

MODUL AJAR DEEP LEARNING
MATA PELAJARAN : IPA (FISIKA)
BAB 9: FISIKA INTI DAN RADIOAKTIVITAS

A. IDENTITAS MODUL

Nama Sekolah :
Nama Penyusun :
Mata Pelajaran : **IPA (Fisika)**
Kelas / Fase /Semester : **XII/ F / Genap**
Alokasi Waktu : **12 jam pembelajaran (3 pertemuan @ 4 JP)**
Tahun Pelajaran : **20.. / 20..**

B. IDENTIFIKASI KESIAPAN PESERTA DIDIK

Sebelum memulai pembelajaran Fisika Inti dan Radioaktivitas, peserta didik diharapkan telah memiliki pengetahuan dasar tentang struktur atom (proton, neutron, elektron), konsep massa, energi, serta sedikit pemahaman tentang gaya-gaya fundamental. Keterampilan yang sudah dimiliki meliputi kemampuan dasar dalam perhitungan matematis sederhana, menginterpretasi grafik, dan mengidentifikasi informasi dari teks. Pemahaman awal tentang pentingnya energi dalam kehidupan sehari-hari juga akan menjadi fondasi yang baik. Beberapa mungkin sudah memiliki ketertarikan terhadap fenomena alam yang terkait dengan energi besar atau teknologi nuklir dari media massa.

C. KARAKTERISTIK MATERI PELAJARAN

Materi Fisika Inti dan Radioaktivitas melibatkan jenis pengetahuan konseptual, prosedural, dan sedikit faktual. Konseptual meliputi pemahaman tentang defek massa, energi ikat, peluruhan radioaktif, dan reaksi inti. Prosedural terkait dengan perhitungan energi ikat, waktu paruh, dan energi reaksi inti. Relevansi dengan kehidupan nyata sangat tinggi, misalnya dalam aplikasi radioisotop di bidang medis, pertanian, dan industri, serta isu-isu energi nuklir. Tingkat kesulitan materi ini tergolong sedang hingga tinggi karena melibatkan konsep-konsep abstrak dan perhitungan yang memerlukan ketelitian. Struktur materi tersusun secara hierarkis, dimulai dari pengenalan inti atom hingga aplikasi reaksi inti. Integrasi nilai dan karakter akan ditekankan pada tanggung jawab dalam pemanfaatan teknologi nuklir, sikap kritis terhadap informasi, serta kepedulian terhadap keselamatan.

D. DIMENSI PROFIL LULUSAN PEMBELAJARAN

Sesuai dengan tujuan pembelajaran Bab 9, dimensi profil lulusan yang akan dicapai adalah:

- **Keimanan dan Ketakwaan terhadap Tuhan:** Peserta didik diharapkan dapat mengagumi kebesaran Tuhan yang menciptakan alam semesta dengan segala hukum fisika yang menakjubkan, termasuk fenomena inti atom dan radioaktivitas, serta menyadari tanggung jawab dalam pemanfaatan ilmu pengetahuan dan teknologi.

- **Penalaran Kritis:** Peserta didik mampu menganalisis informasi, data, dan fenomena terkait fisika inti dan radioaktivitas, serta mengidentifikasi hubungan sebab-akibat.
- **Kreativitas:** Peserta didik mampu merancang atau mengusulkan ide-ide inovatif terkait pemanfaatan atau penanganan radioaktivitas, serta menghasilkan karya ilmiah berupa artikel ilmiah tentang manfaat dan efek negatif zat radioaktif.
- **Kolaborasi:** Peserta didik dapat bekerja sama dalam kelompok untuk memecahkan masalah atau mengerjakan proyek terkait materi.
- **Kemandirian:** Peserta didik memiliki inisiatif dan tanggung jawab dalam mencari informasi dan menyelesaikan tugas-tugas secara mandiri.
- **Komunikasi:** Peserta didik mampu menyampaikan ide, hasil analisis, dan presentasi secara jelas dan sistematis.

DESAIN PEMBELAJARAN

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

Peserta didik mampu mengidentifikasi sejarah penemuan dan perkembangan inti atom, menentukan besar energi ikat (ΔE_{be}) pada inti atom, menginterpretasikan grafik hubungan energi ikat inti per nukleon (ΔE_{be}) terhadap nomor massa (A), mengaitkan energi ikat inti dengan radioaktivitas (proses peluruhan alfa, beta, dan gamma), mengidentifikasi radiasi partikel,¹ aktivitas radiasi, dan radioisotop, menentukan besar waktu paruh dan pengaruhnya dalam proses peluruhan, menganalisis reaksi dalam inti, seperti reaksi fisi dan fusi serta energi reaksi, menilai peranan radioaktivitas² dalam kehidupan sehari-hari dengan membandingkan penerapannya di bidang pertanian, medis, dan industri.³

B. LINTAS DISIPLIN ILMU YANG RELEVAN

- **Kimia:** Konsep atom, isotop, konfigurasi elektron, dan tabel periodik.
- **Biologi:** Dampak radiasi pada organisme hidup, aplikasi radioisotop dalam medis (misalnya terapi kanker).
- **Matematika:** Perhitungan eksponensial (waktu paruh), grafik, dan aljabar.
- **Teknologi Informasi dan Komunikasi:** Pemanfaatan simulasi, video pembelajaran, dan platform digital untuk eksplorasi materi.
- **Sejarah:** Sejarah penemuan inti atom dan radioaktivitas.
- **Pendidikan Kewarganegaraan:** Isu-isu etika dan sosial terkait penggunaan energi nuklir.

C. TUJUAN PEMBELAJARAN

Pertemuan 1: Penemuan Inti Atom, Defek Massa dan Energi Ikat

- Peserta didik mampu mengidentifikasi sejarah penemuan dan perkembangan inti atom (A. Penemuan Inti Atom) melalui studi literatur dan diskusi kelompok dengan tepat.
- Peserta didik mampu menjelaskan konsep defek massa dan energi ikat (ΔE_{be}) pada inti atom (B. Defek Massa dan Energi Ikat) setelah menyimak penjelasan guru dan berdiskusi secara aktif.
- Peserta didik mampu menghitung besar energi ikat (ΔE_{be}) pada inti atom berdasarkan data massa inti dan massa nukleon yang diberikan dengan teliti.
- Peserta didik mampu menginterpretasikan grafik hubungan energi ikat inti per nukleon ($\Delta E_{be}/A$) terhadap nomor massa (A) dan mengaitkannya dengan stabilitas inti dengan benar.

Pertemuan 2: Radioaktivitas, Partikel Radiasi, dan Peluruhan Radioaktif

- Peserta didik mampu mengaitkan energi ikat inti dengan radioaktivitas (C. Radioaktivitas) setelah menganalisis konsep stabilitas inti dan energi ikat.
- Peserta didik mampu mengidentifikasi jenis-jenis radiasi partikel (alfa, beta, gamma) (D. Partikel Radiasi) dan karakteristiknya melalui studi literatur dan pengamatan simulasi.
- Peserta didik mampu menganalisis proses peluruhan radioaktif (alfa, beta, gamma) (E. Peluruhan Radioaktif) dan menuliskan persamaan reaksinya dengan tepat.

- Peserta didik mampu menentukan besar waktu paruh dan pengaruhnya dalam proses peluruhan radioaktif berdasarkan data percobaan atau soal yang diberikan dengan akurat.
- Peserta didik mampu mengidentifikasi berbagai jenis radioisotop dan aplikasinya dalam kehidupan sehari-hari (pertanian, medis, industri) (E. Peluruhan Radioaktif) setelah melakukan eksplorasi informasi.

Pertemuan 3: Reaksi Inti (Fisi dan Fusi)

- Peserta didik mampu menganalisis konsep reaksi fisi dan fusi (F. Reaksi Inti (Fisi dan Fusi)) berdasarkan prinsip konservasi energi dan massa dengan cermat.
- Peserta didik mampu menghitung energi reaksi yang dihasilkan dari reaksi fisi dan fusi menggunakan konsep defek massa dan kesetaraan massa-energi Einstein dengan benar.
- Peserta didik mampu menilai peranan radioaktivitas dalam kehidupan sehari-hari dengan membandingkan penerapannya di bidang pertanian, medis, dan industri melalui presentasi hasil proyek.
- Peserta didik mampu mengidentifikasi efek-efek negatif yang ditimbulkan oleh reaktor nuklir serta langkah mitigasinya melalui diskusi kelompok dan penyusunan artikel ilmiah.

D. TOPIK PEMBELAJARAN KONTEKSTUAL

- Pemanfaatan radioisotop dalam diagnosis dan terapi medis (misalnya I-131 untuk tiroid, Co-60 untuk radioterapi).
- Aplikasi radioisotop dalam pertanian (misalnya penelusuran pupuk, mutasi tanaman).
- Penggunaan radioisotop dalam industri (misalnya sterilisasi alat medis, pengawetan makanan).
- Prinsip kerja reaktor nuklir sebagai sumber energi listrik.
- Dampak positif dan negatif dari reaktor nuklir dan limbah radioaktif.
- Sejarah penemuan radioaktivitas dan peran ilmuwan seperti Marie Curie.

E. KERANGKA PEMBELAJARAN

PRAKTIK PEDAGOGIK:

- **Metode Pembelajaran Berbasis Proyek:** Peserta didik akan merancang dan membuat karya ilmiah berupa artikel ilmiah tentang manfaat dan efek negatif zat radioaktif yang dapat dihasilkan dari reaktor nuklir pada bidang pertanian maupun kesehatan.
- **Diskusi Kelompok:** Diskusi mendalam tentang konsep-konsep fisika inti, pemecahan masalah, dan analisis kasus.
- **Eksplorasi Lapangan (Virtual/Simulasi):** Jika memungkinkan, kunjungan virtual ke fasilitas nuklir atau laboratorium, atau penggunaan simulasi interaktif tentang peluruhan radioaktif dan reaksi inti.
- **Wawancara (Opsional):** Jika memungkinkan, mengundang praktisi atau ahli di bidang terkait (misalnya dari rumah sakit, BATAN) untuk berbagi pengalaman dan pengetahuan.
- **Presentasi:** Peserta didik mempresentasikan hasil proyek artikel ilmiah atau hasil diskusi kelompok.

MITRA PEMBELAJARAN:

- **Lingkungan Sekolah:** Guru mata pelajaran lain (Kimia, Biologi), pustakawan.
- **Lingkungan Luar Sekolah:** Universitas (fakultas fisika/nuklir), lembaga penelitian (BATAN/BRIN), rumah sakit (bagian radiologi/kedokteran nuklir), dinas pertanian.
- **Masyarakat:** Para ahli atau praktisi di bidang terkait.

LINGKUNGAN BELAJAR:

- **Ruang Fisik:** Kelas yang dilengkapi proyektor, papan tulis interaktif, dan akses internet. Laboratorium fisika untuk demonstrasi sederhana (jika ada).
- **Ruang Virtual:** Google Classroom sebagai Learning Management System (LMS), platform video conference (Google Meet/Zoom) untuk diskusi atau presentasi daring, situs web edukasi (misalnya PhET simulations, IAEA website).

PEMANFAATAN DIGITAL:

- **Perpustakaan Digital:** Mengakses jurnal ilmiah, e-book, dan artikel terkait fisika inti dan radioaktivitas.
- **Forum Diskusi Daring:** Diskusi asinkron melalui Google Classroom atau grup chat.
- **Penilaian Daring:** Kuis interaktif menggunakan Kahoot atau Mentimeter untuk asesmen formatif.
- **Google Classroom:** Pengumpulan tugas, berbagi materi, dan komunikasi.
- **Simulasi Interaktif:** Menggunakan simulasi PhET Colorado untuk visualisasi proses fisika inti.

F. LANGKAH-LANGKAH PEMBELAJARAN BERDIFERENSIASI

KEGIATAN PENDAHULUAN (20 MENIT - MINDFUL LEARNING, JOYFUL LEARNING)

- **Pembukaan (Mindful Learning):** Guru menyambut peserta didik dengan salam dan menanyakan kabar. Mengajak peserta didik untuk mengambil napas dalam-dalam, merilekskan diri, dan memfokuskan pikiran pada pembelajaran yang akan datang. Guru dapat memutar musik instrumental ringan sebagai latar belakang.
- **Apersepsi (Meaningful Learning):** Guru mengajukan pertanyaan pemantik yang relevan dengan kehidupan sehari-hari dan memicu rasa ingin tahu, misalnya: "Pernahkah kalian mendengar tentang radiasi? Apa hubungannya dengan teknologi medis atau energi listrik?" atau "Bagaimana matahari bisa menghasilkan energi yang sangat besar?". Guru dapat menunjukkan gambar atau video singkat tentang nuklir (positif dan negatif) untuk menarik perhatian.
- **Motivasi (Joyful Learning):** Guru menyampaikan tujuan pembelajaran dengan bahasa yang menarik dan menjelaskan relevansi materi dengan kehidupan nyata dan prospek masa depan (misalnya menjadi peneliti nuklir, dokter nuklir). Guru dapat memberikan teka-teki singkat atau kuis awal menggunakan Kahoot/Mentimeter terkait pengetahuan umum tentang atom/energi untuk menciptakan suasana yang menyenangkan.
- **Kontrak Belajar:** Guru menyampaikan alur pembelajaran, metode yang akan digunakan (proyek, diskusi), dan sistem penilaian.

KEGIATAN INTI (100 MENIT - MEANINGFUL LEARNING, MINDFUL LEARNING)

Fase 1:

Memahami (Meaningful Learning)

Eksplorasi Konsep (Diferensiasi Konten):

- Guru menyajikan materi melalui kombinasi presentasi visual (PowerPoint/video), penjelasan interaktif, dan pemberian bahan bacaan (Buku Siswa Kelas XII Fisika Bab 9, artikel ilmiah sederhana, atau tautan ke situs web edukasi).
- Untuk peserta didik yang visual, guru dapat menggunakan simulasi interaktif (misalnya PhET Nuclear Fission, Alpha Decay).
- Untuk peserta didik auditori, guru dapat memberikan penjelasan lisan yang lebih detail dan meminta mereka untuk bertanya.
- Untuk peserta didik kinestetik, guru dapat memberikan kesempatan untuk menggambar model atom atau inti.
- **Diskusi dan Tanya Jawab (Mindful Learning):** Peserta didik diajak untuk berdiskusi dalam kelompok kecil untuk mengidentifikasi kata kunci, konsep-konsep baru, dan pertanyaan yang muncul dari materi yang disajikan. Guru memfasilitasi diskusi, memastikan setiap anggota kelompok memiliki kesempatan untuk berbicara, dan membimbing mereka untuk merumuskan pertanyaan yang mendalam.
- **Studi Kasus/Contoh Soal (Meaningful Learning):** Guru memberikan contoh soal yang relevan dengan kehidupan sehari-hari (misalnya perhitungan waktu paruh untuk identifikasi usia fosil, energi yang dihasilkan reaktor nuklir). Peserta didik mencoba menyelesaikan secara mandiri atau berpasangan.

Fase 2:

Mengaplikasi (Meaningful Learning, Joyful Learning)

Proyek Berbasis Kelompok (Diferensiasi Proses):

- Peserta didik dibagi menjadi kelompok-kelompok kecil. Setiap kelompok ditugaskan untuk membuat artikel ilmiah tentang manfaat dan efek negatif zat radioaktif dari reaktor nuklir di bidang pertanian dan/atau kesehatan.
- Guru menyediakan rubrik penilaian yang jelas dan memberikan kebebasan kepada kelompok untuk memilih fokus spesifik dalam topik tersebut (misalnya, satu kelompok fokus pada terapi kanker, kelompok lain pada pengawetan makanan).
- Guru memfasilitasi akses ke sumber daya (perpustakaan digital, jurnal ilmiah, tautan video relevan).
- **Eksplorasi dan Penelitian (Joyful Learning):** Peserta didik melakukan riset, membaca, menganalisis data, dan mengumpulkan informasi. Guru mendorong penggunaan berbagai sumber dan kreativitas dalam penyajian data (infografis, diagram).
- **Pembimbingan (Mindful Learning):** Guru memberikan bimbingan individual atau kelompok, memberikan umpan balik konstruktif, dan memastikan semua anggota kelompok berkontribusi aktif. Guru dapat mengajukan pertanyaan-pertanyaan reflektif untuk memandu pemikiran peserta didik.

Fase 3:

Merefleksi (Mindful Learning)

- **Presentasi Kelompok (Meaningful Learning):** Setiap kelompok mempresentasikan hasil artikel ilmiahnya di depan kelas. Anggota kelompok lain diajak untuk

memberikan pertanyaan, tanggapan, dan masukan.

- **Sesi Tanya Jawab dan Diskusi Reflektif (Mindful Learning):** Setelah presentasi, guru memfasilitasi diskusi reflektif. Pertanyaan yang diajukan dapat berupa: "Apa pelajaran terbesar yang kalian dapatkan dari proyek ini?", "Bagaimana pemahaman kalian tentang fisika inti berubah setelah melakukan proyek ini?", "Apa tantangan terbesar yang kalian hadapi dan bagaimana kalian mengatasinya?".
- **Jurnal Reflektif Individu (Mindful Learning):** Peserta didik diminta untuk menulis jurnal singkat yang berisi pemahaman mereka tentang materi, kesulitan yang dihadapi, hal menarik yang ditemukan, dan bagaimana materi ini relevan dengan kehidupan mereka.

KEGIATAN PENUTUP (10 MENIT - MINDFUL LEARNING, MEANINGFUL LEARNING)

- **Umpan Balik Konstruktif (Mindful Learning):** Guru memberikan umpan balik menyeluruh terhadap proses pembelajaran yang telah berlangsung, mengapresiasi usaha dan partisipasi peserta didik. Guru menyoroti kekuatan dan area yang perlu ditingkatkan, baik secara individu maupun kelompok.
- **Menyimpulkan Pembelajaran (Meaningful Learning):** Guru bersama peserta didik merangkum poin-poin penting dari pembelajaran yang telah dilakukan. Guru dapat menggunakan metode "exit ticket" di mana peserta didik menuliskan satu hal yang mereka pelajari dan satu pertanyaan yang masih mereka miliki.
- **Perencanaan Pembelajaran Selanjutnya (Meaningful Learning):** Guru menyampaikan rencana pembelajaran selanjutnya atau memberikan tugas pengayaan (misalnya mencari artikel berita tentang energi nuklir terbaru, menonton film dokumenter terkait). Guru juga menanyakan preferensi peserta didik untuk topik atau metode pembelajaran selanjutnya.
- **Penutup:** Guru menutup pembelajaran dengan salam dan doa.

G. ASESMEN PEMBELAJARAN

ASESMEN AWAL PEMBELAJARAN (DIAGNOSTIK)

- **Tujuan:** Mengidentifikasi pengetahuan awal, miskonsepsi, dan gaya belajar peserta didik.
 - **Kuesioner:** Berisi pertanyaan singkat tentang ketertarikan terhadap fisika inti, pengalaman belajar sebelumnya, dan gaya belajar pilihan.
 - **Tes Diagnostik Singkat:** 5 soal pilihan ganda atau isian singkat tentang konsep dasar atom, massa, dan energi.

Contoh Soal Tes Diagnostik:

1. Apa saja partikel penyusun inti atom?
2. Apa yang Anda ketahui tentang konsep massa dan energi?
3. Apakah semua atom memiliki inti yang stabil? Jelaskan.
4. Menurut Anda, apa manfaat energi nuklir dalam kehidupan sehari-hari?
5. Apa perbedaan antara atom dan molekul?

ASESMEN PROSES PEMBELAJARAN (FORMATIF)

- **Tujuan:** Memantau kemajuan belajar peserta didik selama proses pembelajaran dan

memberikan umpan balik.

- **Tugas Harian:** Penyelesaian lembar kerja, latihan soal, atau ringkasan konsep.
- **Diskusi Kelompok:** Penilaian partisipasi aktif, kualitas argumen, dan kemampuan kolaborasi.
- **Presentasi (mini-presentasi):** Penilaian terhadap kemampuan menyampaikan ide dan pemahaman konsep secara singkat.

Contoh Soal Tugas Harian/Diskusi:

1. Jelaskan mengapa energi ikat per nukleon menjadi indikator stabilitas inti atom!
2. Hitunglah defek massa dan energi ikat dari inti ^{24}He jika diketahui massa proton = 1,00728 sma, massa neutron = 1,00866 sma, dan massa inti ^{24}He = 4,00260 sma! (1 sma = 931,5 MeV)
3. Bandikan karakteristik partikel alfa, beta, dan gamma!
4. Sebuah unsur radioaktif memiliki waktu paruh 20 menit. Berapa sisa unsur tersebut setelah 1 jam jika massa awalnya 80 gram?
5. Sebutkan 3 contoh aplikasi radioisotop dalam bidang medis!

ASESMEN AKHIR PEMBELAJARAN (SUMATIF)

- **Tujuan:** Mengukur pencapaian tujuan pembelajaran secara keseluruhan.
- **Jurnal Reflektif:** Menggali pemahaman holistik dan refleksi diri peserta didik.
- **Tes Tertulis:** Soal esai atau pilihan ganda komprehensif.
- **Tugas Akhir/Proyek:** Artikel ilmiah tentang manfaat dan efek negatif zat radioaktif (penilaian berdasarkan rubrik).

Contoh Soal Tes Tertulis/Tugas Akhir:

1. Jelaskan proses terjadinya reaksi fisi dan fusi, serta mengapa kedua reaksi tersebut menghasilkan energi yang sangat besar! Berikan contoh persamaan reaksi untuk masing-masing.
2. Analisis dan bandingkan manfaat dan risiko penggunaan teknologi nuklir dalam berbagai bidang kehidupan (medis, energi, pertanian, industri)! Sertakan argumen Anda berdasarkan data dan fakta.
3. Grafik energi ikat inti per nukleon menunjukkan bahwa inti dengan nomor massa menengah lebih stabil. Jelaskan mengapa demikian dan kaitkan dengan proses reaksi fisi dan fusi!
4. Unsur X memiliki waktu paruh 15 hari. Jika mula-mula terdapat 160 gram unsur X, berapa waktu yang dibutuhkan agar unsur X tersisa 5 gram?
5. Buatlah sebuah artikel ilmiah (minimal 500 kata) yang membahas tentang potensi penggunaan radioisotop untuk mengatasi masalah pangan di Indonesia, serta tantangan dan mitigasi risiko yang mungkin timbul! (Ini merupakan contoh soal untuk tugas akhir proyek).