JKPI: Jurnal Kajian Pendidikan IPA
Program Studi Pendidikan IPA, Universitas Garut

p-ISSN 2798-5636
e-ISSN 2798-7043
Vol. 7 No. 1 Tahun 2027

Dari Fisis ke Matematis: Translasi Pengetahuan Siswa melalui Kerangka Kompetensi Representasi pada Materi Efek Doppler

Rasyiqa Zata Dini [a, 1], Rizki Zakwandi [a, b, c, 2], Alfiansah Sandion Prakoso [a, c 3*]

[a] Prodi Pendidikan Fisika, Universitas Pendidikan Indonesia, Bandung, 40154
[b] Graduate Institute of Science Education, National Taiwan Normal University, Taipei, Taiwan
[c] Learning Analytics and Digital Assessment Research Group, Universitas Pendidikan Indonesia, Bandung, Indonesia
[1] rasyiqazatadini5@upi.edu; [2] r.zakwandi@upi.edu; [3] alfisandion@upi.edu*
*korespondensi penulis

ARTICLE HISTORY
Received: 25 June 2026 Revised: 20 October 2026 Accepted: 11 November 2026

ABSTRAK

Kemampuan mentranslasikan representasi fisis ke representasi matematis merupakan kompetensi esensial dalam pembelajaran fisika yang sering menjadi hambatan bagi siswa. Penelitian deskriptif kualitatif ini bertujuan untuk mendeskripsikan pola kesulitan siswa kelas XI dalam mentranslasikan representasi fisis ke representasi matematis pada materi efek Doppler. Penelitian dilaksanakan selama kegiatan Program Penguatan Profesional Kependidikan (P3K) di salah satu SMA Negeri di Kota Bandung, melibatkan 35 siswa kelas XI sebagai populasi penelitian. Data dikumpulkan melalui observasi pembelajaran, analisis lembar jawaban 35 siswa kelas XI sebagai subjek penelitian. Data dikumpulkan melalui observasi pembelajaran, analisis lembar jawaban 7 siswa terpilih secara purposif, berdasarkan variasi pola jawaban dan wawancara semi-terstruktur terhadap 4 siswa (S1, S3, S5, S7) sebagai representasi variasi pola jawaban. Berdasarkan skema empat kode kesulitan yang dirancang (K_1-K_4), hasil analisis menunjukkan bahwa pola kesulitan yang muncul secara konsisten sebagai pola dominan lintas subjek adalah kesenjangan konseptual-matematis (K_2). Siswa mampu menjelaskan fenomena perubahan nada bunyi secara verbal-intuitif, namun gagal memformalkannya ke dalam relasi pertidaksamaan maupun persamaan simbolik formal ($f_p > f_s$ atau $f_p = f_s$). Hambatan K_1 (kesulitan memetakan variabel) hanya teridentifikasi sebagai gejala ringan pada subjek tertentu, sedangkan kesalahan pemaknaan tanda operasi aktual (K_3) tidak ditemukan dalam jawaban akhir siswa meskipun proses penentuannya tidak stabil. Temuan menunjukkan bahwa kelemahan mendasar siswa secara spesifik terletak pada kemampuan translasi dari situasi fisis-naratif ke representasi simbolik-matematis formal di setiap titik transisi representasi. Hasil studi ini diharapkan menjadi landasan empiris dalam merancang strategi *scaffolding* multirepresentasi bertahap pada pembelajaran fisika.

Kata kunci: Efek Doppler, kesulitan belajar fisika, multirepresentasi, representasi matematis, translasi representasi.

ABSTRACT

From Physical to Mathematical: Translating Student Knowledge through Representation Framework on Doppler Effect Material. The ability to translate physical representations into mathematical representations is an essential competency in physics learning that often poses a barrier for students. This study aims to describe the patterns of difficulty experienced by eleventh-grade students in translating physical representations into mathematical representations on the topic of the Doppler Effect. The research was conducted during a Teaching Professional Strengthening Program (P3K) activity at a public senior high school in Bandung City using a descriptive qualitative approach, involving 35 eleventh-grade students as the research subjects. Data were collected through classroom observation, analysis of written answer sheets from seven purposively selected students, and semi-structured interviews with four students (S1, S3, S5, S7) representing variations in response patterns. Based on the designed four-difficulty coding scheme (K_1-K_4), the analysis revealed that the conceptual-mathematical gap (K_2) was the only pattern that consistently emerged as a dominant difficulty across subjects. Students were able to explain pitch change phenomena verbally and intuitively but failed to formalize them into formal symbolic inequality or equality relations ($f_p > f_s$ or $f_p = f_s$). The K_1 barrier (variable mapping failure) was only identified as a minor symptom in specific subjects, while actual mathematical sign misinterpretation (K_3) was not found in students' final answers despite unstable determination processes. The findings indicate that students' fundamental

weaknesses specifically lie in the ability to translate narrative-physical situations into formal symbolic-mathematical representations at each transition point. This study is expected to serve as an empirical foundation for designing gradual multirepresentational scaffolding strategies in physics learning.

Keywords: Doppler Effect, mathematical representation, multiple representations, physics learning difficulties, representation translation.

Pendahuluan

Fisika tidak hanya dipahami melalui satu bentuk representasi. Dalam proses pembelajarannya, siswa perlu memahami hubungan antara penjelasan verbal, gambar, grafik, hingga persamaan matematis untuk menjelaskan suatu fenomena secara utuh. Di antara berbagai bentuk representasi tersebut, representasi matematis memiliki peran yang sangat penting karena sebagian besar konsep fisika diformalkan melalui bahasa matematika. Oleh sebab itu, kemampuan siswa dalam mentranslasikan representasi fisis ke dalam bentuk matematis menjadi salah satu kemampuan dasar yang dibutuhkan dalam pembelajaran fisika.

Pada praktiknya, kemampuan tersebut tidak selalu muncul secara otomatis. Banyak siswa yang sebenarnya mampu menjelaskan fenomena fisika secara lisan, tetapi mengalami kesulitan ketika harus menuliskannya dalam bentuk persamaan matematis yang sesuai. Kesenjangan antara pemahaman konseptual dan kemampuan representasi matematis inilah yang menjadi permasalahan kognitif yang sering dijumpai dalam pembelajaran fisika di kelas (Theasy et al., 2018; Sari et al., 2023).

Fenomena ini teramati langsung oleh peneliti selama melaksanakan kegiatan P3K di salah satu SMA Negeri di Bandung pada pembelajaran fisika kelas XI. Dalam konteks materi Gelombang Bunyi, khususnya submateri efek Doppler, siswa pada umumnya mampu mendeskripsikan fenomena akustik secara verbal, misalnya memahami bahwa sirine ambulans terdengar lebih tinggi saat mendekati pendengar, pola yang konsisten dengan temuan serupa dalam pembelajaran fisika (Theasy et al., 2018; Sari et al., 2023). Namun, hambatan serius muncul ketika siswa dihadapkan pada soal yang menuntut formalisasi matematis dari fenomena tersebut, seperti menentukan tanda positif-negatif dalam persamaan efek Doppler.

Penelitian terdahulu secara konsisten menunjukkan bahwa kemampuan representasi matematis masih menjadi salah satu hambatan utama dalam pembelajaran fisika. Format representasi yang digunakan dalam pembelajaran terbukti memengaruhi strategi dan hasil penyelesaian soal fisika secara signifikan (Kohl & Finkelstein, 2006). Theasy et al. (2018) menemukan bahwa representasi matematis merupakan bentuk representasi yang paling sulit dikuasai dibandingkan representasi lainnya. Sari et al. (2023) melaporkan bahwa kemampuan siswa SMA dalam mentranslasi representasi menuju persamaan matematis berada pada kategori paling rendah, terutama karena siswa belum memahami makna fisis dari simbol dan variabel dalam persamaan. Kesulitan serupa juga ditemukan pada kemampuan interpretasi representasi grafik dalam materi kinematika (Luedo & Supeno, 2021), mengindikasikan bahwa hambatan translasi representasi bersifat lintas format, tidak terbatas pada satu jenis representasi saja. Analisis kesulitan serupa juga telah dilakukan pada materi lain seperti Hukum Archimedes (Umar et al., 2024), yang semakin mengonfirmasi bahwa kesulitan representasi dalam fisika bersifat lintas topik dan memerlukan perhatian sistematis. Anggereni et al. (2025) mengidentifikasi bahwa kebingungan siswa terutama muncul saat menghubungkan situasi fisis dengan variabel matematis dan melakukan manipulasi persamaan. Keterkaitan antara

kemampuan matematis dan performa fisika memang telah terbukti signifikan secara empiris (Badmus & Jita, 2023), yang memperkuat argumen bahwa kesulitan translasi representasi fisis ke matematis bukan fenomena terisolasi. Upaya mengatasi kesulitan ini antara lain telah dilakukan melalui pengembangan media pembelajaran berbasis web dengan pendekatan multirepresentasi (Febiola & Mufit, 2024), serta pengembangan instrumen asesmen berbasis multirepresentasi untuk mendeteksi pola kesulitan secara lebih terstruktur (Antama & Istiyono, 2025), meskipun kajian tentang proses kognitif di balik kegagalan translasi representasi itu sendiri masih terbatas.

Meskipun penelitian tentang representasi matematis dalam fisika telah cukup banyak dilakukan, sebagian besar masih berfokus pada pengukuran tingkat kemampuan siswa secara kuantitatif tanpa membedah secara mendalam bagaimana proses kegagalan translasi representasi itu terjadi dalam konteks pembelajaran nyata. Pengembangan dan validasi instrumen asesmen kompetensi representasi memang telah dilakukan pada beberapa topik fisika (Sirait, 2023; Sirait et al., 2023), namun instrumen tersebut umumnya masih mengukur level kemampuan secara agregat, bukan memetakan titik kritis kegagalan translasi secara proses. Hal ini sejalan dengan temuan tinjauan literatur Ate et al. (2025) yang menyimpulkan bahwa penelitian multirepresentasi dalam fisika masih didominasi pendekatan kuantitatif, dan merekomendasikan pendekatan kualitatif sebagai arah yang perlu diperluas untuk mengeksplorasi proses kognitif secara lebih mendalam. Oleh karena itu, diperlukan kajian deskriptif yang mampu memetakan pola kesulitan translasi representasi siswa secara kontekstual sebagai dasar untuk merancang tindak lanjut pembelajaran yang lebih tepat sasaran.

Berbeda dengan studi-studi terdahulu yang umumnya berfokus pada pengukuran level kemampuan representasi matematis secara kuantitatif (Sari et al., 2023; Anggereni et al., 2025), penelitian ini menempatkan penekanan pada proses kognitif di balik kegagalan maupun keberhasilan translasi representasi tersebut, melalui kombinasi analisis lembar jawaban dan wawancara semi-terstruktur. Pendekatan ini memungkinkan teridentifikasinya temuan yang tidak tertangkap oleh instrumen kuantitatif semata, seperti adanya konsepsi alternatif yang koheren namun keliru pada salah satu subjek (frekuensi dianggap hilang ketika sumber bunyi berhenti bergetar), serta kesenjangan antara pemahaman fungsional siswa terhadap konsep gerak relatif dan ketidakmampuan mereka mengenali istilah formalnya. Temuan-temuan ini memberikan gambaran yang lebih granular mengenai di mana dan mengapa proses translasi representasi terhambat, yang menjadi dasar empiris bagi perancangan intervensi pembelajaran yang lebih tepat sasaran.

Untuk membaca proses translasi representasi tersebut secara lebih sistematis, penelitian ini menggunakan kerangka kompetensi representasi (*representational competence*) yang dikembangkan Ainsworth (2006), yang menegaskan bahwa keuntungan kognitif dari representasi majemuk hanya dapat diraih ketika siswa mampu berpindah antarmoda representasi secara akurat dan bermakna. Redish & Kuo (2015) menambahkan bahwa simbol dan operasi matematis dalam fisika—termasuk tanda ± pada persamaan efek Doppler—membawa makna fisis yang spesifik dan tidak dapat diperlakukan sebagai ekspresi aljabar murni. Proses translasi representasi sendiri dapat berlangsung sebagai sekadar alat komputasi (*computational tool*) atau sebagai *blended processing*, yaitu perpaduan penalaran konseptual dengan formalisme matematis secara sinergis (Kuo et al., 2013). Untuk memetakan secara lebih

rinci strategi berpikir siswa di balik kedua proses tersebut, penelitian ini mengacu pada kerangka *epistemic games* dari Tuminaro & Redish (2007), khususnya tiga pola yang relevan dengan konteks studi ini: *Physical Mechanism Game, Pictorial Analysis, dan Recursive Plug-and-Chug*. Kerangka *epistemic games* ini terus dikembangkan dalam studi-studi terkini pada konteks topik fisika yang lebih lanjut (Kashyap & Singh, 2024, 2025), yang menunjukkan bahwa pola-pola berpikir tersebut relevan dan dapat diidentifikasi secara konsisten lintas tingkat dan materi.

Berdasarkan latar belakang dan kerangka konseptual tersebut, penelitian ini bertujuan untuk mengidentifikasi dan mendeskripsikan pola kesulitan yang teridentifikasi pada siswa kelas XI dalam mentranslasikan representasi fisis ke representasi matematis pada materi efek Doppler dalam konteks pembelajaran selama program P3K, serta menganalisis faktor-faktor yang diduga berkontribusi terhadap munculnya kesulitan tersebut.

Metode

Penelitian ini menggunakan pendekatan deskriptif kualitatif karena penelitian berfokus untuk melihat secara lebih mendalam bagaimana siswa mengalami kesulitan saat menghubungkan konsep fisika dengan bentuk matematisnya. Penelitian dilaksanakan selama kegiatan Program Penguatan Profesional Kependidikan (P3K) di salah satu SMA Negeri di Kota Bandung pada bulan Maret 2026, dengan peneliti berperan langsung sebagai peneliti pengampu mata pelajaran fisika di kelas yang menjadi subjek penelitian. Posisi ganda peneliti sebagai pengajar sekaligus pengamat (*insider research*) memungkinkan akses data yang kontekstual dan naturalistik. Untuk meminimalkan bias *insider research* dan pengaruh figur otoritas terhadap jawaban siswa, pengumpulan data lembar jawaban dilakukan secara anonim dalam suasana latihan reguler, instrumen tes dirancang tanpa unsur penilaian evaluatif akademik, dan analisis data dilakukan menggunakan rubrik koding terstruktur yang dikonfirmasi melalui *peer debriefing* bersama guru pamong.

Pemilihan partisipan dilakukan secara bertahap dan runtut. Dari populasi 35 siswa kelas XI yang mengikuti pembelajaran, sebanyak 7 siswa dipilih secara purposif untuk dianalisis lembar jawabannya berdasarkan keterwakilan 4 kategori tingkat kemampuan representasi matematis (Sangat Baik, Baik, Cukup, Rendah). Penentuan kategori ini mengacu pada hasil tes analitis awal yang dikonfirmasi bersama guru pamong. Dari 7 siswa tersebut, sebanyak 4 siswa (S1, S3, S5, S7) dipilih untuk mengikuti wawancara semi-terstruktur guna mewakili variasi pola jawaban per kategori (S1 untuk Sangat Baik; S3 untuk Baik dari pilihan S2; S5 untuk Cukup; serta S7 untuk Rendah).

Teknik pengumpulan data dihimpun melalui tiga tahapan: (a) observasi kelas selama proses pembelajaran berlangsung; (b) pemberian tes uraian analitis berupa latihan soal kualitatif pasca-pembelajaran; dan (c) wawancara semi-terstruktur dengan empat siswa terpilih guna mengonfirmasi alur penalaran di balik pola jawaban tertulis mereka berdasarkan pedoman wawancara. Rincian jenis soal, tujuan instrumen, deskripsi soal, dan indikator kemampuan yang diukur disajikan pada Tabel 1. Wawancara dilakukan berdasarkan pedoman wawancara yang disajikan pada Tabel 2.

Tabel 1. Rincian Instrumen Tes Analitis

No Soal	Jenis Soal	Tujuan Instrumen	Deskripsi Singkat Soal	Indikator Kemampuan yang Diukur
1	Naratif-fisis kualitatif	Menguji kemampuan mentranslasikan fenomena fisis naratif ke representasi simbolik-matematis tanpa bantuan angka	Analisis perubahan frekuensi sirine ambulans pada 3 fase: (a) mendekat → (b) mengerem → (c) berhenti total (pendengar diam)	(1) Interpretasi data fisis: memetakan arah gerak relatif sumber & pendengar; (2) Penyusunan persamaan: membangun relasi simbolik fp > fs / fp = fs tanpa angka
2	Numerik kuantitatif	Menguji kemampuan kalkulasi numerik menggunakan persamaan efek Doppler untuk 2 kondisi (sebelum & setelah berpapasan)	Hitung frekuensi klakson bus (fs=1800 Hz) yang didengar sopir mobil saat: (a) sebelum berpapasan (b) setelah berpapasan. Data: vp=90 km/jam, vs=108 km/jam, v=330 m/s	Operasi matematis-fisis: (a) substitusi angka ke persamaan dengan tanda ± yang tepat; (b) menjelaskan alasan penggunaan tanda positif-negatif
3	Konseptual kualitatif	Menguji pemahaman konsep inti efek Doppler pada kondisi vs = vp (tidak ada gerak relatif)	Analisis apakah A mendengar nada klakson B lebih tinggi/rendah/ sama jika keduanya melaju dengan kecepatan sama (72 km/jam)—tanpa hitung angka v	*Blended processing*: membuktikan secara logika persamaan bahwa fp = fs ketika vs = vp

Tabel 2**.** Pedoman Wawancara

Topik	Pertanyaan Inti	Tujuan
Pemahaman soal	"Apa yang kamu paham dari soal no. 1/3? Bisa ceritakan ulang soal itu?"	Mengungkap interpretasi awal siswa terhadap narasi soal
Proses translasi	"Bagaimana kamu mulai menjawab? Dari mana dulu? Gambar? Simbol? Rumus?"	Mengungkap tahap mana siswa memulai translasi (verbal → visual → simbolik)
Kebingungan tanda ±	"Kenapa kamu pilih tanda + atau – di persamaan? Apa yang kamu pikirkan tentang arah gerak?"	Memastikan apakah siswa memahami makna fisis tanda ± atau hanya hafal
Perbandingan soal	"Soal no. 1 dan no. 2, mana yang lebih mudah? Kenapa?"	Mengungkap preferensi format representasi (naratif vs numerik)
Intuisi vs rumus	"Kalau tidak ingat rumus, bisa nggak jawab soal ini? Bagaimana?"	Mengukur ketergantungan pada hafalan rumus vs pemahaman konsep

Data yang diperoleh dari hasil kuis dan observasi selanjutnya dianalisis menggunakan teknik analisis deskriptif kualitatif melalui tahapan reduksi data, kategorisasi pola kesulitan, penyajian data, dan penarikan kesimpulan, mengadaptasi model analisis interaktif Miles & Huberman (1994). Kategorisasi pola kesulitan dilakukan berdasarkan empat kode (K_1–K_4) yang mencakup kesulitan memetakan variabel fisis ke simbol matematis, kesenjangan konseptual-matematis, kesalahan pemaknaan tanda operasi matematis, dan substitusi angka tanpa analisis fisis. Definisi setiap kategori beserta indikator operasionalnya disajikan pada Tabel 3. Untuk menjaga kredibilitas interpretasi, hasil kategorisasi tingkat kemampuan representasi matematis dan kode pola kesulitan dikonfirmasi melalui diskusi dengan guru pamong sebagai bentuk peer debriefing (Lincoln & Guba, 1985). Triangulasi metode dilakukan melalui kombinasi tiga sumber data—observasi kelas, lembar jawaban tertulis, dan wawancara semi-terstruktur—untuk memperkuat keabsahan temuan (Lenaini, 2021).

Tabel 3**.** Kode Kategorisasi Pola Kesulitan Representasi Matematis Siswa

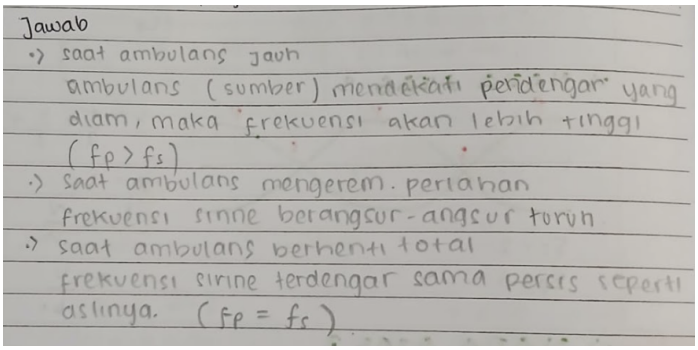
Kode	Pola Kesulitan Representasi	Indikator Operasional di Lapangan
K_1	Kesulitan memetakan variabel fisis ke simbol matematis (*variable mapping failure*)	Siswa keliru atau tertukar dalam menetapkan simbol/variabel matematika dari narasi fenomena fisis pada soal.
K_2	Kesenjangan konseptual-matematis (*conceptual-mathematical gap*)	Siswa mampu memahami dan menjelaskan fenomena secara verbal-konseptual, namun gagal memformalkannya ke dalam simbol/persamaan matematis.
K_3	Kesalahan pemaknaan tanda operasi matematis (*mathematical sign misinterpretation*)	Siswa keliru menentukan operasi matematika ($\pm$ atau $\mp$) akibat gagal mengaitkan logika arah gerak fisik sistem ke dalam persamaan.
K_4	Substitusi angka tanpa analisis fisis (*recursive plug-and-chug*)	Siswa langsung memasukkan angka numerik secara acak ke dalam rumus hafalan murni secara spekulatif tanpa melakukan penalaran fisis terlebih dahulu.

Hasil dan Pembahasan

Soal 1: Analisis Perubahan Frekuensi Sirine Ambulans

Soal pertama menguji kemampuan siswa mentranslasikan situasi fisis naratif ke representasi simbolik-matematis tanpa bantuan angka. Seluruh siswa subjek analisis kualitatif mampu menjelaskan arah perubahan frekuensi secara konseptual dengan tepat, namun kemampuan memformalkannya ke simbol matematis sangat bervariasi.

S1 langsung menggunakan relasi simbolik eksplisit dalam jawabannya: $f_p > f_s$ saat ambulans mendekat, frekuensi menurun gradual saat mengerem, dan $f_p = f_s$ saat ambulans berhenti total (Gambar 1). Saat diwawancara, ia menjelaskan bahwa proses berpikirnya dimulai dari gambaran fisis konkret, bukan dari persamaan.

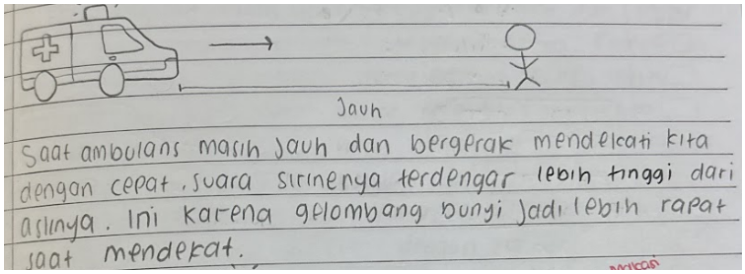


Gambar 1. Jawaban tertulis S1 pada Soal 1

S1: Dari aku baca gitu, aku tuh langsung ngebayangin si ambulance yang bunyi, terus mendekati ke aku, jadi berarti suaranya lebih besar... aku lebih ke membayangkan di kehidupan nyata, langsung ke informasi. [Pas jawab soal itu] kalo dari soal ini aku lebih ke membayangkan, di bayangin langsung ke informasi.

Menariknya, meskipun S1 tidak secara sadar "berpikir rumus" saat menjawab, hasil tulisannya tetap menggunakan notasi simbolik yang tepat. Ini mengindikasikan bahwa representasi fisis dan simbolik sudah terintegrasi sedemikian rupa sehingga proses translasi berjalan otomatis—ciri dari *blended processing* sebagaimana diuraikan oleh Kuo et al. (2013).

S3 menjelaskan secara naratif disertai sketsa visual berupa gambar ambulans, orang, dan variasi jarak (Gambar 2). Jawabannya memuat penjelasan yang runtut—gelombang bunyi menjadi lebih rapat saat mendekat, lalu kembali normal saat berhenti—namun tidak menggunakan satu pun simbol formal seperti fp atau fs. Saat diwawancara, ia mengaku hanya samar mengingat simbol-simbol dalam rumus.

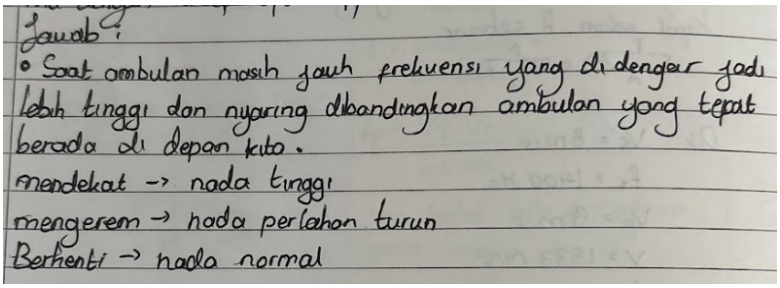


Gambar 2. Jawaban tertulis S3 pada Soal 1

S3: Aku lebih mengandalkan logikanya dulu... simbol-simbolnya aku cuma ingat samar-samar, kayak FS, VP,...

Pola ini sesuai dengan *Pictorial Analysis* (Tuminaro & Redish, 2007): siswa membangun representasi perantara visual, namun belum melangkah ke representasi matematis formal.

S5 menjelaskan murni secara naratif tanpa melibatkan simbol apapun, dengan menyebut perubahan frekuensi per fase secara verbal: nada tinggi saat mendekat, nada perlahan turun saat mengerem, nada normal saat berhenti (Gambar 3). Cara ia menentukan perubahan frekuensi sepenuhnya bertumpu pada analogi pendengaran sehari-hari.

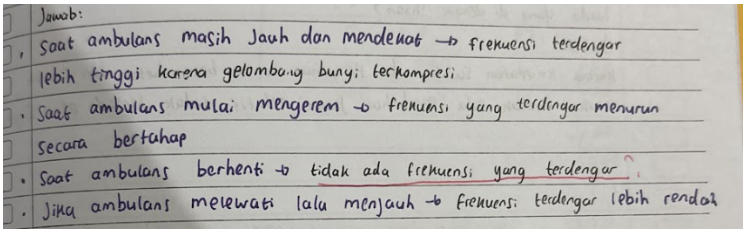


Gambar 3. Jawaban tertulis S5 pada Soal 1

S5: Makin deket, aku ngomongnya makin jelas kedengeran... aku nggak kepikiran ke persamaan Doppler waktu jawab. Kalau ditanya simbol fp, fs, sama v — f aku tahu frekuensi, tapi kalau v kecepatan.

Ketika ditanya tentang simbol-simbol dalam persamaan, S5 hanya mengenali f sebagai frekuensi dan v sebagai kecepatan, namun tidak mengaitkannya ke persamaan secara aktif. Pola ini konsisten dengan *Physical Mechanism Game*: penjelasan kausal berbasis intuisi yang berhenti sebelum tahap formalisasi (Tuminaro & Redish, 2007).

Temuan paling penting pada soal ini ditemukan pada S7, yang menuliskan bahwa "saat ambulans berhenti: tidak ada frekuensi yang terdengar" (Gambar 4). Wawancara mengonfirmasi akar kesalahan ini secara gamblang.



Gambar 4. Jawaban tertulis S7 pada Soal 1

S7: Biasanya dari getaran sih... biasanya kan lebih kerasa kalau berdekatan. Karena kan suaranya tuh stop ya, Bu. Jadi aku rasa getarannya pun berkurang gitu. Jadi aku mikirnya udah enggak ada.

Kutipan ini menunjukkan dua kemungkinan interpretasi atas kesalahan Anggun (AG). Di satu sisi, AG dapat dimaknai memiliki konsepsi alternatif yang keliru: memetakan ambulans berhenti bergerak → getaran berhenti → frekuensi hilang. Di sisi lain, frasa "suaranya tuh stop ya" mengindikasikan adanya kemungkinan kesalahan dalam membaca atau mengimajinasikan narasi soal, di mana AG beranggapan bahwa saat ambulans berhenti, sirine ikut dimatikan sehingga tidak ada suara yang terdengar. Kedua kemungkinan ini sama-sama berakar pada pemaknaan situasi fisis yang keliru sebelum proses translasi matematis dimulai.

Soal 2: Perhitungan Frekuensi Klakson Bus Sebelum dan Setelah Berpapasan

Soal kedua menyajikan situasi mobil dan bus berlawanan arah, menuntut perhitungan frekuensi pada dua kondisi (sebelum dan setelah berpapasan) sekaligus penjelasan tanda ± yang

digunakan. Sebagian besar siswa berhasil memperoleh hasil perhitungan numerik yang benar untuk kedua kondisi. Namun, wawancara dengan keempat siswa mengungkapkan bahwa keberhasilan numerik ini ditopang oleh strategi yang berbeda-beda dalam menentukan tanda ±.

S1 menentukan tanda berdasarkan diagram yang diajarkan guru dan mengaku proses berpikirnya dimulai dari pemahaman fisis sebelum memasukkan angka ke rumus. Meski demikian, ia mengakui masih bergantung pada diagram tersebut dan sempat lupa aturan umumnya.

S1: Tergantung diagram yang dikasih ibu... tergantung posisi dari si sumber dan pendengarnya. Aku pahamin dulu, aku bayangin dulu di otak, abis itu baru aku masukin ke rumus.

S5 juga mengandalkan diagram dari guru, namun mengaku sering tertukar dalam menentukan pihak mana yang bertanda positif.

S5: Paling suka kebalik-kebalik... yang sumber sama pendengarnya yang plus-nya... cuman kalau udah kebiasa kayaknya bisa-bisa aja.

S3 menunjukkan pola yang berbeda: ia mengaku fokus pada substitusi angka ke rumus terlebih dahulu, dan kesulitan utamanya bukan pada tanda ± itu sendiri, melainkan pada tahap memetakan elemen soal ke posisi variabel dalam rumus.

S3: Fokus masukin angka ke rumus... yang mengartikan soal itu kayaknya aku kadang suka bingung. Misalnya yang v_p itu plus atau minus.

S7 memberikan gambaran paling reflektif tentang bagaimana ia menentukan tanda ±. Ia mendeskripsikan prosesnya sebagai "menyatukan-nyatukan" antara soal dan rumus secara coba-coba, dan menyebut bagian penentuan tanda sebagai bagian yang paling sulit secara matematis.

S7: Aku liat rumusnya, nanti... masih kayak nyatuk-nyatukin aja. Takutnya masih ketuker... dari soalnya ke rumusnya. Di hasil akhirnya... karena ada plus minus, aku kadang masih bingung. Tapi aku lebih ngerti logikanya dibanding sekadar masukin angka.

Keempat pola ini menunjukkan satu benang merah yang konsisten: ketiadaan kesalahan pada hasil akhir soal 2 menyembunyikan proses penentuan tanda yang sebenarnya belum stabil. S1 dan S5 mengandalkan diagram eksternal, S7 melakukan pemetaan secara *trial-and-error*, sementara S3 berfokus pada substitusi prosedural. Tidak satu pun siswa menunjukkan kemampuan menurunkan tanda ± secara mandiri dari analisis arah gerak relatif tanpa bantuan eksternal. Temuan ini sejalan dengan De Cock (2012) bahwa keberhasilan prosedural pada soal numerik tidak serta-merta mencerminkan pemahaman konseptual yang utuh, dan dikategorikan sebagai bentuk K_2—kesenjangan antara hasil yang benar dengan proses konstruksi tanda yang belum terinternalisasi.

Perlu dicatat bahwa meskipun proses penentuan tanda pada keempat siswa menunjukkan ketidakstabilan yang beragam, tidak satu pun menghasilkan kesalahan pemaknaan tanda yang nyata dalam jawaban akhirnya. Oleh karena itu, pola K_3 (*mathematical sign misinterpretation*) sebagaimana didefinisikan dalam skema kategorisasi penelitian ini—yakni kesalahan aktual dalam memilih tanda ± yang berdampak pada kekeliruan hasil—tidak ditemukan pada ketujuh subjek penelitian.

Soal 3: Pembuktian Frekuensi pada Kondisi vs = vp

Soal ketiga meminta siswa membuktikan secara logis bahwa frekuensi yang didengar Ihsan tetap sama dengan frekuensi asli klakson Alif, karena vs = vp. Seluruh siswa berhasil menyimpulkan jawaban yang benar, namun wawancara mengungkapkan temuan penting: tidak satu pun dari keempat siswa yang diwawancara mengenal istilah "gerak relatif", meskipun mereka sampai pada kesimpulan yang benar.

S1 membangun penalarannya dari gambaran spasial: karena kedua pihak bergerak maju bersama, posisi relatif keduanya tidak berubah. Substansi penalarannya benar, namun tidak dibungkus dalam terminologi formal.

S1: Karena Alif dan Ihsan sama-sama bergerak maju, jadi posisinya sebenarnya tidak berubah.

S7 menggunakan penalaran serupa dengan bertumpu pada ketetapan jarak antara kedua pihak. Dalam jawabannya, ia secara eksplisit menyebut tidak adanya perubahan jarak relatif sebagai alasan tidak terjadinya efek Doppler.

S7: Soalnya mereka tuh kan mengikuti [posisi di belakangnya], jadi aku mikir kalau jaraknya sedekat itu tuh sama gitu.

S3 memberikan penalaran yang secara substansi sama—Alif di depan, Ihsan di belakang, keduanya melaju bersama sehingga jarak tidak berubah—namun mengaku soal ini terasa lebih membingungkan dibanding soal lainnya.

S3: Sebenarnya aku tuh nomor tiga itu masih bingung... aku jawabnya cuma karena Isan itu di belakang, Alif itu di depannya, itu kedekatan. Jadi aku pikir ya udah sama aja.

S5 menunjukkan pola pengerjaan yang paling lengkap: ia mengaku memahami konsep terlebih dahulu, lalu membuktikannya dengan rumus, dan menemukan bahwa kedua jalur menghasilkan kesimpulan yang sama. Hal ini tercermin pula dalam jawabannya yang menyebut ketetapan jarak sekaligus membuktikannya secara simbolik.

S5: Pertama-tama aku iniin dulu konsepnya, mahamin dulu konsepnya. Terus kan ibu tuh suruh nge-inin ke rumusnya. Jadi aku tuh di-inin aja... karena kalau disininya udah gini dimasukin ke sini hasilnya tetap sama.

Ini adalah satu-satunya kasus di antara siswa yang diwawancara yang secara eksplisit menjalankan dua jalur representasi—konseptual dan simbolik—secara paralel untuk soal yang sama.

Ketika ditanya lebih jauh mengenai hubungan antara gerak dan munculnya efek Doppler, S1, S5, dan S7 secara konsisten menjawab bahwa perbedaan arah atau kecepatan gerak menyebabkan munculnya efek Doppler, dan perubahan kecepatan salah satu pihak akan mengubah frekuensi yang didengar. Pemahaman fungsional tentang hubungan gerak relatif dan efek Doppler sebenarnya sudah dimiliki ketiga siswa—hanya belum terhubung dengan istilah formal "gerak relatif." Kesulitan representasi di sini tidak hanya terletak pada simbol matematis, tetapi juga pada kosakata teknis yang semestinya menjembatani pemahaman intuitif dengan formalisme persamaan.

Sintesis Lintas Soal: Titik Translasi yang Kritis

Ketiga soal secara bersama-sama membentuk gambaran yang lebih utuh mengenai di mana dan bagaimana proses translasi representasi terhambat. Sebelum membahas temuan utama, perlu dikemukakan dua catatan terkait skema kategorisasi yang digunakan. Pertama, kode K_3 tidak muncul sebagai pola dominan pada ketujuh subjek-meskipun proses penentuan tanda ± yang tidak stabil teramati secara luas, ketidakstabilan tersebut tidak berkembang menjadi kesalahan pemaknaan tanda yang nyata pada jawaban akhir siswa, sehingga tidak memenuhi indikator operasional K_3. Kedua, kode K_1 juga tidak muncul sebagai pola dominan, meskipun S3 sempat menunjukkan kebingungan dalam mengidentifikasi simbol seperti vp dan vs. Kebingungan tersebut tidak berkembang menjadi kesalahan pemetaan variabel yang konsisten, sehingga dikategorikan sebagai gejala K_1 ringan yang beriringan dengan K_2. Perbedaan antara kesulitan yang muncul selama proses pengerjaan dan kesalahan yang teridentifikasi pada jawaban akhir menjadi pertimbangan penting dalam menentukan pola kesulitan dominan setiap subjek. Dengan demikian, dari empat kode yang dirancang, hanya K_2 yang muncul secara konsisten sebagai pola dominan lintas subjek. Tiga temuan utama muncul dari sintesis ini.

Temuan 1—Kesenjangan antara hasil dan proses (Soal 2)

Seluruh siswa memperoleh hasil numerik yang benar pada Soal 2, namun wawancara mengungkapkan bahwa proses penentuan tanda ± yang mendasarinya belum stabil. S1 dan S5 mengandalkan diagram eksternal dari guru; S7 melakukan pemetaan secara *trial-and-error*; S3 berfokus pada substitusi prosedural. Tidak satu pun siswa menurunkan tanda ± secara mandiri dari analisis arah gerak relatif. Kebenaran hasil akhir, dengan demikian, tidak dapat dijadikan indikator bahwa pemahaman konseptual tentang makna tanda tersebut sudah terbentuk.

Temuan 2—Kesenjangan antara konsep dan istilah formal (Soal 3)

S1, S5, S7, dan S3 berhasil menyimpulkan jawaban yang benar pada Soal 3 dengan bertumpu pada penalaran spasial tentang ketetapan jarak relatif. Namun, tidak satu pun dari mereka mengenal istilah "gerak relatif" secara formal. Pemahaman fungsional sudah ada, tetapi belum terhubung ke terminologi yang diperlukan untuk menggunakannya dalam konteks persamaan.

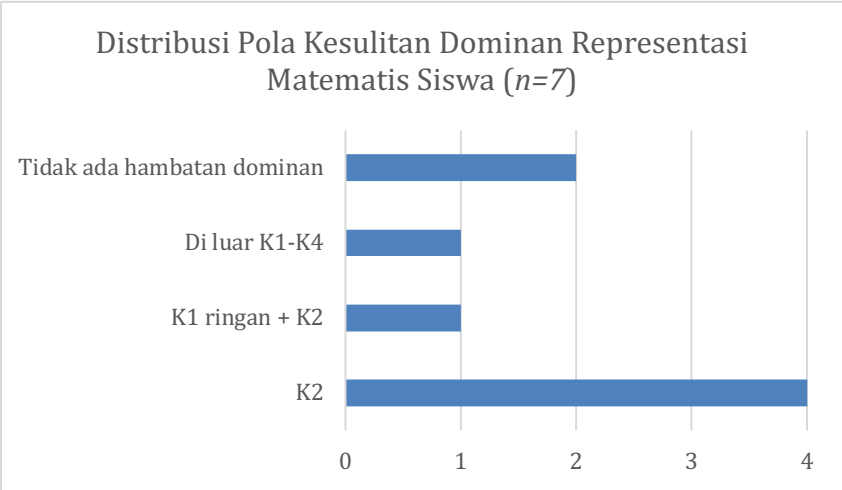
Temuan 3—Konsepsi alternatif yang koheren namun keliru (Soal 1)

Kasus S7 menunjukkan bahwa kesalahan representasi matematis tidak selalu berakar pada kegagalan formalisasi dari konsep yang sudah benar. S7 membangun rantai penalaran yang runtut secara internal: ambulans berhenti bergerak → getaran berhenti → frekuensi hilang. Kesalahan seperti ini memerlukan pendekatan yang berbeda dari sekadar latihan formalisasi - intervensi perlu menyasar dan meluruskan konsepsi alternatif yang mendasarinya terlebih dahulu.

Tabel 4. Pola Kesulitan Representasi Matematis Siswa pada Soal

Kode Siswa	Kategori	Soal 1	Soal 2	Soal 3	Pola Dominan
S1	Sangat Baik	Relasi simbolik eksplisit, *blended processing*	Benar; tanda ± via diagram, sempat ragu	Kesimpulan benar, istilah "gerak relatif" tidak dikenal	-
S2	Baik	fp = fs disimpulkan simbolik	Benar	Pembuktian simbolik fp=fs	-
S3	Baik	Naratif + sketsa visual (*Pictorial Analysis*)	Benar; bingung memetakan soal→ rumus	Kesimpulan benar, mengaku masih bingung	K_1 ringan, K_2
S4	Baik	Naratif, sebutkan "gerak relatif" tanpa simbol	Benar	Pembuktian benar dengan rumus	K_2
S5	Cukup	Naratif murni (*Physical Mechanism Game*)	Benar; tanda ± via diagram, sering tertukar	Konsep dan rumus dijalankan paralel, hasil sama	K_2
S6	Cukup	Mirip Vira	Benar	"F=F" tanpa derivasi formal	K_2
S7	Rendah	"Tidak ada frekuensi" - berakar pada konsepsi getaran=frekuensi	Benar; tanda ± via trial-and-error	Kesimpulan benar, istilah "gerak relatif" tidak dikenal	di luar K_1–K_4

Distribusi pola dominan lintas ketujuh subjek disajikan pada Gambar 5.



Gambar 5. Distribusi pola kesulitan dominan representasi matematis siswa

Ketiga temuan ini mengarah pada satu kesimpulan bersama: titik translasi paling kritis bukan terletak pada eksekusi operasi matematis itu sendiri, melainkan pada tahap mengonstruksi pemetaan dari situasi fisis arah gerak, posisi relatif, dan istilah teknis—ke dalam elemen-elemen simbolik seperti tanda, variabel, dan terminologi formal. Siswa dapat menjalankan persamaan dengan benar ketika strukturnya sudah tersedia (Soal 2), dan dapat bernalar dengan tepat secara fungsional (Soal 3), namun keduanya belum terhubung secara mandiri dan stabil ke dalam satu kerangka representasi yang koheren. Temuan ini sejalan dengan Badmus & Jita (2024) bahwa perjuangan siswa terletak bukan pada matematikanya itu sendiri, melainkan pada proses translasi pengetahuan matematis ke dalam konteks fisis, sebagaimana juga dikonfirmasi oleh De Cock (2012) yang menemukan bahwa strategi berpikir siswa sangat dipengaruhi oleh format representasi yang dihadapi, dan Kohl & Finkelstein (2006) yang menunjukkan bahwa kemampuan representasi siswa bersifat konteks-sensitif.

Faktor yang Berkontribusi terhadap Pola Kesulitan

Bagian penutup wawancara memberikan gambaran tentang faktor pedagogis yang relevan. S1 dan S5 menyatakan bahwa memahami konsep dirasa lebih sulit dibandingkan dengan menuliskan rumus, dan keduanya menekankan pentingnya contoh kontekstual dari kehidupan sehari-hari.

> *S5: Kayaknya dasarnya lebih yang mudah dimengerti gitu, sama kisah sehari-harian yang pernah dilakukan.*

Sebaliknya, S3 dan S7 justru menyatakan bahwa menuliskan rumus terasa lebih mudah dibanding memahami konsep secara mendalam. S7 secara spesifik menyebut kebutuhan akan penjelasan yang lebih rinci dan berulang.

> *S7: Lebih banyak teorinya sih, kayak diceritain nih konsepnya gimana sampai detail... misalnya simbolnya apa. Diulangi sampai kitanya itu masuk ke otak. Jadi kayak nggak sedikit doang.*

Pola yang berlawanan ini mengindikasikan bahwa kesulitan translasi representasi tidak bersifat seragam pada satu arah saja. Sebagian siswa tersandung di tahap konsep-ke-simbol (S1, S5), sementara sebagian lain justru merasa lebih aman memulai dari rumus dan kesulitan memaknainya secara fisis (S3, S7). Hal ini memperkuat argumen Redish & Kuo (2015) bahwa *blended processing* menuntut koneksi dua arah yang stabil antara representasi fisis dan matematis, dan ketidakstabilan pada salah satu arah dapat muncul dalam berbagai bentuk yang berbeda pada setiap siswa. Pola variasi individual ini juga ditemukan dalam studi Anggereni *et al.* (2025) yang mengidentifikasi bahwa kebingungan siswa dalam multirepresentasi tidak seragam, melainkan bergantung pada titik lemah masing-masing siswa dalam rantai translasi representasi.

Pola kesulitan K_2 yang dominan ini berimplikasi langsung pada ketidaksiapan siswa menghadapi soal-soal yang menuntut penalaran lebih dari sekadar substitusi numerik. Ketika kemampuan translasi dari situasi fisis ke representasi simbolik tidak terbentuk dengan baik, siswa cenderung bergantung pada hafalan prosedur dan bantuan eksternal seperti diagram, sehingga kemampuan pemecahan masalah mereka menjadi rapuh saat dihadapkan pada variasi soal yang baru (De Cock, 2012; Kohl & Finkelstein, 2006). Kondisi ini sejalan dengan temuan Anggereni et al. (2025) yang menunjukkan bahwa siswa yang lemah dalam translasi representasi matematis cenderung mengalami kesulitan sistematis dalam menyelesaikan soal fisika secara mandiri.

Penelitian ini memiliki beberapa keterbatasan yang perlu menjadi pertimbangan dalam menginterpretasi temuan. Pertama, penelitian dilakukan pada satu kelas di satu sekolah selama periode P3K yang relatif singkat, sehingga pola kesulitan yang teridentifikasi belum dapat digeneralisasikan pada populasi siswa SMA secara luas. Kedua, analisis mendalam hanya dilakukan pada 7 dari 35 siswa, dengan wawancara terbatas pada 4 siswa; meskipun pemilihan dilakukan secara purposive untuk merepresentasikan variasi pola jawaban, jumlah subjek yang kecil membatasi kemungkinan menangkap variasi pola kesulitan lain yang mungkin muncul pada siswa dengan karakteristik berbeda. Ketiga, penelitian ini hanya berfokus pada materi Efek Doppler, sehingga pola kesulitan translasi representasi yang ditemukan—khususnya yang berkaitan dengan tanda ± dan istilah "gerak relatif", bersifat spesifik konteks dan belum tentu merepresentasikan pola kesulitan translasi representasi pada topik fisika lain. Penelitian lanjutan dengan jumlah subjek yang lebih besar, cakupan materi yang lebih luas, dan desain longitudinal akan memperkuat validitas eksternal dari temuan-temuan ini.

Simpulan

Penelitian ini menemukan bahwa sebagian besar dari tujuh subjek yang dianalisis sudah mampu menjelaskan fenomena efek Doppler secara verbal-intuitif, tetapi masih kesulitan memformalkannya ke dalam simbol dan persamaan. Pola yang paling dominan adalah kesenjangan konseptual-matematis (K2). Hasil numerik yang benar belum menunjukkan pemahaman yang stabil, karena penentuan tanda ± masih bergantung pada diagram dari guru atau coba-coba, dan keempat siswa yang diwawancara belum mengenal istilah formal gerak relatif meskipun sudah memahaminya secara fungsional. Satu subjek (S7) menunjukkan kesalahan pemaknaan kondisi fisis yang muncul sebelum proses translasi dimulai. Kontribusi

penelitian ini adalah memetakan titik-titik kritis kegagalan translasi representasi secara proses, tidak hanya mengukur tingkat kemampuan. Secara praktis, guru sebaiknya tidak langsung menyajikan rumus, tetapi membimbing siswa melalui sketsa perantara dan penjelasan istilah teknis sebelum masuk ke persamaan simbolik. Penelitian lanjutan disarankan merancang dan menguji strategi *scaffolding* bertahap yang dapat disesuaikan dengan titik kesulitan translasi tiap siswa, serta melibatkan sampel dan materi fisika yang lebih luas.

Referensi

Ainsworth, S. (2006). DeFT: A conceptual framework for considering learning with multiple representations. *Learning and Instruction, 16*(3), 183–198. https://doi.org/10.1016/j.learninstruc.2006.03.001

Anggereni, S., Rudianto, A., Rafiqah, & Ashar, H. (2025). Analisis kemampuan multirepresentasi dalam menyelesaikan soal fisika. *JPF (Jurnal Pendidikan Fisika) UIN Alauddin Makassar, 13(*2), 145–155. https://doi.org/10.24252/jpf.v13i2.62647

Antama, B. R., & Istiyono, E. (2025). Pengembangan Computer Based Diagnostic Multirepresentation Assessment pada Materi Arus Searah untuk Peserta Didik SMA. *Jurnal Riset Pendidikan Fisika, 10*(1), 13–28. https://doi.org/10.17977/um058v10i12025p13-28

Ate, O., Parno, P., & Munfaridah, N. (2025). Multirepresentation in physics learning research: A content analysis review of trends, opportunities, and challenges. Journal of Science Education Research, 9(1). https://doi.org/10.21831/jser.v9i1.72954

Badmus, O. T., & Jita, L. C. (2023). Does further-mathematics predict students' performance physics? A correlational diagnosis of three years secondary education. *Journal of Technology and Science Education, 13(*1), 381–392. https://doi.org/10.3926/jotse.1631

Badmus, O. T., & Jita, L. C. (2024). Physics difficulty and problem-solving: Exploring the role of mathematics and mathematical symbols. *Interdisciplinary Journal of Education Research, 6*, 1–14. https://doi.org/10.38140/ijer-2024.vol6.08

De Cock, M. (2012). Representation use and strategy choice in physics problem solving. *Physical Review Special Topics – Physics Education Research, 8*(2), 020117. https://doi.org/10.1103/PhysRevSTPER.8.020117

Febiola, N., & Mufit, F. (2024). Pengembangan media pembelajaran fisika berbasis web Google Sites dengan pendekatan multirepresentasi untuk mengukur kemampuan penguasaan konsep fisika. *Jurnal Kajian Ilmu Pendidikan (JKIP), 5(*3), 750–765. https://doi.org/10.55583/jkip.v5i3.1097

Kashyap, J. S., & Singh, C. (2024). Students' sensemaking using pictorial analysis game in upper-level electrostatics. *2024 PERC Proceedings*. https://doi.org/10.1119/perc.2024.pr.Kashyap

Kashyap, J. S., & Singh, C. (2025). Case study examining graduate student sensemaking using the epistemic game framework for Laplace's equation in upper-level electrostatics. P*hysical Review Physics Education Research*. https://doi.org/10.1103/4b9y-j71m

Kohl, P. B., & Finkelstein, N. D. (2006). Effects of representation on students solving physics problems: A fine-grained characterization. *Physical Review Special Topics – Physics Education Research, 2*(1), 010106. https://doi.org/10.1103/PhysRevSTPER.2.010106

Kuo, E., Hull, M. M., Gupta, A., & Elby, A. (2013). How students blend conceptual and formal mathematical reasoning in solving physics problems. *Science Education, 97*(1), 32–57. https://doi.org/10.1002/sce.21043

Lenaini, I. (2021). Teknik pengambilan sampel purposive dan snowball sampling. *Historis: Jurnal Kajian, Penelitian dan Pengembangan Pendidikan Sejarah, 6*(1). https://doi.org/10.31764/historis.v6i1.4075

Lincoln, Y. S., & Guba, E. G. (1985). Naturalistic inquiry. Sage Publications.

Luedo, M., & Supeno, M. (2021). Kemampuan interpretasi grafik siswa sekolah swasta di Thailand Selatan pada materi kinematika gerak dalam pembelajaran fisika. *Jurnal Penelitian Pendidikan Fisika, 6*(2), 132–136. https://doi.org/10.36709/jipfi.v6i2.16409

Miles, M. B., & Huberman, A. M. (1994). Qualitative data analysis: An expanded sourcebook (2nd ed.). Sage Publications.

Nurhasanah, N., Sutrio, S., Makhrus, M., & Susilawati, S. (2023). Pengaruh penggunaan laboratorium virtual berbasis web terhadap kemampuan pemecahan masalah fisika peserta didik pada materi gelombang bunyi. *Kappa Journal, 7*(3), 422–427. https://doi.org/10.29408/kpj.v7i3.23080

Nurrohmah, S., & Rahayu, R. (2022). Pengaruh pergerakan sumber bunyi terhadap frekuensi yang diterima pendengar dengan aplikasi smartphone. *VEKTOR: Jurnal Pendidikan IPA, 3*(2), 49–56. https://doi.org/10.35719/vektor.v3i2.49

Redish, E. F., & Kuo, E. (2015). Language of physics, language of math: Disciplinary culture and dynamic epistemology. *Science & Education, 24*(5–6), 561–590. https://doi.org/10.1007/s11191-015-9749-7

Sari, D. I., Sirait, J., & Habellia, R. C. (2023). Analisis kemampuan representasi gerak lurus peserta didik SMA di Kota Pontianak. *Jurnal Pendidikan Informatika dan Sains, 12*(1), 23–33. https://doi.org/10.31571/saintek.v12i1.5606

Sirait, J. (2023). Analisis kemampuan siswa dalam menyelesaikan tes kompetensi representasi gerak lurus beraturan (TKR-GLB). *Jurnal Pendidikan Informatika dan Sains, 12*(1), 12–22. https://doi.org/10.31571/saintek.v12i2.7260

Sirait, J., Firdaus, F., Hidayatullah, M. M. S., & Habellia, R. C. (2023). Development and validation of force test to assess physics education students' representational competence. *Jurnal Pendidikan Sains Indonesia, 11*(2), 306–317. https://doi.org/10.24815/jpsi.v11i2.28178

Theasy, Y., Wiyanto, & Sujarwata. (2018). Multi-representation ability of students on the problem solving physics. *Journal of Physics: Conference Series, 983*(1), 012005. https://doi.org/10.1088/1742-6596/983/1/012005

Tuminaro, J., & Redish, E. F. (2007). Elements of a cognitive model of physics problem solving: Epistemic games. *Physical Review Special Topics – Physics Education Research, 3*(2), 020101. https://doi.org/10.1103/PhysRevSTPER.3.020101

Umar, D., Rende, J., & Mongan, S. (2024). Analisis kesulitan siswa dalam menyelesaikan soal fisika pada materi Hukum Archimedes berdasarkan model Polya di SMA. *SOSCIED, 7*(2), 509–519. https://doi.org/10.32531/jsoscied.v7i2.849