

Analisis Kesalahan Siswa pada Materi Fungsi Kuadrat Berdasarkan Teori Kastolan dan Tahap Pemecahan Masalah Polya

Hayu Susilowati*, Sintha Sih Dewanti, Sumbaji Putranto
Universitas Islam Negeri Sunan Kalijaga, Yogyakarta, Indonesia

*Corresponding Author: hayusu.hy@gmail.com
Dikirim: 04-06-2026; Direvisi: 20-06-2026; Diterima: 23-06-2026

Abstrak: Kesalahan siswa pada materi fungsi kuadrat perlu dianalisis karena materi ini tidak hanya menuntut kemampuan melakukan perhitungan, tetapi juga pemahaman konsep, penyusunan strategi penyelesaian, dan kemampuan menafsirkan hasil. Analisis kesalahan penting dilakukan untuk mengetahui letak kesulitan siswa secara lebih mendalam sehingga dapat menjadi dasar perbaikan pembelajaran. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis kesalahan siswa dalam menyelesaikan soal fungsi kuadrat berdasarkan teori Kastolan dan tahap pemecahan masalah Polya. Penelitian ini menggunakan pendekatan kualitatif deskriptif dengan subjek 6 siswa kelas X MAN 1 Sleman yang dipilih berdasarkan variasi jenis kesalahan. Data diperoleh melalui tes tertulis dan wawancara mendalam, kemudian dianalisis menggunakan model Miles dan Huberman melalui reduksi data, penyajian data, dan penarikan kesimpulan. Hasil penelitian menunjukkan bahwa kesalahan konseptual merupakan jenis kesalahan paling dominan sebesar 46,15%, diikuti kesalahan prosedural sebesar 43,59%, dan kesalahan teknis sebesar 10,26%. Kesalahan konseptual tampak pada ketidakmampuan siswa memahami makna fungsi kuadrat dalam konteks masalah, menentukan titik puncak, nilai minimum, dan unsur-unsur fungsi kuadrat. Kesalahan prosedural muncul dalam bentuk langkah penyelesaian yang tidak runtut, prosedur yang tidak lengkap, dan tidak adanya pemeriksaan kembali. Kesalahan teknis meliputi kesalahan operasi hitung, penulisan simbol, dan penyederhanaan aljabar. Berdasarkan tahap Polya, kesalahan konseptual banyak terjadi pada tahap memahami masalah dan merencanakan penyelesaian, sedangkan kesalahan prosedural dominan pada tahap melaksanakan rencana dan memeriksa kembali. Integrasi teori Kastolan dan tahap Polya memberikan gambaran lebih komprehensif mengenai karakteristik kesalahan siswa. Penelitian selanjutnya disarankan untuk mengembangkan dan menguji efektivitas strategi pembelajaran yang berorientasi pada penguatan pemahaman konsep, ketepatan prosedur, dan pembiasaan memeriksa kembali jawaban pada materi fungsi kuadrat.

Kata Kunci: analisis kesalahan; fungsi kuadrat; tahap pemecahan masalah Polya; teori Kastolan.

Abstract: Students' errors in quadratic function material need to be analyzed because this topic requires not only computational skills but also conceptual understanding, problem-solving strategies, and the ability to interpret results. Error analysis is important for identifying students' difficulties in greater depth, thereby providing a basis for improving mathematics instruction. This study aims to analyze students' errors in solving quadratic function problems based on Kastolan's theory and Polya's problem-solving stages. This study employed a descriptive qualitative approach involving six Grade X students of MAN 1 Sleman who were selected based on variations in the types of errors they made. Data were collected through written tests and in-depth interviews, and were analyzed using Miles and Huberman's model through data reduction, data display, and conclusion drawing. The results showed that conceptual errors were the most dominant type of error, accounting for 46.15%, followed by procedural errors at 43.59% and technical errors at 10.26%. Conceptual errors were reflected in students' inability to understand the meaning of quadratic functions in

problem contexts, determine the vertex, identify the minimum value, and recognize the elements of quadratic functions. Procedural errors appeared in unsystematic solution steps, incomplete procedures, and the absence of answer verification. Technical errors included mistakes in arithmetic operations, symbol writing, and algebraic simplification. Based on Polya's stages, conceptual errors mostly occurred in understanding the problem and devising a plan, while procedural errors were dominant in carrying out the plan and looking back. The integration of Kastolan's theory and Polya's stages provides a more comprehensive description of students' error characteristics. Future research is recommended to develop and examine the effectiveness of instructional strategies oriented toward strengthening conceptual understanding, procedural accuracy, and students' habit of rechecking their answers in quadratic function material.

Keywords: error analysis; quadratic function; Polya's problem-solving stages; Kastolan's error classification.

PENDAHULUAN

Kemampuan pemecahan masalah dalam pendidikan matematika merupakan salah satu kompetensi utama yang harus dikuasai peserta didik, karena berperan penting dalam pengembangan keterampilan berpikir kritis dan analitis yang dibutuhkan di berbagai aspek kehidupan sehari-hari dan pekerjaan (Sari et al., 2024). National Council of Teachers of Mathematics (NCTM, 2000) menegaskan bahwa pemecahan masalah bukan sekadar tujuan belajar matematika, melainkan sarana utama untuk mengembangkan pengetahuan matematika itu sendiri. Namun demikian, kemampuan pemecahan masalah matematis siswa Indonesia masih tergolong rendah. Hasil Programme for International Student Assessment (PISA) 2022 menunjukkan bahwa Indonesia berada pada peringkat 70 dari 81 negara peserta dengan skor rata-rata matematika sebesar 366, jauh di bawah rata-rata OECD sebesar 472 (OECD, 2023). Kondisi tersebut menunjukkan bahwa siswa masih mengalami kesulitan dalam memahami, merencanakan, dan menyelesaikan masalah matematika secara tepat.

Salah satu materi matematika yang masih dianggap sulit oleh siswa adalah fungsi kuadrat. Materi ini menuntut kemampuan memahami konsep aljabar, merepresentasikan hubungan matematis, serta menerapkan prosedur penyelesaian secara sistematis. Berbagai penelitian telah mengidentifikasi bahwa siswa sering mengalami miskonsepsi pada materi fungsi kuadrat, khususnya dalam hal menjelaskan, menyajikan, dan mengaitkan fungsi kuadrat dalam berbagai representasi, serta dalam menyelesaikan masalah kontekstual (Irawan et al., 2025). Kesalahan siswa pada materi fungsi kuadrat umumnya disebabkan oleh lemahnya pemahaman konsep, ketidaktepatan penggunaan prosedur, serta rendahnya kemampuan menginterpretasikan informasi matematika (Islamiyah et al., 2022).

Analisis kesalahan merupakan pendekatan yang efektif untuk mengidentifikasi dan memahami penyebab kesulitan belajar siswa dalam matematika. Dengan menganalisis jenis dan pola kesalahan, guru dapat merancang pembelajaran yang lebih tepat sasaran. Salah satu kerangka yang banyak digunakan adalah klasifikasi kesalahan Kastolan, yang mengelompokkan kesalahan siswa ke dalam tiga jenis, yaitu kesalahan konseptual, kesalahan prosedural, dan kesalahan teknis (Ayuningsih et al., 2020). Kesalahan konseptual terjadi ketika siswa tidak memahami konsep matematika atau menggunakan rumus yang tidak sesuai. Kesalahan prosedural

muncul akibat ketidaktepatan dalam menyusun maupun menerapkan langkah-langkah penyelesaian, sedangkan kesalahan teknis berkaitan dengan kekeliruan dalam proses perhitungan maupun penulisan simbol matematika (Hakim et al., 2021). Penelitian internasional oleh Taamneh et al. (2024) menunjukkan bahwa kesalahan konseptual mendominasi proses pemecahan masalah siswa kelas X, khususnya dalam menginterpretasikan informasi soal dan menghubungkannya dengan prosedur yang tepat. Penelitian terkini yang menggunakan teori Kastolan khusus pada materi fungsi kuadrat menegaskan bahwa kesalahan konseptual dan prosedural mendominasi kesalahan siswa (Azizah & Rahmawati, 2023; Luthifiani et al., 2023).

Untuk mengidentifikasi proses terjadinya kesalahan siswa secara lebih mendalam, penelitian ini juga menggunakan kerangka analisis kesalahan berbasis tahap pemecahan masalah Polya. Menurut Polya (1973) proses pemecahan masalah terdiri atas empat tahap, yaitu memahami masalah (*understanding the problem*), merencanakan penyelesaian (*devising a plan*), melaksanakan rencana (*carrying out the plan*), dan memeriksa kembali hasil penyelesaian (*looking back*). Tahap pemecahan masalah Polya membantu siswa menyelesaikan masalah secara sistematis mulai dari memahami masalah hingga memeriksa kembali hasil penyelesaian (Umar, 2016). Penelitian Firda et al. (2023) mengonfirmasi bahwa kemampuan pemecahan masalah matematis siswa masih lemah, terutama pada tahap memahami masalah dan memeriksa kembali.

Penggunaan teori Kastolan yang dipadukan dengan tahap pemecahan masalah Polya dapat memberikan gambaran yang lebih komprehensif mengenai jenis kesalahan sekaligus proses berpikir siswa dalam menyelesaikan soal matematika (Rahmawati et al., 2022). Oleh karena itu, analisis kesalahan tidak hanya berfokus pada hasil akhir penyelesaian, tetapi juga pada setiap tahap penyelesaian masalah yang dilakukan siswa. Beberapa penelitian terdahulu telah mengkaji kesalahan siswa dalam menyelesaikan masalah matematika menggunakan kerangka tahap pemecahan masalah Polya maupun teori kesalahan Kastolan secara terpisah. Berdasarkan klasifikasi Kastolan, kesalahan konseptual dan prosedural ditemukan sebagai jenis kesalahan yang dominan dalam penyelesaian masalah matematika (Ayuningsih et al., 2020; Hasibuan et al., 2022). Temuan lain juga menunjukkan bahwa siswa masih mengalami kesulitan dalam memahami konsep dan menyusun langkah penyelesaian secara sistematis (Hakim et al., 2021).

Selain itu, analisis kesalahan berbasis tahap pemecahan masalah dapat membantu mengidentifikasi letak kesulitan siswa secara lebih mendalam (Rahmawati et al., 2022). Kesalahan yang ditimbulkan siswa dalam menyelesaikan masalah atau soal matematika cukup tinggi pada tahap memahami masalah, sedangkan kesalahan yang dilakukan siswa pada tahap membuat rencana penyelesaian relatif lebih rendah (Kamila & Adirakasiwi, 2021). Di sisi lain, penelitian yang secara eksplisit mengintegrasikan tahap pemecahan masalah Polya dengan klasifikasi kesalahan Kastolan dalam menganalisis kesalahan siswa pada materi fungsi kuadrat, khususnya pada jenjang SMA di Indonesia, masih relatif terbatas. Oleh karena itu, penelitian ini dilakukan untuk memberikan gambaran yang lebih komprehensif mengenai proses dan jenis kesalahan siswa dalam menyelesaikan masalah matematika.

Berdasarkan uraian tersebut, penelitian ini penting dilakukan karena kesalahan siswa pada materi fungsi kuadrat tidak hanya berkaitan dengan ketidaktepatan jawaban akhir, tetapi juga mencerminkan kesulitan siswa dalam memahami konsep, menyusun strategi, melaksanakan prosedur, dan memeriksa kembali hasil penyelesaian. Apabila kesalahan tersebut tidak dianalisis secara mendalam, guru akan sulit mengetahui letak kesulitan siswa secara tepat sehingga perbaikan pembelajaran berisiko hanya berfokus pada latihan prosedural. Keunikan penelitian ini terletak pada pengintegrasian klasifikasi kesalahan Kastolan dan tahap pemecahan masalah Polya dalam menganalisis kesalahan siswa pada materi fungsi kuadrat. Integrasi kedua kerangka tersebut memungkinkan analisis tidak hanya diarahkan pada jenis kesalahan, yaitu konseptual, prosedural, dan teknis, tetapi juga pada tahap pemecahan masalah tempat kesalahan tersebut terjadi. Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk menganalisis kesalahan siswa dalam menyelesaikan soal fungsi kuadrat berdasarkan klasifikasi kesalahan Kastolan dan tahap pemecahan masalah Polya. Hasil penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi teoritis terhadap kajian analisis kesalahan matematis serta menjadi bahan evaluasi bagi guru dalam merancang strategi pembelajaran yang lebih efektif untuk meminimalkan kesalahan siswa pada materi fungsi kuadrat.

Berdasarkan tujuan tersebut, rumusan masalah dalam penelitian ini adalah: (1) apa saja jenis kesalahan yang dilakukan siswa berdasarkan klasifikasi kesalahan Kastolan; (2) bagaimana kesalahan siswa pada setiap tahap pemecahan masalah Polya dalam menyelesaikan soal fungsi kuadrat; dan (3) bagaimana keterkaitan antara klasifikasi kesalahan Kastolan dengan tahap pemecahan masalah Polya dalam penyelesaian soal fungsi kuadrat.

METODE PENELITIAN

Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah penelitian deskriptif kualitatif yang bertujuan untuk mendeskripsikan kesalahan siswa dalam menyelesaikan soal fungsi kuadrat berdasarkan klasifikasi kesalahan Kastolan dan tahap pemecahan masalah Polya. Penelitian deskriptif kualitatif mengarah pada penjelasan berbagai peristiwa alamiah maupun buatan manusia dengan berfokus pada karakteristik, kualitas, dan hubungan antaraktivitas sehingga mampu memberikan gambaran mengenai suatu fenomena atau data penelitian (Sukmadinata, 2013). Subjek penelitian ini berjumlah 6 siswa kelas X MAN 1 Sleman pada semester genap tahun ajaran 2025/2026. Subjek dipilih dari 36 siswa yang telah mengikuti tes diagnostik awal. Pemilihan subjek dilakukan menggunakan teknik purposive sampling berdasarkan kategori kemampuan matematis, yaitu 2 siswa berkemampuan tinggi, 2 siswa berkemampuan sedang, dan 2 siswa berkemampuan rendah.

Teknik pengumpulan data dalam penelitian ini meliputi tes tertulis, wawancara, observasi, dan dokumentasi. Tes tertulis diberikan dalam bentuk soal uraian yang disusun berdasarkan tahap pemecahan masalah Polya untuk mengidentifikasi kesalahan siswa pada materi fungsi kuadrat. Wawancara mendalam dilakukan berdasarkan hasil tes siswa guna memperoleh informasi yang lebih jelas mengenai proses berpikir dan penyebab terjadinya kesalahan. Selain itu, observasi dilakukan selama proses wawancara untuk mendukung data penelitian. Data hasil pekerjaan siswa dianalisis berdasarkan klasifikasi kesalahan Kastolan dan tahap pemecahan masalah Polya. Analisis data dalam penelitian ini mengacu pada model Miles dan



Huberman yang terdiri atas tiga tahapan, yaitu reduksi data, penyajian data, dan penarikan kesimpulan (Miles & Huberman, 1994). Reduksi data dilakukan dengan memilih dan merangkum data penting yang berkaitan dengan kesalahan siswa dalam menyelesaikan soal fungsi kuadrat. Selanjutnya, data disajikan secara sistematis agar memudahkan proses analisis hubungan antara jenis kesalahan Kastolan dan tahap pemecahan masalah Polya. Tahap terakhir berupa penarikan kesimpulan dilakukan berdasarkan hasil analisis data yang diperoleh. Uji keabsahan data dilakukan menggunakan triangulasi teknik, yaitu membandingkan data hasil tes, wawancara, observasi, dan dokumentasi pada subjek yang sama untuk memperoleh data yang valid dan konsisten terkait kesalahan siswa dalam menyelesaikan soal fungsi kuadrat.

Tabel 1. Kisi-kisi Instrumen Tes Tertulis

| Tahap Polya | Indikator pada materi fungsi kuadrat | Indikator kesalahan yang dianalisis | | |
|--|--|--|--|---|
| | | Konseptual | Prosedural | Teknis |
| Mema hami mas al ah | Siswa mampu mengenali informasi penting dalam soal fungsi kuadrat, seperti variabel, bentuk fungsi, titik puncak, nilai maksimum atau minimum, dan konteks masalah | Salah makna maksimum/minimum, tidak paham grafik parabola (terbuka atas/bawah), salah menafsirkan konteks (tinggi, waktu, jarak), tidak memahami hubungan variabel (t sebagai waktu), mengira akar = titik puncak | Tidak menulis diketahui/ditanya, tidak memisahkan informasi penting, tidak mengubah soal cerita ke model matematika, menyalin soal tanpa memahami | Salah salin persamaan, salah tanda (- jadi +), salah variabel (t jadi x), salah menulis pangkat (t ² jadi t) |
| Mere ncana kan penye lesaian n | Siswa mampu menentukan model matematika, rumus, atau langkah penyelesaian yang tepat sesuai masalah fungsi kuadrat | Tidak tahu rumus titik puncak, tidak paham diskriminan ($D = b^2 - 4ac$), tidak tahu hubungan akar dan grafik, mengira semua soal pakai rumus kuadrat, tidak paham gunakan faktorisasi / melengkapi kuadrat | Langkah tidak runtut, strategi tidak sesuai (misal langsung hitung tanpa tujuan), tidak menentukan metode penyelesaian, lompat langkah (tidak jelas alur) | Salah menulis rumus, salah substitusi awal (nilai a, b, c tertukar), salah menyalin bentuk rumus |
| Melak sanak an per hitungan titik renca na | Siswa mampu melakukan substitusi, manipulasi aljabar, perhitungan titik puncak, nilai minimum/maksimum, atau unsur fungsi kuadrat secara runtut | Salah konsep titik puncak, tidak paham simetri grafik, salah memahami diskriminan (misal D negatif dianggap “tidak ada solusi sama sekali” tanpa konteks), menganggap hasil negatif selalu salah, tidak memahami hubungan akar dengan titik potong sumbu-x | Langkah penyelesaian tidak sistematis, salah manipulasi aljabar (misal membagi tidak semua suku), tidak menyelesaikan sampai bentuk akhir, salah urutan operasi, tidak menyederhanakan hasil | Salah hitung (operasi bilangan), salah kuadrat (misal $8^2 = 16$), salah tanda \pm , salah substitusi ke rumus, salah dalam operasi akar, kesalahan aritmetika sederhana |
| Meme riksa kemb ali | Siswa mampu memeriksa kebenaran hasil, menyesuaikan | Tidak menyadari jawaban tidak logis (waktu tinggi negatif), tidak mengaitkan | Tidak melakukan pengecekan ulang, tidak menuliskan kesimpulan, tidak | Salah menulis hasil akhir, salah satuan (meter, detik), salah |



| | | | |
|--|---|--|--|
| jawaban dengan konteks soal, dan menyimpulkan hasil penyelesaian | jawaban dengan konteks soal, tidak membandingkan dengan konsep grafik | mensubstitusi kembali hasil ke fungsi, tidak mengevaluasi langkah sebelumnya | pembulatan, salah penyalinan hasil ke kesimpulan |
|--|---|--|--|

Tabel 2. Kisi-kisi Pedoman Wawancara

| Aspek wawancara | Indikator pertanyaan | Tujuan wawancara |
|--------------------------|---|---|
| Pemahaman terhadap soal | Siswa diminta menjelaskan informasi yang diketahui dan ditanyakan dalam soal | Mengetahui apakah siswa memahami konteks dan makna masalah fungsi kuadrat |
| Pemahaman konsep | Siswa diminta menjelaskan konsep fungsi kuadrat, titik puncak, nilai minimum/maksimum, atau unsur fungsi kuadrat yang digunakan | Mengidentifikasi kesalahan konseptual yang tidak terlihat secara langsung pada lembar jawaban |
| Perencanaan penyelesaian | Siswa diminta menjelaskan alasan memilih rumus, strategi, atau langkah penyelesaian tertentu | Mengetahui dasar berpikir siswa dalam menyusun rencana penyelesaian |
| Pelaksanaan prosedur | Siswa diminta menjelaskan kembali langkah-langkah perhitungan yang dilakukan | Mengidentifikasi kesalahan prosedural dan teknis dalam proses penyelesaian |
| Pemeriksaan kembali | Siswa diminta menjelaskan apakah jawaban sudah diperiksa dan bagaimana cara memeriksanya | Mengetahui kebiasaan siswa dalam melakukan verifikasi jawaban |
| Penyebab kesalahan | Siswa diminta menjelaskan bagian yang dianggap sulit dan alasan terjadinya kesalahan | Menggali faktor penyebab kesalahan siswa secara lebih mendalam |

HASIL DAN PEMBAHASAN

Analisis Kesalahan Siswa Berdasarkan Teori Kastolan

Berdasarkan hasil analisis data tes tertulis dan wawancara mendalam terhadap enam subjek, ditemukan total 39 kesalahan yang dapat dikategorikan berdasarkan klasifikasi teori Kastolan. Distribusi jenis kesalahan siswa disajikan pada Tabel 3.

Tabel 3. Distribusi Kesalahan Siswa Berdasarkan Teori Kastolan

| Jenis Kesalahan | Jumlah Temuan | Presentasi | Karakteristik Kesalahan |
|-----------------|---------------|------------|---|
| Konseptual | 18 | 46.15% | Salah memahami konsep, salah menafsirkan soal, miskonsepsi fungsi kuadrat |
| Prosedural | 17 | 43.59% | Langkah tidak runtut, prosedur tidak lengkap, tidak melakukan verifikasi |
| Teknis | 4 | 10.26% | Kesalahan hitung, penulisan simbol, penyederhanaan bentuk aljabar |

Berdasarkan Tabel 3, terlihat bahwa kesalahan konseptual merupakan jenis kesalahan yang paling dominan dilakukan siswa dengan persentase sebesar 46.15%, diikuti kesalahan prosedural sebesar 43.59%, dan kesalahan teknis sebesar 10.26%. Temuan ini konsisten dengan hasil penelitian Hasibuan et al. (2022) serta Azizah & Rahmawati (2023) yang menyatakan bahwa kesalahan konseptual mendominasi kesalahan siswa pada materi fungsi kuadrat berdasarkan teori Kastolan. Dominasi kesalahan konseptual menunjukkan bahwa kelemahan pemahaman konsep bukan



hanya masalah teknis perhitungan, melainkan hambatan mendasar yang berdampak pada seluruh proses penyelesaian masalah.

a. Kesalahan Konseptual

Kesalahan konseptual menjadi jenis kesalahan yang paling banyak ditemukan pada penelitian ini. Bentuk kesalahan yang muncul meliputi belum mampu menginterpretasikan fungsi kuadrat dalam konteks masalah, salah memahami maksud pertanyaan, keliru menentukan titik puncak, belum mampu menentukan nilai a , b , dan c , serta kesalahan membedakan nilai minimum dan titik minimum.

Tabel 4. Bentuk Kesalahan Konseptual

| Subjek | Bentuk Kesalahan |
|--------|--|
| S1 | Mencari titik puncak padahal tidak ditanyakan |
| S1 | Salah menentukan titik puncak |
| S2 | Menganggap $\frac{-b}{2a}$ sebagai nilai minimum |
| S3 | Tidak dapat menentukan nilai a , b , dan c |
| S4 | Tidak mampu menginterpretasikan fungsi dalam konteks masalah |
| S6 | Menyimpulkan titik minimum sebagai nilai minimum |

Tabel 4 memperlihatkan bahwa kesalahan konseptual yang paling dominan berkaitan dengan pemahaman yang keliru mengenai hubungan antar komponen dalam fungsi kuadrat. Hal ini tampak pada jawaban S2 yang menganggap bahwa nilai $\frac{-b}{2a}$ merupakan nilai minimum fungsi, padahal nilai tersebut adalah absis titik puncak atau sumbu simetri fungsi kuadrat, bukan nilai fungsi pada titik tersebut. Kesalahan ini dapat dikategorikan sebagai *epistemological obstacle* menurut Brousseau (1997), yaitu hambatan yang muncul karena siswa telah membangun pengetahuan atau skema berpikir yang dianggap benar berdasarkan pengalaman belajarnya, tetapi secara matematis tidak sesuai dengan konsep yang sebenarnya. Karena telah terintegrasi dalam struktur kognitif siswa, pemahaman yang keliru tersebut cenderung sulit diperbaiki hanya melalui penjelasan atau koreksi sederhana.

. Identifikasi bentuk kuadratnya, dan menentukan titik puncak $(\frac{b}{2a})$

Gambar 1. Jawaban S2

Contoh kesalahan lain yaitu siswa S3 tidak dapat menentukan nilai a , b , dan c pada fungsi kuadrat sehingga mengalami kesulitan dalam menentukan strategi penyelesaian yang tepat. Kesalahan tersebut menunjukkan bahwa siswa belum memahami bentuk umum fungsi kuadrat serta hubungan antara koefisien fungsi dengan karakteristik grafik parabola. Akibatnya, siswa tidak mampu melanjutkan proses penyelesaian secara benar dan sistematis.

$$1. f(x) = ax^2 + bx + c \quad | \quad f(x) = 2x^2 - 8x + 3$$

Identifikasi koefisien

$$a = 2x^2$$

$$b = -8x$$

$$c = 3$$

Gambar 2. Jawaban S3

Temuan penelitian ini sejalan dengan hasil penelitian Santia et al. (2019) yang menunjukkan bahwa siswa masih mengalami kesulitan dalam merepresentasikan konsep fungsi kuadrat serta mengonversi permasalahan kontekstual ke dalam model matematika yang sesuai. Kesamaan tersebut terlihat pada pola kesalahan konseptual yang ditemukan dalam penelitian ini, terutama pada subjek S4 yang belum mampu menafsirkan fungsi kuadrat berdasarkan konteks permasalahan yang diberikan. Kondisi ini mengindikasikan bahwa siswa tidak hanya mengalami hambatan dalam memahami konsep secara simbolik, tetapi juga dalam mengaitkan konsep matematika dengan situasi nyata yang direpresentasikan dalam soal.

b. Kesalahan Prosedural

Kesalahan prosedural menempati urutan kedua dengan persentase sebesar 43,59%. Kesalahan ini ditemukan hampir pada seluruh subjek penelitian. Bentuk kesalahan prosedural yang muncul meliputi langkah penyelesaian yang tidak runtut, tidak menuliskan diketahui dan ditanyakan secara lengkap, prosedur penyelesaian yang tidak lengkap, tidak menyelesaikan hingga hasil akhir, serta tidak melakukan substitusi kembali hasil ke fungsi. Distribusi kesalahan prosedural siswa disajikan pada Tabel 5 berikut.

Tabel 5. Bentuk Kesalahan Prosedural

| Subjek | Bentuk Kesalahan |
|--------|--|
| S1 | Langkah penyelesaian kurang lengkap |
| S2 | Langkah penyelesaian tidak runtut |
| S3 | Tidak menyelesaikan sampai hasil akhir |
| S4 | Tidak melakukan substitusi kembali hasil |
| S5 | Strategi benar tetapi langkah tidak sistematis |
| S6 | Tidak menyelesaikan penyelesaian hingga akhir |

Berdasarkan Tabel 5, terlihat bahwa sebagian siswa sebenarnya telah memahami konsep dasar fungsi kuadrat, namun masih mengalami kesulitan dalam menerapkan prosedur penyelesaian secara sistematis. Sebagai contoh, siswa S3 dan S6 tidak menyelesaikan prosedur hingga memperoleh hasil akhir, sedangkan siswa S1 dan S2 menuliskan langkah penyelesaian yang kurang lengkap. Ayuningsih et al. (2020) menjelaskan bahwa kesalahan prosedural sering terjadi karena siswa cenderung menghafal langkah tanpa memahami landasan konseptualnya. Kesalahan prosedural menunjukkan bahwa siswa belum terbiasa menyelesaikan masalah secara terstruktur dan runtut. Kondisi tersebut mengindikasikan bahwa siswa lebih berfokus pada hasil akhir dibandingkan memahami urutan proses penyelesaian masalah matematika.

c. Kesalahan Teknis

Kesalahan teknis merupakan jenis kesalahan dengan persentase paling rendah, yaitu sebesar 10,26%. Meskipun demikian, kesalahan teknis tetap memengaruhi ketepatan hasil akhir penyelesaian masalah. Bentuk kesalahan teknis siswa disajikan pada Tabel 6 berikut.

. Tabel 6. Bentuk Kesalahan Teknis

| Subjek | Bentuk Kesalahan |
|--------|---|
| S1 | Salah menuliskan $h(2)$ menjadi $h(10)$ |
| S2 | Kesalahan penulisan satuan hasil akhir |
| S3 | Salah menyederhanakan bentuk aljabar |
| S5 | Kesalahan operasi hitung |

Salah satu contoh kesalahan teknis yaitu jawaban S1 menuliskan $h(10)$ padahal seharusnya $h(2)$ meskipun jawaban akhirnya benar. Siswa hanya kurang teliti dalam penulisan langkah pengerjaannya saja. Menurut klasifikasi kesalahan matematis yang dikemukakan oleh Movshovitz-Hadar et al. (1987), kesalahan semacam ini termasuk dalam kategori *technical error*, yaitu kesalahan yang muncul bukan karena lemahnya pemahaman konsep maupun ketidaktepatan strategi penyelesaian, melainkan akibat kekeliruan dalam pelaksanaan atau penulisan yang bersifat tidak disengaja. Sifat kesalahan teknis yang lebih terkait dengan ketelitian dibandingkan dengan pemahaman konseptual menjelaskan mengapa frekuensinya lebih rendah dibandingkan kesalahan konseptual dan prosedural.

$$\begin{aligned}
 h(10) &= -2 \cdot 2^2 + 8 \cdot 2 + 10 & & 2a \\
 &= -2 \cdot 4 + 16 + 10 & & = -8 \\
 &= -8 + 26 = 18 & & 2 \cdot - \\
 &= 18 \text{ ← ketidnggihan} & & = -8 \\
 & & & -4 \\
 & & & = 2 \cdot 8
 \end{aligned}$$

Gambar 3. Jawaban S1

Di sisi lain, kesalahan teknis tetap memiliki implikasi penting terhadap kualitas penyelesaian masalah. Kesalahan penulisan satuan yang dilakukan oleh S2 menunjukkan adanya kelemahan dalam proses verifikasi hasil akhir. Temuan ini dapat dikaitkan dengan aspek metakognitif yang dikemukakan Schoenfeld (1992), yang menempatkan pemantauan dan pengendalian diri sebagai komponen esensial dalam pemecahan masalah matematis. Siswa yang memiliki kemampuan metakognitif yang baik cenderung melakukan evaluasi berkelanjutan terhadap langkah-langkah yang ditempuh serta memeriksa kembali kesesuaian jawaban dengan tuntutan soal. Oleh karena itu, munculnya kesalahan teknis pada penelitian ini mengindikasikan bahwa keterampilan reflektif dan self-monitoring siswa masih perlu dikembangkan agar proses penyelesaian masalah dapat berlangsung lebih akurat dan sistematis.

$$\begin{aligned}
 3. \text{ a). harga jual} \\
 K(p) &= -10p^2 + 200p - 600 \\
 p &= -\frac{b}{2a} \\
 &= \frac{-200}{-20} = 10.000 \text{ (ribuan rupiah)}. \\
 \\
 \text{b). } K(10) &= -10 \times 100 + 200 \times 10 - 600 \\
 &= -1000 + 2000 - 600 \\
 &= 2000 - 1000 - 600 \\
 &= 400.000 \text{ (dalam ribuan rupiah)}.
 \end{aligned}$$

Gambar 3. Jawaban S2

Kesalahan teknis menunjukkan bahwa sebagian siswa masih kurang teliti dalam melakukan perhitungan maupun penulisan simbol matematika. Meskipun jumlahnya lebih sedikit dibandingkan kesalahan konseptual dan prosedural, kesalahan teknis tetap menyebabkan jawaban akhir menjadi tidak tepat. Oleh karena itu, siswa perlu dibiasakan untuk melakukan pengecekan kembali terhadap langkah

perhitungan dan penulisan simbol matematika agar kesalahan teknis dapat diminimalkan.

Analisis Kesalahan Siswa Berdasarkan Tahap Pemecahan Masalah Polya

a. Tahap Memahami Masalah (*Understanding the Problem*)

Pada tahap ini ditemukan 14 kesalahan (8 konseptual, 6 prosedural). Kesalahan meliputi tidak menuliskan informasi diketahui dan ditanyakan secara lengkap, salah menafsirkan pertanyaan, belum mampu menginterpretasikan fungsi kuadrat dalam konteks masalah, serta belum mampu menentukan unsur-unsur fungsi kuadrat. Siswa S1 dan S3 mencari nilai x titik puncak yang tidak ditanyakan, sedangkan S2, S4, dan S6 belum mampu menginterpretasikan fungsi sesuai konteks.

Kesalahan tersebut menunjukkan bahwa siswa belum mampu memahami makna permasalahan secara tepat sebelum menentukan strategi penyelesaian. Menurut Polya (1973), tahap memahami masalah merupakan tahap awal yang penting karena menentukan keberhasilan siswa dalam menyelesaikan masalah matematika. Ketidakmampuan siswa dalam memahami informasi soal dapat menyebabkan kesalahan pada tahap berikutnya.

Temuan penelitian ini sejalan dengan penelitian Pratiwi & Hidayati (2022) yang menyatakan bahwa siswa sering mengalami kesulitan dalam menginterpretasikan informasi matematis dan menghubungkan permasalahan kontekstual ke dalam bentuk matematika. Firda et al. (2023) juga menemukan bahwa siswa kelas VIII yang tidak menuliskan apa yang diketahui dan ditanyakan cenderung mengalami kesalahan berantai pada tahap selanjutnya. Oleh karena itu, pembiasaan mengidentifikasi unsur soal secara eksplisit perlu menjadi rutinitas pembelajaran.

Berdasarkan temuan tersebut, guru perlu menerapkan pembelajaran yang menekankan kemampuan memahami informasi soal, mengidentifikasi unsur-unsur penting, serta melatih siswa menerjemahkan masalah ke dalam model matematika.

b. Tahap Merencanakan Penyelesaian (*Devising a Plan*)

Pada tahap ini ditemukan 8 kesalahan (5 konseptual, 2 prosedural, 1 teknis). Siswa S2 menganggap $-b/2a$ sebagai nilai minimum, S3 salah menuliskan nilai a dan b , dan beberapa siswa tidak mampu menentukan strategi alternatif. Kesalahan konseptual yang masih mendominasi pada tahap ini mengindikasikan bahwa miskonsepsi terhadap konsep dasar fungsi kuadrat secara langsung menghambat kemampuan perencanaan strategi.

Kesalahan pada tahap ini menunjukkan bahwa siswa belum mampu menyusun strategi penyelesaian secara sistematis dan tepat. Sebagian siswa masih mengalami miskonsepsi dalam memahami konsep titik minimum dan nilai minimum fungsi kuadrat. Menurut Polya, tahap merencanakan penyelesaian bertujuan membantu siswa menentukan strategi yang sesuai sebelum melaksanakan proses penyelesaian.

Temuan ini sejalan dengan penelitian Hidayat & Sariningsih (2018) yang menyebutkan bahwa kemampuan merencanakan penyelesaian masalah merupakan aspek yang paling lemah pada siswa SMA dalam konteks pemecahan masalah matematis. Luthifiani et al. (2023) yang meneliti kesalahan siswa kelas X pada materi fungsi kuadrat secara khusus menemukan bahwa miskonsepsi pada konsep titik minimum dan nilai minimum menyebabkan siswa memilih strategi yang tidak tepat sejak awal perencanaan. Kondisi ini menegaskan perlunya pembelajaran yang



menekankan pemahaman mendalam tentang hubungan antara koefisien, grafik, dan nilai optimum fungsi kuadrat. Oleh karena itu, pembelajaran matematika perlu menekankan pemahaman konsep serta pembiasaan penggunaan berbagai strategi penyelesaian masalah agar siswa mampu menentukan prosedur yang tepat secara sistematis.

c. Tahap Melaksanakan Rencana (*Carrying Out the Plan*)

Pada tahap ini ditemukan 8 kesalahan (1 konseptual, 4 prosedural, 3 teknis). Kesalahan prosedural menjadi dominan, berupa tidak menuliskan langkah penyelesaian secara lengkap (S1, S2), tidak menyelesaikan hingga hasil akhir (S3, S6), dan ketidakmampuan menentukan waktu bola menyentuh tanah (S4). Kesalahan teknis berupa kekeliruan operasi hitung dan penulisan simbol juga ditemukan pada tahap ini.

Kesalahan pada tahap ini menunjukkan bahwa siswa belum mampu menerapkan prosedur penyelesaian secara sistematis dan teliti. Menurut teori Kastolan, kesalahan tersebut termasuk dalam kategori kesalahan prosedural dan teknis. Kesalahan prosedural terjadi akibat ketidaktepatan langkah penyelesaian, sedangkan kesalahan teknis muncul karena kurangnya ketelitian dalam melakukan operasi hitung maupun penulisan simbol matematika.

Temuan penelitian ini sejalan dengan penelitian Ayuningsih et al. (2020) yang menunjukkan bahwa kesalahan prosedural merupakan kesalahan yang paling dominan dalam penyelesaian masalah matematika. Hal tersebut terjadi karena siswa lebih cenderung menghafal langkah penyelesaian dibandingkan memahami konsep yang mendasarinya. Dengan demikian, guru perlu memberikan pembelajaran yang menekankan proses berpikir sistematis dan ketelitian dalam menyelesaikan prosedur matematika.

d. Tahap Memeriksa Kembali (*Looking Back*)

Pada tahap ini ditemukan 9 kesalahan (4 konseptual, 5 prosedural). Kesalahan prosedural mendominasi: siswa S1, S2, S3, S4, dan S6 tidak melakukan substitusi kembali hasil ke fungsi, sedangkan S1, S2, S3, dan S5 tidak membandingkan hasil dengan konsep grafik fungsi kuadrat.

Temuan ini menunjukkan bahwa siswa belum terbiasa melakukan refleksi dan verifikasi terhadap hasil penyelesaian yang diperoleh. Kondisi tersebut sejalan dengan penelitian Riyadi et al. (2021) yang menyatakan bahwa tahap *looking back* merupakan tahap yang paling jarang dilakukan siswa karena siswa cenderung berfokus pada memperoleh jawaban akhir dibandingkan memeriksa kembali prosedur penyelesaian masalah matematika.

Oleh karena itu, guru perlu membiasakan siswa untuk melakukan verifikasi jawaban melalui substitusi kembali maupun interpretasi hasil berdasarkan konsep grafik fungsi kuadrat agar kesalahan dapat diminimalkan.

Hubungan Tahap Polya dan Jenis Kesalahan Kastolan

Berdasarkan hasil penelitian, setiap tahap pemecahan masalah Polya memiliki kecenderungan jenis kesalahan tertentu berdasarkan teori kesalahan Kastolan. Hubungan antara tahap pemecahan masalah Polya dan jenis kesalahan Kastolan dapat dilihat dari distribusi kesalahan yang terjadi pada setiap tahap penyelesaian masalah.



Tabel 7. Jumlah kesalahan berdasarkan Tahap Polya dan Jenis Kesalahan Kasolan

| Tahap Polya | Jenis kesalahan Kastolan | | | Jumlah |
|---------------------------|--------------------------|------------|--------|--------|
| | Konseptual | Prosedural | Teknis | |
| Memahami masalah | 8 | 6 | 0 | 14 |
| Merencanakan penyelesaian | 5 | 2 | 1 | 8 |
| Melaksanakan rencana | 1 | 4 | 3 | 8 |
| Memeriksa kembali | 4 | 5 | 0 | 9 |
| Jumlah | 18 | 17 | 4 | 39 |

Tabel 7 menunjukkan adanya pola perubahan yang sistematis dalam karakteristik kesalahan siswa pada setiap tahap pemecahan masalah. Temuan ini menjadi salah satu kontribusi penting penelitian karena menunjukkan bahwa jenis kesalahan yang muncul tidak terjadi secara acak, melainkan mengikuti karakteristik kognitif yang berbeda pada setiap tahap pemecahan masalah menurut Polya.

Pada tahap awal, yaitu memahami masalah dan merencanakan penyelesaian, kesalahan konseptual merupakan jenis kesalahan yang paling dominan. Dari 14 kesalahan pada tahap memahami masalah, 8 di antaranya tergolong kesalahan konseptual, sedangkan pada tahap merencanakan penyelesaian terdapat 5 kesalahan konseptual dari total 8 kesalahan. Dominasi tersebut menunjukkan bahwa kedua tahap awal sangat bergantung pada kemampuan siswa dalam memahami makna permasalahan dan menghubungkannya dengan konsep matematika yang relevan. Mayer (1992) menjelaskan bahwa proses ini melibatkan aktivitas *problem representation* dan *problem-solution mapping*, yaitu proses kognitif yang menuntut pemahaman konseptual yang kuat untuk membangun representasi masalah dan menentukan strategi penyelesaian yang tepat. Oleh karena itu, kelemahan pada pemahaman konsep cenderung memunculkan kesalahan pada tahap-tahap awal pemecahan masalah.

Sebaliknya, pada tahap melaksanakan rencana dan memeriksa kembali, kesalahan yang dominan bergeser menjadi kesalahan prosedural dan teknis. Pada tahap melaksanakan rencana ditemukan 4 kesalahan prosedural dan 3 kesalahan teknis dari total 8 kesalahan, sedangkan pada tahap memeriksa kembali terdapat 5 kesalahan prosedural dari total 9 kesalahan. Pergeseran ini menunjukkan bahwa ketika siswa telah menentukan strategi penyelesaian, tantangan utama berpindah pada kemampuan menjalankan prosedur secara benar dan melakukan verifikasi terhadap hasil yang diperoleh. Temuan ini sejalan dengan *Cognitive Load Theory* yang dikemukakan Sweller (1988), yang menyatakan bahwa keterbatasan kapasitas memori kerja dapat menyebabkan siswa mengalami kesulitan dalam mengontrol dan memantau proses penyelesaian ketika perhatian mereka terfokus pada pelaksanaan prosedur. Selain itu, tingginya kesalahan pada tahap pemeriksaan kembali menunjukkan bahwa kemampuan metakognitif siswa, khususnya dalam melakukan evaluasi dan verifikasi hasil, masih belum berkembang secara optimal sebagaimana dijelaskan oleh Schoenfeld (1992).

Pola pergeseran kesalahan tersebut menunjukkan bahwa integrasi tahap pemecahan masalah Polya dengan klasifikasi kesalahan Kastolan memberikan kemampuan analisis yang lebih komprehensif dibandingkan penggunaan salah satu kerangka secara terpisah. Apabila analisis hanya didasarkan pada klasifikasi Kastolan, maka hasil penelitian hanya menunjukkan bahwa kesalahan konseptual merupakan jenis kesalahan yang paling dominan. Namun, melalui pemetaan terhadap tahap-tahap Polya, dapat diketahui bahwa kesalahan konseptual terutama muncul



pada fase memahami masalah dan merencanakan penyelesaian, sedangkan kesalahan prosedural dan teknis lebih banyak ditemukan pada fase pelaksanaan dan pemeriksaan kembali. Temuan ini memberikan informasi diagnostik yang lebih spesifik mengenai lokasi munculnya kesalahan dalam proses berpikir siswa.

Implikasinya, upaya perbaikan pembelajaran dapat dirancang secara lebih terarah. Pengurangan kesalahan konseptual perlu difokuskan pada penguatan kemampuan memahami permasalahan dan menyusun strategi penyelesaian, sedangkan pengurangan kesalahan prosedural dan teknis memerlukan pembiasaan pelaksanaan prosedur yang sistematis serta penguatan kemampuan memeriksa kembali hasil penyelesaian. Pandangan ini sejalan dengan teori didactical situations dari Brousseau (1997) yang menekankan pentingnya diagnosis yang tepat terhadap jenis dan letak kesalahan siswa sebagai dasar penyusunan intervensi pembelajaran yang efektif.

Dengan demikian, integrasi kerangka Polya dan Kastolan dalam penelitian ini tidak hanya menghasilkan identifikasi jenis kesalahan yang dilakukan siswa, tetapi juga mampu mengungkap tahap-tahap kritis tempat kesalahan tersebut muncul. Hal ini memberikan pemahaman yang lebih mendalam mengenai akar kognitif kesalahan siswa dan mendukung pengembangan strategi pembelajaran yang lebih tepat sasaran, sebagaimana ditekankan dalam penelitian Newman (1977) dan Movshovitz-Hadar et al. (1987).

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian dan pembahasan, dapat disimpulkan sebagai berikut. Pertama, berdasarkan klasifikasi Kastolan, kesalahan konseptual merupakan jenis kesalahan paling dominan (46.15%), diikuti prosedural (43.59%) dan teknis (10.26%). Tingginya proporsi kesalahan konseptual menunjukkan bahwa kelemahan pemahaman konsep dasar fungsi kuadrat merupakan akar permasalahan utama yang berdampak pada ketidaktepatan prosedur penyelesaian.

Kedua, berdasarkan tahap Polya, pada tahap memahami masalah siswa cenderung mengalami kesalahan konseptual berupa ketidakmampuan menginterpretasikan fungsi kuadrat dalam konteks masalah. Pada tahap merencanakan penyelesaian, miskonsepsi masih mendominasi dalam pemilihan strategi. Pada tahap melaksanakan rencana, kesalahan prosedural dan teknis dominan. Adapun pada tahap memeriksa kembali, sebagian besar siswa tidak melakukan verifikasi jawaban.

Ketiga, terdapat keterkaitan yang jelas antara jenis kesalahan Kastolan dan tahap Polya: kesalahan konseptual dominan pada tahap awal (memahami masalah dan merencanakan), sedangkan kesalahan prosedural dominan pada tahap akhir (melaksanakan rencana dan memeriksa kembali). Integrasi kedua kerangka analisis terbukti mampu memberikan gambaran yang lebih komprehensif mengenai proses berpikir dan karakteristik kesalahan siswa. Guru perlu merancang pembelajaran yang menekankan penguatan konsep, prosedur sistematis, dan pembiasaan verifikasi jawaban.

Dengan demikian, integrasi tahap pemecahan masalah Polya dan klasifikasi kesalahan Kastolan mampu memberikan gambaran yang lebih komprehensif mengenai proses berpikir dan karakteristik kesalahan siswa dalam menyelesaikan soal fungsi kuadrat. Oleh karena itu, guru perlu merancang pembelajaran yang



menekankan pemahaman konsep, penggunaan prosedur penyelesaian yang sistematis, serta pembiasaan melakukan verifikasi jawaban agar kesalahan siswa dapat diminimalkan.

DAFTAR PUSTAKA

- Ayuningsih, R., Dwi Setyowati, R., & Esti Utami, R. (2020). Analisis Kesalahan Siswa dalam Menyelesaikan Masalah Program Linear Berdasarkan Teori Kesalahan Kastolan. *Imajiner: Jurnal Matematika dan Pendidikan Matematika*, 2(6), 510–518. <https://doi.org/10.26877/imajiner.v2i6.6790>
- Azizah, D., & Rahmawati, A. (2023). Analisis Kesalahan Siswa dalam Menyelesaikan Soal Cerita Fungsi Kuadrat Menurut Teori Kastolan. *Circle: Jurnal Pendidikan Matematika*, 3(1). <http://e-journal.uingusdur.ac.id/index.php/circle>
- Brousseau, G. (1997). *Theory of Didactical Situations in Mathematics*. Kluwer Academic Publishers. <https://doi.org/10.1007/0-306-47211-2>
- Duval, R. (2006). A cognitive analysis of problems of comprehension in a learning of mathematics. *Educational Studies in Mathematics*, 61(1–2), 103–131. <https://doi.org/10.1007/s10649-006-0400-z>
- Firda, N., Suryadi, D., & Dahlan, J. A. (2023). Kemampuan pPemecahan masalah matematis siswa sekolah menengah pertama berdasarkan Polya. *Edumatica: Jurnal Pendidikan Matematika*, 13(3), 273–284. <https://doi.org/10.22437/edumatica.v13i03.29287>
- Hakim, I. D., Ramlah, & Adirakasiwi, A. G. (2021). Analisis kesalahan siswa SMP dalam menyelesaikan soal pemahaman konsep berdasarkan tahapan Kastolan. *Jurnal Pendidikan Matematika Raflesia*, 6(1). <https://ejournal.unib.ac.id/index.php/jpmr>
- Hasibuan, N. S. R., Roza, Y., & Maimunah, M. (2022). Analisis kesalahan siswa dalam menyelesaikan masalah matematika berdasarkan teori Kastolan. *Jurnal Paedagogy*, 9(3), 486. <https://doi.org/10.33394/jp.v9i3.5287>
- Hidayat, W., & Sariningsih, R. (2018). Kemampuan pemecahan masalah matematis dan adversity quotient siswa SMP melalui pembelajaran open ended. *Jurnal Nasional Pendidikan Matematika*, 2(1), 109–118. <https://doi.org/https://doi.org/10.33603/jnpm.v2i1.1027>
- Irawan, M. A., Nur, F., Baharuddin, & Nursalam. (2025). Analisis miskonsepsi materi fungsi kuadrat pada peserta didik kelas IX menggunakan four-tier test, *J-PiMat: Jurnal Pendidikan Matematika*, 7(2).
- Islamiyah, W., Suryadi, D., & Gulvara, M. A. (2022). Kesalahan siswa pada soal cerita fungsi kuadrat berdasarkan teori Nolting. *Edumatica: Jurnal Pendidikan Matematika*, 13(3). <https://doi.org/https://doi.org/10.22437/edumatica.v13i03.26254>
- Kamila, N. S., & Adirakasiwi, A. G. (2021). Analisis kesalahan siswa dalam menyelesaikan masalah matematika dengan menggunakan prosedur polya.



Jurnal Pembelajaran Matematika Inovatif, 4(4), 749–754.
<https://doi.org/10.22460/jpmi.v4i4.749-754>

- Luthifiani, U., Saragih, S., & Suanto, E. (2023). Analisis kesalahan siswa kelas X dalam menyelesaikan soal pada materi fungsi kuadrat menurut teori Kastolan. Dalam Prosiding Seminar Nasional Hasil Riset dan Pengabdian. Universitas Riau.
- Mayer, R. E. (1992). *Thinking, Problem Solving, Cognition* (2nd ed.). W. H. Freeman.
- Miles, M. B., & Huberman, A. M. (1994). *Qualitative data analysis: An expanded sourcebook* (2nd ed.). Sage Publications.
- Movshovitz-Hadar, N., Zaslavsky, O., & Inbar, S. (1987). An Empirical Classification Model for Errors in High School Mathematics. *Journal for Research in Mathematics Education*, 18(1), 3–14.
<https://doi.org/10.2307/749532>
- NCTM. (2000). *Principles and standards for school mathematics*. National Council of Teachers of Mathematics.
- Newman, M. A. (1977). An Analysis of Sixth-Grade Pupils' Errors on Written Mathematical Tasks. *Victorian Institute for Educational Research Bulletin*, 39, 31–43.
- OECD. (2023). *PISA 2022 results (Volume I): The state of learning and equity in education*. OECD Publishing. <https://doi.org/10.1787/53f23881-en>
- Polya, G. (1973). *How to solve it: A new aspect of mathematical method* (2nd ed.). Princeton University Press.
- Pratiwi, R., & Hidayati, N. (2022). Kemampuan Pemecahan Masalah Matematis Siswa Kelas XI SMK Berdasarkan Tahapan Polya. *Jurnal Educatio FKIP UNMA*, 8(1), 256–263. <https://doi.org/10.31949/educatio.v8i1.1978>
- Rahmawati, N. D., Rubowo, M. R., & Rahmayani, I. D. (2022). Analisis kesalahan siswa dalam menyelesaikan soal cerita pada materi SPLDV ditinjau dari kemampuan pemecahan masalah matematis. *Jurnal Ilmiah Pendidikan Matematika*, 7(1), 72–80. <https://doi.org/10.26877/jipmat.v7i1.11734>
- Riyadi, Syarifah, T. J., & Nikmaturohmah, P. (2021). Profile of students' problem-solving skills viewed from Polya's four-steps approach and elementary school students. In *European Journal of Educational Research*, 10(4), 1625–1638. <https://doi.org/10.12973/EU-JER.10.4.1625>
- Santia, I., Purwanto, Sutawidjaja, A., Sudirman, & Subanji. (2019). Exploring Mathematical Representations in Solving Ill-Structured Problems: The Case of Quadratic Function. *Journal on Mathematics Education*, 10(3), 365–378. <https://jme.ejournal.unsri.ac.id/index.php/jme/article/view/3800/313>
- Sari, N. A. A., Antia, V., Daimah, U. S., Muhakimah, I., & Dewanti, S. S. (2024). Konstruksi instrumen tes kemampuan pemecahan masalah menggunakan teori respon butir. *Teorema: Teori dan Riset Matematika*, 9(2), 193. <https://doi.org/10.25157/teorema.v9i2.14867>



- Schoenfeld, A. H. (1992). Learning to Think Mathematically: Problem Solving, Metacognition, and Sense Making in Mathematics. In D. A. Grouws (Ed.), *Handbook of Research on Mathematics Teaching and Learning* (pp. 334–370). Macmillan.
- Sukmadinata, N. S. (2011). *Metode Penelitian Pendidikan*. Remaja Rosdakarya.
- Sweller, J. (1988). Cognitive Load During Problem Solving: Effects on Learning. *Cognitive Science*, 12(2), 257–285. https://doi.org/10.1207/s15516709cog1202_4
- Taamneh, M. A., Díez-Palomar, J., & Mallart-Solaz, A. (2024). Examining tenth-grade students' errors in applying Polya's problem-solving approach to Pythagorean theorem. *Eurasia Journal of Mathematics, Science and Technology Education*, 20(12). <https://doi.org/10.29333/ejmste/15707>
- Umar, W. (2016). Strategi pemecahan masalah matematis versi george polya dan penerapannya dalam pembelajaran matematika. *Kalamatika*, 1(1), 59–70. <https://doi.org/10.22236/KALAMATIKA.vol1no1.2016pp59-70>

