

Analisis rasch instrumen literasi sains berbasis carbon dots pada fisika modern

Wawan Suherman¹, Ade Yeti Nuryantini^{2*}, Neneng Windayani³, Tri Cahyanto⁴

^{1,2,3,4}Program Studi Magister Tadris IPA, UIN Sunan Gunung Djati, Bandung, Indonesia

*email korespondensi: ade.yeti@uinsgd.ac.id

Abstrak

Pembelajaran Fisika Modern menuntut peserta didik memahami konsep abstrak, seperti energi foton, absorpsi, emisi, dan fluoresensi, serta menafsirkan data ilmiah. Penelitian ini mengevaluasi kualitas pengukuran instrumen literasi sains berbasis konteks Black Pepper Carbon Dots (BPCDs) menggunakan Model Rasch dikotomus. Kontribusi penelitian terletak pada pengaitan konteks fluoresensi BPCDs dengan pemetaan psikometrik butir literasi sains, bukan pada penemuan material baru. Penelitian melibatkan 124 peserta didik kelas XII dari empat kelas di SMA Negeri 17 Garut dan menggunakan 20 butir soal dikotomus. Observasi pembelajaran dan wawancara guru digunakan sebagai data kontekstual. Analisis dilakukan dengan WINSTEPS versi 3.73 melalui reliabilitas person dan item, separation, infit-outfit MNSQ, point-measure correlation, ukuran logit, serta Test Information Function. Hasil menunjukkan person reliability 0,81, item reliability 0,96, Cronbach Alpha/KR-20 0,84, person separation 2,05, dan item separation 5,01. Nilai infit MNSQ berada pada rentang 0,85-1,15, outfit MNSQ 0,56-1,21, dan point-measure correlation 0,32-0,61. Butir termudah adalah S1 (-2,25 logit), sedangkan butir tersulit adalah S19 (2,19 logit). Informasi tes mencapai puncak sekitar 0 logit dan menurun pada kedua ujung skala kemampuan. Temuan ini memberikan bukti awal tentang konsistensi pengukuran dan urutan tingkat kesulitan butir, validasi pada sekolah yang lebih beragam serta penguatan presisi pada kemampuan ekstrem masih diperlukan.

Kata Kunci: Literasi Sains; Model Rasch; Fisika Modern; Black Pepper Carbon Dots; Fluoresensi

Abstract

Rasch analysis of a carbon dots-based scientific literacy instrument in modern physics. Modern physics requires students to interpret abstract concepts such as photon energy, absorption, emission, and fluorescence, as well as scientific data. This study evaluates the measurement quality of a scientific-literacy instrument contextualized with Black Pepper Carbon Dots (BPCDs) using the dichotomous Rasch Model. Its contribution lies in linking BPCDs fluorescence to psychometric mapping of scientific-literacy items, rather than claiming the discovery of a new material. Participants were 124 Grade XII students from four classes at SMA Negeri 17 Garut. The instrument comprised 20 dichotomously scored items; classroom observations and a physics-teacher interview served as contextual data. WINSTEPS 3.73 was used to analyze person and item reliability, separation indices, infit-outfit MNSQ, point-measure correlations, logit measures, and the Test Information Function. Person reliability was 0.81, item reliability 0.96, Cronbach's alpha/KR-20 0.84, person separation 2.05, and item separation 5.01. Infit MNSQ ranged from 0.85 to 1.15, outfit MNSQ from 0.56 to 1.21, and point-measure correlations from 0.32 to 0.61. S1 was the easiest item (-2.25 logits), whereas S19 was the most difficult (2.19 logits). Test information peaked near 0 logits and declined at both ability extremes. These findings provide preliminary evidence of measurement consistency and an interpretable item-difficulty hierarchy, validation across more diverse schools and improved precision at the ability extremes remain necessary.

Keywords: Scientific Literacy; Rasch Model; Modern Physics; Black Pepper Carbon Dots; Fluorescence

Pendahuluan

Pembelajaran Fisika Modern memiliki karakteristik berbeda dari pembelajaran fisika klasik karena objek kajiannya tidak selalu dapat diamati secara langsung (Susanti et al., 2024). Konsep cahaya sebagai foton, energi foton, absorpsi, emisi, fluoresensi, spektrum cahaya, dan interaksi cahaya dengan material menuntut kemampuan abstraksi, pemodelan matematis, serta interpretasi data. Dalam pembelajaran spektrum, peserta didik tidak hanya perlu mengenali warna cahaya, tetapi juga memahami hubungan antara panjang gelombang, frekuensi, energi foton, serta bukti eksperimen yang mendasari konsep kuantisasi energi. Kajian tentang

spektrum dalam pembelajaran Fisika Modern menunjukkan bahwa pengamatan spektrum berperan penting untuk membangun pemahaman tentang tingkat energi elektron dan dasar-dasar mekanika kuantum (Ivanjek et al., 2020; Kirui & Jhamba, 2021; Michelin, 2018, 2020; Nuryantini et al., 2017).

Hasil observasi di SMA Negeri 17 Garut menunjukkan bahwa pembelajaran Fisika Modern masih dominan dilakukan melalui ceramah, PowerPoint, dan simulasi PhET secara terbatas. Media tersebut membantu visualisasi konsep, tetapi belum sepenuhnya menghadirkan pengalaman empiris yang memungkinkan peserta didik mengamati fenomena optik secara langsung. Kondisi ini sejalan dengan temuan bahwa keterbatasan alat laboratorium dan akses teknologi dapat membatasi pengalaman belajar langsung dalam pembelajaran fisika, sehingga diperlukan kombinasi antara praktik hands-on, simulasi, dan sumber belajar kontekstual (Hamed & Aljanazrah, 2020; Miller et al., 2018; Nzabahimana et al., 2024; Ojomoh et al., 2021).

Salah satu konteks yang potensial untuk menghubungkan Fisika Modern dengan fenomena empiris adalah Black Pepper Carbon Dots (BPCDs), yaitu Carbon Dots yang dikembangkan dari biji lada hitam. Material karbon fluoresen dapat digunakan untuk membahas hubungan antara penyerapan foton, emisi cahaya, dan perubahan respons optik ketika berinteraksi dengan ion tertentu (Nuryadin et al., 2017; Venugopalan & Vidya, 2023). Kajian tentang sifat dan aplikasi Carbon Dots serta sejumlah kegiatan pembelajaran berbasis Carbon Dots atau fluoresensi telah dilaporkan untuk memperkenalkan karakterisasi optik dan nanoteknologi melalui eksperimen yang dapat diakses peserta didik (de Oliveira Lima et al., 2023; Hamer et al., 2021; Sagar et al., 2020; Schneider et al., 2019; Wu et al., 2024). Temuan-temuan tersebut mendukung potensi konteks Carbon Dots untuk pembelajaran sains, tetapi tidak dengan sendirinya membuktikan bahwa suatu instrumen literasi sains yang menggunakannya telah memiliki kualitas pengukuran yang memadai.

Dalam riset material, Carbon Dots berbasis biomassa yang disintesis dengan metode microwave-assisted telah dilaporkan berpotensi sebagai probe fluoresensi untuk mendeteksi ion Fe^{3+} dan analit tertentu (George et al., 2023, 2024; Venugopalan & Vidya, 2023). Dalam artikel ini, BPCDs tidak diposisikan sebagai sensor elektronik siap pakai atau sensor yang telah tervalidasi untuk penggunaan industri. BPCDs digunakan sebagai konteks pembelajaran yang memungkinkan peserta didik mengamati pendaran di bawah UV 365 nm, menghitung energi foton, menafsirkan puncak UV-Vis sekitar 287-288 nm, memahami estimasi optical band gap sekitar 3,45 eV, membaca puncak emisi photoluminescence (PL) sekitar 439 nm, serta mengevaluasi data quenching ion logam. Penegasan batas konteks ini penting agar hasil analisis instrumen tidak disalahartikan sebagai validasi kinerja sensor.

Konteks pembelajaran tersebut memerlukan asesmen yang tidak hanya memeriksa penguasaan istilah atau rumus, tetapi juga kemampuan menjelaskan fenomena ilmiah, mengevaluasi rancangan penyelidikan, menginterpretasikan data dan bukti, serta menggunakan informasi ilmiah untuk mengambil keputusan (OECD, 2025; Saputra & Noor, 2025). Kemampuan tersebut menumbuhkan kepedulian dan tanggung jawab terhadap diri sendiri, masyarakat, dan lingkungan dalam menghadapi tantangan era teknologi (Noor, 2020). Pembelajaran kontekstual dan inkuiri terbimbing relevan karena menempatkan fenomena, data, dan penyelidikan sebagai bagian penting dari proses belajar (Constantinou et al., 2018; Dori et al., 2018; Lazonder, 2022; Lazonder & Harmsen, 2016; Pedaste, 2022). Akan tetapi, penggunaan konteks autentik perlu diikuti pemeriksaan kualitas instrumen agar tingkat kesulitan butir dan estimasi kemampuan peserta didik dapat ditafsirkan secara hati-hati.

Penelitian terdahulu yang dirujuk dalam artikel ini memperlihatkan dua arah kajian yang saling melengkapi: kajian Carbon Dots yang menekankan sintesis, karakterisasi optik, atau pengalaman laboratorium, serta kajian pengukuran yang menggunakan Model Rasch untuk mengevaluasi fungsi instrumen (Bond et al., 2020; Boone, 2016). Namun, pada cakupan literatur yang digunakan di sini, masih terbatas pembahasan yang secara bersamaan menghubungkan konteks fluoresensi dan respons optik BPCDs dengan analisis Rasch atas butir literasi sains Fisika Modern. Karena itu, kebaruan penelitian ini bukan terletak pada penemuan material BPCDs, melainkan pada penggunaan konteks tersebut untuk memetakan konsistensi pengukuran, kesesuaian butir, hierarki kesulitan, dan kecocokan instrumen dengan rentang kemampuan peserta didik. Analisis Rasch dipilih karena menempatkan kemampuan person dan kesulitan item pada skala logit yang sama, sekaligus menyediakan informasi reliabilitas, separation, fit, dan Wright Map.

Berdasarkan kesenjangan tersebut, penelitian ini berfokus pada tiga pertanyaan: (1) sejauh mana instrumen literasi sains berbasis konteks BPCDs menunjukkan konsistensi pengukuran dan kesesuaian butir menurut Model Rasch; (2) bagaimana distribusi kemampuan peserta didik, hierarki tingkat kesulitan item, dan informasi pengukuran instrumen; serta (3) implikasi diagnostik apa yang secara proporsional dapat ditarik dari

temuan tersebut untuk merancang pembelajaran Fisika Modern berbasis inkuiri terbimbing. Observasi kelas dan wawancara guru digunakan sebagai konteks untuk menjelaskan kebutuhan pembelajaran, bukan sebagai bukti efektivitas intervensi pembelajaran.

Metode

Desain Penelitian

Penelitian ini menggunakan desain evaluasi instrumen dengan pendekatan kuantitatif berbasis Model Rasch dikotomus. Fokus penelitian adalah mengevaluasi kualitas pengukuran instrumen literasi sains berbasis konteks Black Pepper Carbon Dots (BPCDs), meliputi reliabilitas, pemisahan kemampuan peserta didik dan tingkat kesulitan butir, kesesuaian butir terhadap model, serta distribusi informasi pengukuran. Observasi pembelajaran dan wawancara guru digunakan sebagai data kontekstual untuk menggambarkan kondisi pembelajaran Fisika Modern dan relevansi konteks BPCDs. Data kontekstual tersebut mendukung interpretasi hasil kuantitatif dan tidak diperlakukan sebagai komponen tersendiri dalam desain metode campuran.

Partisipan

Penelitian dilaksanakan di SMA Negeri 17 Garut, Jawa Barat, dengan melibatkan 124 peserta didik kelas XII dari empat kelas yang memilih mata pelajaran Fisika sebagai mata pelajaran pilihan dan telah mempelajari materi gelombang. Pemilihan kelas menggunakan teknik purposive sampling berdasarkan kesesuaian karakteristik peserta didik dengan konteks penelitian. Distribusi peserta berdasarkan jenis kelamin dan kelas disajikan pada Tabel 1. Hasil analisis menggambarkan karakteristik pengukuran instrumen pada kelompok yang diteliti. Generalisasi ke populasi yang lebih luas perlu mempertimbangkan karakteristik sampel dan konteks penelitian.

Tabel 1. Profil Demografis Peserta dalam Penelitian

Demografi	Kategori	Frekuensi	Persentase (%)
Jenis kelamin	Perempuan	45	36,6
	Laki-laki	79	63,7
Kelas	Kelas XII-1	30	24,2
	Kelas XII-2	33	26,6
	Kelas XII-3	31	25,0
	Kelas XII-4	30	24,2

Instrumen Penelitian dan Telaah Isi

Instrumen penelitian berupa 20 butir soal pilihan ganda dengan penskoran dikotomus, yaitu skor 1 untuk jawaban benar dan skor 0 untuk jawaban salah. Butir disusun dalam konteks BPCDs sebagai material fluoresen dan konteks sensor optik ion logam. Materi yang dicakup meliputi spektrum cahaya, energi foton, absorpsi, emisi, fluoresensi, UV-Vis, Tauc Plot, photoluminescence (PL), quenching, koefisien determinasi (R^2), limit of detection (LOD), serta keterbatasan klaim ilmiah. Indikator literasi sains meliputi (1) menjelaskan fenomena ilmiah; (2) mengevaluasi rancangan penyelidikan serta menginterpretasikan data dan bukti ilmiah; dan (3) menggunakan informasi ilmiah untuk mengambil keputusan. Pemetaan butir terhadap indikator dibaca berdasarkan tuntutan dominan setiap soal. Satu butir dapat berkaitan dengan lebih dari satu indikator.

Sebelum digunakan, instrumen ditelaah oleh seorang guru fisika senior, Bapak Ari Wahyu Ariandi, M.Pd. Aspek telaah meliputi kejelasan bahasa, kesesuaian indikator dengan materi, dan keterlaksanaan instrumen. Berdasarkan telaah tersebut, dilakukan revisi kecil pada kejelasan petunjuk pengisian. Karena telaah isi melibatkan satu orang penelaah, prosedur ini diperlakukan sebagai pemeriksaan awal terhadap keterbacaan dan kesesuaian isi, bukan sebagai bukti lengkap validitas instrumen dari berbagai aspek.

Karakteristik instrumen dan konteks data yang digunakan dalam butir soal dirangkum pada Tabel 2.

Tabel 2. Karakteristik Instrumen Literasi Sains Berbasis BPCDs

Komponen	Deskripsi
Bentuk instrumen	Soal Science berbasis konteks Fisika Modern
Jumlah butir	20 item
Skor	Dikotomus, 0 dan 1
Konteks	Black Pepper Carbon Dots (BPCDs) sebagai material fluoresen dan konteks sensor optik ion logam
Materi	Spektrum cahaya, energi foton, absorpsi, emisi, fluoresensi, UV-Vis, PL, quenching, R^2 , dan LOD
Model pembelajaran yang menjadi konteks inovasi	Inkuiri terbimbing
Indikator literasi sains	Menjelaskan fenomena ilmiah; mengevaluasi rancangan, menginterpretasikan data, dan bukti ilmiah; menggunakan informasi ilmiah untuk mengambil keputusan
Data optik konteks soal	UV 365 nm; UV-Vis 287-288 nm; band gap 3,45 eV; emisi PL 439 nm; redshift 390-478 nm
Data sensor konteks soal	F/F ₀ beberapa ion logam; Fe ³⁺ menunjukkan quenching kuat; R^2 sekitar 0,916; estimasi LOD sekitar 143,3 μ M

Prosedur Pengumpulan Data

Tes tertulis dilaksanakan pada 20 Agustus 2026, setelah seluruh aktivitas pembelajaran pada pertemuan kelima selesai. Tes diberikan dalam bentuk lembar soal cetak dengan durasi 90 menit. Sebelum tes dimulai, guru menyampaikan instruksi secara lisan. Peserta didik mengerjakan soal secara individual dengan memilih satu jawaban yang paling tepat untuk setiap butir. Jawaban benar diberi skor 1, sedangkan jawaban salah diberi skor 0. Respons peserta didik selanjutnya disiapkan untuk dianalisis menggunakan Model Rasch dikotomus.

Observasi awal dilaksanakan di SMA Negeri 17 Garut pada 20 Mei 2026 untuk memperoleh gambaran tentang metode pembelajaran, penggunaan media, keterlibatan peserta didik, hambatan belajar, dan kebutuhan inovasi pada materi Fisika Modern, khususnya spektrum cahaya, energi foton, absorpsi, emisi, dan fluoresensi. Observasi pembelajaran selanjutnya dilakukan selama lima pertemuan pada 3-20 Agustus 2026 dalam kegiatan pembelajaran Fisika Modern berbasis konteks sintesis carbon dots dari biji lada hitam. Aspek yang diamati meliputi antusiasme dan keaktifan peserta didik, keterlibatan dalam tahapan inkuiri terbimbing, serta kendala teknis selama kegiatan laboratorium. Aktivitas yang diamati mencakup sintesis dan pengamatan fluoresensi BPCDs, spektrum cahaya, energi foton, absorpsi dan emisi, analisis UV-Vis, Tauc Plot, PL, quenching, R^2 , LOD, serta pembahasan keterbatasan klaim ilmiah. Observasi menggunakan lembar keterlaksanaan pembelajaran berbasis inkuiri terbimbing dan catatan lapangan (field notes).

Wawancara semi-terstruktur dilakukan terhadap guru Fisika SMA Negeri 17 Garut, Bapak Ari Wahyu Ariandi, M.Pd., dengan durasi sekitar 30-45 menit. Wawancara membahas metode dan media pembelajaran, keterlibatan peserta didik, hambatan belajar pada materi Fisika Modern, serta kebutuhan inovasi pembelajaran berbasis inkuiri terbimbing. Data dicatat menggunakan pedoman wawancara dan direkam sebagai bahan transkripsi. Data observasi dan wawancara dianalisis secara deskriptif untuk memberikan konteks terhadap hasil evaluasi instrumen, bukan untuk menyimpulkan efektivitas intervensi pembelajaran.

Analisis Data

Respons 124 peserta didik terhadap 20 butir dianalisis menggunakan Model Rasch dikotomus dengan bantuan WINSTEPS versi 3.73. Parameter yang diperiksa meliputi person measure, item measure, person reliability, item reliability, person separation, item separation, Cronbach Alpha/KR-20, infit dan outfit mean-square (MNSQ), nilai ZSTD, point-measure correlation (PT-measure correlation), Wright Map, dan Test Information Function. Reliabilitas person digunakan untuk menilai konsistensi pemerinkatan kemampuan peserta didik, sedangkan reliabilitas item digunakan untuk menilai kestabilan hierarki kesulitan butir. Separation digunakan untuk memperkirakan kemampuan instrumen membedakan tingkat kemampuan person dan tingkat kesulitan item.

Rentang infit dan outfit MNSQ sebesar 0,5-1,5 digunakan sebagai acuan penapisan kesesuaian butir. Nilai di bawah rentang tersebut dapat menunjukkan respons yang terlalu terprediksi, sedangkan nilai di atasnya perlu ditelaah lebih lanjut. PT-measure correlation diharapkan bernilai positif. Keputusan mempertahankan,

merevisi, atau menghapus butir tidak ditentukan oleh satu statistik secara terpisah, tetapi mempertimbangkan statistik fit, arah korelasi PT-measure, kejelasan stimulus dan kunci jawaban, serta kesesuaian isi dengan indikator literasi sains (Bond et al., 2020; Boone, 2016; Liu & Boone, 2023). Wright Map digunakan untuk membaca hubungan antara kemampuan peserta didik dan kesulitan butir pada skala logit yang sama, sedangkan *Test Information Function* digunakan untuk mengidentifikasi rentang kemampuan yang menghasilkan informasi pengukuran paling tinggi.

Etika Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan dengan persetujuan peserta didik dan pihak sekolah melalui surat izin penelitian Nomor 556/PK.03.03/SMAN17 Garut.CDPW.XI. Persetujuan orang tua/wali diwakili melalui izin resmi institusi sekolah sesuai dengan prosedur yang diterapkan dalam pelaksanaan penelitian. Kerahasiaan identitas peserta didik dijaga selama proses pengolahan, analisis, dan pelaporan data. Hasil penelitian disajikan tanpa mengungkapkan identitas individual peserta didik untuk melindungi privasi partisipan.

Hasil dan Pembahasan

Konteks Pembelajaran Fisika Modern dan Relevansi BPCDs

Observasi pembelajaran dan wawancara guru di SMA Negeri 17 Garut mengindikasikan bahwa pengalaman belajar langsung pada materi Fisika Modern masih perlu diperkuat. Guru telah memanfaatkan PowerPoint dan simulasi PhET, tetapi media virtual belum sepenuhnya menghadirkan pengalaman empiris untuk mengamati fenomena optik. Topik spektrum cahaya, energi foton, absorpsi, emisi, dan fluoresensi menuntut peserta didik menghubungkan model matematis dengan bukti yang dapat diamati. Temuan kontekstual ini digunakan untuk menjelaskan alasan pemilihan konteks BPCDs, bukan untuk menyatakan bahwa penggunaan media tertentu telah terbukti menyebabkan kesulitan belajar.

Pembelajaran berbasis BPCDs memberikan alternatif karena menghadirkan fenomena optik yang dapat diamati secara visual. Pendaran BPCDs di bawah sinar UV dapat menjadi titik awal diskusi tentang penyerapan foton UV, emisi cahaya tampak, Stokes shift, dan hubungan energi foton dengan panjang gelombang (Yadav et al., 2024). Dalam pembelajaran inkuiri terbimbing, konteks ini juga dapat diperluas melalui analisis data UV-Vis, Tauc Plot, PL, F/F_0 , persentase quenching, R^2 , dan estimasi LOD. Dengan demikian, peserta didik tidak hanya mengamati fenomena, tetapi juga belajar mengevaluasi bukti dan menghindari klaim ilmiah yang berlebihan.

Konteks BPCDs sejalan dengan gagasan pembelajaran berbasis konteks karena peserta didik dihadapkan pada fenomena nyata, data, dan masalah ilmiah yang dapat dianalisis. Pembelajaran berbasis konteks berpotensi membantu peserta didik memahami bacaan ilmiah dan konsep yang kompleks apabila dipadukan dengan bimbingan metakognitif (Dori et al., 2018). Sementara itu, inkuiri terbimbing diperlukan karena pembelajaran berbasis penyelidikan akan lebih efektif ketika peserta didik memperoleh dukungan yang memadai dalam merumuskan masalah, mengumpulkan data, dan menarik kesimpulan (Lazonder, 2022; Lazonder & Harmsen, 2016; Pedaste, 2022).

Reliabilitas Person, Reliabilitas Item, Separation, dan Konsistensi Instrumen

Untuk memberikan gambaran menyeluruh mengenai kualitas pengukuran, Tabel 3 merangkum jumlah responden dan butir, capaian skor, reliabilitas person dan item, indeks separation, serta rentang kesulitan item. Parameter tersebut dibaca secara bersama-sama karena tidak satu pun indeks, jika berdiri sendiri, cukup untuk menyatakan bahwa seluruh aspek validitas instrumen telah terpenuhi.

Hasil analisis Rasch menunjukkan bahwa rata-rata skor peserta didik adalah 12,0 dari 20 butir dan person measure mean sebesar 0,71 logit. Nilai tersebut berada di atas titik rata-rata skala kesulitan item yang ditetapkan pada 0,00 logit, sehingga secara umum peserta didik dalam sampel ini menunjukkan kemampuan yang relatif lebih tinggi dibandingkan tingkat kesulitan rata-rata butir. Interpretasi ini berlaku untuk kelompok yang diteliti dan tidak otomatis dapat digeneralisasikan ke populasi sekolah lain.

Person reliability sebesar 0,81 menunjukkan konsistensi pemeringkatan kemampuan peserta didik yang cukup baik, sedangkan Cronbach Alpha/KR-20 sebesar 0,84 mendukung konsistensi internal respons terhadap instrumen. Item reliability sebesar 0,96 menunjukkan bahwa hierarki kesulitan item relatif stabil dalam sampel ini. Item separation sebesar 5,01 mengindikasikan beberapa tingkat kesulitan butir dapat dibedakan, sementara person separation sebesar 2,05 menunjukkan bahwa instrumen dapat membedakan kelompok kemampuan peserta didik pada tingkat tertentu. Sejalan dengan pembahasan pengembangan instrumen berbasis Rasch,

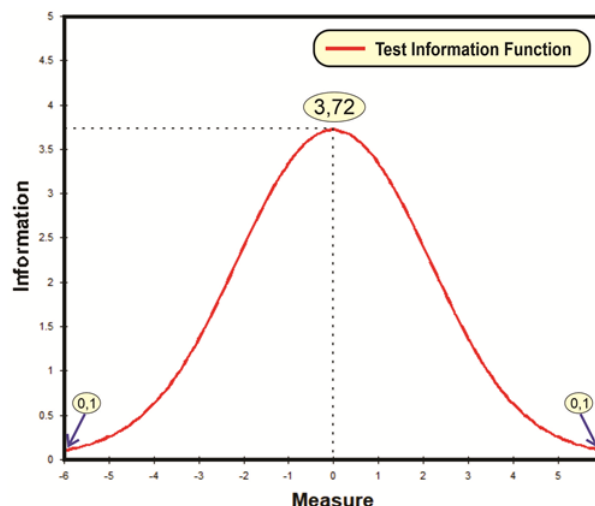
nilai-nilai ini memberi bukti tentang konsistensi dan struktur pengukuran, tetapi tidak menggantikan pemeriksaan kesesuaian butir, cakupan konstruk, dan validasi pada sampel lain (Bond et al., 2020; Boone, 2016).

Dalam perspektif Rasch, reliabilitas item dan item separation yang tinggi mendukung interpretasi bahwa hierarki kesulitan butir relatif stabil, bukan sekadar urutan yang muncul secara acak. Informasi ini dapat digunakan untuk mengidentifikasi butir yang mengakses konsep dasar dan butir yang menuntut analisis lebih kompleks. Namun, tingginya tingkat kesulitan suatu butir tidak secara otomatis menunjukkan bahwa butir tersebut mengukur kemampuan penalaran tingkat tinggi. Penetapan karakteristik tersebut perlu didukung oleh analisis terhadap isi butir, stimulus yang digunakan, serta tuntutan kognitif yang diperlukan untuk menyelesaikannya.

Tabel 3. Ringkasan Hasil Analisis Rasch

Parameter	Nilai	Interpretasi Pendidikan
Jumlah responden	124	Jumlah data memadai untuk pemetaan awal kemampuan siswa
Jumlah item	20	Instrumen ringkas dan berbasis konteks
Rata-rata skor person	12,0 dari 20	Capaian rata-rata berada pada tingkat sedang
Person measure mean	0,71 logit	Kemampuan rata-rata siswa lebih tinggi daripada rata-rata kesulitan item
Person reliability	0,81	Konsistensi pemeringkatan kemampuan siswa tergolong baik
Model person reliability	0,82	Mendukung kestabilan estimasi kemampuan peserta didik
Cronbach Alpha/KR-20	0,84	Reliabilitas internal instrumen baik
Person separation	2,05	Instrumen cukup membedakan kelompok kemampuan siswa
Item reliability	0,96	Hierarki kesulitan item sangat stabil
Item separation	5,01	Instrumen mampu membedakan banyak tingkat kesulitan item
Item measure minimum	-2,25 logit	Item paling mudah adalah S1
Item measure maksimum	2,19 logit	Item paling sulit adalah S19

Gambar 1 menyajikan Test Information Function (TIF), yaitu pola informasi pengukuran pada berbagai tingkat kemampuan. Kurva mencapai puncak sekitar 0 logit dengan informasi sekitar 3,72, kemudian menurun ke sekitar 0,1 pada kedua ujung skala, yaitu mendekati -6 dan +6 logit. Pola ini menunjukkan bahwa instrumen memberikan informasi paling banyak di sekitar tingkat kemampuan menengah dan relatif kurang presisi pada peserta didik dengan kemampuan sangat rendah atau sangat tinggi. Karena rata-rata kemampuan person berada pada 0,71 logit, puncak informasi di sekitar 0 logit tetap berada pada wilayah kemampuan yang relevan bagi sebagian besar sampel, tetapi belum mencakup kelompok ekstrem dengan ketelitian yang sama.



Gambar 1. Test Information Function Instrumen

Kualitas Butir Berdasarkan Infit-Outfit MNSQ dan PT-Measure Correlation

Ringkasan output WINSTEPS menunjukkan rata-rata infit MNSQ sebesar 1,00 (SD = 0,09) dan outfit MNSQ sebesar 0,92 (SD = 0,16). Nilai infit berada pada rentang 0,85-1,15, sedangkan outfit berada pada rentang 0,56-1,21. Seluruh nilai tersebut berada dalam rentang acuan 0,5-1,5 yang digunakan dalam penelitian ini. PT-measure correlation seluruh butir juga positif, dengan rentang 0,32-0,61. Statistik per butir disajikan pada Tabel 4. Temuan ini mendukung keputusan untuk mempertahankan butir berdasarkan statistik fit, dengan tetap melakukan penelaahan isi terhadap butir yang korelasinya relatif lebih rendah.

Tabel 4. Statistik Kesesuaian Butir Berdasarkan Output WINSTEPS

Item	Measure (logit)	Infit MNSQ	Outfit MNSQ	PT-Measure Correlation	Keputusan Berdasarkan fit
S1	-2,25	0,89	0,56	0,39	Dipertahankan; telaah isi
S2	-1,55	1,15	0,92	0,32	Dipertahankan; telaah isi
S3	-0,86	0,96	0,82	0,47	Dipertahankan
S4	-1,87	1,00	0,69	0,37	Dipertahankan; telaah isi
S5	-1,09	1,00	0,87	0,43	Dipertahankan; telaah isi
S6	-1,41	0,97	0,90	0,41	Dipertahankan; telaah isi
S7	-0,64	1,06	0,95	0,44	Dipertahankan
S8	-0,49	1,02	0,94	0,47	Dipertahankan
S9	-0,05	0,86	0,84	0,58	Dipertahankan
S10	-0,24	0,92	0,74	0,55	Dipertahankan
S11	0,09	0,93	0,82	0,56	Dipertahankan
S12	1,62	1,14	1,04	0,49	Dipertahankan
S13	0,23	0,85	0,77	0,61	Dipertahankan
S14	0,41	1,12	1,04	0,48	Dipertahankan
S15	1,46	0,94	1,01	0,57	Dipertahankan
S16	0,64	1,06	1,20	0,50	Dipertahankan
S17	0,83	1,00	1,09	0,54	Dipertahankan
S18	1,89	1,02	1,06	0,52	Dipertahankan
S19	2,19	1,08	0,96	0,50	Dipertahankan
S20	1,07	1,11	1,21	0,49	Dipertahankan

Catatan: Seluruh nilai infit dan outfit MNSQ berada pada rentang 0,5-1,5 dan seluruh PT-measure correlation bernilai positif. Butir S2, S4, S1, S6, dan S5 memiliki korelasi relatif lebih rendah dibandingkan butir lain sehingga diprioritaskan untuk telaah isi. Keputusan ini bukan rekomendasi penghapusan otomatis.

Nilai PT-measure correlation terendah terdapat pada S2 (0,32), diikuti S4 (0,37), S1 (0,39), S6 (0,41), dan S5 (0,43). Seluruh korelasi tetap positif, sehingga nilai-nilai tersebut tidak menjadi dasar untuk menghapus butir secara otomatis. Namun, kelima butir tersebut dapat diprioritaskan untuk penelaahan isi, khususnya terhadap kejelasan stimulus, opsi pengecoh, kunci jawaban, dan kesesuaian dengan indikator yang dituju. Untuk S2 yang menguji hubungan panjang gelombang dan energi foton, dugaan bahwa sebagian peserta didik mengandalkan pengenalan pola belum dapat dipastikan dari statistik Rasch saja; konfirmasi memerlukan analisis respons, pemeriksaan pengecoh, atau wawancara kognitif.

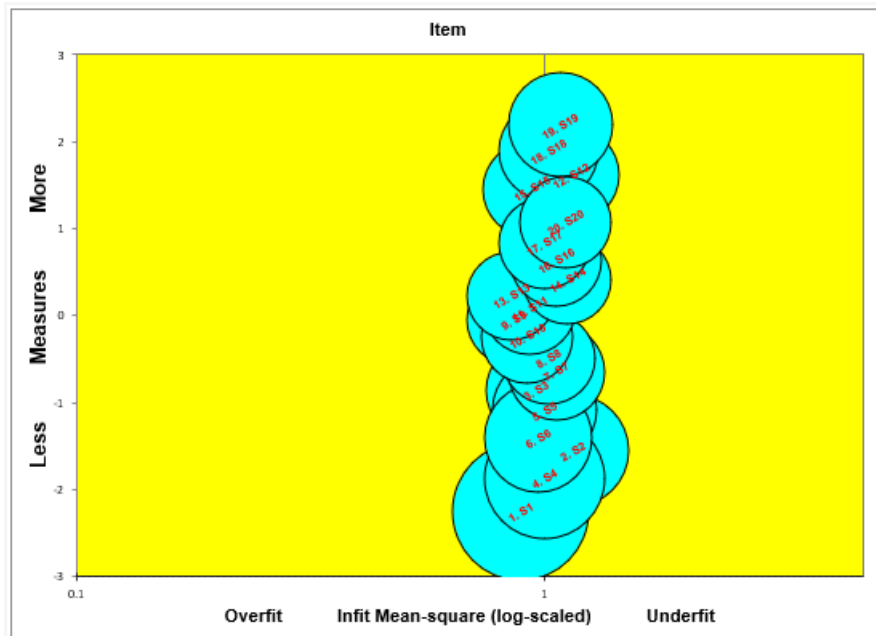
Butir S19, S18, S12, S15, dan S20 memiliki ukuran kesulitan relatif tinggi. Berdasarkan isi soal, butir-butir tersebut melibatkan evaluasi data sensor, perhitungan quenching, interpretasi spektrum, atau penilaian batas bukti ilmiah. Penjelasan mengenai tuntutan kognitif ini merupakan interpretasi berdasarkan substansi butir, bukan penyebab kesulitan yang telah dibuktikan melalui data proses respons.

Hierarki Tingkat Kesulitan Item Berdasarkan Logit

Hasil analisis hierarki tingkat kesulitan pada Tabel 5 menunjukkan bahwa measure item berada pada rentang -2,25 hingga 2,19 logit. Item paling mudah adalah S1 (-2,25 logit), yang berfokus pada fenomena fluoresensi UV dan emisi cahaya tampak, diikuti S4 (-1,87 logit) mengenai peran H_3PO_4 dalam sintesis BPCDs. Item paling sulit adalah S19 (2,19 logit), disusul S18 (1,89 logit) dan S12 (1,62 logit), yang berkaitan

dengan evaluasi bukti sensor, perhitungan quenching, dan interpretasi data UV-Vis. Urutan ini menunjukkan kesulitan relatif butir dalam sampel yang diteliti. Penafsiran mengenai tuntutan kognitif tetap perlu didasarkan pada analisis isi tiap soal.

Temuan pada Tabel 5 dapat dibaca bersama Tabel 4, Gambar 2, dan Gambar 3. Tabel 4 menyajikan statistik kesesuaian tiap butir, Tabel 5 menunjukkan hierarki kesulitan, Gambar 2 memperlihatkan diagram bubble berdasarkan infit MNSQ, sedangkan Gambar 3 memetakan kemampuan person dan kesulitan item pada skala logit yang sama. Sajian tersebut saling melengkapi, tetapi kesesuaian statistik tidak dengan sendirinya membuktikan seluruh aspek validitas konstruk.



Gambar 2. Diagram Bubble Urutan Kesesuaian Butir Soal Berdasarkan Infit MNSQ

Tabel 5. Tingkat Kesulitan Item

Nomor Soal	Item	Measure	Kategori	Fokus Konsep
1	S1	-2,25	Sangat mudah	Fenomena fluoresensi UV dan emisi cahaya tampak
2	S4	-1,87	Mudah	Peran H_3PO_4 dalam sintesis BPCDs
3	S2	-1,55	Mudah	Hubungan panjang gelombang dan energi foton
4	S6	-1,41	Mudah	Perhitungan energi foton cahaya ungu
5	S5	-1,09	Mudah	Keselamatan kerja UV, microwave, asam, dan ion logam
6	S3	-0,86	Cukup mudah	Variabel bebas uji ion logam
7	S7	-0,64	Cukup mudah	Perbandingan energi foton UV dan cahaya tampak
8	S8	-0,49	Cukup mudah	Kualitas data aplikasi spektrometer ponsel
9	S10	-0,24	Sedang	Interpretasi grafik F/F_0
10	S9	-0,05	Sedang	Ion dengan quenching paling kuat
11	S11	0,09	Sedang	Keterbatasan bukti visual foto UV
12	S13	0,23	Sedang	Makna optical band gap 3,45 eV
13	S14	0,41	Sedang	Keterbatasan UV-Vis, PL, dan Tauc Plot
14	S16	0,64	Cukup sulit	Redshift emisi BPCDs
15	S17	0,83	Cukup sulit	Tren quenching Fe^{3+}
16	S20	1,07	Sulit	Evaluasi klaim ukuran nano dari pendaran UV
17	S15	1,46	Sulit	Interpretasi puncak emisi PL 439 nm
18	S12	1,62	Sulit	Puncak absorbansi UV-Vis sekitar 288 nm
19	S18	1,89	Sangat sulit	Persentase quenching Fe^{3+}
20	S19	2,19	Sangat sulit	Evaluasi R^2 , LOD, blanko, dan validasi sensor

S1 merupakan butir dengan measure paling rendah dan berfokus pada pengenalan fenomena fluoresensi. Stimulus visual memungkinkan peserta didik menghubungkan pendaran BPCDs di bawah UV 365 nm dengan penyerapan foton UV dan emisi cahaya tampak. S4, S2, S6, dan S5 juga memiliki measure relatif rendah dan berhubungan dengan peran bahan dalam sintesis, hubungan panjang gelombang-energi, perhitungan energi foton, serta keselamatan kerja. Kedekatan stimulus dengan pengalaman visual atau pengetahuan prosedural merupakan penjelasan yang masuk akal berdasarkan isi soal, tetapi tidak dapat dipastikan sebagai penyebab kesulitan hanya dari ukuran logit.

Kesulitan relatif pada butir UV-Vis, PL, quenching, R^2 , LOD, dan klaim ukuran nanopartikel menunjukkan bahwa sejumlah soal menuntut peserta didik menghubungkan data dengan klaim ilmiah, bukan hanya mengenali istilah Fisika Modern. Pola ini mendukung pentingnya literasi data dan penalaran berbasis bukti sebagai sasaran pembelajaran. Meski demikian, hasil Rasch tidak secara langsung mengungkap proses berpikir yang menyebabkan jawaban salah. Dugaan penyebab kesulitan perlu diuji melalui wawancara kognitif, analisis pengecoh, atau pengumpulan data proses respons.

Keterwakilan Indikator Literasi Sains

Berdasarkan tuntutan dominan pada fokus butir yang disajikan dalam Tabel 5, pemetaan konseptual awal menempatkan S1, S2, S4, S6, S7, S13, S15, dan S16 terutama pada indikator menjelaskan fenomena ilmiah; S3, S8, S10, S11, S12, S14, S17, S18, dan S20 terutama pada indikator mengevaluasi rancangan serta menginterpretasikan data dan bukti. S5, S9, dan S19 terutama berkaitan dengan penggunaan informasi ilmiah untuk mengambil keputusan. Batas antarkategori tidak sepenuhnya tegas, misalnya S19 juga menuntut evaluasi bukti. Oleh karena itu, pemetaan ini merupakan pembacaan isi berdasarkan fokus soal, bukan bukti bahwa ketiga indikator telah membentuk subskala psikometrik yang terpisah. Reliabilitas dan fit per indikator belum dianalisis secara terpisah dalam penelitian ini.

Interpretasi Wright Map: Hubungan Kemampuan Peserta Didik dan Tingkat Kesulitan Soal

Gambar 3 menunjukkan Wright Map yang menempatkan kemampuan peserta didik dan kesulitan butir pada skala logit yang sama (Briggs, 2019; Tagupa & Arnado, 2024). Peta tersebut memperlihatkan variasi kemampuan peserta didik, dari posisi yang berada di bawah sejumlah butir hingga posisi yang melampaui butir tersulit. Pola ini mengindikasikan bahwa instrumen mencakup beberapa tingkat kemampuan dalam sampel yang diteliti, tetapi cakupan pada kedua ujung skala tidak seimbang sebagaimana juga terlihat pada Test Information Function.

Pada sisi item, S19, S18, S12, S15, dan S20 berada pada bagian atas skala logit dan menunjukkan kesulitan relatif lebih tinggi. Isi butir tersebut berkaitan dengan evaluasi data sensor, perhitungan quenching, interpretasi UV-Vis dan PL, serta batas klaim ukuran partikel. Temuan ini dapat menjadi dasar untuk merancang scaffolding pembelajaran, misalnya latihan membaca grafik dan membandingkan bukti dengan klaim. Rekomendasi tersebut merupakan implikasi pedagogis yang diturunkan dari karakteristik butir, bukan bukti bahwa strategi tersebut telah meningkatkan hasil belajar.

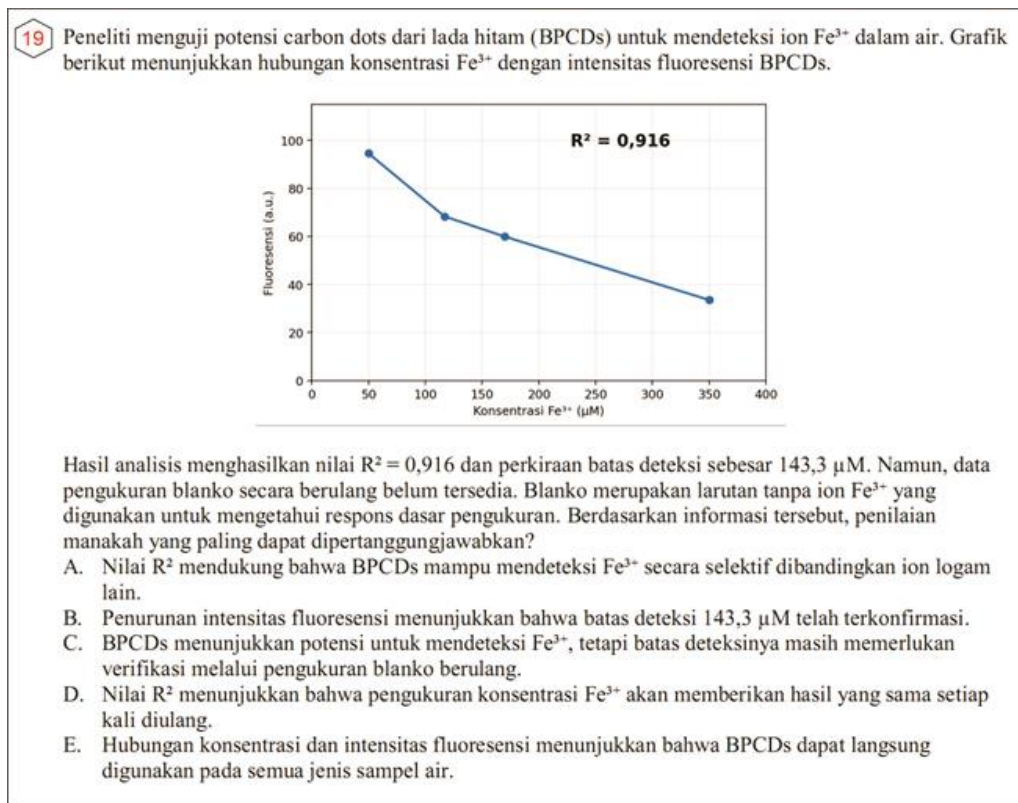
Sebaliknya, S1, S4, S2, S6, dan S5 berada pada bagian bawah skala logit sehingga relatif lebih mudah dijawab oleh peserta didik dalam sampel ini. Butir-butir tersebut dapat digunakan sebagai titik awal asesmen diagnostik, kemudian diikuti soal yang menuntut interpretasi data dan evaluasi bukti. Urutan ini merupakan saran desain pembelajaran berdasarkan urutan tingkat kesulitan item. Efektivitas urutan tersebut perlu diuji melalui penelitian intervensi.



Gambar 3. Person-Item Map Instrumen Literasi Sains Berbasis Konteks Fisika Modern

Analisis Butir Tersulit dan Konsep Fisika Modern yang Terkait

Item-item tersulit menunjukkan bahwa S19 menuntut peserta didik menilai kekuatan bukti mengenai potensi BPCDs sebagai probe fluoresensi untuk Fe^{3+} . Nilai R^2 pada grafik menggambarkan kekuatan hubungan pada data yang ditampilkan, tetapi tidak cukup untuk menyimpulkan selektivitas, sensitivitas, atau reproduktibilitas sensor tanpa informasi tambahan seperti pengukuran blanko, ulangan, pembandingan ion, dan validasi metode. Penafsiran ini menjelaskan tuntutan isi pada S19. Penelitian ini tidak mengukur secara langsung proses kognitif yang dilalui peserta didik saat menjawabnya.



Gambar 4. Contoh Butir Soal Literasi Sains Tentang Interpretasi Data Dan Pengambilan Solusi Ilmiah Dalam Konteks BPCDs sebagai Sensor Fluoresensi ion Fe^{3+}

Tabel 6 merangkum lima butir dengan measure tinggi, fokus materi, dugaan tuntutan yang membuatnya menantang, dan implikasi pembelajaran yang mungkin ditindaklanjuti. Kolom penyebab kesulitan perlu dibaca sebagai interpretasi berdasarkan isi soal, bukan sebagai penyebab yang telah dibuktikan melalui wawancara peserta didik atau analisis proses respons.

Tabel 6. Interpretasi Item Sulit dan Konsep Fisika Modern yang Terkait

Item	Measure	Fokus Soal	Penyebab Kesulitan	Implikasi Pembelajaran
S19	2,19	Evaluasi potensi BPCDs sebagai probe Fe^{3+} berdasarkan R^2 dan LOD	Menuntut evaluasi bukti, validasi blanko, ulangan, dan pembandingan ion	Guru perlu melatih siswa membedakan bukti awal dan klaim final
S18	1,89	Perhitungan persentase quenching	Membutuhkan pengolahan data F_0 dan F serta interpretasi penurunan intensitas	Perlu latihan bertahap tentang rasio F/F_0 dan persen quenching
S12	1,62	Interpretasi UV-Vis puncak 288 nm	Menuntut pemahaman wilayah UV dan keterkaitannya dengan eksitasi	Guru perlu menguatkan pembacaan sumbu grafik dan wilayah spektrum
S15	1,46	Hubungan puncak emisi PL 439 nm dengan pendaran biru	Menuntut hubungan antara data grafik PL dan pengamatan visual	Perlu membandingkan warna tampak dengan rentang panjang gelombang
S20	1,07	Evaluasi klaim bahwa pendaran UV membuktikan ukuran nano	Menuntut pemahaman keterbatasan bukti optik dan kebutuhan TEM/HRTEM	Guru perlu menekankan prinsip klaim ilmiah berbasis bukti

Kesulitan relatif pada butir-butir tersebut memperlihatkan pentingnya membiasakan peserta didik membaca data ilmiah, menafsirkan grafik, dan memeriksa apakah bukti yang tersedia memadai untuk mendukung klaim. Kemampuan menyatakan bahwa data belum cukup untuk membuktikan suatu klaim

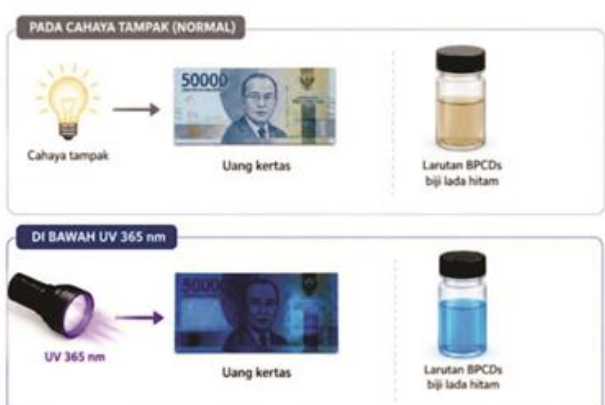
merupakan bagian dari penalaran berbasis bukti, bukan sekadar kekurangan pengetahuan. Akan tetapi, hasil ini menunjukkan pola kesulitan butir, bukan bukti langsung tentang miskonsepsi spesifik setiap peserta didik.

Dalam konteks Carbon Dots, data UV-Vis dan PL memberikan informasi mengenai karakteristik absorpsi dan emisi, tetapi tidak secara langsung menetapkan morfologi atau ukuran partikel. Oleh sebab itu, soal tentang klaim ukuran nano dapat digunakan untuk mendiskusikan batas inferensi dari bukti optik dan kebutuhan karakterisasi tambahan seperti TEM/HRTEM. Rekomendasi ini berangkat dari substansi ilmiah yang digunakan dalam stimulus soal, bukan dari pengukuran langsung terhadap perubahan pemahaman peserta didik.

Analisis Butir Termudah

Item termudah, S1, mengukur kemampuan mengenali fenomena fluoresensi. Stimulus visual memungkinkan peserta didik menghubungkan pendaran biru BPCDs di bawah UV dengan penyerapan foton UV dan emisi cahaya tampak. S4 relatif mudah karena berfokus pada peran H_3PO_4 dalam sintesis BPCDs; S2 dan S6 berkaitan dengan hubungan panjang gelombang-energi dan perhitungan energi foton; sedangkan S5 berkaitan dengan keselamatan kerja. Kedekatan stimulus dengan pengalaman visual atau pengetahuan prosedural merupakan penjelasan yang mungkin berdasarkan isi soal, tetapi penyebab kesulitan tidak dapat dipastikan hanya dari ukuran logit.

01 Seorang siswa mengamati uang kertas dan larutan carbon dots dari lada hitam (BPCDs) menggunakan dua sumber cahaya. Hasil pengamatannya ditunjukkan pada gambar berikut.



PADA CAHAYA TAMPAK (NORMAL)

Cahaya tampak → Uang kertas (50000) | Larutan BPCDs biji lada hitam (cokelat terang)

DI BAWAH UV 365 nm

UV 365 nm → Uang kertas (berkilauan biru) | Larutan BPCDs biji lada hitam (berkilauan biru)

Pada cahaya tampak, larutan BPCDs terlihat cokelat terang. Ketika disinari UV dengan panjang gelombang 365 nm, larutan memancarkan cahaya biru dengan puncak emisi sekitar 439 nm. Penjelasan yang paling tepat mengenai perubahan tersebut adalah

- Larutan memantulkan cahaya UV tanpa mengubah energi fotonnya sehingga terlihat berwarna biru.
- Larutan menyerap cahaya UV, kemudian memancarkan cahaya biru dengan energi foton lebih rendah.
- Larutan membiaskan cahaya UV sehingga panjang gelombangnya berubah menjadi cahaya biru setelah keluar dari larutan.
- Larutan menyerap cahaya UV, kemudian memancarkan cahaya biru dengan energi foton lebih tinggi.
- Larutan menghamburkan cahaya UV tanpa mengubah panjang gelombangnya sehingga terlihat berwarna biru.

Gambar 5. Contoh Butir Soal Literasi Sains Pada Kompetensi Menjelaskan Fenomena Fluoresensi BPCDs Secara Ilmiah

Meskipun mudah, item-item tersebut tetap penting karena menjadi dasar konseptual untuk memahami item yang lebih kompleks. Guru dapat menggunakan item mudah sebagai asesmen diagnostik awal untuk mengetahui apakah siswa sudah memahami konsep dasar sebelum masuk ke analisis UV-Vis, PL, quenching, R^2 , dan LOD. Jika siswa gagal pada item mudah, pembelajaran perlu kembali pada penguatan fenomena dasar, hubungan panjang gelombang-energi, dan keselamatan kerja.

Implikasi Pedagogis terhadap Pembelajaran Inkuiri Terbimbing Berbasis BPCDs

Hasil analisis Rasch memberi petunjuk diagnostik untuk menyusun pembelajaran inkuiri terbimbing berbasis BPCDs, tetapi penelitian ini tidak menguji secara langsung efektivitas rancangan pembelajaran tersebut. Oleh karena itu, hubungan antara temuan Rasch dan strategi pengajaran pada Tabel 7 diposisikan

sebagai rekomendasi yang diturunkan dari karakteristik instrumen, bukan sebagai dampak pembelajaran yang telah dibuktikan.

Tabel 7 menghubungkan indikator reliabilitas dan separation dengan kemungkinan pemanfaatan instrumen. Person reliability dan item reliability mendukung penggunaan instrumen untuk pemetaan awal pada konteks yang serupa, sedangkan person separation memberi petunjuk bahwa respons peserta didik tidak homogen. Namun, pengelompokan remedial, penguatan, dan pengayaan tetap memerlukan pertimbangan guru dan informasi belajar lain, bukan didasarkan pada satu nilai Rasch semata. Perbedaan kesulitan antara S1 dan S19 dapat membantu menyusun urutan aktivitas dari pengamatan fenomena menuju evaluasi data, yang selanjutnya perlu diuji dalam implementasi kelas.

Tabel 8 merumuskan rekomendasi operasional untuk meninjau kembali instrumen dan mendukung pembelajaran. Butir berbasis fenomena visual dapat menjadi orientasi awal, tetapi pertanyaan lanjutan perlu meminta alasan ilmiah. Butir perhitungan energi foton sebaiknya tidak hanya menguji substitusi angka, melainkan juga hubungan antara panjang gelombang dan energi.

Butir UV-Vis, PL, quenching, dan LOD dapat dijadikan konteks latihan membaca sumbu, puncak spektrum, rasio, dan validitas klaim. Untuk soal yang menyinggung ukuran nanopartikel, peserta didik perlu membedakan bukti optik dari bukti morfologi. Saran ini merupakan hipotesis pedagogis yang layak ditindaklanjuti, bukan hasil pengujian efektivitas dalam penelitian ini.

Secara keseluruhan, Tabel 7 dan Tabel 8 menunjukkan bagaimana hasil analisis instrumen dapat diterjemahkan menjadi rekomendasi pembelajaran dan perbaikan butir. Pengujian lebih lanjut diperlukan untuk mengetahui apakah rekomendasi tersebut benar-benar meningkatkan literasi sains dan apakah pola kesulitan yang ditemukan tetap konsisten pada peserta didik dari sekolah lain.

Tabel 7. Implikasi Pedagogis Hasil Rasch terhadap Pembelajaran Inkuiri Terbimbing Berbasis BPCDs

Temuan Rasch	Makna	Tindak Lanjut Pembelajaran
Person reliability 0,81	Instrumen cukup konsisten memetakan kemampuan siswa	Gunakan instrumen sebagai asesmen literasi sains berbasis konteks
Item reliability 0,96	Hierarki item sangat stabil	Jadikan item sulit sebagai dasar pengayaan dan diskusi tingkat tinggi
Person separation 2,05	Siswa dapat dikelompokkan berdasarkan kemampuan	Susun pembelajaran diferensiatif: remedial, penguatan, dan pengayaan
Item separation 5,01	Terdapat beberapa tingkat kesulitan item	Urutkan pembelajaran dari fenomena visual menuju evaluasi data
S1 paling mudah	Fenomena fluoresensi mudah dikenali	Gunakan sebagai orientasi fenomena awal
S19 paling sulit	Evaluasi sensor berbasis R^2 , LOD, dan validasi sulit bagi siswa	Berikan scaffolding membaca grafik, validitas data, dan keterbatasan klaim
Item UV-Vis, PL, quenching sulit	Literasi data masih perlu diperkuat	Latih siswa membaca sumbu, tren, rasio, dan makna parameter
Item overclaim ukuran nano sulit	Siswa perlu memahami batasan bukti optik	Diskusikan perbedaan bukti optik dan bukti morfologi material

Tabel 8. Rekomendasi Perbaikan Instrumen dan Pembelajaran

Aspek	Temuan Utama	Rekomendasi
Item berbasis fenomena visual	Relatif mudah dijawab siswa	Gunakan untuk orientasi awal, tetapi tambahkan pertanyaan lanjutan yang menuntut alasan ilmiah
Item perhitungan energi foton	Relatif mudah apabila rumus tersedia	Kembangkan opsi pengecoh yang menilai pemahaman hubungan panjang gelombang dan energi, bukan sekadar substitusi angka
Item UV-Vis dan PL	Cenderung lebih sulit karena menuntut interpretasi grafik	Latih pembacaan sumbu, puncak kurva, wilayah spektrum, dan hubungan grafik dengan fenomena visual

Aspek	Temuan Utama	Rekomendasi
Item quenching dan LOD	Sulit karena membutuhkan penalaran kuantitatif dan evaluasi validitas data	Berikan latihan bertahap tentang F/F_0 , persen quenching, R^2 , blanko, dan ulangan data
Item klaim ukuran nano	Sulit karena siswa perlu membedakan bukti optik dan morfologi	Tekankan bahwa pendaran UV menunjukkan sifat optik, sedangkan ukuran/morfologi perlu karakterisasi seperti TEM/HRTEM
Format instrumen	Data dikotomus belum menangkap alasan jawaban	Kembangkan instrumen two-tier atau four-tier untuk membaca alasan, keyakinan, dan potensi miskonsepsi

Keterbatasan Penelitian

Penelitian ini memiliki beberapa keterbatasan. Pertama, partisipan berasal dari satu sekolah dan satu tingkat kelas yang dipilih secara purposif, sehingga temuan belum dapat digeneralisasikan tanpa pengujian pada sekolah dengan karakteristik yang lebih beragam. Kedua, telaah isi instrumen hanya dilakukan oleh satu guru fisika senior. Karena itu, bukti validitas isi masih bersifat awal dan perlu diperkuat melalui penelaahan lebih luas. Ketiga, penskoran dikotomus hanya membedakan jawaban benar dan salah serta belum menangkap alasan, tingkat keyakinan, atau jalur penalaran peserta didik. Keempat, fungsi informasi tes menunjukkan presisi yang lebih rendah pada kemampuan sangat rendah dan sangat tinggi. Kelima, observasi dan wawancara berfungsi sebagai data kontekstual, bukan sebagai pengukuran efektivitas pembelajaran. Penelitian selanjutnya perlu melakukan validasi isi dan proses respons yang lebih komprehensif, menguji instrumen pada sampel lintas sekolah, dan mempertimbangkan format two-tier atau four-tier untuk menangkap alasan serta keyakinan peserta didik.

Kesimpulan

Analisis Rasch memberikan bukti awal bahwa instrumen literasi sains berbasis Black Pepper Carbon Dots (BPCDs) memiliki konsistensi pengukuran yang cukup baik, dengan person reliability 0,81, item reliability 0,96, dan Cronbach Alpha/KR-20 0,84. Person separation 2,05 dan item separation 5,01 menunjukkan bahwa instrumen dapat membedakan variasi kemampuan peserta didik dan membentuk hierarki kesulitan butir. Seluruh butir berada dalam rentang acuan infit MNSQ 0,85-1,15 dan outfit MNSQ 0,56-1,21, dengan PT-measure correlation positif. S1 merupakan butir termudah (-2,25 logit), sedangkan S19 merupakan butir tersulit (2,19 logit). Fungsi informasi tes mencapai puncak sekitar 0 logit dan menurun pada kedua ujung skala kemampuan. Temuan ini mendukung penggunaan instrumen sebagai pemetaan diagnostik awal pada konteks yang serupa, bukan sebagai bukti validitas universal atau efektivitas pembelajaran berbasis BPCDs. Penelitian selanjutnya perlu memperluas validasi isi dan proses respons serta menguji instrumen pada sekolah dengan karakteristik peserta didik yang lebih beragam.

Referensi

- Bond, T., Yan, Z., & Heene, M. (2020). *Applying the Rasch Model: Fundamental Measurement in the Human Sciences* (4th Editio). Routledge. <https://doi.org/10.4324/9780429030499>
- Boone, W. J. (2016). Rasch Analysis for Instrument Development: Why, When, and How? *CBE—Life Sciences Education*, 15(4), rm4. <https://doi.org/10.1187/cbe.16-04-0148>
- Briggs, D. C. (2019). Interpreting and visualizing the unit of measurement in the Rasch Model. *Measurement: Journal of the International Measurement Confederation*, 146, 961-971. <https://doi.org/10.1016/j.measurement.2019.07.035>
- Constantinou, C. P., Tsivitanidou, O. E., & Rybska, E. (2018). What Is Inquiry-Based Science Teaching and Learning? In *Contributions from Science Education Research* (Vol. 5, pp. 1-23). https://doi.org/10.1007/978-3-319-91406-0_1
- de Oliveira Lima, L. C., Machado, W. S., & Schiavon, M. A. (2023). Carbon Dots: Chemical Synthesis, Properties and Applications - a review. *Revista Virtual de Quimica*, 15(6), 1163-1178. <https://doi.org/10.21577/1984-6835.20230010>
- Dori, Y. J., Avargil, S., Kohen, Z., & Saar, L. (2018). Context-based learning and metacognitive prompts for enhancing scientific text comprehension. *International Journal of Science Education*, 40(10), 1198-1220. <https://doi.org/10.1080/09500693.2018.1470351>
- George, H. S., Selvaraj, H., Ilangovan, A., Almutairi, B. O., Sheit, M. K., & Sathishkumar, K. (2024). Microwave-assisted one-pot synthesis of carbon dots from biomass: Fe(III) ion sensing and in-situ

- methylene blue reduction catalytic activity. *Desalination and Water Treatment*, 320, 100624. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.dwt.2024.100624>
- George, H. S., Selvaraj, H., Ilangoan, A., Chandrasekaran, K., Kannan, V. R., Parthipan, P., Almutairi, B. O., & Balu, R. (2023). Green synthesis of biomass derived carbon dots via microwave-assisted method for selective detection of Fe³⁺ ions in an aqueous medium. *Inorganic Chemistry Communications*, 157. <https://doi.org/10.1016/j.inoche.2023.111348>
- Hamed, G., & Aljanazrah, A. (2020). THE EFFECTIVENESS OF USING VIRTUAL EXPERIMENTS ON STUDENTS' LEARNING IN THE GENERAL PHYSICS LAB. *Journal of Information Technology Education: Research*, 19, 977-996. <https://doi.org/10.28945/4668>
- Hamer, M., Beraldi, A. M., Gomez, S. G. J., Ortega, F., Onna, D., & Hamer, M. (2021). Glowing-in-the-Screen: Teaching Fluorescence with a Homemade Accessible Setup. *Journal of Chemical Education*, 98(8), 2625-2631. <https://doi.org/10.1021/acs.jchemed.1c00328>
- Ivanjek, L., Shaffer, P., Planini, M., & Mcdermott, L. (2020). Probing student understanding of spectra through the use of a typical experiment used in teaching introductory modern physics. 010102. <https://doi.org/10.1103/PhysRevPhysEducRes.16.010102>
- Kirui, J. K., & Jhamba, L. (2021). *Teaching Modern Physics to Chemistry Students BT - Research in Chemistry Education* (L. Mammino & J. Apotheker (eds.); pp. 161-168). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-030-59882-2_11
- Lazonder, A. W. (2022). Inquiry-based learning. In *International Encyclopedia of Education: Fourth Edition* (pp. 630-636). <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-818630-5.14072-2>
- Lazonder, A. W., & Harmsen, R. (2016). *Meta-Analysis of Inquiry-Based Learning: Effects of Guidance*. 1962, 1-38. <https://doi.org/10.3102/0034654315627366>
- Liu, X., & Boone, W. J. (2023). Introduction to Advances in Applications of Rasch Measurement in Science Education. In *Contemporary Trends and Issues in Science Education* (Vol. 57, pp. 1-18). https://doi.org/10.1007/978-3-031-28776-3_1
- Michelini, M. (2018). Labs in Building a Modern Physics Way of Thinking. In *The Role of Laboratory Work in Improving Physics Teaching and Learning* (pp. 15-33). https://doi.org/10.1007/978-3-319-96184-2_2
- Michelini, M. (2020). Innovation of Curriculum and Frontiers of Fundamental Physics in Secondary School: Research-Based Proposals. In *Fundamental Physics and Physics Education Research* (pp. 101-116). https://doi.org/10.1007/978-3-030-52923-9_10
- Miller, T. A., Carver, J. S., & Roy, A. (2018). To Go Virtual or Not to Go Virtual, That is the Question: A Comparative Study of Face-To-Face Versus Virtual Laboratories in a Physical Science Course. *Journal of College Science Teaching*, 48(2), 59-67. https://doi.org/10.2505/4/jcst18_048_02_59
- Noor, F. M. (2020). Memperkenalkan Literasi SAINS kepada Peserta Didik Usia Dini : Perspektif Mahasiswa PIAUD. *Jurnal Inovasi Pendidikan Guru Raudhatul Athfal*, 8(1), 56-67. <https://doi.org/10.21043/thufula.v8i1.7066>
- Nuryadin, B. W., Nurjanah, R., Mahen, E. C. S., & Nuryantini, A. Y. (2017). Synthesis and characterization of carbon nanoparticle/PVA/ chitosan for security ink applications. *Materials Research Express*, 4(3), 34003. <https://doi.org/10.1088/2053-1591/aa6075>
- Nuryantini, A. Y., Mahen, E. C. S., Sawitri, A., & Nuryadin, B. W. (2017). Do it yourself: optical spectrometer for physics undergraduate instruction in nanomaterial characterization. *European Journal of Physics*, 38(5), 55501. <https://doi.org/10.1088/1361-6404/aa7dbb>
- Nzabahimana, J., Ndiokubwayo, K., & Mugabo, L. R. (2024). Teachers' Experiences with the Use of Virtual Laboratories in the Teaching of Physics in Rwandan Secondary Schools: A Survey Design. *African Journal of Research in Mathematics, Science and Technology Education*, 28(2), 196-209. <https://doi.org/10.1080/18117295.2024.2361546>
- OECD. (2025). *PISA 2025 Results (Volume I): Future-Ready Students*, PISA: Vol. I (Issue Volume I). PISA, OECD Publishing. <https://doi.org/https://doi.org/10.1787/73451bc5-en>
- Ojomoh, V. K., Phang, F. A., & Nawi, N. D. (2021). The Future of Science Labs: Choosing Virtual Laboratory for Hands-on Instruction in Physics Education. In *Lecture Notes in Educational Technology* (pp. 31-39). https://doi.org/10.1007/978-981-16-3521-2_4
- Pedaste, M. (2022). Inquiry Approach and Phases of Learning in Undergraduate Research. In H. A. Mieg, E. Ambos, A. Brew, D. Galli, & J. Lehmann (Eds.), *The Cambridge Handbook of Undergraduate Research* (pp. 149-157). Cambridge University Press. <https://doi.org/DOI: 10.1017/9781108869508.020>
- Sagear, S., Allen, E., Duffy, A., & Jariwala, M. (2020). Student learning outcomes with hybrid computer simulations and hands-on labs. *Physics Education Research Conference Proceedings*, 448-453. <https://doi.org/10.1119/perc.2020.pr.Sagear>

- Saputra, A., & Noor, F. M. (2025). Analisis Kemampuan Literasi Sains Siswa dalam Pemanfaatan YouTube sebagai Media Pembelajaran IPA di Era Digital. *JagoMIPA: Jurnal Pendidikan Matematika Dan IPA*, 5(3 SE-Articles), 914-926. <https://doi.org/10.53299/jagomipa.v5i3.1985>
- Schneider, E. M., Bärtsch, A., Stark, W. J., & Grass, R. N. (2019). Safe One-Pot Synthesis of Fluorescent Carbon Quantum Dots from Lemon Juice for a Hands-On Experience of Nanotechnology. *Journal of Chemical Education*, 96(3), 540-545. <https://doi.org/10.1021/acs.jchemed.8b00114>
- Susanti, D., Maulana, S., & Aroyandini, E. N. (2024). Exploring Students' Openness Traits for Achieving Meaningful Learning in Modern Physics Concepts. *Journal of Physics: Conference Series*, 2866(1). <https://doi.org/10.1088/1742-6596/2866/1/012111>
- Tagupa, E. R., & Arnado, A. A. (2024). Rasch Analysis of Pre-Service Teachers' Competency Assessment in Technology for Teaching and Learning: Implications for Mathematics Instruction. *2024 International Conference on TVET Excellence and Development, ICTeD 2024*, 207-212. <https://doi.org/10.1109/ICTeD62334.2024.10844669>
- Venugopalan, P., & Vidya, N. (2023). Long pepper (Piper longum) derived carbon dots as fluorescent sensing probe for sensitive detection of Sudan I. *Luminescence*, 38(4), 401-409. <https://doi.org/10.1002/bio.4459>
- Wu, F., Zhang, R., & Zhou, J. (2024). Shrimp-Shell-Derived Carbon Dots for Quantitative Detection by Fluorometry and Colorimetry: A New Analytic Chemistry Experiment for University Education. *Journal of Chemical Education*, 101(7), 2784-2789. <https://doi.org/10.1021/acs.jchemed.3c00329>
- Yadav, R., Sanjay, & Lahariya, V. (2024). *Down-Conversion Fluorescence Study of Non-metal Co-doped Carbon Dots BT - Recent Advances in Nanomaterials* (Z. H. Khan, M. Jackson, & N. A. Salah (eds.); pp. 65-70). Springer Nature Singapore. https://doi.org/10.1007/978-981-99-4878-9_9