

Analisis Capaian Fisika Dasar Mahasiswa Teknik Geologi: Perspektif Beban Kognitif, Penalaran Spasial, dan Gender dalam Pembelajaran Geosains

I Made Hermanto^{1*}, Moch. Rio Pambudi², Ni Luh Sri Maharani³

¹Program Studi Pendidikan Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Negeri Gorontalo

²Program Studi Pendidikan Geografi, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Negeri Gorontalo

³Program Studi Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Gadjah Mada

*Email Koresponden: imadehermanto@ung.ac.id

Diterima: 7-11-2025

Disetujui: 5-12-2025

Publish: 9-12-2025

Abstrak Fisika Dasar merupakan fondasi penting dalam pendidikan Teknik Geologi karena mendukung pemodelan fenomena kebumihan yang bersifat dinamis dan multidimensional. Namun, mata kuliah ini sering dianggap menantang akibat tuntutan integrasi konseptual, matematis, dan representasional yang kompleks. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pola capaian akademik mahasiswa Teknik Geologi pada mata kuliah Fisika Dasar serta mengeksplorasi perbedaan capaian berdasarkan gender. Penelitian menggunakan desain deskriptif kuantitatif dengan pendekatan komparatif eksploratif terhadap 24 mahasiswa yang mengikuti perkuliahan pada semester ganjil tahun akademik 2025/2026. Data diperoleh dari nilai Ujian Tengah Semester yang mencakup topik besaran dan pengukuran, kinematika gerak, dinamika gerak, serta usaha dan energi. Analisis deskriptif menunjukkan capaian rata-rata berada pada kategori sedang (63,1%) dengan variasi performa yang cukup besar. Topik Dinamika Gerak serta Usaha dan Energi memiliki tingkat kesulitan relatif lebih tinggi dibandingkan topik besaran, satuan, dan pengukuran. Temuan ini berkaitan dengan tingginya intrinsic cognitive load dan tuntutan spatial reasoning pada kedua topik tersebut. Analisis komparatif menunjukkan adanya perbedaan signifikan berdasarkan gender ($p < 0,05$) dengan effect size besar, meskipun temuan ini bersifat eksploratif dan kontekstual. Hasil penelitian menegaskan pentingnya penguatan scaffolding representasional, integrasi konseptual energi, serta pelatihan kemampuan spasial dalam desain kurikulum Fisika Dasar untuk mendukung kebutuhan kognitif khas pendidikan geosains.

Kata kunci: Fisika Dasar, Teknik Geologi, Cognitive Load, Spatial Reasoning, Gender

Abstract Introductory Physics plays a fundamental role in Geological Engineering education, as it supports the modeling of dynamic and multidimensional Earth system phenomena. Nevertheless, the course is often perceived as challenging due to the complex integration of conceptual understanding, mathematical reasoning, and multiple representations. This study aims to analyze patterns of academic achievement in Introductory Physics among Geological Engineering students and to explore potential gender-based differences. A descriptive quantitative design with an exploratory comparative approach was employed involving 24 students enrolled in the 2025/2026 academic year. Data were derived from Midterm Examination scores covering quantities and measurement, kinematics, dynamics, and work–energy. Descriptive analysis revealed a moderate level of overall achievement (63.1%) with substantial variability across students. Dynamics and Work–Energy emerged as the most challenging topics compared to quantities and measurement. These findings are associated with high intrinsic cognitive load and substantial spatial reasoning demands required in these domains. Comparative analysis indicated a statistically significant gender difference ($p < 0.05$) with a large effect size, although the finding remains context-specific. The results underscore the need for strengthened representational scaffolding, improved conceptual integration of energy principles, and explicit spatial reasoning support in Introductory Physics curricula for geoscience education.

Keywords: Introductory Physics, Geological Engineering, Cognitive Load, Spatial Reasoning, Gender

1. PENDAHULUAN

Fisika merupakan salah satu cabang ilmu sains yang menjadi dasar dalam memahami sistem kebumihan dan proses geologi. Prinsip-prinsip mekanika, dinamika, energi, dan pengukuran menjadi pengetahuan fundamental untuk dapat melakukan analisis fenomena kebumihan seperti kestabilan lereng, propagasi gelombang seismik, mekanika batuan, dinamika fluida bawah permukaan, hingga sistem energi panas bumi. Pendidikan geosains menegaskan bahwa pemodelan proses bumi pada dasarnya bergantung pada penerapan hukum-hukum fisika, khususnya mekanika dan energi (Degen et al., 2023). Oleh karena itu, pemahaman terhadap konsep-konsep fundamental dalam fisika menjadi penting bagi mahasiswa teknik geologi untuk dapat memahami mata kuliah lanjutan dan melakukan kegiatan praktik profesional dengan baik.

Meskipun demikian, fisika dasar secara konsisten dianggap sebagai salah satu mata kuliah yang menantang bagi mahasiswa program sains dan teknik. Penelitian dalam pendidikan fisika menunjukkan bahwa mahasiswa sering mengalami kesulitan dalam memahami konsep mekanika, terutama pada topik kinematika dan dinamika yang menuntut integrasi antara pemahaman konseptual, representasi matematis, dan penalaran kuantitatif (Nasution et al., 2025; Taqwa et al., 2020). Materi yang abstrak serta kebutuhan untuk mengoordinasikan berbagai representasi (verbal, diagram, dan simbol) menyebabkan fisika menjadi lebih sulit untuk dipahami fisika (Aisyah & Sudarti, 2021; Bouchée et al., 2022; Suseno, 2014). Studi pendidikan fisika di Indonesia juga melaporkan bahwa mahasiswa sering mengalami miskonsepsi pada konsep gaya dan energi akibat lemahnya integrasi pemahaman konseptual dan procedural (Maison et al., 2020; Munfaridah et al., 2021; Wati, 2024). Ketika pemahaman konseptual awal tidak terbentuk secara kuat, maka berpotensi menimbulkan kesulitan dan memengaruhi capaian akademik pada mata kuliah lanjutan yang memerlukan transfer konsep fisika ke konteks bidang studi lanjutan.

Peran fisika dalam pendidikan teknik geologi menjadi semakin kompleks karena mahasiswa tidak hanya dituntut memahami konsep secara abstrak, tetapi juga mentransfernya ke dalam konteks sistem bumi yang bersifat dinamis dan multidimensional. Penerapan konsep gaya, energi, dan gerak dalam fenomena seperti pergerakan tanah, proses tektonik, dan analisis kebencanaan memerlukan kemampuan berpikir spasial dan sistemik yang kuat (McLaughlin & Bailey, 2023; McNeal & Petcovic, 2020). Spatial reasoning telah diidentifikasi sebagai prediktor penting keberhasilan dalam STEM dan geosains, karena mahasiswa harus mampu memvisualisasikan interaksi gaya, perubahan posisi, serta transformasi energi dalam sistem kompleks (DeSutter & Stieff, 2017; McNeal & Petcovic, 2020; Uttal & Cohen, 2012). Namun demikian, kajian empiris yang secara khusus menganalisis capaian pembelajaran fisika pada mahasiswa teknik geologi masih relatif terbatas. Sebagian besar penelitian sebelumnya berfokus pada mahasiswa teknik atau sains secara umum, sehingga belum memberikan gambaran spesifik mengenai pola capaian dan tantangan belajar pada program studi berbasis kebumiharian.

Selain tantangan konseptual dan spasial, isu kesenjangan gender dalam bidang STEM juga menjadi perhatian penting dalam literatur pendidikan tinggi. Meskipun partisipasi perempuan dalam pendidikan teknik dan sains menunjukkan tren peningkatan secara global, sejumlah studi masih melaporkan adanya perbedaan performa akademik, self-efficacy, dan pengalaman belajar dalam pembelajaran fisika (Cwik & Singh, 2022; Dew et al., 2021). Faktor-faktor seperti latar belakang akademik, persepsi terhadap kesulitan fisika, status sosial, serta perbedaan dalam strategi regulasi diri dapat berkontribusi terhadap variasi capaian antara mahasiswa laki-laki dan perempuan (Burkholder & Salehi, 2022). Di Indonesia, beberapa penelitian juga menunjukkan bahwa faktor afektif dan motivasi berperan dalam membentuk perbedaan capaian berbasis gender pada pembelajaran sains (Setyowati et al., 2022; Syafaruddin et al., 2022). Untuk program teknik geologi yang relatif memiliki distribusi gender lebih seimbang dibandingkan beberapa bidang teknik lainnya, analisis capaian berbasis gender dapat memberikan wawasan eksploratif mengenai dinamika pembelajaran fisika dalam konteks interdisipliner.

Pentingnya fisika sebagai fondasi dalam pendidikan teknik geologi serta keterbatasan penelitian yang secara spesifik mengkaji capaian mahasiswa, diperlukan analisis deskriptif yang mampu mengidentifikasi pola capaian berdasarkan topik pembelajaran. Pemahaman mengenai topik mana yang paling menantang dapat menjadi dasar untuk perbaikan kurikulum, penyelarasan pembelajaran lintas mata kuliah, serta pengembangan strategi dukungan akademik yang lebih tepat sasaran. Selain itu, eksplorasi perbedaan capaian berdasarkan gender dapat berkontribusi dalam gagasan kesetaraan dan efektivitas pembelajaran STEM. Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pola capaian akademik pada mata kuliah Fisika Dasar mahasiswa teknik geologi berdasarkan data UTS. Secara khusus, penelitian ini bertujuan untuk (1) mengidentifikasi tantangan belajar pada masing-masing topik fisika dasar, meliputi besaran dan pengukuran, kinematika gerak, dinamika gerak, serta usaha dan energi dan (2) mengeksplorasi perbedaan capaian akademik berdasarkan gender. Melalui pendekatan deskriptif dan komparatif, penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi empiris pada kajian pendidikan fisika dalam konteks pendidikan kebumiharian serta menjadi dasar pertimbangan dalam penguatan desain pembelajaran interdisipliner.

2. METODE PENELITIAN

2.1. Desain Penelitian

Penelitian ini menggunakan desain deskriptif kuantitatif dengan pendekatan komparatif eksploratif. Desain ini dipilih untuk mengidentifikasi pola capaian akademik mahasiswa pada mata kuliah Fisika Dasar serta mengeksplorasi kemungkinan perbedaan capaian berdasarkan gender. Penelitian tidak melibatkan intervensi perlakuan tertentu, melainkan menganalisis data hasil belajar yang telah diperoleh mahasiswa.

2.2. Partisipan

Partisipan penelitian berjumlah 24 mahasiswa Program Studi Teknik Geologi FMIPA Universitas Negeri Gorontalo yang mengikuti mata kuliah Fisika Dasar pada semester ganjil tahun akademik 2025/2026. Distribusi gender terdiri atas Laki-laki sebanyak 11 mahasiswa dan Perempuan sebanyak 13 mahasiswa. Seluruh partisipan merupakan mahasiswa aktif yang mengikuti pembelajaran dan evaluasi secara penuh. Karena jumlah populasi dalam kelas relatif kecil, seluruh mahasiswa dijadikan sampel penelitian (total sampling).

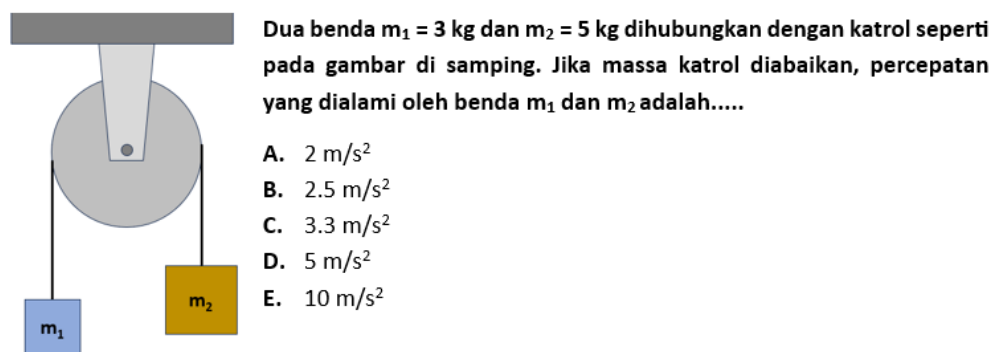
2.3. Instrumen dan Sumber Data

Data penelitian diperoleh dari nilai Ujian Tengah Semester (UTS) mata kuliah Fisika Dasar. Ujian tersebut dirancang untuk mengukur penguasaan konsep pada empat topik utama, yaitu besaran, satuan, dimensi, dan pengukuran, kinematika gerak, dinamika gerak, dan usaha dan energi.

Tabel 1. Distribusi jumlah butir soal untuk setiap topik

Topik	Jumlah Soal
Besaran, satuan, dimensi, dan pengukuran	8
Kinematika gerak	12
Dinamika gerak	8
Usaha dan energi	7
Jumlah	35

Tes fisika dasar yang digunakan berjumlah 35 butir soal dalam bentuk pilihan ganda yang telah diklasifikasikan berdasarkan topik pembelajaran. Skor yang diperoleh mahasiswa kemudian dipetakan sesuai kategori topik untuk analisis capaian per topik.



Gambar 1. Salah satu butir soal untuk topik dinamika gerak

2.4. Prosedur Pengumpulan Data

Data nilai UTS dikumpulkan setelah proses penilaian selesai dan hasil akhir diumumkan. Selanjutnya dilakukan pengelompokan skor berdasarkan empat topik fisika, pengkodean data berdasarkan gender, pemeriksaan kelengkapan dan konsistensi data sebelum analisis statistik, dan identitas mahasiswa dianonimkan untuk menjaga kerahasiaan.

2.5. Teknik Analisis Data

Untuk mengidentifikasi pola capaian akademik secara umum dan per topik, dilakukan perhitungan yang meliputi, nilai rata-rata (mean), standar deviasi (SD), nilai minimum dan nilai maksimum. Selain itu,

dilakukan pemeringkatan topik berdasarkan rata-rata skor untuk mengidentifikasi topik dengan tingkat kesulitan relatif lebih tinggi.

Untuk mengeksplorasi perbedaan capaian berdasarkan gender, dilakukan Uji normalitas (Shapiro–Wilk), Jika data berdistribusi normal maka dilanjutkan Independent Samples t-test dan Jika tidak normal maka akan dilanjutkan dengan Mann–Whitney U test. Untuk memperkuat interpretasi hasil, dihitung pula effect size (Cohen’s d) untuk mengukur besarnya perbedaan praktis antara kelompok laki-laki dan Perempuan. Karena signifikansi statistik pada sampel kecil dapat dipengaruhi oleh keterbatasan daya uji. Seluruh analisis dilakukan pada tingkat signifikansi $\alpha = 0,05$.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1. Gambaran Umum Capaian Akademik

Analisis deskriptif terhadap skor total Ujian Tengah Semester menunjukkan bahwa capaian akademik mahasiswa Teknik Geologi pada mata kuliah Fisika Dasar berada pada tingkat sedang.

Tabel 2. Statistik deskriptif skor total (N = 24)

N	Mean	SD	Min	Max
24	22.08	5.85	9	30

Rata-rata skor mahasiswa adalah 22,08 dari maksimum 35 ($\approx 63,1\%$). Standar deviasi sebesar 5,85 menunjukkan variasi performa yang cukup besar antarindividu. Rentang skor (9–30) mengindikasikan adanya heterogenitas kemampuan dalam memahami konsep fisika dasar.

3.2. Pola Capaian Berdasarkan Topik

Analisis perbandingan berdasarkan pengelompokan butir soal ke dalam empat topik menunjukkan adanya variasi tingkat penguasaan konsep. Hasil yang diperoleh menunjukan bahwa Besaran, Satuan, Dimensi, dan Pengukuran menunjukkan tingkat keberhasilan relatif lebih tinggi. Kinematika Gerak memperlihatkan penurunan capaian pada soal berbasis interpretasi grafik dan analisis numerik. Dinamika Gerak menunjukkan tingkat kesulitan yang lebih tinggi dibandingkan pengukuran dan kinematika. Usaha dan Energi termasuk dalam kelompok topik dengan performa relatif lebih rendah, khususnya pada soal terkait dengan hukum kekekalan energi mekanik. Hasil ini menunjukkan bahwa topik prosedural dasar lebih mudah dikuasai dibandingkan topik yang menuntut integrasi konseptual dan matematis.

3.3. Analisis Tingkat Kesulitan Butir Soal

Analisis tingkat kesulitan dilakukan berdasarkan jumlah mahasiswa yang menjawab benar pada setiap butir soal. Butir soal dengan tingkat keberhasilan tinggi (≥ 20 mahasiswa menjawab benar) dikategorikan sebagai tingkat kesulitan rendah. Sebaliknya, butir yang dijawab benar oleh ≤ 10 mahasiswa dikategorikan sebagai tingkat kesulitan tinggi. Hasil menunjukkan bahwa soal dengan tingkat kesulitan tinggi sebagian besar berasal dari topik Dinamika Gerak dan Usaha–Energi. Sedangkan soal dari topik Pengukuran cenderung memiliki tingkat keberhasilan lebih tinggi. Temuan ini memperkuat bahwa area mekanika lanjutan menjadi sumber tantangan utama dalam pembelajaran.

3.4. Perbedaan Capaian Berdasarkan Gender

Perbandingan capaian berdasarkan gender menunjukkan adanya perbedaan rata-rata skor antara mahasiswa laki-laki dan perempuan.

Tabel 3. Statistik deskriptif berdasarkan gender

Gender	N	Mean	SD	Min	Max
Perempuan	13	19.38	6.60	9	30
Laki-laki	11	25.27	2.41	21	30

Mahasiswa laki-laki memperoleh rata-rata skor lebih tinggi ($M = 25,27$) dibandingkan mahasiswa perempuan ($M = 19,38$). Selain itu, variasi skor perempuan lebih besar ($SD = 6,60$), sedangkan skor laki-laki relatif lebih homogen ($SD = 2,41$).

3.5. Uji Perbedaan Rata-rata dan Effect Size

Uji normalitas Shapiro–Wilk menunjukkan bahwa distribusi skor pada kedua kelompok memenuhi asumsi normalitas ($p > 0,05$).

Tabel 4. Normality Test (Shapiro–Wilk)

Group	p-value
Laki-laki	0.761
Perempuan	0.884

Karena asumsi terpenuhi, dilakukan independent samples t-test (Welch correction).

Tabel 5. Independent t-test dan Effect Size

t-value	p-value	Cohen's d
2.99	0.0089	1.18

Hasil uji menunjukkan terdapat perbedaan yang signifikan secara statistik ($p = 0.0089 < 0.05$). Nilai Cohen's d di atas 0.8 mengindikasikan perbedaan praktis yang besar antara kedua kelompok. Dengan demikian, hasil ini menunjukkan terdapat perbedaan performa berbasis gender yang signifikan secara statistik.

Studi ini memberikan gambaran empiris mengenai pola capaian Fisika Dasar pada mahasiswa Teknik Geologi berbasis data UTS. Secara keseluruhan, capaian rata-rata berada pada tingkat sedang, dengan variasi skor yang cukup besar antarmahasiswa. Pada level topik, tantangan pembelajaran tampak lebih kuat pada Dinamika Gerak serta Usaha dan Energi, sementara topik besaran, satuan dan pengukuran cenderung lebih dikuasai. Selain itu, analisis gender menunjukkan adanya perbedaan capaian yang signifikan secara statistik, dengan effect size besar.

1) *Topik Dinamika Gerak dan Usaha–Energi Lebih Sulit*

Temuan bahwa Dinamika Gerak dan Usaha–Energi lebih sulit konsisten dengan karakteristik kognitif kedua topik tersebut: keduanya menuntut integrasi lintas-representasi dan penalaran relasional yang lebih kompleks dibanding pengukuran atau konversi satuan. Topik dinamika tidak berhenti pada mengingat Hukum Newton, melainkan memerlukan kemampuan membangun model system, yaitu mengidentifikasi gaya yang bekerja, menentukan arah vektor, menyusun free-body diagram, kemudian memetakan hasilnya ke persamaan matematis. Kerumitan ini sejalan dengan riset penilaian diagnostik di mekanika yang menunjukkan bahwa keterampilan lintas-konten seperti aplikasi vektor, relasi konseptual, aljabar, dan visualisasi merupakan satu kesatuan keterampilan inti yang menentukan keberhasilan pada pendahuluan mekanika (Le et al., 2025a). Dari perspektif pendidikan fisika, kesulitan pada dinamika sering muncul karena mahasiswa harus mengkoordinasikan beberapa informasi sekaligus (arah gaya, resultan, percepatan, gaya berat/gesek/normal/tegangan, dan keadaan sistem). Ketika koordinasi ini belum menjadi skema yang stabil, mahasiswa cenderung melakukan kesalahan sistematis, misalnya salah menentukan gaya yang tepat, salah arah vektor, atau salah memetakan kondisi fisis ke persamaan.

Topik usaha–energi menuntut kemampuan yang berbeda namun sama kompleksnya, yaitu mahasiswa harus memahami hubungan antara kerja gaya, perubahan energi kinetik, energi potensial, dan prinsip konservasi energi, sering kali membutuhkan banyak tahapan dalam memecahkan masalah. Literatur terbaru menegaskan bahwa kesulitan pada usaha dan energi mekanik masih sulit untuk diatasi, terutama pada konsep-konsep terkait teorema usaha–energi, energi potensial, dan konservasi energi mekanik (Tong et al., 2025). Pada konteks mahasiswa Teknik Geologi, tantangan terkait dengan konsep energi juga dapat meningkat karena banyak fenomena kebumihian (misalnya proses longsor, energi potensial gravitasi, atau kerja gaya gesek) bersifat multi-variabel dan memerlukan pemodelan sistem secara abstrak. Tanpa memiliki pemahaman dasar yang memadai, mahasiswa dapat memahami rumus secara prosedural tetapi bisa gagal dalam membangun pemahaman relasional kapan dan mengapa suatu prinsip energi digunakan.

2) *Penjelasan dengan Cognitive Load Theory*

Perbedaan kesulitan antar topik pada hasil penelitian ini sesuai jika ditinjau melalui Cognitive Load Theory (CLT). Pembelajaran efektif terjadi ketika tuntutan pemrosesan tidak melampaui kapasitas memori kerja dari penerima informasi. Topik dinamika dan energi memiliki intrinsic cognitive load yang tinggi karena banyak elemen konsep yang saling berinteraksi. Review terbaru tentang CLT menekankan bahwa kompleksitas materi (intrinsic load), ditambah desain penyajian yang kurang efisien (extraneous load), dapat menurunkan hasil belajar (Ouwehand et al., 2025). Dalam dinamika, beban intrinsik muncul dari kebutuhan memproses banyak variable secara simultan, gaya sebagai vektor, relasi resultan–percepatan, dan keadaan sistem. Dalam usaha–energi, beban intrinsik muncul dari pemetaan kerja gaya terhadap perubahan energi (sering memerlukan banyak langkah), serta pemilihan prinsip (teorema usaha–energi atau hukum kekekalan energi) sesuai konteks.

Di sisi lain, extraneous load berpotensi meningkat ketika soal ujian menampilkan informasi yang padat tanpa dukungan representasi, atau ketika mahasiswa harus “menemukan sendiri” diagram sistem dari deskripsi verbal. Penelitian tentang representasi jamak menunjukkan bahwa desain multi-representasi dapat memengaruhi beban kognitif yang dirasakan serta kinerja, sehingga rancangan tugas yang membantu koordinasi representasi dapat mengurangi beban yang tidak relevan dan mendukung pemahaman (Hahn & Klein, 2023). Dengan demikian, hasil belajar yang lebih rendah pada topik dinamika dan usaha-energi dalam penelitian ini dapat dipahami sebagai hasil kombinasi antara intrinsic load tinggi dan terdapat potensi extraneous load dalam bentuk soal yang menuntut koordinasi representasi.

3) *Tuntutan Spatial Reasoning dan Relevansinya untuk Teknik Geologi*

Satu kontribusi penting dalam penelitian ini adalah konteks mahasiswa Teknik Geologi berhadapan dengan disiplin yang kuat secara spasial dan sistemik. Kesulitan pada dinamika dan energi sangat terkait dengan spatial reasoning, karena mahasiswa harus memvisualisasikan arah dan interaksi gaya, lintasan gerak, serta perubahan posisi/konfigurasi yang memengaruhi energi. Literatur pendidikan menekankan bahwa spatial thinking merupakan kemampuan khusus yang mendukung penalaran menggunakan alat simbolik seperti diagram, grafik, dan representasi dua atau tiga dimensi yang sangat dominan dalam STEM dan geosains (Ishikawa & Newcombe, 2021). Selain itu, tinjauan sistematis pada geoscience education menunjukkan bahwa mahasiswa sering membutuhkan latihan eksplisit spatial thinking, namun intervensi spatial belum selalu menjadi bagian sistematis dalam pengajaran (McLaughlin & Bailey, 2023).

Dinamika (melalui diagram gaya atau vektor) dan usaha-energi (melalui pemodelan perubahan posisi atau konfigurasi sistem) merupakan topik yang membutuhkan spatial reasoning lebih tinggi dibanding besaran, satuan, dan pengukuran. Studi di geoscience juga menunjukkan bahwa pelatihan spasial dapat diujikan efektivitasnya pada konteks pembelajaran pengantar dan menjadi strategi dukungan yang realistis untuk meningkatkan kompetensi yang relevan bagi geoscientists (Klyce & Ryker, 2024). Tantangan pada penguasaan topik dinamika dan usaha-energi pada konteks mahasiswa Teknik Geologi tidak hanya mencerminkan “kesulitan fisika umum”, tetapi juga menandai kebutuhan pedagogis spesifik, yaitu keterampilan spasial dan pemodelan sistem yang menjadi fondasi geosains.

4) *Interpretasi Pola Gender*

Hasil penelitian menunjukkan perbedaan rata-rata skor total berbasis gender dengan effect size besar. Namun dalam penelitian ini menggunakan ukuran sampel yang relatif kecil ($N = 24$), sehingga hasil ini ditafsirkan dengan sangat hati-hati sesuai konteks dalam penelitian ini dan tidak digeneralisasikan secara luas. Beberapa studi melaporkan adanya gap, sementara studi lain menunjukkan gap bergantung pada konteks, jenis asesmen, latar belakang akademik, dan desain perkuliahan. Studi besar mengenai perbedaan performa berbasis gender pada ujian/grade di fisika dasar menunjukkan bahwa pola gendered performance dapat muncul pada ujian, namun temuan antar studi sering tidak konsisten dan dipengaruhi banyak faktor, seperti persiapan awal dan faktor program studi (Dew et al., 2021). Penelitian lain juga menegaskan pentingnya faktor motivasi, khususnya self-efficacy untuk fisika dasar, dan menekankan peran pengajar untuk memberi perhatian pada peningkatan self-efficacy kelompok, karena dapat memengaruhi keterlibatan dalam pembelajaran (Cwik & Singh, 2022). Selain itu, bukti tentang gender gap

sering menunjukkan bahwa sebagian disparitas dapat muncul bahkan sebelum instruksi (pre-instruction), terkait perbedaan persiapan atau pengalaman belajar sebelumnya (Burkholder & Salehi, 2022).

Studi kasus terbaru pada pendahuluan fisika juga menyoroti bahwa faktor seperti motivasi, dan lingkungan belajar dapat berkorelasi dengan performa akademik dan berpotensi berpengaruh terhadap gender (Martínez-Huerta et al., 2024). Temuan gender gap pada penelitian ini merupakan indikasi pola lokal yang membutuhkan verifikasi lebih lanjut, bukan kesimpulan general tentang gender. Namun, pola ini tetap memberikan petunjuk untuk evaluasi pedagogis terkait dengan strategi pembelajaran, latihan, dan dukungan akademik dapat memberi akses yang setara untuk membangun pemahaman yang mendalam.

5) *Implikasi Kurikulum dan Pembelajaran*

Temuan dalam penelitian ini dapat diterjemahkan menjadi beberapa implikasi kurikulum yang konkret, terutama untuk program berbasis kebumihantikan yang membutuhkan fisika sebagai fondasi pemodelan.

(a) *Membangun multi-representasi untuk topik dinamika*

Karena dinamika sangat bergantung pada integrasi vektor–diagram–persamaan, kurikulum perlu menempatkan latihan diagram gaya (free-body diagram) dan interpretasi vektor sebagai kompetensi eksplisit, bukan hanya sebagai alat bantu opsional. Temuan tentang pengantar mekanika menekankan pentingnya keterampilan lintas-konten seperti vektor, visualisasi, dan relasi konseptual (Le et al., 2025b). Desain pembelajaran dapat menambahkan contoh soal, latihan bertahap, dan soal yang menampilkan representasi yang konsisten untuk menurunkan extraneous load.

(b) *Penekanan integrasi pengetahuan pada topik usaha-energi*

Untuk usaha–energi, strategi efektif dapat berfokus pada membuat hubungan antar pengetahuan, yaitu kapan memakai teorema usaha–energi, kapan memakai hukum kekekalan energi, bagaimana memodelkan sistem, dan bagaimana mengaitkan kerja oleh gaya nonkonservatif. Literatur menunjukkan bahwa kesulitan integrasi konsep energi bersifat persisten dan intervensi berbasis pembelajaran kooperatif/konseptual dapat menargetkan integrasi pengetahuan tersebut (Tong et al., 2025).

(c) *Intervensi spatial reasoning yang relevan dengan geosains*

Karena geoscience sangat bertumpu pada kemampuan spasial, suatu program dapat mempertimbangkan integrasi pelatihan spasial dalam mata kuliah awal (fisika, matematika teknik, atau pengantar geosains). Tinjauan geoscience education menunjukkan kebutuhan praktik lebih besar untuk spatial thinking di kelas (McLaughlin & Bailey, 2023). Studi lain menunjukkan pelatihan spasial dapat dievaluasi efektivitasnya untuk mata kuliah-mata kuliah pengantar (Klyce & Ryker, 2024).

Secara keseluruhan, hasil penelitian ini menunjukkan bahwa tantangan utama mahasiswa Teknik Geologi dalam Fisika Dasar cenderung terkonsentrasi pada topik yang memiliki intrinsic cognitive load tinggi, memerlukan koordinasi multi-representasi, dan menuntut spatial reasoning yang kuat (dinamika serta usaha–energi). Perbedaan capaian berbasis gender pada penelitian ini signifikan secara statistik dan besar secara praktis, namun perlu ditafsirkan hati-hati sebagai pola lokal yang kemungkinan dipengaruhi faktor persiapan awal, motivasi, dan self-efficacy. Temuan ini mengarah pada rekomendasi kurikulum, yaitu memperkuat scaffolding representasional pada dinamika, menekankan integrasi konsep pada energi, serta mengintegrasikan pelatihan spasial yang selaras dengan kebutuhan geosains.

4. KESIMPULAN

Penelitian ini mengidentifikasi pola capaian akademik mahasiswa Teknik Geologi pada mata kuliah Fisika Dasar melalui analisis deskriptif dan komparatif berbasis data Ujian Tengah Semester. Secara umum, capaian mahasiswa berada pada tingkat sedang dengan variasi performa yang cukup besar. Analisis topik menunjukkan bahwa Dinamika Gerak serta Usaha dan Energi merupakan topik dengan tingkat kesulitan relatif lebih tinggi dibandingkan topik pengukuran dan besaran dasar. Temuan ini dapat dijelaskan melalui kompleksitas konseptual dan tuntutan integrasi multi-representasi pada kedua topik tersebut, yang berimplikasi pada tingginya beban kognitif intrinsik serta kebutuhan spatial reasoning yang kuat. Dalam konteks pendidikan Teknik Geologi, tantangan ini menjadi signifikan karena kompetensi spasial dan pemodelan sistem merupakan fondasi bagi pembelajaran geosains lanjutan.

Analisis berbasis gender menunjukkan adanya perbedaan capaian yang signifikan secara statistik dengan effect size besar pada cohort ini. Namun, temuan tersebut perlu ditafsirkan secara hati-hati sebagai pola lokal yang bersifat eksploratif, bukan generalisasi universal. Secara keseluruhan, hasil penelitian ini menegaskan pentingnya penyesuaian kurikulum fisika dasar dengan kebutuhan kognitif dan spasial khas untuk disiplin ilmu geologi.

5. REFERENSI

- Aisyah, O. N., & Sudarti, S. (2021). Analisis kemampuan multirepresentasi verbal dan gambar pada mahasiswa pendidikan fisika dalam memahami konsep reaksi inti matahari. *Silampari Jurnal Pendidikan Ilmu Fisika*, 3(1), 29–38. <https://doi.org/https://doi.org/10.31540/sjipif.v3i1.1136>
- Bouchée, T., de Putter - Smits, L., Thurlings, M., & Pepin, B. (2022). Towards a better understanding of conceptual difficulties in introductory quantum physics courses. *Studies in Science Education*, 58(2), 183–202. <https://doi.org/10.1080/03057267.2021.1963579>
- Burkholder, E., & Salehi, S. (2022). Exploring the pre-instruction gender gap in physics. *Plos One*, 17(7), e0271184.
- Cwik, S., & Singh, C. (2022). Gender differences in students' self-efficacy in introductory physics courses in which women outnumber men predict their grade. *Physical Review Physics Education Research*, 18(2), 20142. <https://doi.org/10.1103/PhysRevPhysEducRes.18.020142>
- Degen, D., Caviedes Voullième, D., Buiters, S., Hendricks Franssen, H.-J., Vereecken, H., González-Nicolás, A., & Wellmann, F. (2023). Perspectives of physics-based machine learning strategies for geoscientific applications governed by partial differential equations. *Geoscientific Model Development*, 16(24), 7375–7409. <https://doi.org/10.5194/gmd-16-7375-2023>
- DeSutter, D., & Stieff, M. (2017). Teaching students to think spatially through embodied actions: Design principles for learning environments in science, technology, engineering, and mathematics. *Cognitive Research: Principles and Implications*, 2(1), 22. <https://doi.org/10.1186/s41235-016-0039-y>
- Dew, M., Perry, J., Ford, L., Bassichis, W., & Erukhimova, T. (2021). Gendered performance differences in introductory physics: A study from a large land-grant university. *Physical Review Physics Education Research*, 17(1), 10106. <https://doi.org/10.1103/PhysRevPhysEducRes.17.010106>
- Hahn, L., & Klein, P. (2023). The impact of multiple representations on students' understanding of vector field concepts: Implementation of simulations and sketching activities into lecture-based recitations in undergraduate physics. *Frontiers in Psychology*, 13, 1012787. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2022.1012787>
- Ishikawa, T., & Newcombe, N. S. (2021). Why spatial is special in education, learning, and everyday activities. *Cognitive Research: Principles and Implications*, 6(1), 20. <https://doi.org/10.1186/s41235-021-00274-5>
- Klyce, A., & Ryker, K. (2024). Evaluating the effectiveness of spatial training for introductory geology students. *Geosphere*, 20(2), 350–366. <https://doi.org/10.1130/GES02663.1>
- Le, V., Nissen, J. M., Tang, X., Zhang, Y., Mehrabi, A., Morphew, J. W., Chang, H. H., & Van Dusen, B. (2025a). Applying cognitive diagnostic models to mechanics concept inventories. *Physical Review Physics Education Research*, 21(1), 10103. <https://doi.org/10.1103/PhysRevPhysEducRes.21.010103>
- Le, V., Nissen, J. M., Tang, X., Zhang, Y., Mehrabi, A., Morphew, J. W., Chang, H. H., & Van Dusen, B. (2025b). Applying cognitive diagnostic models to mechanics concept inventories. *Physical Review Physics Education Research*, 21(1), 10103. <https://doi.org/10.1103/PhysRevPhysEducRes.21.010103>
- Maison, M., Lestari, N., & Widaningtyas, A. (2020). Identifikasi miskonsepsi siswa pada materi usaha dan energi. *Jurnal Penelitian Pendidikan IPA*, 6(1), 32–39. <https://doi.org/https://doi.org/10.29303/jppipa.v6i1.314>
- Martínez-Huerta, H., Chavarría-Garza, W. X., Aquines-Gutiérrez, O., & Santos-Guevara, A. (2024). Exploring the Gender Gap: Motivation, Procrastination, Environment, and Academic Performance in an Introductory Physics Course in a Human-Centered Private University in Northeast Mexico—A Case Study. *Education Sciences*, 14(2). <https://doi.org/10.3390/educsci14020186>
- McLaughlin, J. A., & Bailey, J. M. (2023). Students need more practice with spatial thinking in geoscience education: a systematic review of the literature. *Studies in Science Education*, 59(2), 147–204. <https://doi.org/10.1080/03057267.2022.2029305>

- McNeal, P. M., & Petcovic, H. L. (2020). Spatial thinking and fluid Earth science education research. *Journal of Geoscience Education*, 68(4), 289–301. <https://doi.org/10.1080/10899995.2020.1768007>
- Munfaridah, N., Avraamidou, L., & Goedhart, M. (2021). The use of multiple representations in undergraduate physics education: what do we know and where do we go from here? *Eurasia Journal of Mathematics, Science and Technology Education*, 17(1), em1934. <https://doi.org/https://doi.org/10.29333/ejmste/9577>
- Nasution, A. O., Fany, A., Susilo, A. R. R., Nazha, M. D., & Lubis, A. S. (2025). Tinjauan Pemahaman Konsep Kinematika Dan Dinamika Mahasiswa. *Jurnal Kolaboratif Sains*, 8(7), 4734–4742. <https://doi.org/https://doi.org/10.56338/jks.v8i7.8276>
- Ouwehand, K., Lespiau, F., Tricot, A., & Paas, F. (2025). Cognitive Load Theory: Emerging Trends and Innovations. *Education Sciences*, 15(4). <https://doi.org/10.3390/educsci15040458>
- Setyowati, D., Qadar, R., & Efwinda, S. (2022). Analisis motivasi siswa berdasarkan model ARCS (Attention, Relevance, Confidence, and Satisfaction) dalam pembelajaran fisika berbasis e-learning di SMA se-Samarinda. *Jurnal Literasi Pendidikan Fisika (JLPF)*, 3(2), 116–129. <https://doi.org/https://doi.org/10.30872/jlpf.v3i2.1044>
- Suseno, N. (2014). Pemetaan analogi pada konsep abstrak fisika. *JPF (Jurnal Pendidikan Fisika) FKIP UM Metro*, 2(2). <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.24127/jpf.v2i2.118>
- Syafaruddin, S., Dewi, I. N., & Utami, S. D. (2022). Perbedaan Hasil Belajar Kognitif Siswa Berdasarkan Gender Melalui Penerapan Model Pembelajaran Kooperatif Berbasis Kolaboratif Sainstifik. *Panthera: Jurnal Ilmiah Pendidikan Sains Dan Terapan*, 2(3), 135–141. <https://doi.org/https://doi.org/10.36312/pjipst.v2i3.39>
- Taqwa, M. R. A., Shodiqin, M. I., & Zainuddin, A. (2020). Kesulitan Mahasiswa Dalam Memahami Konsep Gaya Dan Gerak. *LENSA (Lentera Sains): Jurnal Pendidikan IPA*, 10(1), 25–39. <https://doi.org/https://doi.org/10.24929/lensa.v10i1.86>
- Tong, D., Wu, H., Ren, H., Wang, Z., Pan, S., & Bao, L. (2025). Promoting knowledge integration in work and mechanical energy through conceptual framework and cooperative learning instruction. *Physical Review Physics Education Research*, 21(1), 10163. <https://doi.org/10.1103/lj4w-wsqb>
- Uttal, D. H., & Cohen, C. A. (2012). Chapter Four - Spatial Thinking and STEM Education: When, Why, and How? In B. H. Ross (Ed.), *Psychology of Learning and Motivation* (Vol. 57, pp. 147–181). Academic Press. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/B978-0-12-394293-7.00004-2>
- Wati, W. (2024). Pemetaan Miskonsepsi Mahasiswa Fisika pada Konsep Energi, Kinematika, dan Listrik Statis dengan Tes Disnogtik Four-Tier. *JagoMIPA: Jurnal Pendidikan Matematika Dan IPA*, 4(4), 808–820. <https://doi.org/https://doi.org/10.53299/jagomipa.v4i4.984>