

MODUL AJAR DEEP LEARNING
MATA PELAJARAN : IPA (FISIKA)
BAB 8: GEJALA KUANTUM

A. IDENTITAS MODUL

Nama Sekolah :
Nama Penyusun :
Mata Pelajaran : **IPA (Fisika)**
Kelas / Fase /Semester : **XII/ F / Genap**
Alokasi Waktu : **6 Pertemuan (2x45 menit/pertemuan)**
Tahun Pelajaran : **20.. / 20..**

B. IDENTIFIKASI KESIAPAN PESERTA DIDIK

Peserta didik pada umumnya telah memiliki pengetahuan dasar tentang gelombang elektromagnetik dan energi. Mereka juga diharapkan sudah memahami konsep dasar fisika klasik seperti energi kinetik, momentum, dan konsep energi dalam berbagai bentuk. Keterampilan yang dimiliki meliputi kemampuan membaca dan memahami grafik, melakukan perhitungan sederhana, serta kemampuan berdiskusi dan bekerja dalam kelompok. Pemahaman awal tentang cahaya sebagai gelombang mungkin sudah ada, sehingga pengenalan konsep foton sebagai partikel akan menjadi tantangan menarik yang membutuhkan penyesuaian cara pandang.

C. KARAKTERISTIK MATERI PELAJARAN

Materi Gejala Kuantum termasuk dalam jenis pengetahuan konseptual dan prosedural. Konseptual karena melibatkan pemahaman mendalam tentang fenomena-fenomena fisika pada skala mikroskopis yang seringkali bertentangan dengan intuisi fisika klasik. Prosedural karena peserta didik akan diajak untuk menganalisis data, melakukan perhitungan, dan memecahkan masalah terkait konsep-konsep tersebut.

Relevansi materi ini dengan kehidupan nyata sangat tinggi, seperti pada teknologi panel surya (efek fotolistrik), deteksi dini kanker (sinar-X), dan perangkat elektronik modern yang memanfaatkan prinsip-prinsip fisika kuantum. Tingkat kesulitan materi ini tergolong sedang hingga tinggi, karena membutuhkan pemikiran abstrak dan kemampuan mengaitkan fenomena makroskopis dengan penjelasan mikroskopis. Struktur materi bersifat hierarkis, dimulai dari konsep dasar foton, kemudian dilanjutkan dengan aplikasi pada efek fotolistrik, efek Compton, dan diakhiri dengan pemanfaatan sinar-X. Integrasi nilai dan karakter akan ditekankan pada sikap kritis, rasa ingin tahu, tanggung jawab, dan kolaborasi dalam memahami fenomena alam.

D. DIMENSI PROFIL LULUSAN PEMBELAJARAN

Berdasarkan tujuan pembelajaran, dimensi profil lulusan yang akan dicapai adalah:

- **Penalaran Kritis:** Peserta didik mampu menganalisis fenomena fisika kuantum, membandingkan dengan fisika klasik, dan menarik kesimpulan yang logis.

- **Kreativitas:** Peserta didik mampu mengaplikasikan konsep gejala kuantum untuk menjelaskan fenomena baru atau merancang ide solusi sederhana.
- **Kolaborasi:** Peserta didik mampu bekerja sama dalam kelompok untuk menganalisis data, memecahkan masalah, dan menyajikan hasil diskusi.
- **Komunikasi:** Peserta didik mampu mengkomunikasikan ide, hasil diskusi, dan presentasi dengan jelas dan efektif.

DESAIN PEMBELAJARAN

A. CAPAIAN PEMBELAJARAN (CP) NOMOR : 32 TAHUN 2024

Peserta didik mampu menganalisis fenomena kuantum meliputi sifat dualisme gelombang-partikel, efek fotolistrik, efek Compton, dan produksi sinar-X, serta mengaplikasikan konsep-konsep tersebut dalam penyelesaian masalah dan menjelaskan fenomena alam dan teknologi.

B. LINTAS DISIPLIN ILMU YANG RELEVAN

- **Matematika:** Penggunaan konsep fungsi, persamaan, grafik, dan perhitungan aljabar.
- **Kimia:** Pemahaman tentang struktur atom dan interaksi materi pada tingkat atomik.
- **Biologi/Kesehatan:** Aplikasi sinar-X dalam dunia medis untuk diagnosis dan terapi.
- **Teknologi Informasi dan Komunikasi (TIK):** Pemanfaatan perangkat lunak simulasi, presentasi digital, dan platform pembelajaran daring.

C. TUJUAN PEMBELAJARAN

Pertemuan 1: Konsep Foton

- Melalui diskusi kelompok dan eksplorasi sumber belajar, peserta didik mampu menjelaskan pengertian dan karakteristik foton sebagai kuantum energi cahaya dengan tepat.
- Melalui analisis data dan perhitungan, peserta didik mampu mengaplikasikan hubungan energi foton dengan frekuensi dan panjang gelombang dalam menyelesaikan masalah sederhana dengan cermat.

Pertemuan 2 & 3: Efek Fotolistrik

- Melalui percobaan virtual/simulasi dan diskusi, peserta didik mampu mengidentifikasi karakteristik efek fotolistrik dan hubungannya dengan energi kinetik elektron, frekuensi ambang, dan fungsi kerja logam dengan bertanggung jawab.
- Melalui analisis data eksperimen dan perhitungan, peserta didik mampu menentukan nilai fungsi kerja logam dan energi kinetik elektron pada peristiwa efek fotolistrik dengan akurat.
- Melalui diskusi, peserta didik mampu menjelaskan penerapan efek fotolistrik dalam teknologi sehari-hari dengan percaya diri.

Pertemuan 4 & 5: Efek Compton dan Sinar-X

- Melalui eksplorasi sumber belajar dan diskusi kelompok, peserta didik mampu menjelaskan fenomena efek Compton dan faktor-faktor yang mempengaruhinya dengan bahasa sendiri.
- Melalui analisis data dan perhitungan, peserta didik mampu menerapkan persamaan efek Compton untuk menghitung perubahan panjang gelombang foton terhambur dengan teliti.
- Melalui eksplorasi sumber belajar dan diskusi, peserta didik mampu menjelaskan proses produksi dan sifat-sifat sinar-X serta jenis-jenisnya dengan jelas.
- Melalui studi kasus dan diskusi, peserta didik mampu menjelaskan pemanfaatan sinar-X dalam berbagai bidang kehidupan (misalnya kedokteran, industri) dan dampak kesehatannya dengan kritis.

Pertemuan 6: Refleksi dan Evaluasi

- Melalui diskusi kelompok, peserta didik mampu mengaitkan konsep-konsep gejala kuantum (foton, efek fotolistrik, efek Compton, sinar-X) dalam satu kesatuan pemahaman yang komprehensif.
- Melalui jurnal reflektif, peserta didik mampu mengevaluasi pemahaman mereka tentang gejala kuantum dan mengidentifikasi area yang perlu dikembangkan.

D. TOPIK PEMBELAJARAN KONTEKSTUAL

- Bagaimana panel surya mengubah cahaya matahari menjadi energi listrik? (Efek Fotolistrik)
- Mengapa kita perlu melakukan rontgen ketika patah tulang? (Sinar-X)
- Bagaimana cahaya dapat berperilaku seperti partikel? (Konsep Foton)
- Bagaimana foton berinteraksi dengan elektron dalam proses hamburan? (Efek Compton)
- Perkembangan teknologi modern yang memanfaatkan prinsip fisika kuantum (misalnya sensor kamera digital, pencitraan medis).

E. KERANGKA PEMBELAJARAN

PRAKTIK PEDAGOGIK:

- **Eksplorasi Lapangan (Virtual/Simulasi):** Peserta didik akan diajak untuk "mengamati" fenomena fisika kuantum melalui simulasi interaktif (misalnya simulasi efek fotolistrik PhET). Hal ini membantu mereka mendapatkan pengalaman konkret tanpa harus melakukan eksperimen fisik yang kompleks.
- **Wawancara (Opsional/Simulasi):** Peserta didik dapat diajak untuk mencari informasi tentang aplikasi gejala kuantum di kehidupan nyata (misalnya, wawancara virtual dengan dokter radiologi tentang penggunaan sinar-X, atau mencari video wawancara dengan ilmuwan yang bekerja di bidang fotonika).
- **Presentasi:** Peserta didik akan mempresentasikan hasil proyek, analisis, dan diskusi kelompok mereka.

MITRA PEMBELAJARAN:

- **Lingkungan Sekolah:** Guru Fisika, guru TIK, perpustakaan sekolah.
- **Lingkungan Luar Sekolah:** Ahli Fisika, insinyur, praktisi medis (dokter radiologi), atau profesional terkait bidang yang memanfaatkan gejala kuantum (dapat diundang sebagai pembicara tamu secara virtual atau melalui rekaman).
- **Masyarakat:** Komunitas ilmiah daring, forum diskusi fisika, kanal YouTube edukasi.

LINGKUNGAN BELAJAR:

- **Ruang Fisik:** Kelas yang nyaman untuk diskusi kelompok, dilengkapi proyektor dan papan tulis.
- **Ruang Virtual:** Google Classroom sebagai platform utama untuk berbagi materi, penugasan, dan pengumpulan proyek.
- **Integrasi:** Penggunaan perangkat lunak simulasi, video pembelajaran, dan akses ke perpustakaan digital.

PEMANFAATAN DIGITAL:

- **Perpustakaan Digital:** Akses ke e-book, jurnal ilmiah, dan artikel online terkait gejala kuantum.

- **Forum Diskusi Daring:** Diskusi aktif di Google Classroom untuk berbagi ide, bertanya, dan memberikan umpan balik.
- **Penilaian Daring:** Penggunaan Google Forms untuk kuesioner dan tes diagnostik.
- **Kahoot!/Mentimeter:** Untuk kuis interaktif dan jajak pendapat untuk mengecek pemahaman dan menciptakan suasana belajar yang menyenangkan.

F. LANGKAH-LANGKAH PEMBELAJARAN BERDIFERENSIASI

KEGIATAN PENDAHULUAN (15 MENIT)

- **Prinsip Pembelajaran Berkesadaran:** Guru memulai dengan menyapa peserta didik dan menciptakan suasana yang tenang. Guru dapat meminta peserta didik untuk melakukan peregangan ringan atau mengatur napas untuk memfokuskan pikiran.
- **Prinsip Pembelajaran Bermakna:** Guru mengajukan pertanyaan pemantik yang relevan dengan kehidupan sehari-hari peserta didik, misalnya: "Bagaimana cara kerja remote TV di rumah Anda?" atau "Pernahkah Anda melihat orang di-rontgen? Apa yang sebenarnya terjadi saat itu?". Pertanyaan ini bertujuan untuk menghubungkan materi dengan pengalaman pribadi peserta didik.
- **Prinsip Pembelajaran Menggembirakan:** Guru dapat menampilkan video singkat atau gambar menarik yang memicu rasa ingin tahu tentang fenomena cahaya atau energi. Guru juga dapat menggunakan Kahoot! atau Mentimeter untuk kuis pre-test sederhana yang bersifat menyenangkan dan tidak mengintimidasi.
- Guru menyampaikan tujuan pembelajaran dan gambaran umum materi yang akan dipelajari.

KEGIATAN INTI

Prinsip Pembelajaran Bermakna dan Menggembirakan:

Memahami (Eksplorasi Konsep):

- Guru menyajikan materi awal tentang konsep foton melalui presentasi interaktif dengan visual yang menarik dan contoh-contoh relevan.
- Peserta didik dibagi menjadi kelompok-kelompok kecil (diferensiasi konten dan proses berdasarkan minat atau gaya belajar). Setiap kelompok diberikan tugas eksplorasi menggunakan perpustakaan digital atau simulasi (misalnya simulasi efek fotolistrik dari PhET Interactive Simulations) untuk memahami fenomena secara mandiri.
- Guru memfasilitasi diskusi kelompok, memastikan setiap anggota aktif berpartisipasi dan saling bertukar ide.
- Guru memberikan kesempatan kepada peserta didik untuk bertanya dan mengklarifikasi konsep yang masih membingungkan.
- **Diferensiasi Produk:** Bagi peserta didik yang memiliki gaya belajar visual, dapat membuat mind map konsep. Bagi yang auditori, dapat menjelaskan konsep secara lisan kepada teman.

Mengaplikasi (Penyelesaian Masalah dan Proyek):

- **Proyek Kelompok:** Setiap kelompok diberikan sebuah studi kasus atau masalah terkait aplikasi gejala kuantum (misalnya, merancang sistem panel surya sederhana, menganalisis data rontgen, atau menjelaskan prinsip kerja detektor cahaya).
- Peserta didik berkolaborasi dalam kelompok untuk menganalisis masalah, mencari informasi tambahan, dan merumuskan solusi atau penjelasan.

- Guru berperan sebagai fasilitator, memberikan bimbingan dan umpan balik konstruktif.
- Peserta didik menggunakan platform digital (Google Docs/Slides) untuk menyusun laporan atau presentasi proyek mereka.
- **Diferensiasi Proses:** Guru memberikan pilihan kepada kelompok untuk menyajikan proyek dalam format yang berbeda (misalnya presentasi lisan, poster digital, video penjelasan singkat) sesuai dengan kekuatan kelompok.

Merefleksi (Diskusi dan Presentasi):

- **Prinsip Pembelajaran Berkesadaran:** Setelah setiap aktivitas, guru memimpin sesi refleksi singkat. Peserta didik diajak untuk memikirkan apa yang mereka pelajari, kesulitan yang dihadapi, dan bagaimana mereka mengatasinya. Guru dapat mengajukan pertanyaan seperti "Apa hal baru yang Anda pelajari hari ini?" atau "Bagaimana materi ini mengubah cara pandang Anda tentang cahaya?".
- **Prinsip Pembelajaran Bermakna:** Setiap kelompok mempresentasikan hasil proyek atau temuan mereka di depan kelas. Selama presentasi, peserta didik lain aktif bertanya dan memberikan masukan.
- Guru memfasilitasi diskusi panel atau sesi tanya jawab yang dinamis untuk memperdalam pemahaman dan mengaitkan konsep-konsep yang berbeda.
- Guru memberikan umpan balik secara langsung dan konstruktif terhadap presentasi dan hasil proyek.

KEGIATAN PENUTUP (15 MENIT)

- **Prinsip Pembelajaran Umpan Balik Konstruktif:** Guru memberikan apresiasi atas partisipasi dan upaya peserta didik. Guru memberikan umpan balik umum mengenai pembelajaran yang telah berlangsung, menyoroti poin-poin penting yang telah dipahami dan area yang mungkin masih perlu diperkuat.
- **Menyimpulkan Pembelajaran:** Guru bersama peserta didik merangkum poin-poin utama dari materi yang telah dipelajari. Guru dapat menggunakan Mentimeter untuk membuat *word cloud* dari konsep-konsep kunci yang telah dibahas.
- **Perencanaan Pembelajaran Selanjutnya:** Peserta didik diajak untuk memberikan masukan tentang metode atau topik yang ingin mereka eksplorasi lebih lanjut di pertemuan berikutnya. Guru dapat memberikan tugas proyek kecil atau materi bacaan pendukung untuk pembelajaran mandiri.
- Guru menutup pembelajaran dengan memberikan motivasi dan mendorong peserta didik untuk terus mengembangkan rasa ingin tahu dan kemampuan penalaran kritis.

G. ASESMEN PEMBELAJARAN

ASESMEN AWAL PEMBELAJARAN:

- **Observasi:** Guru mengamati partisipasi aktif peserta didik dalam diskusi awal dan respons terhadap pertanyaan pemantik.
- **Kuesioner:** Guru memberikan kuesioner singkat melalui Google Forms untuk mengidentifikasi pengetahuan awal peserta didik tentang gejala kuantum dan area yang kurang dipahami.
- **Tes Diagnostik (via Kahoot!/Mentimeter):** 5 soal pilihan ganda sederhana untuk menguji pemahaman konsep dasar fisika yang relevan.

Contoh Soal Diagnostik:

1. Manakah di antara berikut yang bukan merupakan gelombang elektromagnetik? a. Cahaya tampak b. Gelombang radio c. Gelombang bunyi d. Sinar-X
2. Apa yang dimaksud dengan energi? a. Kemampuan untuk melakukan usaha b. Kecepatan benda bergerak c. Gaya yang bekerja pada benda d. Massa benda
3. Satuan energi dalam Sistem Internasional adalah... a. Watt b. Newton c. Joule d. Ampere
4. Jika frekuensi suatu gelombang meningkat, apa yang terjadi pada panjang gelombangnya (dengan kecepatan gelombang tetap)? a. Meningkat b. Menurun c. Tetap d. Tidak dapat ditentukan
5. Fenomena apakah yang menjelaskan bahwa cahaya memiliki sifat sebagai gelombang? a. Efek fotolistrik b. Difraksi c. Efek Compton d. Radiasi benda hitam

ASESMEN PROSES PEMBELAJARAN:

- **Tugas Harian:** Pemberian latihan soal atau masalah singkat terkait konsep yang dipelajari setiap akhir sesi diskusi.
- **Diskusi Kelompok:** Guru mengamati dan menilai keaktifan, kontribusi, dan kemampuan kolaborasi setiap anggota kelompok selama diskusi. (Rubrik penilaian diskusi kelompok akan digunakan).
- **Presentasi:** Penilaian terhadap kemampuan presentasi (struktur, kejelasan, konten, respons terhadap pertanyaan) dan pemahaman materi yang dipresentasikan.

Contoh Soal untuk Tugas Harian (Pertemuan 1: Konsep Foton):

1. Sebuah foton memiliki frekuensi 6×10^{14} Hz. Hitunglah energi foton tersebut dalam Joule dan elektronvolt! (Konstanta Planck $h = 6.626 \times 10^{-34}$ Js; $1 \text{ eV} = 1.6 \times 10^{-19} \text{ J}$)
2. Jika sebuah cahaya memiliki panjang gelombang 500 nm, berapa energi fotonnya dalam Joule? (Kecepatan cahaya $c = 3 \times 10^8 \text{ m/s}$)
3. Jelaskan mengapa cahaya dapat dianggap sebagai gelombang dan juga sebagai partikel (foton)!
4. Bagaimana hubungan antara energi foton dengan intensitas cahaya? Jelaskan!
5. Sebuah laser memancarkan cahaya dengan energi foton 2,5 eV. Berapakah frekuensi cahaya yang dipancarkan laser tersebut?

ASESMEN AKHIR PEMBELAJARAN:

- **Jurnal Reflektif:** Peserta didik menulis jurnal reflektif singkat tentang pengalaman belajar mereka, pemahaman yang didapatkan, dan area yang masih membutuhkan pengembangan.
- **Tes Tertulis:** Tes tertulis (esai dan/atau perhitungan) untuk mengukur pemahaman konseptual dan kemampuan penyelesaian masalah terkait seluruh materi Gejala Kuantum.
- **Tugas Akhir/Proyek:** Proyek akhir kelompok (misalnya, "Desain Aplikasi Gejala Kuantum" atau "Analisis Dampak Sinar-X dalam Kehidupan") yang dinilai berdasarkan kreativitas, kedalaman analisis, dan presentasi.

Contoh Soal untuk Tes Tertulis (Asesmen Akhir):

1. Jelaskan perbedaan antara efek fotolistrik dan efek Compton. Sertakan dalam penjelasan Anda tentang bagaimana masing-masing efek mendukung sifat partikel foton!

2. Sebuah logam memiliki fungsi kerja sebesar 2,5 eV. Jika permukaan logam tersebut disinari cahaya dengan panjang gelombang 400 nm, tentukan: a. Energi foton yang datang. b. Apakah akan terjadi efek fotolistrik? Jelaskan alasannya. c. Jika terjadi efek fotolistrik, berapa energi kinetik maksimum elektron yang dilepaskan?
3. Sebuah foton sinar-X dengan panjang gelombang 0,070 nm menumbuk elektron yang diam. Setelah tumbukan, foton terhambur dengan sudut 90° terhadap arah datangnya. Hitunglah panjang gelombang foton yang terhambur! (Massa elektron $m_e = 9.11 \times 10^{-31}$ kg)
4. Jelaskan prinsip kerja tabung sinar-X dan sebutkan dua aplikasi utama sinar-X dalam bidang kesehatan!
5. Bagaimana konsep dualisme gelombang-partikel yang dikemukakan oleh Louis de Broglie dapat dijelaskan melalui fenomena-fenomena kuantum yang telah Anda pelajari (foton, efek fotolistrik, efek Compton)?