan-pertanyaan seperti apa, mengapa, dan bagaimana hambatan ontogenik yang terjadi pada setiap komponen berpikir komputasional menurut Hunsaker (2018). NPT yang dikembangkan disajikan pada Figure 2.



Gambar 2. Number patterns test

Dalam penelitian ini, soal-soal pola angka yang digunakan dalam studi pendahuluan dan studi utama sama, sedangkan teknik pengumpulan data yang digunakan berbeda. Dalam studi pendahuluan, hanya jawaban ujian tertulis yang dikumpulkan untuk mengeksplorasi tren umum hambatan ontogenik pada rentang siswa yang lebih luas. Pendekatan ini dapat digunakan pada fase eksplorasi untuk mengidentifikasi pola sebelum melakukan penyelidikan yang lebih mendalam (Creswell & Creswell, 2018). Hal ini menjadi dasar untuk mempertajam fokus dan memilih subjek yang representatif untuk analisis mendalam dalam studi utama. Oleh karena itu, wawancara tidak dilakukan pada tahap awal. Sebaliknya, studi utama menggabungkan wawancara dan dokumentasi untuk mengungkap wawasan yang lebih kaya dan detail tentang proses berpikir siswa dan munculnya hambatan ontogenik dalam setiap komponen pemikiran komputasional, sebagaimana umum dilakukan dalam penelitian studi kasus kualitatif (Yin, 2018).

Teknik pengumpulan data meliputi tes, wawancara, dan dokumentasi. Tes digunakan untuk memperoleh data tertulis mengenai hambatan ontogenik yang terjadi pada setiap komponen berpikir komputasional siswa sekolah dasar dalam menyelesaikan soal pola bilangan. Wawancara digunakan untuk menggali lebih dalam mengenai hambatan ontogenik yang terjadi pada subjek terpilih. Sementara itu, dokumentasi digunakan untuk merekam dialog dan aktivitas berpikir subjek selama wawancara berlangsung.

Analisis data dilakukan dengan tahapan reduksi data, penyajian data, dan penarikan kesimpulan (Miles & Huberman, 1994). Reduksi data dilakukan dengan menyederhanakan dan mentranskrip jawaban siswa berdasarkan indikator dan kode hambatan ontogenik dalam berpikir komputasional pada materi pola bilangan (Brousseau, 2002; Hunsaker, 2018), seperti yang ditunjukkan pada Tabel 1. Penyajian data dilakukan dengan mendeskripsikan hambatan ontogenik pada setiap komponen berpikir komputasional, yaitu ontogenik-dekomposisi, ontogenik-pengenalan pola, ontogenik-abstraksi, dan ontogenik-algoritma. Dalam hal ini, ontogenik-dekomposisi berarti hambatan ontogenik yang terjadi pada komponen dekomposisi, dll. Kesimpulan diambil berdasarkan kesamaan jawaban subjek dari NPT dan wawancara. Dalam hal ini, triangulasi dilakukan untuk mendapatkan kesimpulan mengenai karakteristik hambatan ontogenik dalam berpikir komputasional pada pola bilangan.

**Tabel 1.** Indikator hambatan ontogenik dalam pemikiran komputasional pada pola bilangan

Hambatan Ontogenetik dalam Berpikir Komputasional	Indikator Hambatan Ontogenik dalam Berpikir Komputasional pada Pola Bilangan	Kode
Ontogenik-Dekomposisi: Hambatan dalam mengurai informasi dan menghubungkannya dengan simbol-simbol	Tidak dapat memecah informasi menjadi detail yang lebih spesifik.	OD1
	Tidak dapat menghubungkan informasi dengan simbol-simbol.	OD2
	Mampu memecah informasi menjadi detail-detail spesifik, tetapi tidak dapat menghubungkan informasi dengan simbol-simbol.	OD3
Ontogenik-Pengenalan Pola: Hambatan dalam menganalisis unsur-unsur pola	Tidak dapat menganalisis pola pada satu susunan.	OP1
	Tidak dapat menganalisis pola pada dua atau lebih susunan.	OP2
Ontogenik-Abstraksi: Hambatan dalam menggeneralisasi model visual atau simbol	Tidak dapat menggeneralisasi model visual dan model simbol pada pola ke- $n$ , $n \in$ bilangan asli, $n \geq 10$	OB1
	Tidak dapat menggeneralisasi model simbol pada pola ke- $n$ , $n \in$ bilangan asli, $n \geq 10$	OB2
	Tidak dapat menggeneralisasi model visual pada pola ke- $n$ , $n \in$ bilangan asli, $n \geq 10$	OB3
Ontogenik-Algoritma: Hambatan dalam mengembangkan langkah-langkah pemecahan masalah yang dihadapi dan pemecahan masalah yang kompleks	Tidak dapat mengidentifikasi langkah-langkah pemecahan masalah yang dihadapi hingga pola ke-10.	OL1
	Tidak mampu mengembangkan pola langkah-langkah pemecahan masalah yang kompleks untuk pola ke- $n$ , $n \in$ bilangan asli, $n > 10$	OL2

### III. HASIL DAN PEMBAHASAN

Berpikir komputasional memiliki empat komponen: dekomposisi, pengenalan pola, abstraksi, dan algoritma (Hunsaker, 2018). Hambatan ontogenik dalam dekomposisi meliputi tidak dapat memecah informasi menjadi istilah yang lebih spesifik (OD1), tidak dapat menghubungkan informasi dengan simbol (OD2), dan dapat memecah informasi menjadi lebih spesifik tetapi tidak dapat menghubungkan informasi dengan simbol (OD3). Hambatan ontogenik dalam pengenalan pola meliputi tidak dapat menganalisis pola dalam satu susunan (OP1) dan tidak dapat menganalisis pola dalam dua susunan atau lebih (OP2). Hambatan ontogenik dalam abstraksi antara lain tidak dapat menggeneralisasi model visual dan model simbol pada pola ke- $n$ ,  $n \in \text{bilangan asli}$ ,  $n \geq 10$  (OB1), tidak dapat menggeneralisasi model simbol pada pola ke- $n$ ,  $n \in \text{bilangan asli}$ ,  $n \geq 10$  (OB2), tidak dapat menggeneralisasi model visual pada pola ke- $n$ ,  $n \in \text{bilangan asli}$ ,  $n \geq 10$  (OB3). Hambatan ontogenik pada algoritma antara lain tidak dapat mengekstrak langkah-langkah penyelesaian masalah yang ditemui sampai pola ke-10 (OL1), tidak dapat mengembangkan pola langkah-langkah penyelesaian masalah yang kompleks untuk pola ke- $n$ ,  $n \in \text{bilangan asli}$ ,  $n > 10$  (OL2). Presentasi umum hambatan ontogenik dalam berpikir komputasional yang dialami siswa sekolah dasar dalam memecahkan masalah pola bilangan disajikan pada Table 2.

**Tabel 2.** Indikator hambatan ontogenik dalam pemikiran komputasional pada pola bilangan

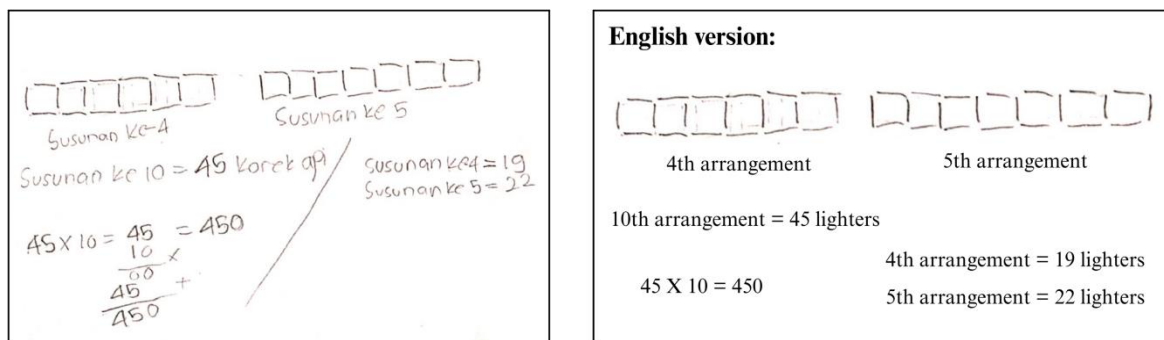
Subjek	Kode-kode Hambatan Ontogenik dalam Berpikir Komputasional			
	Ontogenik- Dekomposisi (OD)	Ontogenik- Pengenalan Pola (OP)	Ontogenik- Abstraksi (OB)	Ontogenik- Algoritma (OL)
S1	OD3			
S2	OD3		OB2	OL2
S3			OB2	OL2
S4	OD3		OB2	OL2

Setiap subjek mengalami hambatan ontogenik dalam komponen berpikir komputasional. S1 mengalami hambatan ontogenik pada satu komponen ontogenik-decomposition dengan OD3 yaitu siswa dapat menguraikan informasi secara lebih spesifik namun tidak dapat menghubungkan informasi dengan simbol. S2 mengalami hambatan ontogenik pada tiga komponen berpikir komputasional, diantaranya ontogenik-dekomposisi pada OD3 yaitu siswa dapat memecah informasi ke arah yang lebih spesifik namun tidak dapat menghubungkan informasi dengan simbol, ontogenik-abstraksi pada OB2 yaitu tidak dapat menggeneralisasi model visual pada pola ke- $n$ ,  $n \in \text{natural numbers}$ ,  $n \geq 10$ , dan ontogenik- algoritma pada OL2 yaitu tidak dapat mengembangkan pola langkah penyelesaian masalah yang kompleks untuk pola ke- $n > 10$ ,  $n \in \text{natural numbers}$ .

S3 mengalami hambatan ontogenik pada dua komponen yaitu ontogenik-abstraksi pada OB2 yaitu tidak dapat menggeneralisasi model visual pada pola ke- $n$ ,  $n \in \text{natural numbers}$ ,  $n \geq 10$ , dan ontogenik- algoritma pada OL2 yaitu tidak dapat mengembangkan pola langkah-langkah penyelesaian masalah yang kompleks untuk pola ke- $n > 10$ ,  $n \in \text{natural numbers}$ . S4 mengalami hambatan ontogenik pada tiga komponen yaitu ontogenik-dekomposisi pada OD3 yaitu siswa dapat menguraikan informasi ke arah yang lebih spesifik, tetapi tidak dapat menghubungkan informasi dengan simbol, ontogenik-abstraksi pada OB2 yaitu tidak dapat menggeneralisasi model visual pada pola ke- $n$ ,  $n \in \text{natural numbers}$ ,  $n \geq 10$ , dan ontogenik- algoritma pada OL2 yaitu tidak dapat mengembangkan pola langkahlangkah penyelesaian masalah yang kompleks untuk pola ke- $n$ ,  $n \in \text{natural numbers}$ ,  $n > 10$ .

#### A. Students' Ontogenic-Decomposition

Ontogenik-dekomposisi terjadi pada OD3 oleh 3 subjek (S1, S2, dan S4). Dalam hal ini, hambatan ontogenik terjadi ketika siswa tidak dapat menghubungkan informasi dengan simbol ketika merencanakan untuk menguraikan informasi ke dalam istilah-istilah yang lebih spesifik. Gambar 3 adalah jawaban tertulis S2 yang menunjukkan karakteristik hambatan.



Gambar 3. S2's written answer

S2 berhasil membuat banyak korek api pada susunan ke-4 dan ke-5 dengan menambahkan 3 korek api pada masing-masing susunan, namun S2 gagal memahami dan menghubungkan simbol dengan informasi yang diberikan sehingga S2 memberikan jawaban yang salah pada susunan ke-10 dan ke-100. S2 menjawab susunan ke-10 sebanyak 45 korek api, sedangkan jawaban yang benar adalah 37 korek api. Selanjutnya jawaban S2 untuk susunan ke-100 adalah 450 korek api, sedangkan jawaban yang benar adalah 307 korek api. Hasil wawancara yang dilakukan oleh peneliti menunjukkan bahwa S2 mengalami ontogenik-dekomposisi dengan OD3.

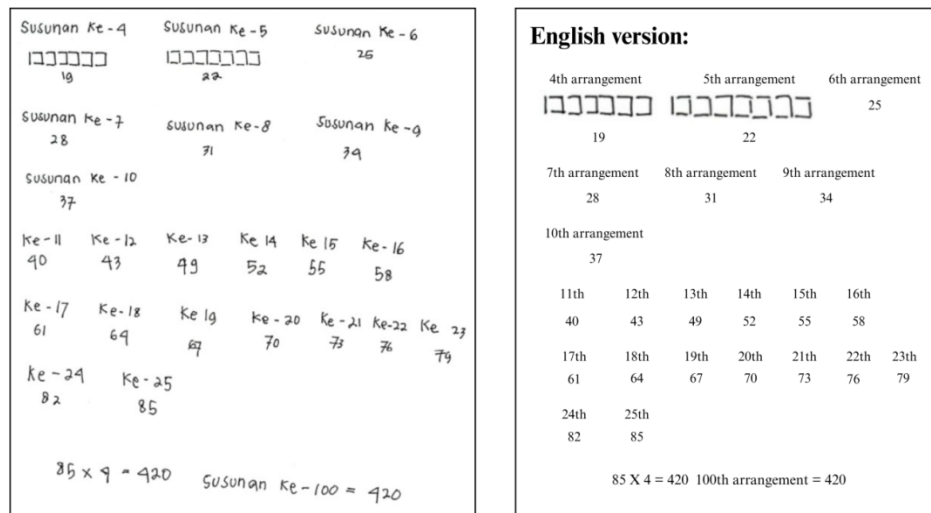
- R : Apa yang Kamu pahami dari masalah yang diberikan?
- S2 : Saya melihat gambar kotak pada susunan ke-1 dan ke-2, artinya susunan ke-3 ditambah 1 persegi, lalu susunan ke-4 ditambah 1 kotak lagi, kemudian diminta untuk menemukan susunan ke-10 dan ke-100.
- R : Bagaimana Kamu menemukan hubungan antara informasi dan simbol tersebut?
- S2 : Saya lihat selalu kelipatan 3.
- R : Bagaimana cara Kamu menemukan jumlah korek api dalam susunan ke-4 dan ke-5?
- S2 : Saya menghitungnya berdasarkan jumlah susunan ketiga, lalu menambahkan 3 untuk susunan ke-4, dan menambahkan 3 lagi untuk susunan ke-5.
- R : Bagaimana dengan susunan ke-10? Apakah Kamu melakukan hal yang sama?
- S2 : Saya mendapatkannya dari jumlah korek api dalam susunan ke-5 dikalikan 2 karena 2 kali 5 adalah 10, lalu ditambah 1 karena 1 adalah penutup di awal gambar susunan pertandingan.

Berdasarkan jawaban tes tertulis dan hasil wawancara S2, ontogenik-dekomposisi S2 terjadi pada OD3, yaitu mampu menguraikan informasi kearah yang lebih spesifik dengan memahami pola gambar dan urutan yang diminta, namun tidak mampu menghubungkan informasi tersebut dengan simbol-simbol yang ada, yaitu siswa tidak mengetahui keterlibatan jumlah korek api dengan informasi yang diberikan pada soal, sehingga menyebabkan siswa melakukan kesalahan dalam melakukan abstraksi dengan memberikan jawaban yang salah pada susunan ke-10 dan ke-100. S2 menyimpulkan bahwa 5 dikalikan 2 adalah 10, kemudian hasil susunan ke-10 diperoleh dari jumlah susunan ke-5 dikalikan 2 dan ditambahkan 1 sebagai jumlah tutupan awal korek api.

### B. Students' Ontogenic-Abstraction

Ontogenik-abstraksi terjadi pada OB2 oleh 3 subjek (S2, S3, dan S4). Dalam hal ini, hambatan ontogenik terjadi ketika siswa tidak dapat menggeneralisasi model simbol pada pola ke- $n$ ,  $n \geq 10$ . Gambar 4 adalah jawaban tertulis S3, yang menunjukkan karakteristik hambatan semacam itu.





Gambar 4. S3's answer

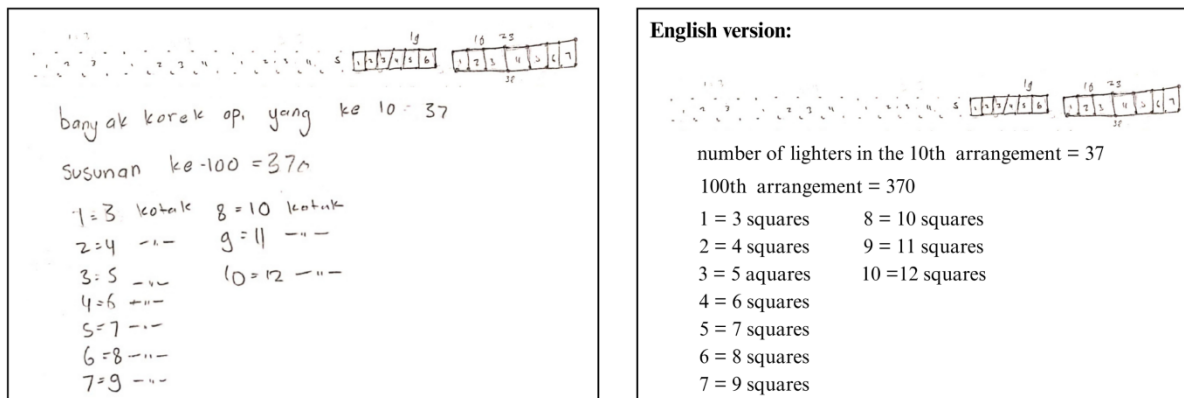
S3 berhasil memberikan jawaban yang benar untuk susunan ke-4, ke-5, dan ke-10, tetapi S3 gagal memberikan jawaban yang benar karena kesalahan S3 dalam abstraksi. S3 mengalikan jumlah susunan ke-25 dengan 4 untuk menemukan jumlah susunan ke-100. Hasil wawancara yang dilakukan oleh peneliti terhadap S3 menunjukkan secara lebih mendalam bahwa S3 mengalami ontogenik-abstraksi dengan OB2.

- R : Bagaimana cara Kamu menemukan jumlah korek api dalam susunan ke-4 dan ke-5?
- S3 : Saya menghitung jumlah susunan ke-3 dan menambahkan 3.
- R : Bagaimana dengan susunan ke-10? Apakah Kamu melakukan hal yang sama?
- S3 : Saya terus menambahkan dengan angka 3 hingga mencapai susunan ke-10.
- R : Bagaimana dengan susunan ke-100?
- S3 : Saya menghitung jumlah korek api hingga susunan ke-25, lalu saya mengalikan jumlah tersebut dengan 4 karena 25 kali 4 sama dengan 100, sehingga sama dengan susunan ke-100.

Berdasarkan jawaban tes tertulis dan hasil wawancara S3, ontogenik-abstraksi S3 terjadi pada OB2. S3 tidak mampu menggeneralisasi model visual pada pola ke- $n$ ,  $n \in \text{bilangan alami}$ ,  $n \geq 10$ . S3 dapat memecah informasi ke arah yang lebih spesifik dengan menghitung jumlah korek api untuk setiap susunan dan menghubungkannya dengan informasi visual yang tersedia. S3 juga dapat mengenali pola pada setiap susunan dengan menambahkan 3 pada setiap susunan berikutnya. Namun, S3 mengalami hambatan dalam abstraksi saat menggeneralisasi model simbol pada susunan ke-100. S3 menyimpulkan bahwa untuk menemukan hasil susunan ke-100, kalikan jumlah susunan ke-25 dengan 4 karena 25 kali 4 adalah 100.

### C. Students' Ontogenic-Algorithm

Ontogenik-algoritma terjadi pada kode OL2 oleh 3 subjek (S2, S3, dan S4). Pada kasus ini, hambatan ontogenik terjadi ketika siswa tidak dapat mengembangkan pola langkah penyelesaian masalah yang kompleks untuk pola ke- $n$ ,  $n \in \text{natural numbers}$ ,  $n > 10$ . Gambar 5 adalah jawaban tertulis S4 yang menunjukkan karakteristik hambatan semacam itu.



Gambar 5. S4's answer

S4 memberikan jawaban yang benar untuk jumlah korek api pada susunan ke-4, ke-5, dan ke-10, tetapi gagal pada susunan ke-100. S4 menghitung jumlah kotak pada susunan ke-1 hingga susunan ke-10. S4 menghitung jumlah korek api dari jumlah kotak yang ditemukannya. Hasil wawancara yang dilakukan peneliti terhadap S4 menunjukkan lebih dalam bahwa S4 mengalami ontogenik-algoritma dengan kode OL2.

- R : Bagaimana cara Kamu menemukan jumlah korek api dalam susunan ke-4 dan ke-5?*
- S4 : Dari jumlah korek api pada susunan ke-3, yang berjumlah 16 korek api, saya menambahkan 3, sehingga menjadi susunan ke-4, dan seterusnya untuk susunan ke-5.*
- R : Bagaimana dengan susunan ke-10? Apakah Kamu melakukan hal yang sama?*
- S4 : Saya menghitung jumlah kotak terlebih dahulu untuk susunan ke-10, setelah itu saya menghitung jumlah korek api dengan menambahkan 3 dari jumlah korek api pada susunan ke-5 ke jumlah kotak pada susunan ke-10.*
- R : Bagaimana dengan susunan ke-100?*
- S4 : Dari jumlah korek api pada susunan ke-10, yaitu 37 korek api, saya mengalikannya dengan 10 karena 10 kali 10 sama dengan 100.*

Berdasarkan jawaban tes tertulis dan hasil wawancara S4, ontogenic-algorithm S4 terjadi pada OL2, tidak dapat mengembangkan pola langkah penyelesaian masalah yang kompleks untuk pola ke- $n > 10$ ,  $n \in$  natural numbers. S4 dapat menguraikan secara lebih spesifik dengan menghitung jumlah kotak dan korek api pada setiap susunan. S4 dapat mengenali pola pada 1 susunan dan susunan berikutnya dengan menyimpulkan bahwa setiap susunan selalu menambahkan 1 kotak yang terdiri dari 3 pemantik. Namun, S4 tidak dapat mengembangkan langkah-langkah pemecahan masalah pada soal yang kompleks, sehingga berdampak pada abstraksi. S4 pada jumlah susunan ke-4 hingga susunan ke-10 sudah benar tetapi mengembangkan langkah yang salah ketika menyelesaikan masalah untuk susunan ke-100. S4 menyimpulkan bahwa untuk mencari jumlah korek api pada susunan ke-100 adalah dengan mengalikan susunan ke-10 dengan 10 karena 10 dikali 10 adalah 100.

Temuan mengenai karakteristik hambatan ontogenik dalam berpikir komputasional siswa sekolah dasar terjadi pada 3 komponen: dekomposisi, abstraksi, dan algoritma. Hambatan dekomposisi ontogenik terjadi ketika siswa tidak dapat menghubungkan informasi dengan simbol ketika merencanakan untuk memecah informasi menjadi lebih spesifik. Hambatan ontogenik pada abstraksi terjadi ketika siswa tidak dapat menggeneralisasi model simbol pada pola ke- $n$ ,  $n \geq 10$ . Hambatan ontogenik pada algoritma terjadi ketika siswa tidak dapat mengembangkan pola langkah-langkah pemecahan masalah yang kompleks untuk pola ke- $n > 10$ . Temuan pertama adalah hambatan ontogenik pada dekomposisi, yaitu siswa sekolah dasar tidak dapat menghubungkan informasi dengan simbol ketika merencanakan penguraian informasi ke arah yang lebih spesifik. Akibatnya, siswa menuliskan hasil yang salah dalam susunan yang lebih luas. Temuan ini sejalan dengan Rijke et al. (2018), siswa sekolah dasar dapat memahami konsep dekomposisi, tetapi menerapkan proses tersebut pada situasi baru adalah hal yang sulit. Kesulitan ini muncul karena siswa memiliki sedikit pengalaman dengan soal cerita (Rosali et al., 2024).



Temuan kedua adalah hambatan ontogenik dalam abstraksi. Siswa tidak dapat menggeneralisasi model simbol pada pola ke- $n$ ,  $n \geq 10$ . Hal ini disebabkan karena adanya kesalahpahaman dalam memaknai simbol model. Temuan ini linier dengan Nurrahmawati et al. (2021), siswa tidak dapat membuat representasi simbolik dengan benar karena gagal dalam menginterpretasikan dan mengimplementasikan translasi simbolik. Hal ini berimplikasi pada kesalahan konstruksi siswa dalam melakukan translasi antar representasi matematis (Afriyani et al., 2019). Temuan ketiga adalah hambatan ontogenik dalam algoritma. Siswa tidak dapat mengembangkan langkah-langkah pemecahan masalah pada soal yang kompleks untuk pola ke- $n$ ,  $n > 10$ , yang mengakibatkan kesalahan abstraksi yang digeneralisasi. Temuan ini didukung oleh penelitian Devi and Amir's (2021) bahwa siswa sekolah dasar dapat menggeneralisasi pola secara intuitif, meskipun disertai dengan kesalahan konseptual dan prosedural. Kesalahan tersebut dapat disebabkan oleh miskonsepsi terhadap konsep tertentu, menyamakan antara beberapa konsep tanpa memperhatikan kondisi, ambiguitas dalam menginterpretasikan simbol, dan generalisasi sifat yang tidak tepat (Delastri & Lolang, 2023).

Hasil penelitian ini diperoleh dari jenis soal pola bilangan tertentu yang menekankan transformasi visual ke simbolik dalam berpikir komputasional. Transformasi semacam ini diketahui sangat menantang bagi siswa sekolah dasar karena tahap perkembangan mereka dan paparan yang terbatas terhadap representasi abstrak (Sterner, 2024). Misalkan ujian tersebut mencakup berbagai jenis soal, seperti urutan rekursif, pola geometris, atau tugas pemodelan kehidupan nyata. Dalam hal itu, hambatan ontogenik yang diidentifikasi mungkin muncul dengan cara yang berbeda atau mengungkapkan karakteristik tambahan. Studi sebelumnya telah menunjukkan bahwa jenis tugas pemodelan yang berbeda melibatkan sumber daya kognitif dan representasi yang berbeda (Wilkie & Clarke, 2016). Hal ini menunjukkan bahwa jenis tugas dapat memengaruhi kesulitan yang dihadapi siswa. Misalnya, tugas yang memerlukan backtracking atau representasi ganda mungkin menimbulkan kesulitan tambahan dalam abstraksi atau pengembangan algoritma. Menjelajahi berbagai jenis masalah dapat menguji ketahanan hambatan ontogenik ini—apakah hambatan tersebut tetap ada di berbagai tugas atau bervariasi tergantung konteks. Hal ini sejalan dengan pandangan Piaget bahwa hambatan kognitif sering kali terkait dengan sifat tugas dan representasi (Boom, 2009; Brousseau, 2002). Studi di masa depan dapat merancang kumpulan masalah yang lebih luas dalam komponen berpikir komputasional untuk menguji apakah hambatan ontogenik yang ditemukan dalam studi ini konsisten di berbagai konteks atau spesifik terhadap struktur masalah pola bilangan.

Mengenai hambatan ontogenik dalam berpikir komputasional oleh siswa sekolah dasar, siswa dapat melakukan pengenalan pola. Siswa dapat menyimpulkan rumus umum ketika memecahkan masalah dengan mengenali pola yang tersedia. Siswa menggunakan pengenalan pola untuk memprediksi langkah pemecahan masalah (Purwasih et al., 2024). Berdasarkan temuan penelitian ini, penulis merekomendasikan agar pendidik membiasakan siswa sekolah dasar untuk menyelesaikan masalah dengan menggunakan komponen berpikir komputasional agar siswa sekolah dasar lebih terampil dalam menggunakan berpikir komputasional dalam pemecahan masalah. Penelitian selanjutnya juga dapat menganalisis hambatan lain yang dialami siswa sekolah dasar dalam berpikir komputasional ketika menyelesaikan masalah pola bilangan.

## V. SIMPULAN

Hasil penelitian menunjukkan bahwa karakteristik hambatan ontogenik dalam berpikir komputasional siswa sekolah dasar ketika menyelesaikan masalah pola bilangan terjadi pada beberapa komponen, yaitu dekomposisi, abstraksi, dan algoritma. Pada dekomposisi, hambatan ontogenik terjadi ketika siswa tidak dapat menghubungkan informasi dengan simbol ketika merencanakan untuk memecah informasi menjadi lebih spesifik. Pada abstraksi, hambatan ontogenik terjadi ketika siswa tidak dapat menggeneralisasi model simbol pada pola ke- $n$ ,  $n \geq 10$ . Pada algoritma, hambatan ontogenik terjadi ketika siswa tidak mampu mengembangkan langkah-langkah pemecahan masalah pada soal yang kompleks untuk pola ke- $n$ ,  $n > 10$ . Hal ini disebabkan karena siswa sekolah dasar kurang teliti dalam menghubungkan hubungan antara simbol dengan informasi yang ada, sehingga siswa sekolah dasar tidak dapat menggeneralisasi model simbol pada pola yang lebih tinggi atau mengembangkan langkah pemecahan masalah pada masalah yang lebih kompleks. Di sisi lain, siswa dapat melakukan pengenalan pola yang dapat digunakan untuk memprediksi langkah pemecahan masalah.

Implikasi dari studi ini menunjukkan bahwa pendidikan matematika seharusnya memberikan rekomendasi instruksional yang lebih jelas untuk mengatasi hambatan ontogenik yang dihadapi siswa dalam mengembangkan pemikiran komputasional. Salah satu pendekatan kunci adalah merancang pengalaman belajar yang memungkinkan siswa terlibat dalam masalah yang menantang sebelum instruksi langsung, mendorong mereka untuk mengeksplorasi dan merefleksikan strategi yang berbeda. Instruksi juga harus menyoroti hubungan antara representasi visual dan simbolik untuk mendukung abstraksi dan penalaran algoritmik. Pertimbangan instruksional ini sangat penting untuk membimbing siswa melalui kompleksitas pemikiran komputasional dan memfasilitasi jalur belajar yang lebih efektif di kelas matematika siswa sekolah dasar.

## UCAPAN TERIMA KASIH

Kami ingin mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada Universitas Muhammadiyah Sidoarjo atas fasilitas studi dan publikasi yang disediakan, serta kepada Sekolah Dasar Muhammadiyah 2 dan Sekolah Dasar Muhammadiyah 5 atas izin yang diberikan dan kontribusi dalam pengumpulan data di sekolah-sekolah tersebut, yang memungkinkan analisis yang dilakukan untuk studi ini dapat diselesaikan.

## REFERENSI

- [1] Afriyani, D., Sa'Dijah, C., Subanji, S., & Muksar, M. (2019). Students' construction error in translation among mathematical representations. *Journal of Physics: Conference Series*, 1157(3), 0–6. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1157/3/032098>
- [2] Bennett, A. B., Burton, L. J., & Nelson, L. T. (2012). *Mathematics for elementary teachers: A conceptual approach* (Ninth). McGraw-Hill.
- [3] Bocconi, S., Chiocciariello, A., Kampylis, P., Dagiene, V., Wastiau, P., Engelhardt, K., Earp, J., Horvath, M., Jasute, E., Malagoli, C., Dagiene, V. M., & Stupuriene, G. (2022). Reviewing computational thinking in compulsory education. State of play and practices from computing education. <https://epublications.vu.lt/object/elaba:124209087/>
- [4] Boom, J. (2009). Piaget on equilibration. In *The Cambridge Companion to Piaget* (Issue August 2009). Cambridge University Press. <https://doi.org/10.1017/CCOL9780521898584.006>
- [5] Brousseau, G. (2002). *Theory of didactical situations in mathematics* (A. . Bishop, H. Bauersfeld, J. Kilpatrick, C. Laborde, G. Leder, & S. Turnau (eds.)). Kluwer Academic Publishers.
- [6] Chan, S. W., Looi, C. K., Ho, W. K., Huang, W., Seow, P., & Wu, L. (2021). Learning number patterns through computational thinking activities: A rasch model analysis. *Heliyon*, 7(9), e07922. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2021.e07922>
- [7] Chen, G., Shen, J., Barth-Cohen, L., Jiang, S., Huang, X., & Eltoukhy, M. (2017). Assessing elementary students' computational thinking in everyday reasoning and robotics programming. *Computers and Education*, 109, 162–175. <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2017.03.001>
- [8] Creswell, J. W., & Creswell, J. D. (2018). *Research design qualitative, quantitative, and mixed methods approaches*. In SAGE Publications (5th ed.). SAGE Publications Inc. <https://doi.org/10.4324/9780429469237-3>
- [9] Cui, Z., & Ng, O.-L. (2021). The interplay between mathematical and computational thinking in primary school students' mathematical problem-solving within a programming environment. *Journal of Educational Computing Research*, 59(5), 988–1012. <https://doi.org/10.1177/0735633120979930>
- [10] Delastri, L., & Lolang, E. (2023). Students' conceptual error and procedural error in solving algebraic problems. *Multicultural Education*, 9(1), 18–24. <https://doi.org/10.5281/zenodo.7508092>
- [11] Devi, M. S. A., & Amir, M. F. (2021). Analisis kesalahan konseptual dan prosedural siswa sekolah dasar dalam menggeneralisasi pola bilangan. *AKSIOMA: Jurnal Program Studi Pendidikan Matematika*, 10(3), 1336. <https://doi.org/10.24127/ajpm.v10i3.3713>
- [12] Ferdianto, F., & Hartinah, S. (2020). Analysis of the difficulty of students on visualization ability mathematics based on learning obstacles. *International Conference on Agriculture, Social Sciences, Education, Technology and Health*, 429(Icasseth 2019), 227–231. <https://doi.org/10.2991/assehr.k.200402.053>
- [13] Harangus, K., & Kátai, Z. (2020). Computational thinking in secondary and higher education. *Procedia Manufacturing*, 46(2019), 615–622. <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2020.03.088>
- [14] Hasanah, M. U., & Masduki, M. (2024). Exploration of computational thinking skills of junior high school student in term of FI and FD cognitive style. *MATHLINE: Jurnal Matematika Dan Pendidikan Matematika*, 9(4), 1119–1138.
- [15] Hunsaker, E. (2018). *Understanding computational thinking*. In Brigham Young University. Brigham Young University.
- [16] Larson, L. C., & Miller, T. N. (2011). 21st century skills: Prepare students for the future. *Kappa Delta Pi Record*, 47(3), 121–123. <https://doi.org/10.1080/00228958.2011.10516575>
- [17] Lee, I., Martin, F., Denner, J., Coulter, B., Allan, W., Erickson, J., Malyn-Smith, J., & Werner, L. (2011). Computational thinking for youth in practice. *ACM Inroads*, 2(1), 32–37. <https://doi.org/10.1145/1929887.1929902>

- [18] Li, Y., Schoenfeld, A. H., DiSessa, A. A., Graesser, A. C., Benson, L. C., English, L. D., & Duschl, R. A. (2020). Computational thinking is more about thinking than computing. *Journal for STEM Education Research*, 3(1), 1–18. <https://doi.org/10.1007/s41979-020-00030-2>
- [19] Lutfi, M. K., Juandi, D., & Jupri, A. (2021). Students' ontogenic obstacle on the topic of triangle and quadrilateral. *Journal of Physics: Conference Series*, 1806(1). <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1806/1/012108>
- [20] Miles, M. B., & Huberman, A. M. (1994). *An expanded sourcebook: Qualitative data analysis* (R. Holland (ed.)). SAGE Publication.
- [21] Milinia, R., & Amir, M. F. (2022). The analysis of primary students' learning obstacles on plane figures' perimeter and area using onto-semiotic approach. *Al Ibtida: Jurnal Pendidikan Guru MI*, 9(1), 19. <https://doi.org/10.24235/al.ibtida.snj.v9i1.9958>
- [22] Muilu, M., Mehtälä, S., Pawlowski, J., Dimitrakopoulou, D., Pilv, M., Clements, K., & Idzik, M. (2021). What are the barriers for teaching computational thinking? *INTED2021 Proceedings*, 1, 5895–5901. <https://doi.org/10.21125/inted.2021.1184>
- [23] Mujahidah, A. S., & Rosjanuardi, R. (2024). Students' ontogenic and epistemological obstacles on the topic of pyramid volume. *KnE Social Sciences*, 2024, 460–470. <https://doi.org/10.18502/kss.v9i13.15948>
- [24] Nurrahmawati, Sa'dijah, C., Sudirman, & Muksar, M. (2021). Assessing students' errors in mathematical translation: From symbolic to verbal and graphic representations. *International Journal of Evaluation and Research in Education (IJERE)*, 10(1), 115–125. <https://doi.org/10.11591/ijere.v10i1.20819>
- [25] Pérez, A. (2018). A framework for computational thinking dispositions in mathematics education. *Journal for Research in Mathematics Education*, 49(4), 424–461. <https://doi.org/10.5951/JRESEMATHEDUC.49.4.0424>
- [26] Pertiwi, s, Dasari, D., & Sumiaty, E. (2023). High school students' ontogenic obstacles in solving solid geometry problems viewed from spatial ability. *Proceedings of the 6th International Conference on Future of Education*, 6(3), 1–11. <https://doi.org/10.17501/26307413.2023.6101>
- [27] Purwasih, R., Turmudi, T., & Dahlan, J. A. (2024). How do you solve number pattern problems through mathematical semiotics analysis and computational thinking? *Journal on Mathematics Education*, 15(2), 403–430. <https://doi.org/10.22342/jme.v15i2.pp403-430>
- [28] Purwasih, R., Turmudi, T., Dahlan, J. A., & Ishartono, N. (2024). Computational thinking on concept pattern number: A study learning style Kolb. *Jurnal Elemen*, 10(1), 89–104. <https://doi.org/10.29408/jel.v10i1.23056>
- [29] Rijke, W. J., Bollen, L., Eysink, T. H. S., & Tolboom, J. L. J. (2018). Computational thinking in primary school: An examination of abstraction and decomposition in different age groups. *Informatics in Education*, 17(1), 77–92. <https://doi.org/10.15388/infedu.2018.05>
- [30] Rivera, F. D. (2018). Pattern generalization processing of elementary students: Cognitive factors affecting the development of exact mathematical structures. *Eurasia Journal of Mathematics, Science and Technology Education*, 14(9). <https://doi.org/10.29333/ejmste/92554>
- [31] Rosali, D. F., & Suryadi, D. (2021). An analysis of students' computational thinking skills on the number patterns lesson during the covid-19 pandemic. *Formatif: Jurnal Ilmiah Pendidikan MIPA*, 11(2), 217–232. <https://doi.org/10.30998/formatif.v11i2.9905>
- [32] Rosali, D. F., Suryadi, D., & Suhendra, S. (2024). Learning obstacles of junior high school students in computational thinking on number pattern lessons. *KnE Social Sciences*, 2024, 395–407. <https://doi.org/10.18502/kss.v9i13.15940>
- [33] Sidik, G. S., Suryadi, D., & Turmudi, T. (2021). Learning obstacle on addition and subtraction of primary school students: Analysis of algebraic thinking. *Education Research International*. <https://doi.org/10.1155/2021/5935179>
- [34] Sterner, H. (2024). Using graphical representations to develop students' correspondence relationships and covariational thinking in pattern generalizations in primary school. *International Journal of Science and Mathematics Education*, 0123456789. <https://doi.org/10.1007/s10763-024-10520-z>
- [35] Stokke, T. L. (2019). An exploratory study to identify barriers to implementation of computational thinking (Issue August). The University of North Dakota.
- [36] Tsarava, K., Moeller, K., Román-González, M., Golle, J., Leifheit, L., Butz, M. V., & Ninaus, M. (2022). A cognitive definition of computational thinking in primary education. *Computers and Education*, 179. <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2021.104425>
- [37] Weintrop, D., Beheshti, E., Horn, M., Orton, K., Jona, K., Trouille, L., & Wilensky, U. (2016). Defining computational thinking for mathematics and science classrooms. *Journal of Science Education and Technology*, 25(1), 127–147. <https://doi.org/10.1007/s10956-015-9581-5>

- [38] Wilkie, K. J., & Clarke, D. M. (2016). Developing students' functional thinking in algebra through different visualisations of a growing pattern's structure. *Mathematics Education Research Journal*, 28(2), 223–243. <https://doi.org/10.1007/s13394-015-0146-y>
- [39] Wing, J. M. (2006). Computational thinking. *Communications of the ACM*, 49(3), 33–35. <https://doi.org/10.1145/1118178.1118215>
- [40] Wong, G. K. W., & Cheung, H. Y. (2020). Exploring children's perceptions of developing twenty-first century skills through computational thinking and programming. *Interactive Learning Environments*, 28(4), 438–450. <https://doi.org/10.1080/10494820.2018.1534245>
- [41] Yasin, M., & Nusantara, T. (2023). Characteristics of pattern recognition to solve mathematics problems in computational thinking. *AIP Conference Proceedings*, 2569(January). <https://doi.org/10.1063/5.0112171>
- [42] Yin, R. K. (2018). Case study research and applications: Design and methods. In *Journal of Hospitality & Tourism Research* (Vol. 53, Issue 5). SAGE Publications, Inc. <https://doi.org/10.1177/109634809702100108>

**Conflict of Interest Statement:**

*The author declares that the research was conducted in the absence of any commercial or financial relationships that could be construed as a potential conflict of interest.*