STUDI LITERATUR: EFEK COMPTON DALAM PENDIDIKAN FISIKA: MISKONSEPSI, MODEL MENTAL, DAN STRATEGI PEMBELAJARAN

Desta F. R. Sihombing[1], Julia S. Dachi[2], Andini R. V. Sinaga[3], Renata Pasaribu[4], Josua A. H. Sinaga[5], Deo Demonta Panggabean[6], Ladestam Sitinjak[7]
Jurusan Fisika, Universitas Negeri Medan
destafrs07@gmail.com[1] andiniriskivany@gmail.com[2]

ABSTRACT

The Compton effect is one of the main experimental pieces of evidence for the particle nature of light and a compulsory topic in modern physics. However, its abstract nature and its demand for an understanding of relativistic collisions make the topic difficult to learn. This literature review examines eight sources that discuss the Compton effect from a physics education perspective, covering (1) students' mental models and misconceptions, (2) the debate over wave and particle interpretations, and (3) learning media and strategies. The findings show that misconceptions remain high across educational levels and countries, hybrid mental models frequently appear, and visual media such as simulations, virtual laboratories, and GeoGebra have the potential to improve understanding. The identified gap is that few studies with robust designs have tested the effectiveness of learning strategies specific to the Compton effect.

Keywords: Compton effect, misconceptions, mental models, modern physics, learning media

ABSTRAK

Efek Compton adalah salah satu bukti eksperimental utama sifat partikel cahaya dan menjadi materi wajib dalam fisika modern. Namun sifatnya yang abstrak dan menuntut pemahaman tumbukan relativistik membuat topik ini sulit dipelajari. Studi literatur ini menelaah delapan sumber yang membahas efek Compton dari sudut pendidikan fisika, mencakup (1) model mental dan miskonsepsi mahasiswa dan siswa, (2) perdebatan interpretasi gelombang dan partikel, serta (3) media dan strategi pembelajaran. Temuan menunjukkan bahwa miskonsepsi masih tinggi di berbagai jenjang dan negara, model mental campuran (hibrida) sering muncul, dan media visual seperti simulasi, laboratorium virtual, dan GeoGebra berpotensi meningkatkan pemahaman. Celah yang teridentifikasi: masih sedikit studi yang menguji efektivitas strategi pembelajaran khusus untuk efek Compton dengan desain yang kuat.

Kata Kunci: efek Compton, miskonsepsi, model mental, fisika modern, media pembelajaran

A. Pendahuluan

Efek Compton adalah hamburan foton (sinar-X atau sinar gamma) oleh elektron yang menyebabkan panjang gelombang foton bertambah. Fenomena ini dijelaskan dengan memperlakukan foton sebagai partikel yang membawa energi dan

momentum, lalu menerapkan kekekalan energi dan momentum relativistik. Karena itu efek Compton sering diajarkan bersama efek fotolistrik sebagai bukti sifat partikel cahaya.

Di sisi pembelajaran, kedua topik ini dikenal menantang. Penelitian di SMA menemukan bahwa siswa mengalami miskonsepsi pada materi gejala kuantum, dan kesulitan itu juga ditemukan pada calon guru fisika di perguruan tinggi (Aisyah dkk., 2026; Özcan, 2015).

Pergeseran panjang gelombang foton yang dihamburkan pada sudut θ dirumuskan sebagai:

$$\Delta\lambda = \lambda' - \lambda = (h / m_e c)(1 - \cos\theta)$$

dengan h konstanta Planck, m_e massa elektron, dan c kecepatan cahaya. Besaran $h/(m_e c)$ disebut panjang gelombang Compton, sekitar $2{,}43 \times 10^{-12}$ m. Pergeseran tidak bergantung pada panjang gelombang awal, dan paling besar pada sudut hamburan 180°. Penjelasan klasik berbasis gelombang tidak dapat memprediksi pergeseran ini, sehingga model foton sebagai partikel bermomentum menjadi dasar pembelajarannya.

Perbedaan pokok dengan efek fotolistrik: pada fotolistrik foton diserap sepenuhnya oleh elektron, sedangkan pada efek Compton foton dihamburkan dan hanya kehilangan sebagian energinya. Perbedaan inilah yang sering tidak dibedakan siswa (Aisyah dkk., 2026).

Berdasarkan hal tersebut, studi literatur ini disusun untuk menjawab tiga pertanyaan. Pertama, miskonsepsi dan model mental apa yang dilaporkan terkait efek Compton. Kedua, bagaimana efek Compton dijelaskan secara konseptual dan apa implikasinya bagi pengajaran. Ketiga, media dan strategi pembelajaran apa yang dilaporkan membantu pemahaman efek Compton. Tujuannya adalah merangkum dan mensintesis temuan literatur terpilih tentang pembelajaran efek Compton, serta mengidentifikasi celah penelitian.

Oleh karena itu, pembelajaran efek Compton perlu diarahkan pada keterkaitan antara representasi verbal, matematis, grafis, dan visual. Siswa tidak hanya perlu mengetahui bahwa Δλ bergantung pada sudut hamburan, tetapi juga perlu mampu menjelaskan mengapa pergeseran tersebut bernilai nol ketika θ = 0° dan mencapai nilai maksimum ketika θ = 180°. Penjelasan semacam ini dapat membantu memindahkan pembelajaran dari sekadar

penyelesaian soal menuju pemahaman konseptual.

Kesulitan pembelajaran semakin besar ketika siswa membawa pemahaman awal tentang cahaya dari materi sebelumnya. Pada tingkat sekolah, cahaya sering diperkenalkan melalui model gelombang, misalnya pada interferensi, difraksi, dan polarisasi. Ketika memasuki fisika kuantum, siswa kemudian diminta menerima bahwa cahaya juga dapat dipandang sebagai kumpulan foton. Peralihan representasi ini dapat menghasilkan model mental campuran apabila hubungan antara kedua deskripsi tidak dijelaskan secara hati-hati (Özcan, 2015; Özcan & Gerçek, 2015).

Secara konseptual, foton memiliki energi $E = hf$ dan momentum $p = h/\lambda$. Ketika foton datang berinteraksi dengan elektron yang mula-mula dianggap bebas dan diam, sebagian energi serta momentum foton berpindah kepada elektron. Akibatnya, energi foton setelah hamburan lebih kecil daripada energi awal sehingga frekuensinya menurun dan panjang gelombangnya meningkat. Hubungan tersebut menunjukkan bahwa perubahan panjang gelombang pada efek Compton bukan sekadar perubahan matematis, melainkan konsekuensi langsung dari proses transfer energi dan momentum.

Efek Compton memiliki posisi penting dalam pembelajaran fisika modern karena menghubungkan konsep kuantum, relativitas, serta prinsip kekekalan dalam satu fenomena. Ketika foton berinteraksi dengan elektron, perubahan energi foton tidak hanya dapat diamati melalui perubahan panjang gelombang, tetapi juga dapat digunakan untuk memperlihatkan hubungan antara energi dan momentum foton. Dengan demikian, pembelajaran efek Compton sebenarnya tidak cukup hanya menekankan penggunaan persamaan $\Delta\lambda$, tetapi perlu mengarahkan peserta didik untuk memahami makna fisis dari setiap besaran yang terlibat.

B. Metode Penelitian

Penelusuran dilakukan pada Oktober 2026 melalui pencarian web terhadap repositori dan situs jurnal (OJS, repositori universitas, arXiv). Kata kunci yang digunakan antara lain *Compton effect*, *physics education*, *students' conceptual understanding*, *mental models*, *miskonsepsi*, *efek Compton*, *simulasi*, dan *pembelajaran fisika modern*. Kriteria inklusi: (a) membahas efek Compton secara eksplisit, (b) berfokus pada pembelajaran atau pengajaran, dan (c) tersedia abstrak atau teks yang dapat diverifikasi. Penelusuran ini bersifat terbatas dan bukan *systematic review*, sehingga hasilnya perlu dilengkapi dengan penelusuran di basis data seperti Scopus, Google Scholar, atau ERIC.

Sintesis juga mempertimbangkan konteks pendidikan dari masing-masing penelitian. Studi yang melibatkan siswa SMA dipandang relevan untuk pembelajaran sekolah, sedangkan studi pada mahasiswa pendidikan fisika memberikan informasi mengenai keberlanjutan miskonsepsi sampai pendidikan tinggi. Dengan cara tersebut, hasil kajian dapat memberikan gambaran bahwa permasalahan pemahaman efek Compton bukan hanya persoalan usia atau jenjang pendidikan, melainkan juga berkaitan dengan cara konsep tersebut direpresentasikan dan dipelajari.

Karena penelusuran yang digunakan bukan systematic review, penelitian ini tidak dimaksudkan untuk menghitung ukuran efek secara meta-analitik. Temuan kuantitatif seperti persentase miskonsepsi dan nilai N-gain digunakan sebagai informasi pendukung untuk melihat kecenderungan, bukan untuk melakukan generalisasi statistik terhadap seluruh populasi siswa. Batasan tersebut penting agar interpretasi hasil tetap sesuai dengan karakteristik sumber yang dikaji.

Analisis dilakukan secara deskriptif-sintesis. Setiap sumber dikelompokkan berdasarkan fokus kajian, yaitu model mental dan miskonsepsi, konsepsi tentang sifat cahaya, penggunaan media pembelajaran, serta strategi pembelajaran efek Compton. Data yang dibandingkan meliputi karakteristik subjek, desain penelitian, fokus materi, temuan utama, dan implikasi pembelajarannya. Pengelompokan ini digunakan untuk menemukan pola yang berulang sekaligus mengidentifikasi perbedaan kekuatan bukti antarpenelitian.

C. Hasil Penelitian dan Pembahasan

1. Model Mental dan Miskonsepsi

Model mental cahaya. Özcan dan Gerçek (2015) meneliti 25 mahasiswa pendidikan fisika di Turki menggunakan pertanyaan terbuka bergambar. Mereka menemukan tiga model mental saat menjelaskan efek Compton: model hibrida, model sinar, dan model partikel. Özcan (2015) memperluas studi ini pada 110 mahasiswa calon guru fisika di dua universitas negeri Turki, dengan konteks radiasi benda hitam, efek fotolistrik, dan efek Compton. Tiga model yang sama muncul (model sinar berkas, hibrida, dan partikel). Perpindahan model paling sering terjadi pada model hibrida dan sinar. Sebagian mahasiswa berada pada kondisi model campuran dan memakai beberapa model secara tidak konsisten, sedangkan pengguna model partikel umumnya konsisten.

Prakonsepsi mahasiswa. Mudzamiri, Madzudzo, dan Govender

(2025) mengkaji prakonsepsi 40 mahasiswa pendidikan fisika di Zimbabwe tentang hamburan Compton, khususnya terkait konsep cahaya. Rata-rata 21,8% mahasiswa memiliki konsep ilmiah, 45,76% mengalami miskonsepsi, 18,54% tidak memiliki konsep, dan 14,23% mengalami kesalahan. Penulis menekankan bahwa tidak semua prakonsepsi adalah miskonsepsi, sehingga pengajar perlu memetakannya lebih dulu agar dapat memperkuat konsepsi yang benar dan mendorong perubahan konseptual pada yang keliru.

Miskonsepsi siswa SMA. Aisyah, Siregar, Nasution, dan Nasution (2026) mengembangkan instrumen *four-tier diagnostic test* untuk materi gejala kuantum dan mengujinya pada 67 siswa kelas XII di SMA Negeri 1 Siabu. Instrumen dinyatakan valid dan reliabel (alpha Cronbach 0,82). Sekitar 37,9% siswa mengalami miskonsepsi, 28,8% kurang pengetahuan, dan 24,5% memahami konsep. Miskonsepsi pada efek fotolistrik (42,5%) lebih tinggi daripada efek Compton (34%). Pada efek Compton, temuan spesifiknya adalah sebagian siswa menganggap efek Compton sama dengan efek fotolistrik (foton diserap sepenuhnya), dan sebagian tidak mampu menerapkan kekekalan energi dan momentum, cenderung memperlakukan foton sebagai partikel klasik tanpa mempertimbangkan sifat relativistiknya.

Penggunaan diagnosis awal menjadi penting dalam kondisi tersebut. Four-tier diagnostic test yang dilaporkan Aisyah dkk. (2026) dapat membedakan pemahaman konsep, miskonsepsi, kurang pengetahuan, dan kesalahan. Dalam pembelajaran efek Compton, informasi diagnostik seperti ini dapat digunakan guru untuk menentukan apakah siswa membutuhkan penguatan konsep dasar, perubahan konseptual, atau latihan penerapan persamaan.

Salah satu konsekuensi dari model mental yang belum stabil adalah kesulitan menghubungkan besaran mikroskopis dengan hasil pengamatan. Misalnya, siswa dapat mengetahui bahwa panjang gelombang berubah, tetapi belum mampu menjelaskan bahwa perubahan tersebut terjadi karena energi foton berkurang setelah sebagian energi ditransfer kepada elektron. Kesulitan ini menunjukkan bahwa pembelajaran perlu menyediakan jembatan antara persamaan matematis dan gambaran proses fisis.

Temuan tersebut menunjukkan bahwa model mental merupakan komponen penting yang perlu diperhatikan

sebelum pembelajaran formal dilanjutkan. Siswa dapat mengetahui persamaan efek Compton, tetapi belum tentu memiliki representasi yang konsisten tentang apa yang terjadi selama interaksi foton dan elektron. Model hibrida dapat menyebabkan siswa menggunakan istilah atau persamaan yang benar pada satu situasi, tetapi kembali menggunakan penalaran klasik pada situasi lain. Kondisi ini membuat jawaban siswa tampak benar secara prosedural namun belum menunjukkan penguasaan konsep yang utuh.

2. Perdebatan Interpretasi: Partikel atau Gelombang

Hernandez (2005), dalam pracetak arXiv di kategori pendidikan fisika, mengkritik penjelasan buku teks yang memperlakukan interaksi foton-elektron sebagai tumbukan partikel. Menurutnya penjelasan tradisional memberi kesan bahwa interaksi kadang terjadi sebagai partikel dan kadang sebagai gelombang, dan ia mengusulkan analisis sebagai hamburan gelombang datar foton oleh elektron. Terlepas dari apakah argumen ini diterima, tulisan tersebut relevan secara pedagogis karena menyoroti sumber potensial kebingungan: pengajaran sering memakai model tumbukan sederhana yang tidak menjelaskan mengapa cahaya yang berperilaku seperti gelombang pada difraksi tiba-tiba diperlakukan sebagai partikel. Hal ini sejalan dengan temuan model mental hibrida dan campuran pada Özcan (2015).

Strategi yang dapat digunakan adalah membandingkan secara eksplisit tiga fenomena, yaitu efek fotolistrik, efek Compton, dan gejala interferensi atau difraksi. Perbandingan tersebut membantu siswa memahami bahwa setiap fenomena menonjolkan aspek tertentu dari cahaya. Efek fotolistrik menunjukkan transfer energi foton kepada elektron, sedangkan efek Compton memperlihatkan perubahan energi dan momentum foton selama hamburan. Perbandingan ini dapat mengurangi kecenderungan menyamakan kedua fenomena.

Dalam konteks pendidikan, dualisme gelombang-partikel sebaiknya tidak disampaikan sebagai pergantian identitas cahaya secara bergantian. Cahaya tidak perlu dipahami sebagai gelombang pada satu keadaan lalu berubah menjadi partikel pada keadaan lain. Sebaliknya, berbagai eksperimen menunjukkan bahwa deskripsi klasik tidak selalu cukup untuk menjelaskan gejala mikroskopis. Efek Compton memberikan konteks kuat untuk memperkenalkan bahwa foton memiliki energi dan momentum yang terkuantisasi.

Perdebatan mengenai cara merepresentasikan interaksi foton dan elektron memiliki implikasi langsung

terhadap pembelajaran. Model tumbukan partikel sangat membantu untuk memperkenalkan kekekalan energi dan momentum, tetapi model tersebut sebaiknya diposisikan sebagai model pedagogis untuk menghitung hasil interaksi, bukan sebagai gambaran sederhana bahwa foton merupakan bola kecil klasik. Hernandez (2005) menunjukkan bahwa penjelasan semacam itu dapat menimbulkan pertanyaan konseptual tentang hubungan sifat gelombang dan partikel.

3. Media dan Strategi Pembelajaran

Laboratorium virtual dan keterampilan generik sains. Siswanto, Saefan, Suparmi, dan Cari (2016) menguji E-Lab pada mahasiswa pendidikan fisika Universitas PGRI Semarang dengan desain pra-eksperimen satu kelompok *pretest-posttest*. Hasilnya, E-Lab efektif meningkatkan keterampilan generik sains, dan keterampilan itu berpengaruh positif terhadap pemahaman konsep efek fotolistrik, efek Compton, dan difraksi elektron.

Media virtual dengan Project Based Learning. Swandi, Rahmadhanningsih, Yusuf, dan Widyaningsih (2021) melakukan studi kuasi-eksperimen dengan kelompok kontrol non-ekuivalen untuk menguji visualisasi/media virtual pada fenomena hamburan Compton melalui PjBL. Peningkatan pemahaman konsep (*N-gain*) kelas eksperimen mencapai 55,79%, jauh di atas kelas kontrol (12,84%), sehingga penulis menyimpulkan adanya pengaruh positif dan signifikan.

Simulasi GeoGebra. Lahera dkk. (2025) memakai GeoGebra untuk menganalisis hubungan sudut hamburan dan pergeseran panjang gelombang (sudut 30°, 60°, 120°, energi foton awal 2,81 MeV). Hasil simulasi konsisten dengan teori: pergeseran bertambah seiring sudut. Penulis menyimpulkan GeoGebra efektif sebagai media visual. Perlu dicatat bahwa studi ini bersifat deskriptif kualitatif dan tidak mengukur capaian belajar siswa secara langsung.

Berdasarkan ketiga kelompok studi tersebut, media yang paling potensial bukan sekadar media yang memiliki tampilan menarik, melainkan media yang memungkinkan terjadinya interaksi antara konsep, representasi, dan aktivitas berpikir. Simulasi sebaiknya disertai pertanyaan prediksi dan refleksi, sedangkan laboratorium virtual dapat dilengkapi dengan tabel data dan kegiatan analisis. Dengan demikian, teknologi berfungsi sebagai bagian dari strategi pedagogis, bukan hanya sebagai pengganti papan tulis atau gambar statis.

E-Lab juga memberikan peluang untuk mengembangkan keterampilan generik sains. Menurut Siswanto dkk. (2016), keterampilan generik sains memiliki hubungan positif dengan pemahaman konsep pada materi fisika yang mencakup efek Compton. Hal tersebut menunjukkan bahwa pembelajaran berbasis laboratorium virtual dapat diarahkan bukan hanya pada pencapaian jawaban akhir, tetapi juga pada kemampuan mengamati, menginterpretasi data, menggunakan bahasa simbolik, dan membuat inferensi berdasarkan hasil pengamatan.

Simulasi GeoGebra yang dilaporkan Lahera dkk. (2025) juga menunjukkan potensi visualisasi hubungan sudut hamburan dengan pergeseran panjang gelombang. Meskipun penelitian tersebut belum mengukur peningkatan hasil belajar secara langsung, simulasi dapat menjadi sarana untuk menguji prediksi. Siswa dapat mengubah sudut hamburan dan mengamati bagaimana nilai Δλ berubah. Aktivitas semacam ini berpotensi mengembangkan kemampuan membaca hubungan matematis dalam fenomena fisika.

Hasil Swandi dkk. (2021) menunjukkan bahwa kombinasi media virtual dan Project Based Learning menghasilkan peningkatan pemahaman yang lebih tinggi dibandingkan kelas kontrol. Temuan tersebut memberikan indikasi bahwa media tidak hanya berfungsi sebagai alat demonstrasi, tetapi dapat ditempatkan dalam aktivitas pembelajaran yang menuntut siswa melakukan prediksi, pengamatan, analisis, dan penarikan kesimpulan. Pola tersebut sejalan dengan kebutuhan pembelajaran fisika modern yang menekankan penalaran konseptual.

Media visual memiliki kelebihan karena efek Compton berlangsung pada skala mikroskopis dan tidak dapat diamati secara langsung oleh siswa. Simulasi dapat menampilkan foton datang, elektron, arah hamburan, perubahan panjang gelombang, serta perubahan energi secara bersamaan. Dengan demikian, siswa dapat menghubungkan representasi visual dengan persamaan yang digunakan untuk menghitung pergeseran panjang gelombang.

4. Ringkasan Studi

Ringkasan kedelapan sumber yang dikaji disajikan pada Tabel 1.

Tabel 1 Ringkasan Studi yang Dikaji

Sumber	Subjek / Desain	Temuan Utama
Özcan & Gerçek (2015)	25 mahasiswa pendidikan fisika, Turki; pertanyaan terbuka	Tiga model mental: hibrida, sinar, partikel

Özcan (2015)	110 mahasiswa pendidikan fisika, Turki; angket	Model campuran dan tidak konsisten; model partikel paling konsisten
Mudzamiri dkk. (2025)	40 mahasiswa, Zimbabwe; kualitatif	45,76% miskonsepsi; 21,8% konsep ilmiah
Aisyah dkk. (2026)	67 siswa SMA, Indonesia; *four-tier test*	Miskonsepsi Compton 34%; Compton disamakan dengan fotolistrik
Hernandez (2005)	Pracetak arXiv, konseptual	Kritik terhadap penjelasan tumbukan partikel
Siswanto dkk. (2016)	Mahasiswa, pra-eksperimen; E-Lab	Keterampilan generik sains berpengaruh pada pemahaman konsep
Swandi dkk. (2021)	Kuasi-eksperimen; media virtual + PjBL	*N-gain* 55,79% vs 12,84%
Lahera dkk. (2025)	Simulasi GeoGebra; deskriptif	Δλ naik terhadap sudut, sesuai teori

5. Sintesis dan Celah Penelitian

Miskonsepsi bersifat lintas konteks. Temuan dari Turki, Zimbabwe, dan Indonesia memperlihatkan pola serupa: pemahaman ilmiah yang utuh masih minoritas, dan model mental campuran sering muncul. Perbedaan jenjang (SMA dan calon guru) tidak menghilangkan masalah, yang sejalan dengan anggapan bahwa kesulitan berakar pada sifat dualisme cahaya yang kontraintuitif.

Kaitan antara model mental dan miskonsepsi. Model hibrida dan model campuran (Özcan, 2015) dapat menjelaskan mengapa siswa menyamakan efek Compton dengan efek fotolistrik atau memperlakukan foton sebagai partikel klasik (Aisyah dkk., 2026). Diagnosis yang membedakan miskonsepsi dari kurang pengetahuan, seperti pada *four-tier test*, membantu guru memilih remediasi yang tepat.

Visualisasi sebagai strategi dominan. Ketiga studi intervensi (Siswanto dkk., 2016; Swandi dkk., 2021; Lahera dkk., 2025) bertumpu pada media visual dan simulasi.

Hasilnya menjanjikan, tetapi kekuatan bukti berbeda-beda: hanya Swandi dkk. (2021) memakai kelompok kontrol, sementara Lahera dkk. (2025) tidak mengukur hasil belajar.

Celah penelitian. Pertama, sedikit studi yang menargetkan efek Compton secara khusus, sebagian besar menggabungkannya dengan efek fotolistrik. Kedua, belum banyak intervensi yang secara eksplisit dirancang berdasarkan miskonsepsi dan model mental yang sudah terpetakan. Ketiga, ukuran sampel umumnya kecil dan dari satu institusi, sehingga generalisasi terbatas. Keempat, belum ada penelusuran yang menguji dampak jangka panjang terhadap retensi konsep.

Keterbatasan kajian ini perlu diperhatikan ketika menarik kesimpulan. Jumlah sumber yang dikaji relatif terbatas dan sebagian penelitian memiliki ukuran sampel kecil. Selain itu, desain penelitian, karakteristik peserta didik, dan instrumen yang digunakan berbeda-beda. Oleh karena itu, hasil kajian lebih tepat dipahami sebagai pemetaan kecenderungan dan dasar untuk merancang penelitian lanjutan, bukan sebagai bukti tunggal mengenai efektivitas satu strategi pembelajaran.

Dari sisi penelitian, celah yang ditemukan menunjukkan kebutuhan terhadap penelitian intervensi yang secara khusus menargetkan miskonsepsi efek Compton. Penelitian berikutnya dapat mengembangkan desain pretest-posttest dengan kelompok kontrol, menggunakan instrumen diagnostik yang telah divalidasi, dan mengukur retensi beberapa waktu setelah pembelajaran. Penelitian juga dapat membandingkan efektivitas simulasi, laboratorium virtual, dan pembelajaran berbasis proyek pada karakteristik siswa yang berbeda.

Implikasi bagi calon guru fisika adalah pentingnya penguasaan konsep sekaligus kemampuan memilih representasi yang tepat. Guru perlu menyadari bahwa siswa dapat menghafal persamaan $\Delta\lambda$ tanpa memahami hubungan energi dan momentum. Oleh sebab itu, pembelajaran sebaiknya menyediakan beberapa bentuk representasi: diagram proses hamburan, grafik $\Delta\lambda$ terhadap sudut, persamaan matematis, serta simulasi interaktif. Konsistensi antarrepresentasi dapat membantu membentuk model mental yang lebih ilmiah.

Strategi remediasi juga perlu membedakan antara miskonsepsi dan ketidaktahuan. Siswa yang tidak memiliki konsep membutuhkan pengenalan dan scaffolding, sedangkan siswa yang memiliki miskonsepsi memerlukan kegiatan yang dapat memperlihatkan

ketidaksesuaian antara prediksi awal dan bukti ilmiah. Dalam konteks efek Compton, konflik kognitif dapat dibangun melalui pertanyaan seperti bagaimana perubahan panjang gelombang terjadi ketika sudut hamburan diperbesar dan mengapa perubahan tersebut tidak dapat dijelaskan oleh model gelombang klasik sederhana.

Secara lebih luas, hasil kajian menunjukkan bahwa pembelajaran efek Compton membutuhkan urutan pembelajaran yang terstruktur. Tahap awal dapat dimulai dengan diagnosis konsepsi melalui pertanyaan konseptual atau instrumen diagnostik. Tahap berikutnya adalah penyajian fenomena melalui simulasi atau demonstrasi, sehingga siswa memiliki pengalaman mengamati perubahan sudut, panjang gelombang, dan energi. Setelah itu, guru dapat memperkenalkan model matematis dan meminta siswa menggunakannya untuk menjelaskan hasil pengamatan. Urutan tersebut memungkinkan konsep matematis dibangun dari fenomena, bukan dipelajari sebagai rumus yang berdiri sendiri.

6. Implikasi Pembelajaran Efek Compton

Berdasarkan sintesis literatur, pembelajaran efek Compton dapat dirancang dengan pendekatan konseptual yang menggabungkan diagnosis miskonsepsi, visualisasi, dan latihan kuantitatif. Guru dapat memulai pembelajaran dengan meminta siswa memprediksi apa yang terjadi pada panjang gelombang foton ketika sudut hamburan berubah. Prediksi tersebut kemudian dibandingkan dengan hasil simulasi sehingga siswa memperoleh kesempatan untuk mengevaluasi model mentalnya sendiri.

Pada tahap penguatan konsep, guru dapat menekankan tiga hubungan utama, yaitu $E = hf$, $p = h/\lambda$, dan $\Delta\lambda = (h/m_{ec})(1 - \cos\theta)$. Ketiga hubungan tersebut sebaiknya tidak disampaikan sebagai persamaan terpisah. Energi berkaitan dengan frekuensi, momentum berkaitan dengan panjang gelombang, dan perubahan keduanya merupakan konsekuensi transfer energi serta momentum selama hamburan. Penekanan pada hubungan antarkonsep dapat mengurangi pembelajaran yang hanya berorientasi pada substitusi angka ke dalam rumus.

Evaluasi pembelajaran juga sebaiknya tidak hanya menggunakan soal numerik. Soal konseptual, diagram, interpretasi grafik, dan pertanyaan alasan dapat digunakan untuk melihat apakah siswa benar-benar memahami proses fisik. Pendekatan tersebut penting karena hasil kajian menunjukkan bahwa siswa dapat mengalami miskonsepsi meskipun telah berhadapan dengan persamaan dan prosedur penyelesaian soal.

D. Kesimpulan

Literatur menunjukkan bahwa efek Compton tetap sulit dipahami karena sifatnya yang abstrak dan menuntut pemikiran relativistik serta

dualisme gelombang-partikel. Miskonsepsi dan model mental campuran ditemukan di berbagai negara dan jenjang. Media visual, simulasi, dan laboratorium virtual dilaporkan membantu, namun bukti yang kuat masih terbatas. Disarankan pendidik memulai dengan diagnosis miskonsepsi, menekankan perbedaan hamburan dan penyerapan foton, serta memakai simulasi yang memvisualisasikan kekekalan energi dan momentum. Penelitian lanjutan perlu menguji intervensi spesifik efek Compton dengan desain eksperimen yang lebih kuat.

DAFTAR PUSTAKA

Aisyah, Siregar, Y. A., Nasution, H. M., & Nasution, M. J. (2026). Pengembangan instrumen four-tier diagnostic test untuk mengidentifikasi miskonsepsi siswa SMA kelas XII pada materi gejala kuantum. *Jurnal Pendidikan Fisika, 15*(1), 90–99. https://doi.org/10.24114/e8c94q40

Hernandez, O. F. (2005). *Compton effect: interacting particles or interacting waves* (arXiv:physics/0508101). https://doi.org/10.48550/arXiv.physics/0508101

Lahera, L. B., Manik, A. V., Zuraida, N., Mizilfa, N., Baringbing, S., Belinda, M., Lestari, A. A., Ginting, I. V. Br., Nasution, P. N., Harisi, F. F., Wulandari, S., & Novia, N. (2025). Analisis hubungan sudut hamburan terhadap pergeseran panjang gelombang pada efek Compton menggunakan simulasi GeoGebra. *Kappa Journal, 9*(3), 404–409. https://doi.org/10.29408/kpj.v9i3.32473

Mudzamiri, E., Madzudzo, E. T., & Govender, N. (2025). Preconceptions of Bachelor of Science Education (Honours) degree in physics students about Compton effect. *Physics Education Research Journal, 7*(2), 61–68. https://journal.walisongo.ac.id/index.php/perj/article/view/25639

Özcan, Ö. (2015). Investigating students' mental models about the nature of light in different contexts. *European Journal of Physics, 36*(6). https://doi.org/10.1088/0143-0807/36/6/065042

Özcan, Ö., & Gerçek, C. (2015). Students' mental models of light to explain the Compton effect. In H. Uzunboylu (Ed.), *Proceedings of the 6th World Conference on Educational Sciences* (Vol. 191, pp. 2195–2197). Elsevier. https://doi.org/10.1016/j.sbspro.2015.04.454

Siswanto, J., Saefan, J., Suparmi, S., & Cari, C. (2016). The effectiveness of E-Lab to improve generic science skills and understanding the concept of physics. *Jurnal Pendidikan Fisika Indonesia, 12*(1), 33–40. https://doi.org/10.15294/jpfi.v12i1.3931

Swandi, A., Rahmadhanningsih, S., Yusuf, I., & Widyaningsih, S. W. (2021). Exploring the Compton scattering phenomenon with virtual learning under project based learning model (PjBL). *Kasuari: Physics Education Journal, 4*(1), 1–12. https://doi.org/10.37891/kpej.v4i1.159