p-ISSN: 2963-7856| e-ISSN: 2961-98901
Available online at jerkin.org/index.php/jerkin
Jurnal Pengabdian Masyarakat dan Riset Pendidikan
Volume 5 No. 2 October-December 2026, 4988-4992

Teori Relativitas Khusus: Kajian Deskriptif Fisika terhadap Peningkatan Kompetensi Peserta Didik

Anita Pakpahan[1*], Agustina Sianipar[2], Aldi Hutagaol[3], Enjelika Baringbing[4], Jesayas Sihombing[5], Reynaldi Pakpahan[6], Ladestam Sitinjak[7], Deo Demonta Panggabean[8]

[1-8]Pendidikan Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Negeri Medan, Jl. William Iskandar Ps. V, Kec. Percut Sei Tuan, Kab. Deli Serdang, Sumatera Utara
E-mail: pakpahananita810@gmail.com
* Corresponding Author

https://doi.org/10.31004/jerkin.v5i2.8205

ARTICLE INFO

Article history
Received: 13 Okt 2026
Revised: 21 Okt 2026
Accepted: 02 Nov 2026

Kata Kunci:
relativitas khusus, transformasi Lorentz, kontraksi panjang, dilatasi waktu, massa energi

Keywords:
special relativity, Lorentz transformation, length contraction, time dilation, mass-energy

ABSTRACT

Teori relativitas khusus adalah konsep penting dalam fisika modern yang mengubah pandangan tentang ruang, waktu, gerak, serta hubungan massa dan energi. Artikel ini bertujuan mendeskripsikan konsep-konsep utama relativitas khusus berdasarkan kajian terhadap sepuluh artikel jurnal yang relevan. Metode yang dipakai adalah deskriptif kualitatif dengan membaca, mengidentifikasi, membandingkan, dan mensintesis informasi dari berbagai sumber. Kajian berfokus pada postulat relativitas khusus, transformasi Galileo dan Lorentz, penjumlahan kecepatan, kontraksi panjang, dilatasi waktu, dan kesetaraan massa-energi. Hasilnya menunjukkan bahwa konsep-konsep tersebut berkaitan erat dan bersumber dari dua postulat Einstein. Kajian ini juga menunjukkan bahwa pemahaman relativitas khusus kerap terhambat karena konsep ruang dan waktunya berbeda dari pengalaman sehari-hari. Eksperimen pemikiran, visualisasi, simulasi, dan teknologi pembelajaran dapat membantu membangun pemahaman konseptual yang lebih baik.

Special relativity is a key area of modern physics that reshaped views of space, time, motion, and the link between mass and energy. This article aimed to describe the principal concepts of special relativity through a review of ten relevant journal articles. A qualitative descriptive method was applied, involving reading, identifying, comparing, and synthesizing information from the selected sources. The review concentrated on the postulates of special relativity, the Galilean and Lorentz transformations, relativistic velocity addition, length contraction, time dilation, and mass–energy equivalence. It was found that these concepts were closely connected and stemmed from Einstein's two postulates. The review also indicated that learners often struggled with special relativity because its notions of space and time depart from everyday experience. Thought experiments, visualizations, simulations, and learning technologies were identified as helpful ways to build conceptual understanding.

This is an open access article under the CC–BY-SA license.

How to Cite: Anita Pakpahan, et al (2026). Teori Relativitas Khusus: Kajian Deskriptif Fisika terhadap Peningkatan Kompetensi Peserta Didik, 5(2) 4988-4992. https://doi.org/10.31004/jerkin.v5i2.8205

PENDAHULUAN

Fisika modern telah mengubah secara mendasar cara manusia memandang alam. Salah satu perubahan itu datang dari teori relativitas khusus yang dikemukakan Albert Einstein pada 1905. Teori ini menawarkan penjelasan baru tentang keterkaitan ruang dan waktu pada benda yang bergerak sangat cepat. Dalam keseharian, konsep ruang dan waktu pada mekanika klasik tampak cocok dengan hasil pengamatan. Situasinya berubah ketika kelajuan benda mendekati kecepatan cahaya.

Mekanika klasik menganggap pengukuran waktu tidak dipengaruhi oleh keadaan gerak pengamat. Hubungan posisi antara dua pengamat yang bergerak relatif dijelaskan dengan transformasi Galileo. Jika

satu kerangka bergerak dengan kecepatan v terhadap kerangka lain, posisi dinyatakan sebagai $x' = x - vt$, sedangkan waktu dianggap sama, yakni $t' = t$. Konsekuensinya, kecepatan dapat dijumlahkan secara langsung. Namun, cara pandang ini gagal menjaga nilai kecepatan cahaya tetap sama bagi semua pengamat.

Relativitas khusus menawarkan sudut pandang yang berbeda, dan Einstein membangunnya di atas dua postulat. Postulat pertama menyatakan bahwa hukum fisika berbentuk sama pada semua kerangka acuan inersial. Postulat kedua menyatakan bahwa cahaya di ruang hampa memiliki kecepatan yang sama bagi seluruh pengamat inersial. Dari kedua postulat ini lahir konsekuensi yang tidak dikenal dalam mekanika klasik, antara lain relativitas simultanitas, kontraksi panjang, dilatasi waktu, dan perubahan aturan penjumlahan kecepatan.

Alstein, Krijtenburg-Lewerissa, dan van Joolingen (2021) dalam kajiannya menemukan bahwa pembelajaran relativitas khusus diwarnai berbagai masalah konseptual. Peserta didik bisa kesulitan membedakan kerangka acuan, memahami postulat, dan mengaitkan persamaan matematis dengan makna fisisnya. Kesulitan ini wajar karena hampir semua gejala relativistik tidak dapat diamati langsung dalam kehidupan sehari-hari.

Masalah serupa muncul pada materi kecepatan relatif, dilatasi waktu, dan kontraksi panjang. Listianingrum, Jumadi, dan Zakwandi (2022) mendapati bahwa mahasiswa memiliki miskonsepsi pada sejumlah konsep tersebut. Temuan ini menandakan bahwa pembelajaran relativitas khusus tidak cukup hanya dengan memberikan rumus dan contoh hitungan. Peserta didik perlu dibantu memahami asal-usul persamaan serta hubungan antarkonsepnya.

Sejumlah penelitian lalu mengembangkan pendekatan pembelajaran yang lebih menitikberatkan pemahaman konsep. Kamphorst et al. (2023) menyusun rekonstruksi pembelajaran relativitas khusus yang bertumpu pada cara berpikir Einstein dan eksperimen pemikiran. Alstein et al. (2023) membangun Relativity Lab, yakni lingkungan simulasi yang memungkinkan peserta didik memvisualisasikan berbagai situasi relativitas khusus. Adapun Tarng, Liao, dan Ou (2022) memanfaatkan teknologi realitas virtual untuk membantu pembelajaran konsep relativitas khusus dan kesetaraan massa-energi.

Berdasarkan masalah-masalah tersebut, dibutuhkan kajian yang mengaitkan berbagai konsep utama relativitas khusus dari beberapa hasil penelitian. Tujuan artikel ini adalah mendeskripsikan dan memadukan hasil kajian sepuluh jurnal tentang postulat relativitas khusus, transformasi Galileo dan Lorentz, penjumlahan kecepatan relativistik, kontraksi panjang, dilatasi waktu, serta kesetaraan massa dan energi.

METODE

Artikel ini memakai pendekatan deskriptif kualitatif berupa kajian (review) terhadap artikel ilmiah yang membahas teori relativitas khusus. Pendekatan ini dipilih karena tujuannya adalah menggambarkan, membandingkan, dan mengaitkan informasi dari penelitian terdahulu, bukan menguji hipotesis secara statistik.

Kajian bersumber dari sepuluh artikel jurnal yang mengulas aspek teori, konsep, penurunan persamaan, miskonsepsi, dan pembelajaran relativitas khusus. Artikel yang dipilih meliputi pembahasan tentang postulat relativitas khusus, transformasi Lorentz, penjumlahan kecepatan, kontraksi panjang, dilatasi waktu, serta hubungan massa dan energi.

Analisis dilakukan dalam empat tahap. Tahap pertama, setiap artikel dibaca untuk menemukan konsep dan hasil penelitian yang sesuai dengan fokus kajian. Tahap kedua, informasi yang terkumpul dikelompokkan menurut tema. Tahap ketiga, temuan dari tiap artikel dibandingkan untuk mengetahui persamaan, perbedaan, dan keterkaitan antarkonsep. Tahap keempat, seluruh informasi disintesis menjadi pembahasan yang runtut sehingga memberi gambaran yang lebih utuh tentang teori relativitas khusus.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Kajian atas sepuluh jurnal menunjukkan bahwa pembahasan relativitas khusus dapat dikelompokkan ke dalam beberapa konsep pokok: postulat relativitas khusus, transformasi Galileo dan Lorentz, penjumlahan kecepatan relativistik, kontraksi panjang, dilatasi waktu, serta kesetaraan massa dan energi. Selain konsep fisikanya, sebagian penelitian juga menyoroti kesulitan peserta didik dalam mempelajari konsep-konsep ini. Simulasi, eksperimen pemikiran, diagram peristiwa, dan teknologi

pembelajaran merupakan sebagian pendekatan yang dipakai untuk membantu pemahaman relativitas khusus.

Teori relativitas khusus bertolak dari dua postulat Einstein. Postulat pertama: hukum fisika berbentuk sama di semua kerangka acuan inersial. Postulat kedua: kecepatan cahaya di ruang hampa bernilai sama bagi semua pengamat inersial, tanpa bergantung pada gerak sumber maupun pengamat. Keduanya menjadi landasan untuk memahami bagaimana hubungan ruang dan waktu berubah ketika dua pengamat bergerak relatif terhadap satu sama lain.

Sebelum relativitas khusus muncul, hubungan antara dua kerangka acuan yang bergerak relatif umumnya dijelaskan dengan transformasi Galileo. Untuk posisi dan waktu, transformasi ini ditulis sebagai:

$$x' = x - vt \tag{1}$$

$$t' = t \tag{2}$$

Transformasi Galileo memandang waktu sebagai besaran mutlak, sehingga waktu yang terukur oleh pengamat di satu kerangka sama dengan waktu yang terukur di kerangka lain. Pandangan ini cocok dengan mekanika klasik, tetapi tidak mampu menjaga kecepatan cahaya tetap sama bagi semua pengamat.

Untuk menjelaskan hubungan ruang dan waktu dalam relativitas khusus, Einstein memakai transformasi Lorentz, yang berbentuk:

$$x' = \gamma(x - vt) \tag{3}$$

$$t' = \gamma(t - vx/c^2) \tag{4}$$

dengan:

$$\gamma = 1/\sqrt{(1 - v^2/c^2)} \tag{5}$$

Transformasi Lorentz memperlihatkan bahwa ruang dan waktu tidak lagi dapat dipandang sebagai dua besaran yang sepenuhnya terpisah. Bindilatti (2026) mengulas makna fisis transformasi Lorentz dalam menerangkan relativitas simultanitas, kontraksi panjang, dan dilatasi waktu. Sementara itu, Kamphorst et al. (2023) memakai penalaran Einstein, eksperimen pemikiran, jam cahaya, dan diagram peristiwa dalam rekonstruksi pembelajarannya agar hubungan ruang dan waktu lebih mudah dipahami.

Salah satu akibat transformasi Lorentz adalah berubahnya aturan penjumlahan kecepatan. Dalam mekanika klasik, jika benda bergerak dengan kecepatan u' pada kerangka yang bergerak dengan kecepatan v terhadap pengamat, maka kecepatannya dinyatakan:

$$u = u' + v \tag{6}$$

Akan tetapi, pada kecepatan mendekati kecepatan cahaya, persamaan tersebut tidak lagi sejalan dengan prinsip relativitas khusus. Penjumlahan kecepatan relativistik dinyatakan sebagai:

$$u = (u' + v)/(1 + u'v/c^2) \tag{7}$$

Rizcallah (2025) menguraikan penurunan langsung persamaan penjumlahan kecepatan relativistik dan memperlihatkan cara memperolehnya dalam kerangka relativitas khusus.

Akibat berikutnya adalah kontraksi panjang. Benda yang bergerak relatif terhadap pengamat terukur lebih pendek daripada panjangnya ketika diam terhadap pengamat. Hubungan ini dinyatakan sebagai:

$$L = L_0\sqrt{(1 - v^2/c^2)} \tag{8}$$

atau:

$$L = L_0/\gamma \tag{9}$$

L_0 adalah panjang proper, yaitu panjang yang diukur pada kerangka tempat benda diam. Kontraksi panjang muncul dari cara pengamat di kerangka berbeda mengukur ruang dan waktu. Dimitriadi dan Halkia (2012) serta Listianingrum et al. (2022) menunjukkan bahwa kontraksi panjang termasuk konsep yang dapat memicu kesulitan dan miskonsepsi pada peserta didik.

Relativitas khusus juga menghasilkan konsep dilatasi waktu. Selang waktu yang diukur pengamat yang melihat jam bergerak berbeda dari selang waktu yang diukur pada kerangka tempat jam itu diam. Hubungannya dituliskan:

$$\Delta t = \gamma \Delta t_0 \tag{10}$$

Copyright © 2026, Jurnal Pengabdian Masyarakat dan Riset Pendidikan
ISSN 2963-7856 (print), ISSN 2961-9890 (online)

atau:

$$\Delta t = \Delta t_0/\sqrt{(1 - v^2/c^2)} \quad (11)$$

Δt_0 disebut waktu proper, yaitu selang waktu yang diukur pada kerangka tempat dua kejadian berlangsung di lokasi yang sama. Alstein et al. (2021) menunjukkan bahwa konsep relativitas, termasuk dilatasi waktu, sering menantang dalam pembelajaran karena peserta didik harus melepaskan pemahaman klasik tentang ruang dan waktu.

McKelvie (2024) menawarkan pembahasan alternatif tentang tafsir dilatasi waktu dan mengajukan argumen yang mempertanyakan cara konsep itu dipahami dalam relativitas khusus. Pendapat tersebut merupakan sudut pandang yang dikemukakan dalam artikel itu, sehingga dalam kajian ini ditempatkan sebagai perspektif alternatif, bukan pengganti konsensus fisika relativitas khusus.

Konsep penting lain dalam relativitas khusus adalah hubungan massa dan energi, yang dikenal lewat persamaan:

$$E = mc^2 \quad (12)$$

Persamaan ini menunjukkan keterkaitan massa dan energi. Vieira et al. (2004) membandingkan beberapa cara penurunan persamaan $E = mc^2$ dan memperlihatkan bahwa ada beberapa pendekatan untuk menjelaskan hubungan tersebut. Tarng et al. (2022) membahas pembelajaran relativitas khusus dan kesetaraan massa-energi dengan teknologi realitas virtual.

Dari perbandingan sepuluh jurnal, tampak bahwa konsep-konsep relativitas khusus saling berkaitan. Postulat Einstein menjadi dasar teori, lalu transformasi Lorentz memberikan hubungan matematis antara koordinat ruang dan waktu pada kerangka yang bergerak relatif. Dari hubungan itu lahir penjumlahan kecepatan relativistik, kontraksi panjang, dan dilatasi waktu, sedangkan hubungan massa dan energi menjadi salah satu konsekuensi pentingnya.

Dari sisi pembelajaran, kajian sepuluh jurnal menunjukkan bahwa sulitnya relativitas khusus tidak semata-mata berasal dari persamaan matematisnya, melainkan juga dari perubahan cara memandang ruang, waktu, gerak, dan pengamatan. Alstein et al. (2021) memperlihatkan beragam kesulitan konseptual dalam pembelajaran relativitas. Kamphorst et al. (2023) memanfaatkan eksperimen pemikiran dan penalaran Einstein, sedangkan Alstein et al. (2023) mengembangkan Relativity Lab untuk membantu peserta didik memvisualisasikan konsep relativitas. Dengan demikian, representasi visual, simulasi, dan eksperimen pemikiran dapat mendukung penjelasan konsep yang sulit diamati langsung.

SIMPULAN

Berdasarkan kajian sepuluh jurnal, disimpulkan bahwa teori relativitas khusus memberi pemahaman baru tentang keterkaitan ruang, waktu, gerak, dan energi. Teori ini bertumpu pada dua postulat Einstein yang menjadi dasar penjelasan berbagai gejala relativistik. Transformasi Lorentz berperan penting karena menjelaskan hubungan pengukuran ruang dan waktu pada kerangka acuan yang bergerak relatif.

Kajian juga memperlihatkan bahwa konsep-konsep utama relativitas khusus saling terkait, yaitu penjumlahan kecepatan relativistik, kontraksi panjang, dilatasi waktu, serta kesetaraan massa dan energi. Semuanya adalah konsekuensi dari penerapan prinsip relativitas dan transformasi Lorentz. Oleh karena itu, pemahaman tentang postulat dan transformasi Lorentz menjadi fondasi penting untuk menguasai relativitas khusus secara menyeluruh.

Dari segi pembelajaran, relativitas khusus masih tergolong sulit karena menuntut perubahan cara pandang dari konsep ruang dan waktu fisika klasik. Beberapa jurnal melaporkan kesulitan dan miskonsepsi peserta didik pada kecepatan relatif, kontraksi panjang, dan dilatasi waktu. Karena itu, eksperimen pemikiran, simulasi, visualisasi, diagram peristiwa, dan teknologi pembelajaran dapat menjadi alternatif untuk membantu peserta didik memahami relativitas khusus dengan lebih konkret.

REFERENSI

Alstein, P., Krijtenburg-Lewerissa, K., & van Joolingen, W. R. (2021). Teaching and learning special relativity theory in secondary and lower undergraduate education: A literature review. Physical Review Physics Education Research, 17(2), 023101.

Alstein, P., Krijtenburg-Lewerissa, K., & van Joolingen, W. R. (2023). Designing and evaluating Relativity Lab: A simulation environment for special relativity education at the secondary level.

Journal of Science Education and Technology, 32, 759–772.
Bindilatti, V. (2026). Space and time in special relativity. Revista Brasileira de Ensino de Física, 48, e20250160.
Dimitriadi, K., & Halkia, K. (2012). Secondary students' understanding of basic ideas of special relativity. International Journal of Science Education, 34(16), 2565–2582.
Kamphorst, F., Vollebregt, M. J., Savelsbergh, E. R., & van Joolingen, W. R. (2023). An educational reconstruction of special relativity theory for secondary education. Science & Education, 32, 57–100.
Listianingrum, S. A., Jumadi, & Zakwandi, R. (2022). Physics student misconception: Relative velocity, time dilatation, and length contraction. Jurnal Ilmiah Pendidikan Fisika, 6(2), 386–392.
McKelvie, J. (2024). Revisiting the matter of time dilation in special relativity. Journal of Physics & Optics Sciences, 6(6), 1–7.
Rizcallah, J. A. (2025). A direct derivation of the relativistic velocity addition formula. Physics Education, 60(4), 045012.
Tarng, W., Liao, Y.-C., & Ou, K.-L. (2022). Application of virtual reality in learning the concepts of special relativity and mass–energy equivalence. Universe, 8(12), 618.
Vieira, S., Barros, A. T., Araújo, I. G., & Oliveira, J. C. T. (2004). Uma comparação entre deduções da equação $E = mc^2$. Revista Brasileira de Ensino de Física, 26(2), 93–98.

Copyright © 2026, Jurnal Pengabdian Masyarakat dan Riset Pendidikan
ISSN 2963-7856 (print), ISSN 2961-9890 (online)